

HZwei

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND
BRENNSTOFFZELLEN

→ WASSER IST NICHT
DAS PROBLEM

→ WÄRMENETZ MIT
SEKTORENKOPPLUNG



12. Teil der Regionen-Serie:
HyStarter Kulmbach

DIANE DRUNSKI

17. – 21. APRIL 2023

GESPRÄCHS- STOFF: WASSERSTOFF.

WASSERSTOFF & BRENNSTOFFZELLEN

Was ist der Unterschied zwischen grauem und grünem Wasserstoff? Und wo erfahren Sie, was Sie noch wissen müssen? Die HANNOVER MESSE macht den Unterschied.
Jetzt Ticket sichern!



HOME OF INDUSTRIAL PIONEERS
hannovermesse.de



GO TO WHERE THE MARKET IS

Liebe Leserinnen und Leser!

Diese Hannover Messe wird in die Geschichte eingehen – das steht schon jetzt im Vorfeld fest. Auf der diesjährigen weltweit größten Industrieschau in der niedersächsischen Landeshauptstadt werden laut Veranstalter rund 500 Institutionen zum Thema Wasserstoff ausstellen – mehr als die Hälfte davon werden auf der Hydrogen & Fuel Cells Europe vertreten sein.

Als Bestandteil der Hannover Messe feiert die H₂- und BZ-Messe damit ein Rekordjahr. Noch nie war das Interesse an dieser Thematik so groß, die Ausstellungsfläche noch nie so riesig. Damit erhalten jetzt – nach fast drei Jahrzehnten – die Worte des Gründers Arno A. Evers endlich ihre Bestätigung: „Go to where the market is!“

Evers hatte 1995 mit zehn Ausstellern angefangen und schon damals das enorme Potential erkannt, das in dieser Technologie steckt. Obwohl das Interesse im Laufe der Entwicklung immer mal wieder answoll, hat es doch bis heute gedauert, bis aus den kurzen Hypes ein regelrechter Transformationsprozess für die Energiebranche wurde – und zwar weltweit.

Evers' Nachfolger, Tobias Renz, der bereits in der Anfangszeit als Assistent am Aufbau des damaligen Gemeinschaftsstandes Wasserstoff und Brennstoffzellen mitwirkte, erlebt heute, wie Wasserstoff zu einem der Schwerpunktthemen dieser riesigen Weltmesse wird und immer noch mehr Aussteller wegen Standflächen anfragen – aus aller Welt.

In diesem Jahr füllt allein die H2FC Europe gut die Hälfte der Halle 13.

Anderswo ist es nicht anders: Immer mehr H₂-Veranstaltungen bespielen große Hallen, weil inzwischen offensichtlich ist, dass erneuerbare Energien und Wasserstoff das fossile Energiezeitalter ablösen – und zwar jetzt anscheinend doch schneller, als es etliche zunächst für möglich gehalten haben. In neuer Deutschlandgeschwindigkeit werden jetzt Produktionskapazitäten für Elektrolyseure aufgebaut, werden neue Unternehmen gegründet und branchenübergreifende Kooperationen gestartet.

Sicherlich bedarf es noch einer Übergangszeit, in der zunächst LNG-Terminals (H₂-ready – s. S. 28) installiert und Fertigungsstraßen für BZ-Lkw aufgebaut werden. Aber noch im Laufe dieses Jahrzehnts werden wir sehen, dass immer mehr H₂-Trucks auf den Straßen rollen werden, so wie jetzt schon etliche Es auf den Kennzeichen der Pkw zu sehen sind.

Da hilft es auch nicht, dass ewig Gestrige mit blauem Wasserstoff und e-Fuels die Machtstrukturen der Vergangenheit aufrecht zu erhalten versuchen. Gegen diese Wasserstoffwelle kommt jetzt niemand mehr an – und das ist, zumindest aus Umwelt- und Klimasicht, auch gut so.

Unabdingbar bleibt dabei der immense Ausbau erneuerbarer Energien, damit Wasserstoff dann nur dort eingesetzt zu werden braucht, wo eine Defossilisierung anders nicht möglich ist. Und genau dieser Aufbau eines alternativen Energieversorgungssystems, bei dem immer mehr neue Akteure mitspielen, kann beispielhaft zeigen, wie eine sozialökologische Transformation aussehen kann.

Deutschland, das den Begriff der Energiewende – auch im englischsprachigen Ausland – in die Welt gebracht hat, kann vorleben, wie sozialverträglich und ohne Wohlstandseinbu-



ßen eine auf Nachhaltigkeit und Generationengerechtigkeit ausgerichtete Energiewirtschaft aufgebaut werden kann.

Interessante Einblicke liefern dieses Heft und natürlich die Industrieschau in Hannover.

Wir dürfen gespannt sein, wie groß die Hydrogen & Fuel Cells Europe dann nächstes Jahr sein wird – stay tuned!

Erlauben Sie mir jetzt bitte noch einen Hinweis in eigener Sache: Angesichts des wachsenden Interesses am Thema Wasserstoff hat sich der Hydrogeit Verlag entschieden, seine Internet-Präsenz auszubauen. Und zwar werden wir noch in diesem Frühjahr eine neue H₂-Internetplattform eröffnen.

Bislang verteilt sich unser Online-Angebot auf mehrere verschiedene Homepages, was unübersichtlich ist und das Navigieren mitunter erschwert. Deswegen hat unser Administrator die vergangenen Monate genutzt und emsig am Relaunch gearbeitet. Zukünftig werden dann alle Inhalte über eine einzige Domain erreichbar sein – über die altbewährte URL www.hydrogeit.de.

Dort wird dann der HZwei-Blog zu finden sein, ebenso wie der Veranstaltungskalender und das inzwischen beträchtlich angewachsene Branchenverzeichnis. Außerdem wird der gesamte Inhalt des H₂-Klassikers „Wasserstoff und Brennstoffzellen – die Technik von gestern, heute und morgen“ kostenlos online für die Internet-Recherche angeboten. Außerdem wird über den neuen Online-Shop ein sehr viel komfortablerer Zugang zu allen Heften des HZwei-Archivs möglich sein.

Sobald die deutsche Version stabil läuft, werden wir auch eine englische Plattform aufziehen, in die dann auch der H2-international-Blog integriert wird.

Freuen Sie sich also mit uns auf ein neues, umfangreiches Angebot mit ausreichend Platz für zeitgemäße Marketing-Aktivitäten und vereinfachter Navigation – für noch besseren Zugang zu gut aufbereiteten Informationen rund um Wasserstoff und Brennstoffzellen. ||

Herzlichst

Sven Geitmann
HZwei Herausgeber

INHALTSVERZEICHNIS

06 Clean Logistics ist pleite



10 + 28 Niedersachsen – Über die Hannover Messe und LNG-Terminals



3 Editorial

6 Meldungen

- Clean Logistics meldet Insolvenz an
- DZM-Konzept wird überarbeitet
- ITZ-Start verzögert sich
- H₂-Netz in Brandenburg kostet 1,2 Mrd. Euro
- Wasserbedarf kein Hindernis für grünen Wasserstoff
- Umwelt im Ökologiediskurs

10 Messen und Kongresse

- Wasserstoff als Messe-Highlight

12 Politik

- Statement des EU-Abgeordneten Dr. Christian

14 Hausenergie

- Modell für eine fossillfreie Energiezukunft

18 Energiespeicherung

- Schall und Rauch um die PCK in Schwedt
- Wirtschaftlichkeit von Wasserstoffprojekten
- Wie Rost die H₂-Technik voranbringen kann
- Gastbeitrag von Olaf Lies, nieders. Wirtschaftsministers
- TransHyDE – Bewertung von H₂-Transportpfaden
- Richtlinienentwurf zu Klimaschutzverträgen
- Innovativer Reaktor erzeugt im Labor reines CH₄

40 Elektromobilität

- Regionen-Serie: HyStarter Kulmbach
- Interview mit Dr. Lars-Peter Thiesen, Opel
- Nationaler Aktionsplan Brennstoffzellenproduktion
- JCB baut Sonderfahrzeuge mit BZ-Antrieb
- Aufbau einer H₂-Infrastruktur für Nfz

50 Entwicklung

- Brennstoffzellen-MEAs ohne „forever chemicals“
- Solarer Treibstoff per Knopfdruck

18 Zukunft der PCK-Raffinerie in Schwedt weiter ungewiss



42 + 48 Interview mit L.-P. Thiesen (Schlüsselübergabe an N. Iwan)



5

52 Markt

- Wird 2023 ein gutes Börsenjahr für die H₂-Aktien?
- Ballard – 2024 überdurchschnittliches Wachstum
- Bloom – Pläne lassen großes Potential erkennen
- Nikola – Bei emissionsfreien Lkw die Nase vorn
- Hyzon Motors – Unsicherheiten belasten
- Plug – Zu viele Superlative – Entwicklung enttäuscht
- Cummins – H₂ bestimmt zunehmend das Konzernbild
- Siemens Energy – Unternehmen auf gutem Weg
- FuelCell Energy – Zahlenwerk überzeugt noch nicht

67 Lesecke

- Das Feuer des Wassers

68 International

- H₂-Lagebericht aus der Tschechischen Republik
- Der polnische Weg im Zugverkehr
- Neso – Neue Konkurrenz für Solaris

73 Firmenverzeichnis

82 Terminkalender

82 Impressum

CLEAN LOGISTICS MELDET INSOLVENZ AN



Abb.: Ein Bild aus besseren Tagen

Zunächst lief alles gut bei Clean Logistics, aber Anfang dieses Jahres kam es zu einem Liquiditätssengpass, weshalb das niedersächsische Unternehmen am 20. Februar 2023 Insolvenz beim Gericht angemeldet hat. Alle Versuche, doch noch an Geld zu kommen, waren ergebnislos geblieben, so dass die Zukunft für die rund 70 Mitarbeitenden jetzt ungewiss ist. Mitbetroffen ist auch die Tochtergesellschaft E-Cap Mobility in Winsen.

Clean Logistics SE mit Hauptsitz in Frankfurt am Main hatte im Juni 2022 eine große, teure Veranstaltung zur Präsentation seines H₂-Lkw fuariant in Stade organisiert (s. Abb. u. HZwei-Heft Okt. 2022). Im Herbst erhielt ihr Geschäftsführer Dirk Lehmann dafür den mit 500.000 Euro dotierten Deutschen Umweltpreis, nachdem GP Joule zuvor verkündet hatte, 5.000 H₂-Lkw bei Clean Logistics ordern zu wollen (s. HZwei-Heft Okt. 2022). Da lag der Aktienkurs noch bei über 17 Euro.

Unruhig wurde es, als Finanzchef Jürgen Akkermann, der gerade erst im September 2022 eingestiegen war, bereits Anfang Dezember das Unternehmen wieder verließ – aus familiären Gründen, wie es hieß. Zum Jahresende wurde dann zwar eine Kapitalerhöhung angekündigt, allerdings kostete die Aktie da nur noch 1,80 Euro. Umgesetzt wurde die Kapitalerhöhung dann nicht mehr.

Konsequenz dieses Kursrutsches auf zuletzt 50 Cent war, dass die beiden charismatischen Geschäftsführer das Unternehmen verließen – zunächst kurz vor Weihnachten Dirk Lehmann, Mitte Februar dann auch Dirk Graszat. ||

DZM-KONZEPT WIRD ÜBERARBEITET

Die Ungewissheit darüber, was aus dem geplanten Mobilitätszentrum in München wird, bleibt bestehen. Vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hieß es dazu gegenüber HZwei lediglich: „Das BMDV hat, wie im Koalitionsvertrag vereinbart, das Konzept zum Deutschen Zentrum Mobilität der Zukunft (DZM) aus der vergangenen Legislaturperiode einer umfassenden Überprüfung und Neuausrichtung unterzogen. Ein Konzept zur Neuausrich-

tung des Zentrums befindet sich aktuell in der Abstimmung. [...] Die Aktivitäten des ITZ werden unabhängig vom Deutschen Zentrum Mobilität der Zukunft (DZM) durch das BMDV vorangetrieben.“

Einzige neue Kunde war im Februar 2023, dass Gera nicht als neuer Standort infrage kommt. Die Verkehrsrundschau hatte darüber berichtet, dass die ostthüringische Stadt „nicht länger im Rennen als Außenstandort und Testraum für das in München geplante Zentrum, in dem auch digital vernetzte Logistik erforscht werden soll“, sei.

Im Vorfeld war deutlich geworden, dass München voraussichtlich zwar nicht länger als Standort in Erwägung gezogen wird, aber weiterhin an der Idee eines deutschlandweiten Mobilitätszentrums festgehalten wird. So berichtete im April 2022 die TZ: „Das Aus für das Deutsche Zentrum für Mobilität (DZM) in München scheint besiegelt. Wie unsere Zeitung vom Obmann der CDU/CSU im Haushaltsausschuss des Bundestages, Florian Oßner, erfahren hat, hat die Ampel München als Standort abgesetzt. „Die Kollegen haben heute nicht nur unseren Antrag auf Mittelserhöhung abgelehnt, sondern zudem beschlossen, München aus dem Gesamtkonzept zu streichen“, sagt Oßner.“

Nachdem der damalige Verkehrsminister Andreas Scheuer (CSU) zunächst Fördermittel in Höhe von 400 Mio. Euro versprochen hatte (s. HZwei-Heft Juli 2021), strich die Ampel-Regierung erst einmal diese Gelder. Es hieß damals wie heute, das Konzept werde entsprechend der Koalitionsvereinbarung überarbeitet. ||

ITZ-START VERZÖGERT SICH WEITER

Im September 2021 hatte Andreas Scheuer, der damalige Bundesverkehrsminister, die Standortentscheidung für die vier geplanten Innovations- und Technologiezentren Wasserstofftechnologie (ITZ – s. HZwei-Heft Apr. u. Juli 2021) bekanntgegeben. Eineinhalb Jahre später warten die Wettbewerbsgewinner immer noch darauf, endlich loslegen zu dürfen. Die Vorfreude in Chemnitz, Duisburg, Pfeffenhausen sowie in der Region Hamburg-Stade war ebenso groß wie die Motivation, verwandelt sich gerade aber immer mehr in Frust, weil die Förderzusage vom Bund immer noch aussteht.

So erklärte Manfred Poschenrieder von der Hynergy GmbH gegenüber HZwei: „Es stockt weder in den Gemeinden noch im Konsortium. Die Bürgermeister wollen. Die Anwohner wollen und fragen bereits, wo sie sich bewerben können, weil 2020 ein großes Zulieferunternehmen in der Region weggebrochen ist.“ Bevor aber die offizielle Bewilligung nicht erteilt ist, darf kein Handschlag erfolgen, da ansonsten die bereits zugesagten Fördergelder verfallen.

Auf Nachfrage der Redaktion beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) teilte ein Sprecher mit: „Die Umsetzung des Innovations- und Technologiezentrums Wasserstoff (ITZ) wird nicht infrage gestellt, das BMDV steht vielmehr in regelmäßigem Austausch mit Vertretern der Standorte. Dabei geht es insbesondere um die detaillierte Ausgestaltung der Standortkonzepte und deren Anpassung an die förderrechtlichen Rahmenbedingungen. Die notwendigen Haushaltsmittel für das ITZ stehen im Bundeshaushaltsplan 2023 bereit. Das BMDV arbeitet mit den jeweiligen Standortvertretern eng und vertrauensvoll zusammen. Bewilligungen für das ITZ werden im laufenden Jahr 2023 angestrebt.“

Weiter hieß es seitens des Ministeriums: „Im Mai 2022 wurde die Machbarkeitsstudie für das ITZ abgeschlossen, die ein Grobkonzept für das geplante Zentrum enthält. Seither arbeiten BMDV und Standorte an der notwendigen Konkretisierung des Konzepts. Darüber hinaus fanden im vergangenen Jahr erste Koordinierungsgespräche zu geplanten Baumaßnahmen statt. Zu den förderrechtlichen Rahmenbedingungen und beihilferechtlichen Fragen ist das BMDV im Austausch mit der EU-Kommission. Auf Seiten der Standorte werden die entsprechenden Antragsentwürfe ebenfalls weiter vorangebracht.“ ||

H₂-TRANSPORTNETZ IN BRANDENBURG KOSTET 1,2 MRD. EURO

Ein starkes Transportnetz ist eine Grundvoraussetzung für eine künftige H₂-Wirtschaft. „Nur so lassen sich die Wasserstoffmengen transportieren, die unsere Industrie benötigt“, weiß auch Brandenburgs Wirtschaftsminister Prof. Jörg Steinbach. Dieser hat im Februar 2023 eine Machbarkeitsstudie vorgelegt, die konkrete Trassenverläufe für verschiedene Zeitabschnitte enthält. „Die aufgezeigten Möglichkeiten, auf bestehende Erdgasinfrastruktur zurückzugreifen und Trassen zu bündeln, zeigen, dass wir etwa 55 Prozent der nötigen Investitionskosten gegenüber reinen Neubautrassen einsparen können“, so Steinbach.

Im Rahmen der vom Ministerium beauftragten Studie wurde eine Analyse erstellt, mithilfe derer die zukünftigen

H₂-Verbräuche und -Erzeugungspotenziale bis zum Jahr 2045 prognostiziert werden können. Anhand des so ermittelten Bedarfs wurden kosteneffiziente Trassenverläufe abgeleitet. Ziel ist dabei die Entwicklung eines übergeordneten H₂-Netzes, das regionale Erzeuger, Speicher sowie Endverbraucher miteinander verbindet – und sich später in eine deutschlandweite H₂-Infrastruktur einfügt.

„Es hat eine Gesamtlänge von rund 1.100 km“, resümiert Florian Temmler, Projektmanager bei Infracon Infrastruktur Service. Davon seien rund 600 km umgestellte Erdgasleitungen und etwa 500 km Neubaustrecken. „Damit ist ein wirtschaftlich sinnvoller Netzaufbau in Brandenburg gewährleistet.“

Die Studie zeigt erstmals auch den Umfang der nötigen Investitionen: 1,221 Mrd. Euro. Erstellt hat sie ein Konsortium aus der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG), dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) sowie dem Reiner Lemoine Institut (RLI) und der INFRACON Infrastruktur Service.

Der 2022 in Betrieb gegangene Online-Wasserstoffmarktplatz Berlin-Brandenburg ermöglicht laut Steinbach schon eine Vorstellung davon, wie groß der Bedarf ist: Fast 300 Unternehmen und Institutionen mit mehr als 300 Projekten sind dort bereits registriert. Denn Brandenburg ist einerseits ein wichtiges Transitland für Energieim- und -exporte. Andererseits hat es erhebliches Potenzial für die Erzeugung von grünem Strom und Wasserstoff sowie deren Verwertung.

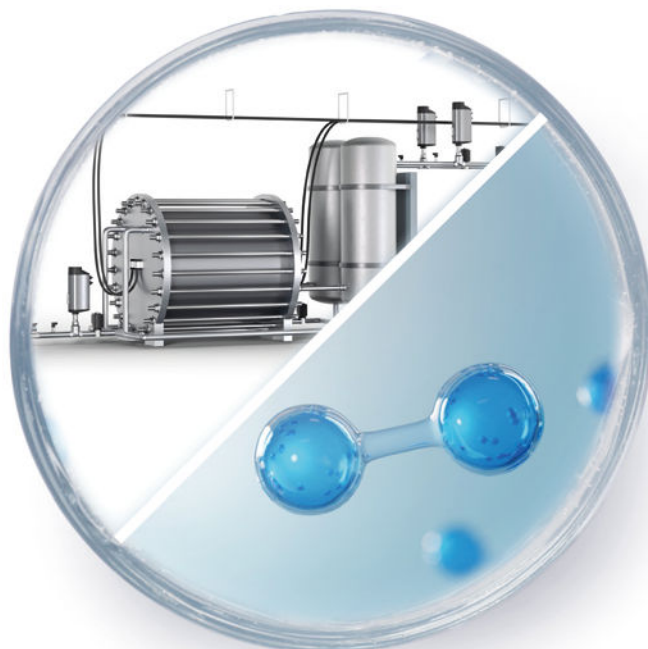
„Langfristig könnte die regionale Wasserstoffherzeugung auf über 20 TWh steigen, wobei ehemalige Kohletagebaustätten ein besonders hohes Potenzial aufweisen“, sagt Thorsten Spillmann vom Fraunhofer IEG. Perspektivisch könnten es sogar 40 TWh werden, mehr als zwei Drittel davon in der Industrie. ||

We make ideas flow.

Tel. +49 7940 10 0

info@buerkert.de

www.buerkert.de



HYDROGEN
FUEL CELLS
HANNOVER MESSE

17. - 21.04.2023
Halle 13
Stand C08



Wasserstoff / Fluidische Lösungen für eine saubere Zukunft mit Wasserstoff.

Wasserstoff als umweltfreundlicher Energieträger steht an der Schwelle zur Industrialisierung. Systeme und Komponenten von Bürkert finden sich in der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette beginnend mit der Wasserstoffherzeugung bis hin zur Wasserstoffnutzung wieder. Unsere passgenauen Lösungen übernehmen den hohen und feinfühligsten Regelaufwand der verschiedenen Gase und Medien in Elektrolyse- oder Brennstoffzellensysteme. Dabei regeln diese präzise, zuverlässig und sind speziell auf die Anforderungen dieses „neuen“ Einsatzbereichs zugeschnitten.

bürkert
FLUID CONTROL SYSTEMS

WASSERBEDARF KEIN HINDERNIS FÜR GRÜNEN WASSERSTOFF

Untersuchungen des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches

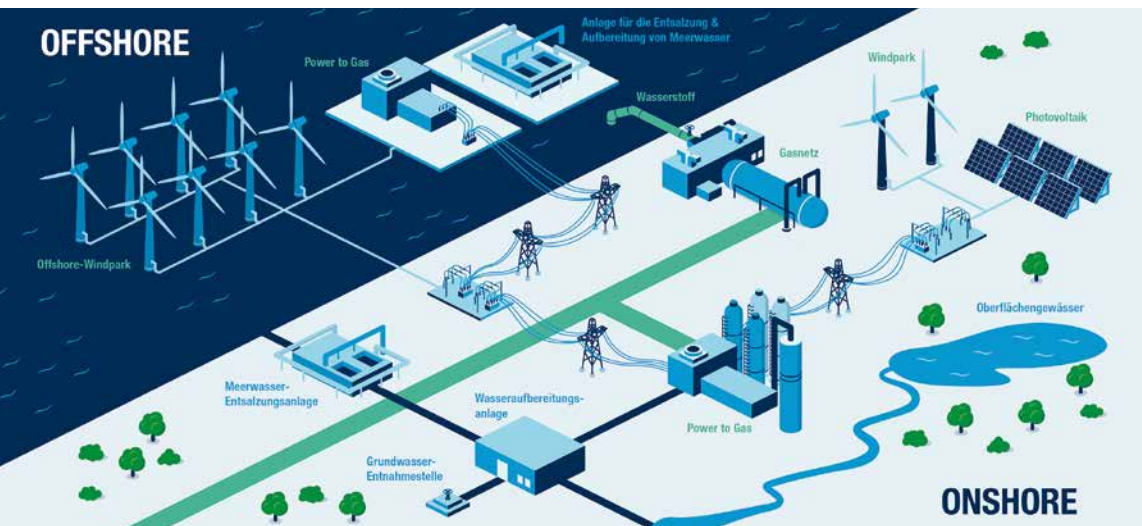


Abb.: Abhängig davon, ob die Elektrolyse offshore oder onshore erfolgt, stehen unterschiedliche Quellen für die Produktion von Reinstwasser zur Verfügung [Quelle: DVGW]

8

Beim Ausbau der Elektrolysekapazität auf 10 GW würde die Wassernachfrage in Deutschland kaum steigen. Mit Rücksicht auf den Klimawandel rät der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) jedoch zur konsequenten Umsetzung eines integralen Wassermanagements.

Die Aussage von DVGW-Expertin Dr. Florencia Saravia ist eindeutig und logisch: „Kein grüner Wasserstoff ohne Wasser.“ Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. hat untersucht, welche Wassermengen für die Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse benötigt werden. Das Ergebnis ist klar: Die Trinkwasserversorgung in Deutschland wird dadurch nicht beeinträchtigt. Selbst bei einer Elektrolyseleistung von 40 GW würde die gesamte Wassernachfrage in Deutschland lediglich um weniger als ein Prozent ansteigen.

Der Wasserbedarf hat sich seit 1991 auf 20 Mrd. m³ mehr als halbiert. Hauptnutzer ist die Energiewirtschaft mit 44 Prozent der Entnahmen. Diese benötigt vorwiegend Kühlwasser. Dieses wird allerdings nicht verbraucht, sondern größtenteils wieder dem Wasserkreislauf zugeführt. Steigend ist der Bedarf der Landwirtschaft. Hier wurden allein für die Beregnung im Jahr 2019 fast 450 Mio. m³ Rohwasser verwendet. Im Vergleich dazu fällt hier die vom DVGW berechnete benötigte Wassermenge für die bis 2030 angestrebte Elektrolyseleistung von 10 GW mit 9 Mio. m³ Süßwasser relativ überschaubar aus.

ERZEUGUNG VON REINSTWASSER Für die Herstellung von grünem Wasserstoff wird Reinstwasser benötigt. Über verschiedene Verfahrensschritte – Vorbehandlung, Make-up/Entsalzung, Polishing/Nachbehandlung – muss das Rohwasser auf die entsprechende Reinheit gebracht werden. Angestrebt werde dabei eine Wasserqualität des Typs I oder II, erläutert Expertin Saravia. Abhängig vom Hersteller und dem Typ des Elektrolyseurs finde man unterschiedliche Angaben und Anforderungen an das Reinstwasser.

Als Faustformel gilt: 10 kg Reinstwasser ergeben ein Kilogramm Wasserstoff. Zusätzlich wird noch Kühlwasser für

den Betrieb des Elektrolyseurs benötigt. Zu berücksichtigen ist auch die Art des Rohwassers. Wird Meerwasser verwendet, liegt die Ausbeute bei 40 bis 50 Prozent, bei anderen Quellen wie Grundwasser werden 75 bis 80 Prozent erreicht. Der abgetrennte Rest bleibt als Konzentrat (Brine) zurück.

Welche Wasserquellen angezapft werden, ist vor allem vom Standort abhängig. Erfolgt die Wasserstoffgewinnung an Land, kommt neben Oberflächen- und Grundwasser auch gereinigtes Abwasser infrage. Aufbereitetes Trinkwasser sollte laut DVGW nicht verwendet werden. In Meeresnähe ist auch entsalztes Meerwasser eine Option.

Bei Offshore-Windparks stehen vorwiegend zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Erfolgt die Elektrolyse direkt auf dem Meer, dürfte entsalztes Meerwasser das Mittel der Wahl sein. Wird der Strom dagegen zuerst an Land transportiert und der Wasserstoff dort produziert, stehen wiederum die genannten Onshore-Optionen zur Verfügung. Laut einer Studie der Stiftung Offshore-Windenergie, die die aktuellen Planungen berücksichtigt, soll ein Drittel der Elektrolysekapazitäten offshore und der Rest onshore installiert werden.

FAKTOR KLIMAWANDEL Trotz der im Vergleich relativ geringen Wassermengen ist der Klimawandel mit seinen Auswirkungen auf das Wasserdargebot ein immer wichtigerer Faktor. Hier rät der DVGW zu einer angepassten Versorgungsstrategie je nach Standort. Dabei sind insbesondere Regionen zu berücksichtigen, die in den vergangenen Jahren von Trockenheit stärker betroffen waren, wie Brandenburg, Sachsen-Anhalt oder Niedersachsen. Neben der Nutzung von Meerwasser rät Expertin Saravia hier insbesondere zum Einsatz von Abwässern aus Kläranlagen.

Hier sollte dann jedoch auch die Politik mitspielen. Denn bei der Erschließung neuer Wasserressourcen müssten auch neue Wege beim Genehmigungsrecht eingeschlagen werden, fordert der DVGW. Geklärt werden muss auch, wie mit dem Ablaufwasser aus Elektrolyseanlagen umzugehen ist. Hierzu laufen laut DVGW-Mitarbeiterin Saravia derzeit mehrere Projekte. ||

UMWELT IM ÖKOLOGIEDISKURS



Abb.: „Ein Tropfen“ – Acryl-Malerei auf Leinwand (90 cm x 90 cm)
[Bild: Alexander F. Jagelowitz]

Über den Jahreswechsel hat in Hamburg die Biennale Internationale Malerei unter der Schirmherrschaft von Wirtschaftssenator Michael Westhagemann stattgefunden. Im Bergedorfer Schloss wurden vom 8. November 2022 bis zum 31. Januar 2023 47 Bilder verschiedenster Techniken ausge-

stellt – und zwar zum Thema „Umwelt im Ökologiediskurs: Wasserstoff“. Laut Cornelia Schmidt-Hoffmann, Bezirksamtsleiterin von Bergedorf, erfreute sich die Veranstaltung, die pandemiebedingt mehrmals verschoben worden war, einer „wahnsinnigen Resonanz“.

Der gemeinnützige Kulturaustausch Hamburg-Übersee e.V., der sich alle zwei Jahre ein neues Motto aussucht, lobte

zusammen mit seiner hauseigenen Galerie KAM (ehemals Kunststätte am Michel) dieses Jahr „das Supermolekül H_2 “, wie es sein Pressesprecher Sven Jösting formulierte. So heißt es beispielsweise über das obige Bild von Alexander Franklin Jagelowitz in der Beschreibung: „Wasserstoff im Auge ‚Tropfen‘ des Betrachters. Grün wird er letztendlich sein, aber all die anderen Farben, die sich auf die Energieform für die Herstellung von Wasserstoff beziehen, haben ihre Berechtigung. Und das Wasser wird weltweit vor allem über die Meerwasserentsalzung gewonnen ... hier der Rahmen des allseits sehenden Wasserstoff-Auges. Das ist fast schon freimaurerisch!“

Jagelowitz, Maler, Bühnenbildner und Grafiker aus Litauen, sagte dazu: „Chaos ist für mich der Anfang aller Dinge und meines schöpferischen Schaffens. Wir wissen viel und wieder nichts.“ Seine vielfach ausgezeichneten Arbeiten sind in zahlreichen Museen und Privatsammlungen im In- und Ausland vertreten.

Auch das Titelbild dieses HZwei-Hefts stammt aus dieser Ausstellung. Es ist von Liliane Orlinski und trägt den Titel: „Am Ende wird er grün sein – der Wasserstoff (Mischtechnik auf Leinwand)“. Die Künstlerin erklärte: „Was für eine energiegelvolle Dynamik im Wasserstoff steckt! Ich habe da eine Gewichtung im Farbspiel des Wasserstoffs gewählt, die der zukünftigen Entwicklung, ausgedrückt im jeweiligen Anteil, entspricht.“ ||

→ www.galerie-kam.de/wasserstoff-8-int-malerei-biennale-hamburg/

9

ees[®]
electrical energy storage



14.–16.
JUNI
2023

MESSE MÜNCHEN

**Europas größte Fachmesse für
Batterien und Energiespeichersysteme**

- **Innovating Energy Storage:**
Von Brennstoffzellen und Elektrolyseuren bis zu Power-to-Gas
- **Energieträger der Zukunft:**
Grüner Wasserstoff als Schlüssel für ein klimaneutrales Wirtschaftssystem
- **Zielgruppe Profis:**
Für Zulieferer, Projektierer, Hersteller, Produktentwickler, Händler und Energieversorger
- **Branchentreffpunkt:**
Treffen Sie 85.000+ Energieexperten und 1.600 Aussteller auf vier parallelen Fachmesen

WASSERSTOFF ALS MESSE-HIGHLIGHT

Hannover Messe zeigt Transformationsprozess der Industrie



Abb. 1: Messe-Chef Dr. Jochen Köckler bei den 3minutes2talk in Berlin

10

Vom 17. bis zum 23. April findet in diesem Jahr die weltweit größte Industrieschau in Hannover statt. 2023 dürfte die Hydrogen + Fuel Cells Europe, die einmal als kleiner Gemeinschaftsstand gestartet ist, eines der Zugpferde dieser Technologieschau werden. Die Messe auf der Messe hat sich über mittlerweile drei Jahrzehnte hinweg zu einem Branchen-Highlight des H₂- und BZ-Sektors entwickelt und wird dieses Mal auf rund 10.000 m² Bruttofläche eine umfassende Übersicht über neuste Entwicklungen und verschiedenste Technologiepfade bieten.

Das Motto der diesjährigen Hannover Messe lautet: „Industrial Transformation – Making the Difference“. Inhaltlich soll es um die industriellen Veränderungen gehen, die erforderlich sind, um den CO₂-Ausstoß spürbar und im großen Maßstab zu reduzieren. Zahlreiche international führende Unternehmen aus dem Maschinenbau, der Elektro- und Digitalindustrie sowie der Energiewirtschaft (insg. über 4.000 Aussteller) wollen passend dazu ihre Lösungen für eine ressourceneffiziente, klimaneutrale und resiliente Produktion zeigen.

Dr. Jochen Köckler, Vorsitzender des Vorstands der Deutschen Messe AG, erklärte: „Konzerne, Mittelstand, Start-ups sowie Wissenschaft, Politik und Gesellschaft sind gemeinsam gefordert. Nur im Zusammenschluss kann es gelingen, die industrielle Produktion und damit unseren Wohlstand und unsere Zukunft nachhaltig zu sichern und gleichzeitig den Klimaschutz voranzutreiben.“

AUFBAU EINER GLOBALEN H₂-WIRTSCHAFT In Vorbereitung auf die Industrieschau veranstaltete die Deutsche Messe für die Wasserstoff-Community – wie schon 2022 – einen Networking-Event in Berlin. Am 23. Januar 2023 präsentierten zehn Vertreter unterschiedlicher Firmen ihre aktuellen Projekte und Lösungen rund um Wasserstoff und Brennstoffzellen in jeweils dreiminütigen Pitches in der Vertretung des Landes Niedersachsen beim Bund. Die so-

genannten 3minutes2talk standen unter dem Motto „Aufbau einer globalen Wasserstoffwirtschaft“ und wurden vom niedersächsischen Wirtschaftsminister Olaf Lies eröffnet.

Neben Gastgeber Dr. Jochen Köckler waren unter anderem Vertreter der FEST Gruppe, von Iberdrola Energie Deutschland, von ThyssenKrupp Nucera und von Ørsted anwesend. Außerdem sprach S.E. Arif Havas Oegroseno, Botschafter der Republik Indonesien, als Vertreter des diesjährigen Partnerlandes ein Grußwort. Der indonesische Staatspräsident Joko Widodo hat seine persönliche Teilnahme an der HM23 zugesagt und wird sowohl auf der Eröffnungsfeier am 16. April sprechen als auch am Messerontag mit Bundeskanzler Olaf Scholz am Kanzlerrundgang teilnehmen.

Wasserstoff wird dann eines von fünf Trendthemen sein – neben CO₂-neutraler Produktion, künstlicher Intelligenz, Energiemanagement und Industrie 4.0. Nach Auskunft der Deutschen Messe werden in diesem Jahr „mehr als 500 Unternehmen“ Wasserstoff- und Brennstofftechnologien auf dem Messegelände in Hannover präsentieren. Allein auf der Fachmesse Hydrogen + Fuel Cells, die ihre Ausstellerzahl sowie die Fläche um 25 Prozent erweitert, werden rund 270 Institutionen erwartet. Damit belegt sie die Hälfte von Halle 13.

H2ECO AWARD ERNEUT AUSGESCHRIEBEN Nach der positiven Resonanz aus dem Vorjahr gibt es 2023 auch wieder einen H2Eco Award – wieder unter der Schirmherrschaft des Bundeswirtschaftsministers. Der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) e.V. und die Deutsche Messe AG werden diese Auszeichnung gemeinsam an Unternehmen verleihen, die sich in herausragender Weise für eine H₂-Marktwirtschaft einsetzen – insbesondere hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit, Versorgungssicherheit und Klimaschutz.

Die feierliche Verleihung dieses mit 5.000 Euro dotierten Preises erfolgt am 18. April 2023 auf dem Public Forum in Halle 13 durch Wirtschaftsminister Robert Habeck.

Stark vertreten wird wieder mal die Elektrolyseurfraction sein – voraussichtlich mit über 20 Firmen. Besondere Freude bereitet Organisator Tobias Renz, dass „die Chinesen wieder zurück sind“. Allein aus der Volksrepublik werden mit Re-fire und mehreren Elektrolyseurherstellern rund 20 Akteure auf dem orangefarbenen Teppich vertreten sein. Außerdem wird es einen 145 m² großen norwegischen Pavillon mit Firmen wie Nel, Teco 2030 sowie Yara geben.

EMERSON ZEIGT AUTOMATISIERUNGSTECHNIK Emerson Electric Co., ein US-amerikanischer Spezialist für Automatisierungstechnik, stellt – zum zweiten Mal nach 2022 – in Hannover aus und wird sein gesamtes Produktportfolio präsentieren. Dazu gehört unter anderem der Aufbau kompletter Fertigungsanlagen für Elektrolyseure und Brennstoffzellen. Ursprünglich kommt das 1890 gegründete Unternehmen aus der Öl- und Gasbranche, widmet sich mittlerweile aber stark nachhaltigeren Themenfeldern. Allein in Deutschland beschäftigt der weltweit agierende Konzern über 3.500 Mitarbeitende.

Nach Aussage von Tassilo Gast, Development Manager bei der Emerson Process Management GmbH & Co. OHG, gegenüber HZwei bietet das in Langenfeld ansässige Unternehmen ein sehr viel umfangreicheres Dienstleistungsspektrum als vergleichbare Mitbewerber (z. B. Siemens, ABB, Honeywell) an, da auch vor- und nachgelagerte Produktionsschritte inklusive der gesamten Dokumentation mit eingebunden werden. ||

GRATIS-FACHBESUCHER-TICKETS



Abb. 2: Hannover Messe 2022

Als Mediapartner der Deutschen Messe bietet der Hydrogeit Verlag wieder kostenlose Eintrittskarten für Fachbesucher an, damit sich Interessenten insbesondere über Wasserstoff und Brennstoffzellen umfassend informieren können. Gratis-Eintrittskarten können über folgenden Link bestellt werden:

→ <https://www.hannovermesse.de/de/?open=ticketRegistration&code=4ZkXp>

11

WHAT DO

H₂

AND

HAVE
IN COMMON?H₂ EXPO &
CONFERENCE

28-29 JUNE 2023
24-27 SEPTEMBER 2024
HAMBURG

JOIN THE GLOBAL
NETWORK FOR
HYDROGEN SOLUTIONS.



IN 2024 CO-LOCATED WITH
WindEnergy
Hamburg
The global on & offshore event



DAS H₂-NETZ DER ZUKUNFT ENTWICKELT SICH AUS DEM GASNETZ DER GEGENWART

Statement des EU-Abgeordneten Dr. Christian Ehler

Derzeit wird heftig darüber diskutiert, ob die bisherigen Betreiber der Erdgasnetze auch die zukünftigen Wasserstoffnetze managen sollten. Die EU-weit geltenden Regularien zum Unbundling sehen eine Entflechtung der Tätigkeiten von Netzbetreibern vor. Laut Bundesnetzagentur sind „Transparenz und diskriminierungsfreie Ausgestaltung des Netzbetriebs Grundvoraussetzungen, um Wettbewerb in den vor- und nachgelagerten Bereichen der Wertschöpfungskette zu fördern und Vertrauen bei den Marktteilnehmern zu schaffen“, weshalb eine Entflechtung (engl. unbundling) essentiell sei. Diese Vorgabe betraf bislang nur die Strom- und Erdgasnetze. Jetzt aber, da ein europaweites H₂-Netz aufgebaut werden soll, stellt sich die Frage, welche Regeln dann für ein solches gelten sollen.

Die EU-Kommission möchte die Regelungen auf europäischer Ebene vereinheitlichen und überarbeitet deswegen aktuell die EU-Gasbinnenmarkttrichtlinie und -verordnung. Nach deren bisherigem Entwurf soll für die Zukunft gelten, dass Verteilernetzbetreiber ihre Wasserstoffnetze veräußern müssten, wobei maximal eine Minderheitsbeteiligung mit eingeschränktem Stimmrecht möglich wäre. Die Veräuße-



Abb.: Dr. Christian Ehler [Quelle: C. Ehler]

rung aus dem Konzern wäre dann Pflicht, wenn das Energieversorgungsunternehmen bereits ein Gas- oder Stromnetz betreibt, was zur Folge hätte, dass fast alle Ferngasnetzbetreiber in Deutschland ihren H₂-Betrieb ausgliedern müssten. Einen Anreiz, bestehende Gasnetze auf Wasserstoff umzurüsten, gäbe es somit nicht, was jedoch der Zielsetzung der aktuellen Politik sowie der Nationalen Wasserstoffstrategie entgegensteht.

Dass die EU dennoch diesen Weg favorisiert, liegt daran, dass sie von anderen Rahmenbedingungen ausgeht, als sie beispielsweise auf nationaler Ebene (z. B. in Deutschland) vorherrschen. So differenziert die EU in ihrem Gesetzesvorschlag nicht zwischen Fernleitungsnetzbetreibern und Verteilernetzbetreibern. Die Besonderheiten des deutschen Rechtes bleiben somit unberücksichtigt. Zudem setzt sie nicht auf eine großflächige Umrüstung bestehender Erdgasnetzinfrastruktur, sondern auf die Herstellung klimaneutraler Gase, die in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden sollen. Der Betrieb reiner Wasserstoffnetze wird eher als Ergänzung zum bestehenden Methannetz gesehen, während Deutschland reine Wasserstoffnetze als Standard ansieht.

DR. EHLER BEGRÜSST NEUE GESETZGEBUNG Am 9. Februar 2023 hat der Ausschuss für Industrie, Forschung und Energie des Europäischen Parlaments über die Gesetzgebungsvorschläge des Gasmärkte- und Wasserstoffpakets abgestimmt. Dazu erklärt der Brandenburger CDU-Europaabgeordnete und industrie- und energiepolitische Sprecher der EVP-Fraktion Dr. Christian Ehler:

„Um die EU-Klimaziele zu erreichen und unsere produzierende Wirtschaft zu dekarbonisieren, muss unser Energiesystem ganz massiv umgebaut werden. Das Gasmärkte- und

12

Wasserstoff Region
Rheinland e.V.

HyCologne

Vernetzt. Entwickelt. Setzt um.

HyCologne e.V. vernetzt Akteure aus Wirtschaft, Kommunen und Forschung, entwickelt und realisiert mit Ihnen Wasserstoff-Projekte für den Klimaschutz.

www.hycologne.de

Wasserstoffpaket ist ein ganz entscheidendes Puzzlestück für die gesamte Fit-for-55-Gesetzgebung und das EU-Instrument zur Dekarbonisierung im Gassektor. Diese wird, insbesondere für die Industrie, nur mit Wasserstoff und der entsprechenden Infrastruktur funktionieren.

Es ist nun von größter Bedeutung, den Wasserstoffmarkt anzukurbeln, indem die Wasserstoffproduktion schneller und unbürokratischer gestaltet wird und dringend ein Plan zur Schaffung eines Europäischen Wasserstoff-Backbone (EHB) entwickelt wird. Der Europäische Wasserstoff-Backbone bietet die Möglichkeit, die europäische Industriewirtschaft wiederzubeleben und gleichzeitig die Widerstandsfähigkeit des Energiesystems, eine größere Energieunabhängigkeit und die Versorgungssicherheit in ganz Europa zu gewährleisten.

Mit den heutigen Abstimmungen wurden nun seitens unseres Ausschusses zentrale Weichen gestellt. In sehr vielen Punkten enthalten die beiden abgestimmten Dossiers eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Kommissionsvorschlag. Das gilt insbesondere für die Entflechtungsregeln in der Richtlinie. Alle Entflechtungsmodelle, die wir vom heutigen Gas- und Strommarkt kennen, sollen zeitlich unbegrenzt zur Verfügung stehen. Dies wird Anreize für die Umnutzung bestehender Pipelines zu Wasserstoffpipelines schaffen, da die Netzbetreiber von ihren Investitionen in die Wasserstoffinfrastruktur profitieren werden.

Nach dem Vorschlag der Kommission müssten diese ihre Wasserstoffinfrastruktur im Jahr 2030 verkaufen, was sie unweigerlich davon abhalten würde, in die Wasserstoffinfrastruktur zu investieren, und sich folglich negativ auf die

Entwicklung eines Wasserstoff-Backbones auswirken würde. Wasserstoff bietet große Chancen für Brandenburg, es ist ein attraktiver Standort für eine Elektrolyseindustrie. Die Energiewende kann nur unter Einbeziehung gasförmiger Energieträger gelingen. Bedauerlicherweise werden die vielen Weichenstellungen in den Vorschlägen der EU-Kommission aber durch einzelne Regelungen behindert. Denn die Vorschläge gehen fälschlicherweise davon aus, dass sich der Gasbedarf der Wirtschaft durch eine Konzentration auf das Fernleitungsnetz unabhängig von Braunkohle bewerkstelligen lasse.

Tatsächlich beziehen heute die meisten Gewerbekunden in Deutschland Gas über diese Verteilernetze. Der Ansatz der EU-Kommission bedurfte deshalb einer Korrektur. Gasverteilernetze dürfen künftig nicht vom Wasserstofftransport ausgeschlossen werden. Ganz Brandenburg sollte sich als Energie-Modellregion definieren. Wasserstoff wird hier – neben seinem Einsatz als Brennstoff – als Speicher und Transportmittel dienen. Ziel ist es, die märkischen Industrie- und Erzeugungsstandorte für grünen Wasserstoff an das zukünftige europäische Wasserstoffnetz anzubinden.

Wir haben heute festgelegt, wie erneuerbare und kohlenstoffarme Gase leichter in das bestehende Gasnetz eingespeist werden können und wie der Aufbau einer speziellen Wasserstoffinfrastruktur und eines eigenen Wasserstoffmarktes ermöglicht werden soll. Das Wasserstoffnetz der Zukunft wird sich aus dem Gasnetz der Gegenwart entwickeln. Die heute beschlossenen Rahmenbedingungen werden helfen, das Wasserstoffnetz mit der erforderlichen Geschwindigkeit und dem erforderlichen Know-how einzurichten.“ ||



EISENHÜTH

Wasserstoff - der Harz wird grün!

Wir l(i)eben Wasserstoff,
.... auch wenn wir ein Stück
länger bis zur Tankstelle
fahren müssen.

Hersteller von Komponenten
für Elektrolyseure und Brennstoffzellen



WÄRMENETZ MIT SEKTORENKOPPLUNG IN BOSBÜLL

Modell für eine fossilfreie Energiezukunft



Abb. 1: Solarparks und Windkraftträder in Bosbüll – auch nach Ablauf der EEG-Förderung wirtschaftlich und umweltfreundlich im Einsatz [Quelle: GP JOULE GmbH]

Seit einiger Zeit macht eine kleine Gemeinde in Nordfriesland energietechnologisch von sich reden, denn die energetische Versorgung des neuen Wärmenetzes von Bosbüll ist alles andere als Standard. Durch ein Power-to-X-Konzept und eine dreifache Sektorenkopplung bleiben die Ü20-Wind- und Solaranlagen auch im Post-EEG-Betrieb rentabel, während die Wärmeversorgung der 250-Seelen-Gemeinde gesichert bleibt. Das nordfriesische Leuchtturmprojekt zeigt, wie grüne Energiezukunft intelligent geschrieben werden kann.

Am 8. September 2021 hat die nordfriesische Gemeinde nahe der dänischen Grenze das erste Power-to-Heat-Wärmenetz (PtH) Schleswig-Holsteins mit einem „Wärmefest“ feierlich eröffnet. Doch schon vor der Einweihung profitierten die bereits angeschlossenen Haushalte und ein landwirtschaftliches Großunternehmen von dem neuen, 2.680 Meter langen Fernwärmenetz.

Startpunkt war die Heizzentrale, die die Yados GmbH, die für die technische Realisierung der PtH-Lösung und das Leitsystem verantwortlich zeichnet, konstruiert und in Bosbüll aufgestellt hat. Die in einer 60 Tonnen schweren Betonzelle untergebrachte Energiezentrale steht direkt neben dem ersten Abnehmer, einer Muttersauenzucht. In unmittelbarer Nähe der Energiezentrale hat auch eFarm seinen Sitz, an den das Wärmenetzsystem sektorengekoppelt ist. In etwa einem Kilometer Entfernung erreicht das neu ausgebaute Wärmenetz die 25 Bosbüller Haushalte, die in der ersten Bauphase angeschlossen wurden. Weitere private und gewerbliche Abnehmer sollen in einem zweiten Schritt folgen.

VOM POST-EEG-BETRIEB ZUR ENERGIETECHNOLOGISCHEN BLAUPAUSE Zwei Bürgerwind- und -solarparks liefern seit Jahren elektrische Energie für die Gemeinde Bosbüll. Das hat ökonomische Vorteile zum einen für die BürgerInnen, die an den Parks finanziell beteiligt sind, und zum anderen für die Gemeinde selbst, die durch die Gewerbesteuererinnahmen zahlreiche neue Projekte finanzieren kann. So bleibt die Wertschöpfung in der Region und trägt zu deren ökonomischer Stabilität bei. Ende 2021 lief die EEG-Förderung für zwei der Windenergieanlagen aus, weitere fallen in den kommenden Jahren aus dem Förderrahmen heraus. Auch der Solarpark verliert seine Bezuschussung Ende des Jahrzehnts.

Doch mit dem Power-to-X-Projekt, das die Sektoren Stromerzeugung, Wärmebereitstellung und Kraftstoffproduktion koppelt, bleiben die alternativen Energiequellen weiterhin wirtschaftlich, und die Gemeinde profitiert durch eine zukunftsweisende ökologische und ökonomische Versorgungslösung.

BAFA-FÖRDERUNG – KOMPLIZIERT, ABER LOHNEND Um den Förderantrag beim BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) zu stellen, wurden die Bosbüll Energie GmbH und die Bosbüll Energie GbR gegründet. Da die Gemeinde laut schleswig-holsteinischem Kommunalrecht nicht an einer GbR beteiligt sein darf und gleichzeitig Energieerzeuger und Energieverbraucher in einer Hand sein müssen, war die Kommune gezwungen, aus der eigentlich geplanten Teilhabe selbst auszusteigen. Nach langen, umfangreichen Planungsarbeiten konnte der Antrag für das Förderprogramm „Wärmenetzsysteme 4.0“ des BAFA schließlich gestellt werden, und das mit lohnendem Ergebnis: Von 1,9 Mio. Euro Aufwand sind 1,6 Mio. Euro förderfähig.

Verantwortlich für die Konzeption, Planung und Umsetzung des Verbundprojekts ist die GP Joule GmbH. Die Zusammenarbeit mit Akteuren in der Gemeinde hat bereits 2009 begonnen, als das nordfriesische Unternehmen den Solarpark projektiert und gebaut hat. Seitdem ist es für die technische Betriebsführung zuständig. Darüber hinaus ist GP Joule zusammen mit dem Windpark Bosbüll Gesellschafter der Bosbüll Energie GmbH und als Initiator für das Wasserstoffprojekt eFarm zuständig.

MIT POWER-TO-HEAT INS WÄRMENETZ Das PtX-Projekt steht auf zwei Säulen: Zum einen sorgt eine ausgeklügelte Power-to-Heat-Lösung über Luft-Wasser-Wärmepumpen für die Wärmeversorgung via eigenes Fernwärmenetz, und auf der anderen Seite produziert eine Power-to-Gas-Anlage Wasserstoff für ein überregionales H₂-Mobilitätskonzept.

Um den jährlichen Bedarf der angeschlossenen Haushalte mit insgesamt



Abb. 2: Die Energiezentrale und der 14 Meter hohe Wärmespeicher
[Quelle: YADOS GmbH]

rund $500 \text{ MWh}_{\text{therm}}$ und des landwirtschaftlichen Großbetriebs mit etwa $600 \text{ MWh}_{\text{therm}}$ zu decken, stehen in Bosbüll drei vorlaufgeregelt Luft-Wasser-Wärmepumpen. Sie wandeln den regenerativ erzeugten Strom aus den Bürgerenergieparks mit einer Gesamtleistung von 240 kW in Wärmeenergie für das Wärmenetz um. Ein Elektroheizeinsatz mit einer Leistung von 750 kW ergänzt die thermische Energie, indem er in einem 14 Meter hohen und 84 Kubikmeter großen Speicher Wasser erhitzt. Auf diese Weise kann die Energie bis zu vier Wochen zwischengespeichert werden. In der Energiezentrale stehen darüber hinaus ein Hoval-Max-3-Gasheizkessel zur Spitzenlastabdeckung sowie eine Hydraulikstation zur Wärmeverteilung bereit.

IST DIE HYDRAULIK IM FLUSS, IST DIE ANLAGE IN BALANCE

Um das Maximum an Effizienz bezogen auf das gesamte thermische Energiesystem zu erreichen, müssen die beteiligten Erzeuger und Verbraucher aufeinander abgestimmt und möglichst nah an ihrem jeweiligen Wirkungsgradoptimum betrieben werden. Hierfür ist die Hydraulikstation des in Hoyerswerda ansässigen Unternehmens Yados zuständig: Sie optimiert zum einen das Zusammenwirken von Energieerzeuger, Wärmeerzeuger, Wärmespeicher und Wärmeverteiler. Zum anderen stellt die Hydraulikstation grundsätzlich sicher, dass thermische Energie zur geplanten Zeit in der gefragten Menge am richtigen Ort zur Verfügung steht – und das Ganze unter Verwendung möglichst geringer Antriebsenergie.

Außerdem bindet sie nicht nur den Wärmespeicher so ins System ein, dass nur Lade- und Entladevolumenströme durch den Speicher fließen, sondern verbessert auch die Schichtung der Temperaturen. Für den bedarfsgerechten Fernwärmenetzbetrieb sind niedrige Rücklauftemperaturen maßgeblich. Sie beeinflussen nicht nur die Volumenströme, die Übertragungskapazität und den elektrischen Pumpenaufwand, sondern minimieren auch gleichzeitig Strömungs- und Wärmeverluste. Die Vorlauftemperatur liegt bei 70 bis $85 \text{ }^\circ\text{C}$, während die Rücklauftemperatur etwa 50 bis $55 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt.

SMARTE ANLAGENSTEUERUNG Ein weiterer wichtiger Punkt, um das hohe Effizienzpotenzial eines intelligenten Sektorkopplungskonzepts vollumfänglich ausschöpfen zu können, ist eine gut abgestimmte Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR). Sie übernimmt die komplexe Aufgabe der exakt aufeinander abgestimmten Systemintegration aller am Prozess beteiligten Komponenten. Die ostdeutschen Wärmenetzspezialisten haben hierfür das Leit- und Kommunikationssystem YADO|LINK installiert. Um die wichtigsten Anlagenparameter direkt zu koordinieren, regelt und vernetzt das Steuersystem neben sämtlichen Anlagen der Energiezentrale auch die Wärmeübergabestationen und ihre eingebauten DDC-Regler. Auf einem großflächigen und bedienerfreundlich eingerichteten $21,5\text{-Zoll-Display}$ können die Zuständigen durch das Prinzip des Echtzeit-Monitorings alle anlagenrelevanten Daten und Informationen abrufen und einsehen: Temperaturen, Drücke, Störmeldungen usw. Um die Installation und die Inbetriebnahme der Steuertechnik so einfach wie möglich zu gestalten, lieferten die Ingenieure das Ganze in zwei kombinierbaren Schaltschrankgehäusen fertig vormontiert und verdrahtet in Bosbüll an.

SICHERHEIT UND EFFIZIENZVERBESSERUNG DURCH MSR-TECHNOLOGIE

Die Leittechnik dient generell als Koordinationsinstrument aller dezentralen Erzeugungs-, Verteil- und Übergabeprozesse von Wärmeenergie, Strom und Kälte. Zu ihrer Aufgabe gehört es, den gesamten Anlagenbetrieb nach definierten Soll-Vorgaben zu realisieren. Hierzu erfasst ein automatisiertes Echtzeit-Monitoring alle relevanten Daten und wertet diese schließlich aus. Kommt es auf der Verbraucher- oder der Erzeugerseite zu Abweichungen, greift die Regelungsfunktion und passt den entsprechenden Betrieb der betroffenen Komponente an.

Vernetzte Sensoren, Aktoren und modulare Regelungseinheiten liefern dem Leitsystem die hierfür erforderlichen Informationen. Dabei wird eine Vielzahl komplexer Funktionsabfragen verarbeitet. Im akuten Bedarfsfall kann so automatisiert oder manuell regulierend in laufende Produktions-, Speicher- oder Verteilvorgänge eingegriffen werden. Diese Bedarfsfälle treten nicht nur bei technischen Störungen, in Ausfallsituationen oder bei plötzlich veränderten Leistungsabfragen ein, auch die äußeren Bedingungen wie eine unvorhergesehene Hitzewelle oder ein spontaner Temperatursturz können dazu führen.

Eine strategische Optimierung der Anlagenführung ist ebenfalls durch eine kontinuierliche Auswertung aller systemimmanenten Soll- und Ist-Werte möglich, indem sich aus den gesammelten Informationen wiederkehrende Trends oder auch langfristige Vorhersagen ableiten lassen. MSR-Systeme der neuesten Generation gelten als wichtige Stellenschraube für die weitere Effizienzverbesserung in der Energieversorgung.

Darüber hinaus kann die Leittechnik zur Stabilisierung und zu einem höheren Komfort bei der Wärmebereitstellung >>

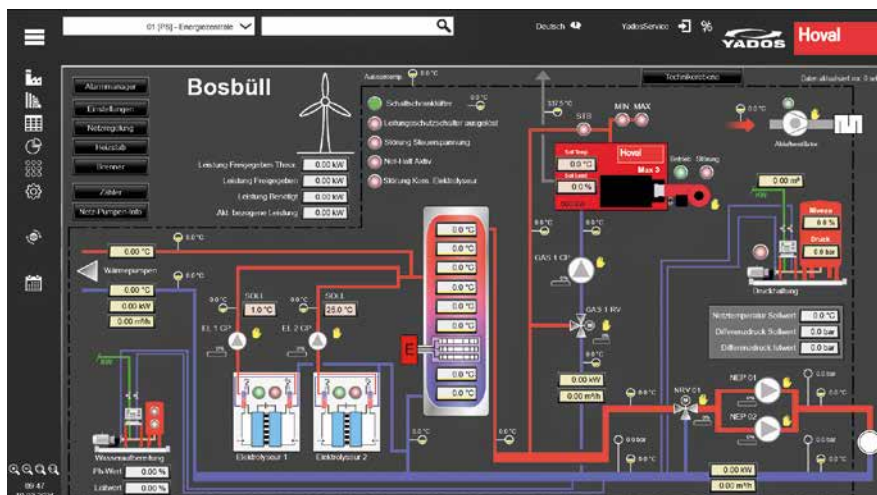


Abb. 3: Transparentes und aussagekräftiges Monitoring [Quelle: YADOS GmbH]

beitragen. Der Primärenergieeinsatz lässt sich durchschnittlich um acht bis zehn Prozent (in besonders nutzungsintensiven Fällen auch um bis zu 30 Prozent) durch die systembasierte Überwachung und Steuerung der Anlagenfahrweise und durch die Ausregelung der Rücklaufftemperaturen per MSR-Technologie senken.

WÄRMEÜBERGABESTATIONEN FÜR STABILE NETZFÜHRUNG Neben einer intelligenten übergeordneten Anlagensteuerung sind für den optimalen Betrieb eines Fernwärmenetzes die Wärmeübergabekomponenten von zentraler Bedeutung. In der kleinen nordfriesischen Gemeinde verbinden Smart-Home-fähige Wärmeübergabestationen die Gebäudeheizungsanlagen der Verbraucherseite mit dem Fernwärmenetz. Sie übertragen als regulierende Verbindungseinheit, hydraulisch durch einen Plattenübertrager getrennt, das Wärmemedium abhängig von Bedarf, Temperatur und Druck. Eine in den Übergabestationen verbaute Direct-Digital-Control-Regelung (DDC) berechnet dabei die erforderlichen Vorlauftemperaturen unter Einbezug aller relevanten – externen und individuell definierten – Parameter wie Witterungsverhältnisse oder Zeit- und Komfortvorgaben der Nutzer. In Planung sind weitere zusätzliche Anpassungen der Heizsysteme auf Seite der Verbraucher. Darüber hinaus sorgen in der nordfriesischen Kommune maximal gedämmte Rohre dafür, die Wärmeverluste im Fernwärmenetz so niedrig wie möglich zu halten.

MIT POWER-TO-GAS AUF DIE STRASSE Die Energie der Bürgerwind- und -solarparks dient neben dem Betrieb des Fernwärmenetzes auch der Produktion von grünem Wasserstoff. Dieser ist unverzichtbar für die langfristige Dekarbonisierung der Sektoren Mobilität, Wärme und Industrie. Der in Boscüll produzierte Wasserstoff wird zur Betankung von Wasserstofffahrzeugen genutzt.

Die Power-to-Heat-Anlage erhält durch den Anschluss an das eFarm-Projekt die ideale Ergänzung durch ein Power-to-Gas- bzw. Power-to-Fuel-Konzept. Dieses nachhaltige H₂-Mobilitätsprojekt zielt auf eine modular erweiterbare Wasserstoffinfrastruktur im Kreisgebiet Nordfriesland. Von den dort mittlerweile installierten fünf Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyseuren (PEM) stehen zwei in Boscüll. Die beiden generieren mit einer Gesamtleistung von 450 kW insgesamt täglich etwa 200 kg Wasserstoff aus dem regional erzeugten Solar- und Windstrom.

Dabei spaltet der Elektrolyseur mithilfe des elektrischen Stroms auf der Anodenseite seiner Elektroden destilliertes Wasser in Sauerstoff, freie Elektronen und positiv geladene H⁺-Ionen. Die H⁺-Ionen diffundieren durch die protonenleitende Membran auf die Kathodenseite, wo sie mit den Elektronen zu Wasserstoff werden.

Der Wirkungsgrad der Elektrolyseure in Boscüll liegt bei bis zu 95 Prozent. Das liegt unter anderem auch daran, dass die Abwärme der H₂-Erzeugung (etwa 100 MWh_{therm}) dem Wärmenetz zugeführt bzw. im Wärmespeicher zwischengepuffert wird. Der grüne Wasserstoff wird nach seiner Produktion an zwei H₂-Tankstellen in Niebüll und Husum transportiert. Eine Verdichtungsanlage sorgt für die benötigten Betankungsdrücke von 350 bar für Busbetankungen und andere Nutzfahrzeuge mit 350-bar-Tanks und 700 bar für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.

Zwei im Rahmen des Projektes angeschaffte BZ-Busse des öffentlichen Personennahverkehrs nutzen die bei der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff freigesetzte Energie als Antriebsenergie. Dabei reicht eine Tankfüllung der Busse für 400 km, was einem regulären Betriebstag im Linienverkehr entspricht. Neben diesen beiden Bussen wurden auch 30 Pkw mit BZ-Antrieb im Projektvolumen verankert. Diese werden nach und nach an die neuen Besitzer übergeben. Neu hinzugekommen ist eine Fahrschule aus dem Kreisgebiet, die nun statt zweier Dieselfahrzeuge zwei BZ-Fahrzeuge für ihren Fahrunterricht nutzt. Bei den Pkw reicht eine Tankfüllung für bis zu 600 km und kostet rund 60 Euro.

GEZIELTE NUTZUNG VON AUSFALLARBEIT Ein großes Problem der Erzeugung regenerativer Energie ist und bleibt es, Energien aus Sonne, Wind und Wasser in größeren Mengen und über längere Zeit zu speichern. Durch volatile Leistungsspitzen und negative Residuallasten aus alternativen Energiequellen erhöht sich der Bedarf an Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen wie den Einspar-Schaltungen, die auch als Einspeisemanagement bezeichnet werden und in § 14 EEG 2021 geregelt sind. Die durch diese Zwangsabregelungen verloren gegangene Energie, die sogenannte Ausfallarbeit, erreichte in Deutschland im Jahr 2021 die enorme Summe von 6,1 TWh_{el}.

Um dieses große Dekarbonisierungspotenzial zu nutzen, wandeln PtX-Projekte die überschüssige regenerativ erzeugte Energie in elektrische Wärme bzw. thermische Last oder einen anderen Energieträger, wie in diesem Fall Wasserstoff, um. Auch das Energiekonzept von Boscüll nutzt gezielt bevorzugt die Überschusserträge aus den Wind- und Solarparks, die sonst zu einer Überlastung des Netzes und damit zu Abregelungen führen würden. So dient die ansonsten überschüssige Energie dazu, die BürgerInnen warm zu halten und für ihre Mobilität zu sorgen.

VIELVERSPRECHENDE ENERGIEZUKUNFTSMUSIK Und es geht noch weiter: Die Gemeinde Boscüll ist aktuell dabei, für dieses Jahr ein weiteres Baugelände auszuweisen, in dem das neue regenerativ betriebene Wärmenetz vorverlegt werden soll. Und aufgrund der aktuellen welt- und geopolitischen Entwicklungen häufen sich bei Ingo Böhm, dem Bürgermeister von Boscüll, die Anfragen nach weiteren Haushaltsan-



Abb. 4: Die H₂-Tankstelle in Niebüll mit BZ-Bus [Quelle: GP JOULE GmbH]

schließen an das neue Wärmenetz. Auch der Bau einer weiteren Freiflächen-Photovoltaik-Anlage 2023 ist planmäßig bereits in trockenen Tüchern. Die Energie der Anlage wird vor allem in die Wasserstoffproduktion fließen. Darüber hinaus sollen in der nächsten Zeit zehn weitere wasserstoffbetriebene BZ-Busse des öffentlichen Personennahverkehrs angeschafft werden.

Das Modell Bosbüll ist ein Leuchtturmprojekt, das gerade in diesen Zeiten, in denen die schnellstmögliche Dekarbonisierung oberste Priorität hat, als Blaupause für die Energiekonzepte anderer Kommunen dienen kann. Allein durch die Power-to-Heat-Anlage konnte die nordfriesische Gemeinde 180.000 Liter Heizöl jährlich einsparen. Darüber hinaus haben lokale Energiebezugslösungen immer auch den Vorteil einer weitgehenden Marktunabhängigkeit – und zwar nicht nur bezogen auf die Versorgungssicherheit, sondern auch auf den Schutz vor Preisvolatilität. Und nicht zu

vergessen: Die aus dem Projekt resultierende Wertschöpfung bleibt in der Kommune und kommt allen Bürgern zugute.

Um die Effizienz solcher gekoppelter regenerativer Energiesysteme auf einem hohen Niveau zu halten, spielen die Qualität des Gesamtsystems und das über die Steuerungstechnologie gelenkte Zusammenspiel der einzelnen Komponenten eine enorme Rolle. Die Kombination aus regenerativ erzeugter elektrischer und thermischer Energie und smarten Speicher- und Verteilkonzepten ist sicherlich eines der Zugpferde, die zu einem schnellen Gelingen der Energiewende beitragen können. ||

Erstveröffentlichung des Artikels in der Zeitschrift [bbr Leitungsbau|Brunnenbau|Geothermie](#).

Autor:

[Martin Gentner, YADOS GmbH, Hoyerswerda](#)

Energy4Mobility ExpertTalk

„Welche Rolle spielt Wasserstoff für eine CO₂-neutrale Mobilität?“



Powering alternative energies



Hydrogen
Bio-Fuels
E-Fuels
Electric
Fuelcell
LPG



Abb. 1: PCK-Gelände in Schwedt an der Oder [Quelle: PCK]

Thema: Energiespeicherung | Autorin: Aleksandra Fedorska

AUF DEM WEG ZUR „GRÜNEN RAFFINERIE“ PCK SCHWEDT

Nichts Konkretes beim geplanten H₂-Projekt

Die brandenburgischen Medien überbieten sich seit Monaten mit immer kühneren Visionen zur Rolle des Wasserstoffs bei der Rettung der PCK Raffinerie GmbH in Schwedt. Der regionale und öffentlich-rechtliche Sender rbb24 strahlte zu diesem Thema sogar eine Fernsehdokumentation im Abendprogramm aus. Darin wurde mehrfach betont, dass die Produktion und Verarbeitung von grünem Wasserstoff in großen Mengen in der Raffinerie in Schwedt in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Enertrag SE umgesetzt werden solle. Auf Nachfrage des HZwei-Magazins stellte der Enertrag-Pressesprecher Michael Rassinger Anfang März 2023 aber klar, dass es aktuell kein gemeinsames Projekt gebe und sich beide Seiten noch in der Gesprächsphase befänden.

Große Pläne, aber wenig Substanz – so lässt sich der aktuelle Stand am besten beschreiben. Denn dass es „Gespräche“ gebe, klingt ganz anders als das, was im letzten Herbst medial angekündigt wurde: Damals trat der Enertrag-Eigentümer Jörg Müller gemeinsam mit lokalen Politikern auf und warb für Elektrolyseanlagen in der PCK-Raffinerie an der Oder in einer Größenordnung von bis zu 300 MW. Jörg

Müllers Visionen wurden sowohl von den Medien als auch von der Politik dankbar aufgegriffen.

Müller hatte sich eigentlich am 1. Juli letzten Jahres aus dem Tagesgeschäft von Enertrag zurückgezogen und die Leitung an Dr. Gunar Hering übergeben. Allerdings scheint Müller, der seitdem Aufsichtsratsvorsitzender ist, zumindest in den Medien weiterhin als „Visionär der Energiewende“ im Namen des Dauerthaler Unternehmens sprechen zu dürfen. Im Oktober 2022 teilte er mit, dass im Zusammenhang mit der Wasserstoffproduktion in der PCK-Raffinerie „die Umstände zwingend“ seien und ein „extrem schnelles Handeln“ erforderten. Rund ein halbes Jahr später sind die Visionen aber verflogen und die Realität spiegelt deutlich weniger ambitionierte Zukunftspläne wider.

PROBLEME DER PCK-RAFFINERIE Die Raffinerie macht gerade eine schwere Zeit durch. Seit ihrer Entstehung im Jahr 1964 war sie von Russland abhängig. Noch bis Ende 2022 wurde ausschließlich russisches Erdöl in der Raffinerie verarbeitet. Besonders prekär ist nach wie vor die Eigentumsstruktur des Unternehmens, das ursprünglich zu über 50 Prozent dem russischen Staatskonzern Rosneft ge-



„Effiziente Speicher sind der Schlüssel für eine zukunfts-fähige Industrie.“



Abb. 2: Jörg Müller

hörte. Im September 2022 jedoch hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz die Bundesnetzagentur als Treuhänderin über die Rosneft Deutschland GmbH und die RN Refining & Marketing GmbH eingesetzt. Heute liegen die PCK-Anteile zu je 37,5 % bei Rosneft Deutschland und Shell Deutschland. 25 % hat die AET Raffineriebeteiligungs-Gesellschaft inne.

Dem Unternehmen selbst, aber auch der Stadt Schwedt und der Region fällt es dementsprechend mental und ökonomisch schwer, sich von ihrer Geschichte endgültig zu lösen. Die PCK selbst ist somit nicht unbeteiligt daran, dass der Anschein erweckt wurde, dass es eine Wasserstoffkooperation zwischen Enertrag und der Raffinerie in Schwedt gebe. Im Spätherbst 2022 hatte die PCK mitgeteilt, dass eine

Elektrolyseanlage mit einer Gesamtkapazität von 32 MW in Zusammenarbeit mit der Enertrag geplant sei. Die angekündigten Pläne haben seitdem aber nicht an Dynamik gewonnen und wurden kein weiteres Mal bestätigt.

Die Bürgermeisterin der Stadt Schwedt, Annekathrin Hoppe, die sich redlich um die Erhaltung der Arbeitsplätze bei dem wichtigsten Steuerzahler ihrer Stadt bemüht, erhofft sich ebenfalls etwas aus der visionären H₂-Rallye. Schwedt arbeitet an der Gründung einer Strukturentwicklungsgesellschaft, die natürlich deutlich mehr Finanzmittel und weitere Möglichkeiten bekäme, wenn sie in ihrem Portfolio auf einen Wasserstoffstandort verweisen könnte.

GROSSE VISIONEN Ohne Zweifel gehört das Unternehmen mit Sitz in der Uckermark zu den führenden Playern bei der Erzeugung von Windenergie und ist Vorreiter in der Technologie für grünen Wasserstoff. Ende Februar 2023 kündigten die Brandenburger an, ab 2024 für den Energiebedarf des Industrieparks Osterweddingen grünen Wasserstoff produzieren zu wollen. Dafür soll in Magdeburg ein 10-MW-Elektrolyseur (PEM: Proton Exchange Membrane) zum Einsatz kommen. Die Anlage wurde bereits im Dezember letzten Jahres bei Elogen, einem Unternehmen der GTT-Gruppe, bestellt.

Die erste Produktionsstufe dafür wird voraussichtlich bei zwei Tonnen Wasserstoff pro Tag liegen. Perspektivisch könnte solch ein Elektrolyseur sein Output auf bis zu fünf Tonnen am Tag steigern. Noch Ambitionierteres plant Enertrag in Namibia, wo für fast 10 Mrd. US-\$ eine H₂-Produktionsanlage für jährlich 300.000 Tonnen grünen Wasserstoff aufgebaut werden soll (s. HZwei-Heft Okt. 2021).

Diese Projekte machen deutlich, welche Größenordnungen und Potenziale im Bereich der H₂-Produktion aktuell bei Enertrag im Gespräch sind. ||

In einer Stellungnahme teilte Enertrag der HZwei-Redaktion mit: „Wir arbeiten derzeit an einer Machbarkeitsstudie, die wir voraussichtlich Ende April veröffentlichen.“

WE transform industries.

STORAGE IS KEY.

WIRTSCHAFTLICHKEIT VON WASSERSTOFF-PROJEKTEN

Power-to-Gas-Simulation zur Kostenoptimierung

Bei den Bemühungen um das Erreichen der Klimaziele rückt der grüne Energieträger Wasserstoff (H_2) im Rahmen der Sektorenkopplung immer weiter in den Vordergrund. Die Grundlage für die Produktion von grünem Wasserstoff ist elektrische Energie aus Erneuerbare-Energien-Anlagen. Mithilfe eines Elektrolyseurs wird unter Nutzung der grünen elektrischen Energie und Wasser H_2 produziert. Bei diesem Prozess entstehen Nebenprodukte wie Abwärme und Sauerstoff, die ebenfalls in verschiedenen Einsatzgebieten genutzt werden können und durch eine gezielte Vermarktung die Gesteungskosten des H_2 reduzieren können. Optional kann die Umwandlung des H_2 -Gases in synthetisches Erdgas und dann weiter in verflüssigtes Erdgas erfolgen. Diese Wertschöpfungskette wird auch als PtG-Wertschöpfungskette bezeichnet und bietet die Möglichkeit, die elektrische Energie in verschiedenen Sektoren dezentral zu nutzen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die PtG-Wertschöpfungskette von elektrischer Energie über den Prozess der Elektrolyse zur Erzeugung von H_2 , die Umwandlung zu synthetischem Erdgas bzw. SNG (synthetic natural gas) und verflüssigtem synthetischem Erdgas bzw. LNG (liquefied natural gas), die Speicherung und den Transport bis hin zur Nutzung der grünen Energieträger beim Endverbraucher.

Dabei kann diese PtG-Wertschöpfungskette (s. Abb. 1) von zwei Seiten ausgehend betrachtet werden: Zum einen ist die Ausgangslage eine definierte Menge an erzeugter grüner elektrischer Energie, welche für die Elektrolyse zur Verfügung steht. Auf der anderen Seite stehen die Endverbraucher, welche vorgeben, wie viel H_2 benötigt wird.

Um das gesamte Szenario vom Endverbraucher bis hin zur Erzeugung betrachten zu können, startete 2022 das von der N-Bank geförderte Forschungsprojekt „H2-FEE Flexible Energieträger für die Energiewende: Open WebGIS zur digitalen Analyse von PtG-Potentialen an dezentralen Energiestandorten“, das sich das Bundesland Niedersachsen als Beispiel nimmt. Das Ziel von H2-FEE ist es, eine transparente Plattform zur Identifikation von günstigen und naturverträglichen Standorten für die H_2 -Produktion auf Basis von EE-Anlagen (Onshore-Windenergie sowie Photovoltaik), insbesondere in Regionen mit hoher Bioenergiedichte, zu entwickeln.

Dabei werden konkrete PtG-Anwendungsfälle für den ländlichen Raum beleuchtet. Diese Anwendungsfälle sind bspw. die Steigerung des Autarkiegrades von Bürogebäuden,

Industriebetrieben oder ländlichen Betrieben unter Nutzung eines saisonalen H_2 -Speichers oder die Optimierung von Windparks durch Nutzbarmachung abgeregelter elektrischer Energie, um somit vorhandene elektrische Energie in Form von grünen Energieträgern speichern zu können.

Die Grundlage für die Entwicklung dieser Anwendungsfälle bildet dabei die Wirtschaftlichkeit. In diesem Zusammenhang beschäftigten sich die AutorInnen mit der Analyse von Studien zu Stromgestehungskosten von Wasserstoff (levelized cost of hydrogen – LCOH) und deren zukünftiger Entwicklung.

PROGNOSEUNGENAUIGKEIT DER LCOH Im Rahmen dieser Betrachtung wurden zwölf Studien (publiziert zwischen 2010 und 2021) zum Thema LCOH von grünem H_2 analysiert. Die prognostizierten LCOH fallen in den verschiedenen Studien sehr unterschiedlich aus, da die Berechnungsgrundlagen jeweils unterschiedlich sind.

Einige Studien, wie zum Beispiel die „Wasserstoff-Farbenlehre“ des Instituts für Klimaschutz, Energie und Mobilität, geben einen Überblick über sämtliche H_2 -Herstellungsverfahren und liefern lediglich einen Durchschnittspreis pro Herstellungsprinzip. [1] Andere Studien betrachten nur ein bestimmtes Element in der Power-to-Gas-Wertschöpfungskette, wie den Transport oder die Elektrolyse, anhand eines konkreten Beispiels. [2] [3] In der Veröffentlichung „Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien“ fließen beispielsweise sämtliche Einflussfaktoren wie etwa Wasserkosten, verschiedene Elektrolysetechnologien etc. mit in die Berechnungen ein. [4]

In den betrachteten Studien wurden LCOH für die Jahre 2014, 2015, 2020, 2021, 2030 und 2050 angegeben. Für die Jahre 2014, 2020, 2021 und 2030 geben die betrachteten Studien lediglich Durchschnittspreise an, ohne die Elektrolysetechnologie oder andere Rahmenbedingungen weiter zu spezifizieren. Da für die Jahre 2015 und das Jahr 2050 die meisten Werte (2015: 36, 2050: 47) mit vergleichbaren Rahmenbedingungen zur Verfügung stehen, werden diese im Weiteren beispielhaft genauer analysiert und verglichen.

VERGLEICH DER ELEKTROLYSEARTEN In den Studien werden verschiedene Elektrolyseverfahren betrachtet: Das Elektrolyseprinzip der Protonenaustauschmembran (Proton Exchange Membrane – PEM), die alkalische Elektrolyse (AEL) sowie die Hochtemperaturelektrolyse (HTEL). Diese

20

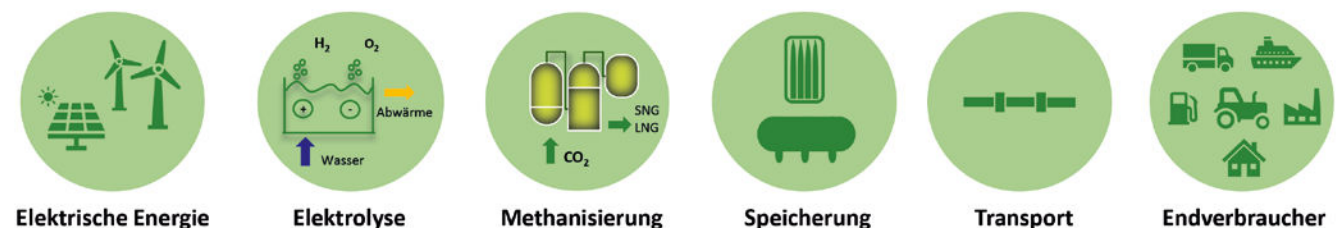


Abb. 1: PtG-Wertschöpfungskette

Tab. 1: Ausgangsszenarien, die den LCOH für das Jahr 2015 und 2050 zugrunde liegen

Beschreibung	Wert 2015	Wert 2050
Wasserbezugskosten	2,0 €/m ³	3,4 €/m ³
Volllaststunden Elektrolyseur	8.000 h/a	8.000 h/a
Stromgestehungskosten	3,84 – 16,91 ct/kWh	0,69 – 15,71 ct/kWh
Laufzeit Elektrolyseur	20 – 30 Jahre	30 Jahre
Herstellungsland erneuerbarer Energien	Deutschland, Island, Schweden, Saudi-Arabien, Marokko	Europa und Nordafrika, Deutschland, Island, Schweden, Saudi-Arabien, Marokko
Wirkungsgrad Elektrolyseur	67%	69 – 84 %

verschiedenen Elektrolyseverfahren befinden sich jeweils in einem unterschiedlichen Entwicklungsstadium.

Die AEL ist das älteste der betrachteten Verfahren und seit mehreren Jahrzehnten im Einsatz. Die AEL weist somit unter den betrachteten Verfahren den höchsten Entwicklungsstand und die geringsten Kosten auf. [5] [6]

Die PEM-Elektrolyse existiert seit 25 Jahren. Ein Vorteil bei der PEM-Elektrolyse ist der größere Teillastbereich. Die fluktuierende Einspeisung von erneuerbaren Energien in den Elektrolyseur kann durch diese Technologie gut gehandhabt werden. [5]

Die HTEL befindet sich noch in der Phase der Laborerprobung, was die Kosten von 24,41 €/kg im Jahr 2015 erklärt. Zudem ist aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums eine Vorhersage der Kosten mit großen Unsicherheiten verbunden. Für 2050 werden für HTEL LCOH von etwa 6,60 €/kg angenommen. [6] Aufgrund der schwierigen Entwicklungsprognose sowie der dünnen Datenlage wird das HTEL-Prinzip im Folgenden nicht weiter betrachtet.

In den verschiedenen Studien werden in den Jahren 2015 und 2050 unterschiedliche Ausgangsparameter zugrunde gelegt. Es wird deutlich, dass es im Verlauf von 2015 bis 2050 einige Abweichungen der Ausgangsparameter gibt. So steigen die Wasserbezugskosten von 2,0 €/m³ im Jahr 2015 auf 3,4 €/m³ im Jahr 2050. Die Volllaststunden des Elektrolyseurs werden bei beiden Vergleichsjahren auf 8.000 Volllaststunden gesetzt. Die Stromgestehungskosten sinken von 3,84 bis 16,91 ct/kWh im Jahr 2015 auf 0,69 bis 15,71 ct/kWh im Jahr 2050.

Die breite Preisspanne bei den Stromgestehungskosten ergibt sich aus den unterschiedlichen Herstellungsorten und -technologien der grünen elektrischen Energie. Während in Nordeuropa grüne elektrische Energie vor allem aus Windenergie gewonnen wird, verlagert sich die Erzeugungstechnologie sukzessive hin zu Photovoltaik (PV), je weiter südlich das jeweilige Erzeugungsland liegt. So wird beispielsweise in den Herstellungsländern Marokko und Saudi-Arabien grüne elektrische Energie vor allem mittels Photovoltaik erzeugt. [7] Der Wirkungsgrad steigt von 67 Prozent im Jahr 2015 auf 69 bis 84 Prozent im Jahr 2050. Die Laufzeit der Elektrolyseure verlängert sich von 20 bis 30 Jahren in 2015 auf 30 Jahre in 2050.

Der Median liegt im Jahr 2015 für AEL bei 5,59 €/kg_{H₂} und bei 5,28 €/kg_{H₂} für PEM-Elektrolyse. Die Mittelwerte betragen für die AEL 5,29 €/kg_{H₂} und für die PEM-Elektrolyse 5,28 €/kg_{H₂}. Die Streuung der LCOH ist bei der AEL größer als bei der PEM-Elektrolyse, da mehr Daten vorliegen. Die Standardabweichung von den Mittelwerten beträgt bei AEL 1,70 €/kg_{H₂} und bei der PEM-Elektrolyse 0,02 €/kg_{H₂}. Dadurch existieren für die AEL einerseits LCOH, die deutlich über dem Niveau der PEM-Elektrolyse liegen, als auch solche,

die deutlich darunter liegen. Ausschlaggebend hierfür sind in erster Linie die unterschiedlichen Stromgestehungskosten in den verschiedenen Erzeugungsländern. Die Preisspanne für AEL reicht im Jahr 2015 von 2,47 bis 8,59 €/kg_{H₂}. Bei der PEM-Elektrolyse reicht sie lediglich von 5,25 bis 5,30 €/kg_{H₂}.

Im Vergleich zum Jahr 2015 ist für das Jahr 2050 eine generelle Abnahme der LCOH zu beobachten. Die Mediane sinken auf 4,18 €/kg_{H₂} für AEL und auf 4,65 €/kg_{H₂} für PEM-Elektrolyse. Die Mittelwerte betragen im Jahr 2050 4,14 €/kg_{H₂} für die AEL und 4,01 €/kg_{H₂} für die PEM-Elektrolyse. Da im Jahr 2050 im Gegensatz zu 2015 mehr Daten für die LCOH von PEM-Elektrolyseuren vorliegen, ist die Streuung ebenfalls größer. Auch bei den LCOH von AEL kommt es weiterhin zu einer Streuung. Die Abweichungen von den Mittelwerten betragen für AEL 1,62 €/kg_{H₂} und für PEM-Elektrolyseure 0,94 €/kg_{H₂}. >>

21

#powerfulDC

POWERBOXEN

#hydrogen

All Inclusive für jede H₂-Elektrolyse:

Megawatt-Anlagen von der Mittelspannungseinspeisung bis zur DC-Versorgung der Stacks, komplett anschlussfertig und getestet

Global mechanischer und elektrischer Aufbau für In- & Outdoor

Effizient MS-Gleichrichtertrafo und Gleichrichter in Thyristor-Technologie

Netzkonform Blindleistungskompensations- und Filteranlagen sofern notwendig

Individuell Mittelspannungs- und Niederspannungsschaltanlagen sowie Hilfstrafos



www.ips-fest.de

**IPSORGB
FEST**

Best in Class: Wirkungsgrad, Langlebigkeit, Zuverlässigkeit



Abb. 2: LCOH im Jahr 2015 [Quelle: [4]]

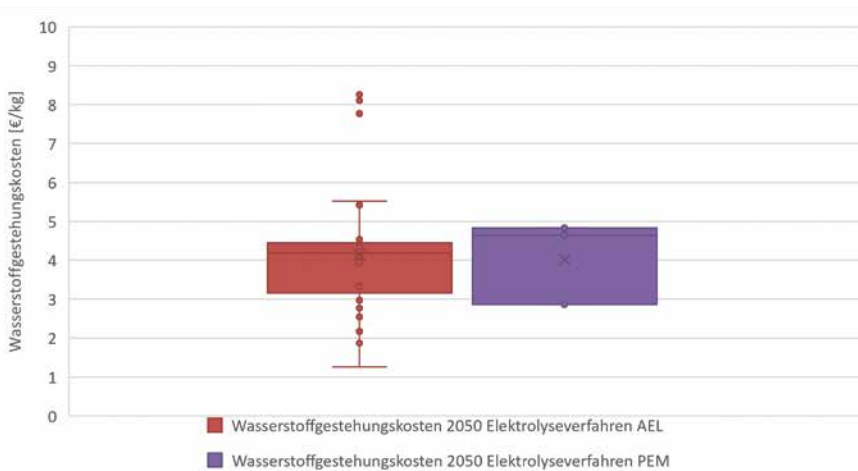


Abb. 3: Prognostizierte LCOH für das Jahr 2050

Die prognostizierte Preisspanne für die LCOH liegt für das Jahr 2050 bei der AEL zwischen 1,26 und 5,53 €/kg_{H₂}, während bei der PEM-Elektrolyse LCOH von 2,87 bis 4,84 €/kg_{H₂} prognostiziert werden.

VERGLEICH DER LCOH 2015 UND 2050 Tendenziell kann im zeitlichen Verlauf von den LCOH aus 2015 bis zu den prognostizierten Kosten im Jahr 2050 eine Verringerung der LCOH beobachtet werden. Eine Ursache für diese Entwicklung ist der Ausbau der erneuerbaren Energien, welcher niedrigere Gestehungskosten für grüne elektrische Energie zur Folge hat. [8] Zudem sorgen der Fortschritt sowie der Skaleneffekt in der Elektrolýsetechnik für sinkende Investitionskosten bei Elektrolyseuren. [9]

Allerdings sind in den verschiedenen Beobachtungsjahren erhebliche Unterschiede in den LCOH zu erkennen. Der Grund hierfür lässt sich auf unterschiedliche Ursachen zurückführen.

Die Stromgestehungskosten haben einen signifikanten Anteil an den LCOH. Je nach Erzeugungsland kommt es hier zu erheblichen Unterschieden. Staaten wie zum Beispiel Marokko oder Saudi-Arabien bieten aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung günstigere elektrische Energie aus PV-Anlagen an als Deutschland. Dies schlägt sich in den LCOH nieder. Bei gleichem Elektrolyseverfahren (AEL) und gleicher Energiequelle (PV) betragen im Jahr 2015 die LCOH in Deutschland durch PV 5,81 €/kg und 4,28 €/kg in Marokko. Obwohl die Kosten für H₂ tendenziell sinken, wird auch für 2050 dieser Trend vorhergesagt, mit LCOH von 4,24 €/kg (PV aus Deutschland) beziehungsweise 3,43 €/kg (PV aus Marokko). Hierbei ist ein Transport nach Deutschland noch nicht mitberücksichtigt. [4]

Während die Erzeugungskosten für erneuerbare Energien sinken, steigen die Kosten für den Energietransport. Ursache hierfür ist der Umbau bzw. die Anpassung des Übertragungsnetzes an eine regenerative Erzeugungslandschaft,

welche mit höheren Anforderungen an die Übertragungsnetze einhergeht und folglich zu höheren Übertragungskosten führt.

Laut einer Studie des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2020 steigen die Kosten für elektrische Energie (Drehstrom) von 2,4 ct/kWh auf 4,1 ct/kWh. Für Produktionsszenarien, bei denen H₂ in Deutschland mittels importierter elektrischer Energie aus EE-Anlagen erzeugt wird, werden die Einsparungen in der Erzeugung von elektrischer Energie durch die Kostensteigerungen beim Transport der elektrischen Energie wieder kompensiert, so dass die Stromgestehungskosten annähernd gleich bleiben. [4]

POWER-TO-GAS SIMULATION Wie bei der Analyse der LCOH in den verschiedenen Studien deutlich wird, liegen den LCOH oftmals verschiedene Rahmenbedingungen zugrunde. Aus diesem Grund ist für zukünftige PtG-Projekte eine individuelle Betrachtung elementar, um eine Vorhersage über die LCOH treffen zu können. Eine Simulation kann eine wertvolle Hilfe sein, um teure Fehlinvestitionen zu vermeiden. Mit Fehlinvestition ist zum Beispiel die Auswahl eines Elektrolyseurs mit zu hoher Nennleistung gemeint, welcher nicht ausreichend ausgelastet ist. Die Kombination niedriger Auslastung und hohe Investition treibt die LCOH in die Höhe.

Die PtG-Simulation der AutorInnen bietet eine ökologische, wirtschaftliche und energetische Analyse zur H₂-Erzeugung in Kombination mit EE-Anlagen (Wind/PV/Wasserkraft/Biomasse). Die PtG-Simulation analysiert unter anderem LCOH, produzierte H₂-Mengen, Nebenprodukte (wie bspw. Abwärme und Sauerstoff), benötigte Wassermenge und die Nennleistung sowie Auslastung des Elektrolyseurs. So können Elektrolyseurprojekte wirtschaftlich und ökologisch bewertet werden.

Aus zwei durch die AutorInnen simulierten Projekten aus dem Jahr 2022 ergeben sich LCOH von 4,22 €/kg und 9,38 €/kg. Dabei liegen unterschiedlich hohe Stromgestehungskosten von 3,8 ct/kWh und 7,33 ct/kWh zugrunde.

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) nennt in einer Veröffentlichung durchschnittliche LCOH von grünem H₂ für das Jahr 2022 von 6,18 €/kg bei Stromgestehungskosten von 16,18 ct/kWh. [10] Diese LCOH spiegeln auch den Mittelwert von 6,8 €/kg LCOH der PtG-

Simulationen wider. In der PtG-Simulation wurden höhere Investitionskosten für den Elektrolyseur pro Kilowatt angenommen als bei der Durchschnittsberechnung vom EWI.

Was sind nun die Gründe für die unterschiedlich hohen LCOH?

KOSTENREDUKTION DURCH PTG-SIMULATION Im Rahmen verschiedener Simulationen wurde deutlich, dass eine Kombination von Wind- und PV-Parks eine höhere Auslastung des Elektrolyseurs erreicht. Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass sich ein Unterschied zwischen Windparks in Küstennähe und Windparks im Binnenland in der Auslastung des Elektrolyseurs widerspiegelt.

Für diese Feststellung wurden Berechnungen für drei verschiedene Szenarien durchgeführt:

- Kombiniertes elektrisches Energiebezug aus Wind und PV mit 12 MW Nennleistung (Binnenland)
- elektrisches Energiebezug eines küstennahen Windparks mit 12 MW Nennleistung
- elektrisches Energiebezug eines Windparks im Binnenland mit 11,5 MW Nennleistung

In diesem Vergleich wurden dieselben Stromgestehungskosten, Wasserbezugskosten, Investitionskosten des Elektrolyseurs sowie dieselbe Betriebsdauer in Jahren des Elektrolyseurs zugrunde gelegt. Lediglich die Anlagentypen unterscheiden sich voneinander und weisen somit auch unterschiedliche Leistungskennlinien auf. Zudem basieren die Simulationen jeweils auf verschiedenen Windjahren.

Basierend auf diesen Rahmenbedingungen wurde eine PtG-Simulation ausschließlich für PEM-Elektrolyseure durchgeführt (s. Abb. 4).

Bei allen Szenarien ist ein Rückgang der Auslastung bei steigender Elektrolyseurgröße erkennbar. Bei der kleinsten betrachteten Elektrolyseurgröße von 250 kW liegen die Auslastungen bei 91 bis 93 Prozent für reinen WEA-Energiebezug und 95 Prozent für kombinierten Energiebezug aus Wind und PV. Als maximale Elektrolyseurgröße werden 12 MW betrachtet, da dieser der Maximalleistung der betrachteten Energiequellen entspricht. Hier ergeben sich Auslastungen von 17 bis 18 Prozent für reinen WEA-Energiebezug und 33 Prozent für den kombinierten Energiebezug.

Zudem wird ersichtlich, dass die Auslastungskurve für den Bezug der elektrischen Energie aus Wind und PV durchgehend über den Auslastungskurven für reinen WEA-Energiebezug liegt. Die Auslastung ist im Fall eines Energiebezugs aus Wind und PV weniger stark und geht deutlich geradliniger zurück als in den anderen beiden Szenarien, wo eine deutliche Kurvenform zu erkennen ist. Das bedeutet, dass dem gleichen Elektrolyseur bei Bezug elektrischer Energie rein aus Wind weniger Energie zur Verfügung steht und die Auslastung dementsprechend zurückgeht.

Durch die Nutzung verschiedener regenerativer Energiequellen in Kombination sind diese in der Lage, die natürlichen Schwankungen der Einspeiseprofile der jeweiligen anderen Energiequelle auszugleichen. Die Kombination verschiedener Energiequellen wie Wind und PV sorgt somit für eine höhere Auslastung des Elektrolyseurs. >>

**Powering a
sustainable
future**

Celeroton
Fuel Cell



Get More Information
celeron.com/fuelcells



SWISS MADE

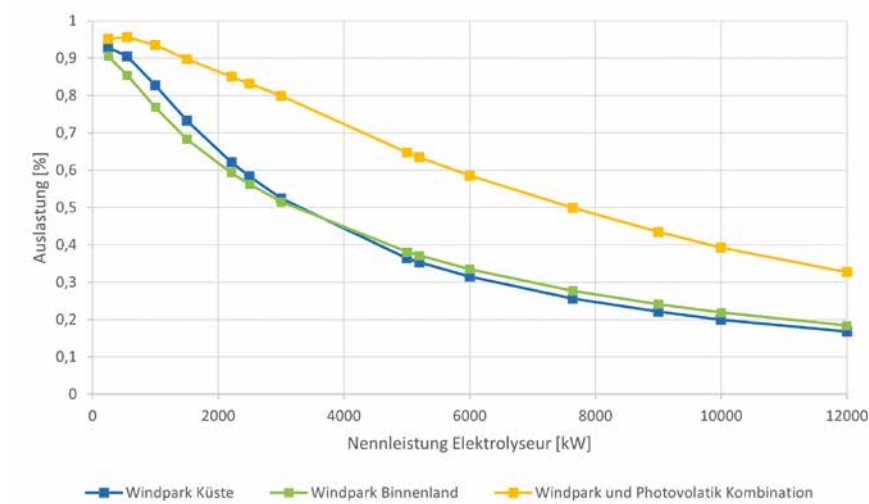


Abb. 4: Die in der PtG-Simulation berechneten Auslastungen für die verschiedenen Szenarien

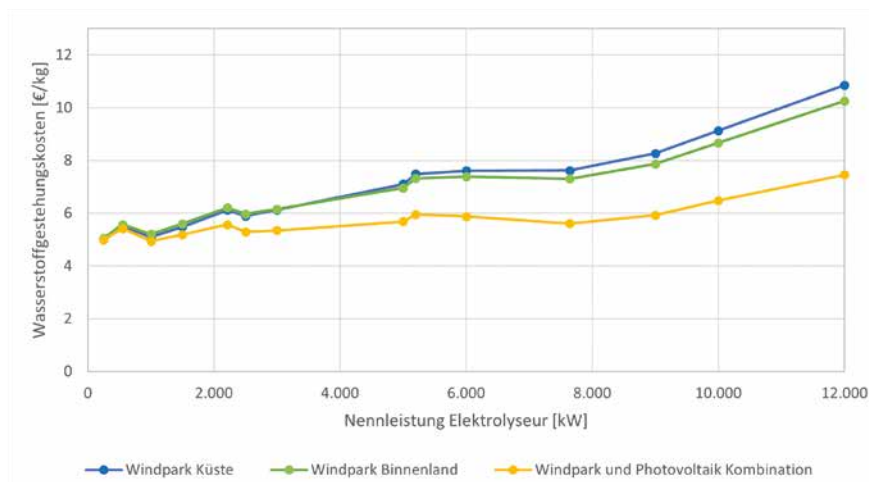


Abb. 5: Betrachtung der LCOH

Abbildung 5 zeigt, dass bei kombinierter Nutzung von Wind und PV die LCOH durchgehend unter denen einer ausschließlichen Windenergieeinspeisung liegen, da die Auslastung durchgehend höher ist, der jeweilige Elektrolyseur also eher sein ganzes Potential nutzen kann. Die Preise liegen in diesem Fall zwischen rund 4,99 €/kg bis 7,46 €/kg.

Erkennbar ist, dass die LCOH beispielsweise bei Nennleistungen von etwa 2.200 kW auf 2.500 kW leicht sinken. Grund hierfür ist der Systemverbrauch der betrachteten Elektrolyseure. Dieser gibt an, wie viel Kilowattstunden an elektrischer Energie für die Produktion von 1 Normkubikmeter H_2 benötigt werden. Hat nun der nächstgrößere Elektrolyseur einen geringeren Systemverbrauch, so kann mit der gleichen Energiemenge mehr H_2 produziert werden, und die LCOH sinken trotz geringerer Auslastung.

In diesem konkreten Fall hat ein Elektrolyseur mit einer Leistung von 2.210 kW einen Systemverbrauch von $5,3 \text{ kWh/Nm}^3 H_2$, während der nächstgrößere Elektrolyseur eine Leistung von 2.500 kW bei $5 \text{ kWh/Nm}^3 H_2$ hat. Der verringerte Systemverbrauch hat hier den größeren Einfluss auf die LCOH als die verringerte Auslastung durch die zusätzlichen 290 kW an Leistung. Die passende Auswahl des Elektrolyseurs führt somit zu einer signifikanten Einsparung bei den LCOH.

Obwohl die betrachteten Szenarien ähnliche Rahmenbedingungen vorweisen, unterscheiden sich die berechneten LCOH erheblich voneinander. Bei ein und derselben Anlage stehen Auslastung und LCOH in indirekter Proportionalität zueinander. Sobald allerdings verschiedene Anlagen miteinander verglichen werden, ist eine unterschiedliche Preisentwicklung zu beobachten. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer projektspezifischen Betrachtung.

ZUSAMMENFASSUNG Aufgrund der unterschiedlichen Faktoren, welche die LCOH beeinflussen, kann keine allgemeingültige Aussage zur Entwicklung der H_2 -Preise getroffen werden. So stehen Preise aus dem Jahr 2015 in Höhe von 5,25 bis 5,30 €/kg gegenüber den Analysen aus dem Jahr 2022 von 4,22 €/kg und 9,38 €/kg sowie den vom EWI berechneten durchschnittlichen LCOH von 6,18 EUR/kg gegenüber.

Bei der Analyse von Studien zu LCOH wurde festgestellt, dass es eine Vielzahl von Faktoren gibt, welche die LCOH beeinflussen. Wichtige Faktoren sind:

- Elektrolyseurprinzip und Wirkungsgrad (bzw. Systemverbrauch)
- Stromgestehungskosten
- Auslastung des Elektrolyseurs
- Investitionskosten des Elektrolyseurs
- Herstellungsland erneuerbarer Energien
- Berücksichtigung von Transportkosten

Die Kombination von Wind und PV führt zu einer höheren Auslastung des Elektrolyseurs. Einen weiteren Einfluss auf die LCOH haben unterschiedliche WEA-Anlantentypen und WEA-Standorte.

Bei der Annahme von Trends, wie beispielsweise der allgemeinen Reduzierung der LCOH bis 2050 aufgrund von sinkenden Stromgestehungskosten sowie sinkenden Investitionskosten bei Elektrolyseuren, sind sich die betrachteten Studien einig.

Eine detaillierte PtG-Simulation kann bereits in der frühen Projektplanungsphase Optimierungspotentiale für die Umsetzung eines H_2 -Projektes aufzeigen und beispielsweise eine Überdimensionierung des Elektrolyseurs vermeiden und somit Investitionskosten sparen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich LCOH für spezifische Projekte nur vorhersagen lassen, wenn alle Parameter bekannt sind. Aus diesem Grund ist es nicht praktikabel, allgemeine Schlüsse für die Wirtschaftlichkeit von speziellen PtG-Projekten basierend auf prognostizierten Preisentwicklungen verschiedener Studien zu ziehen. ||

DC Power Supplies for Power to-X

coole
Typen



- effiziente Schaltnetzteiltechnologie
- optimale Netzqualität (AFE)
- kompaktes Design
- DC-Leistung skalierbar (kW bis MW)

Designed and MADE in Germany

Literatur

- [1] P. Horng, M. Kalis, u.a., IEKM, Dezember 2020. www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/01/IKEM_Kurzstudie_Wasserstoff_Farbenlehre.pdf
- [2] P. Wienert, P. Stöver, u.a., Production and transportation costs for green hydrogen from an offshore wind farm to an industrial end-user onshore, www.umlaut.com/uploads/documents/210812_Whitepaper_umlautKongstein_Hydrogen-ProductionTransportation.pdf
- [3] DLR; LBST; u.a., Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck, Stuttgart, 2014
- [4] A. Liebich, T. Fröhlich, u.a., Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien, Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_2020_68_systemvergleich_speicherbarer_energietraeger_aus_erneuerbaren_energien.pdf
- [5] B. Pitschak, J. Mergel, u.a., Elektrolyse-Verfahren,“ in Wasserstoff und Brennstoffzelle, Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, 2017, S. 207-227
- [6] A. Liebich, T. Fröhlich, u.a., Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_2020_68_anhang_detailanalysen_zum_systemvergleich_speicherbarer_energietraeger_aus_erneuerbaren_energien.pdf
- [7] Agora Energiewende and AFRY Management Consulting, No-regret hydrogen: charting early steps for H₂ infrastructure in Europe, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_02_EU_H2Grid/A-EW_203_No-regret-hydrogen_WEB.pdf
- [8] W. E. Council, Working Paper Hydrogen Demand and Cost Dynamics, World Energy Council, 2021
- [9] Reiner Lemoine Institut, Netzdienliche Wasserstoffherzeugung – Studie zum Nutzen kleiner, dezentraler Elektrolyseure, 2022
- [10] E. I. a. d. U. z. K. g. EWI, E.ON, www.eon.com/de/wasserstoff/h2-bilanz/kosten.html

AutorInnen:



Nele Uhlenwinkel
→ nele.uhlenwinkel@energiesynergie.de



Prof. Dr. Carsten Fichter
→ carsten.fichter@energiesynergie.de



Steve Stengel
→ steve.stengel@energiesynergie.de
alle EnergieSynergie GmbH, Bremerhaven



NEUES ALTES EISEN

Wie Rost die H_2 -Technik voranbringen kann

Wenn Eisen rostet, nimmt es Sauerstoff auf. Stammt dieser nicht aus der Luft, sondern aus Wasserdampf, bleibt Wasserstoff zurück. Dieser Effekt könnte die Grundlage einer neuen Energiespeichertechnologie werden. Mehrere Forschungsgruppen und Unternehmen arbeiten bereits daran, ein solches Speicherverfahren auf Basis von gewöhnlichem Eisen auf den Markt zu bringen, das Wasserstoff bindet und zur gewünschten Zeit wieder freisetzt – und das, ohne das Gas im eigentlichen Sinne zu speichern.



Abb. 1: Ambartec will die Eisenspeichertechnologie im Containerformat standardisieren [Quelle: Ambartec, Frank Grätz]

Das Be- und Entladen des Speichers ist nichts anderes als das Rosten von Eisen, das gezielt vorwärts und rückwärts abspült wird. Um den Energiespeicher zu beladen, strömt Wasserstoff durch Pellets aus rostigem Eisen – oder, chemisch besser ausgedrückt: aus Eisenoxid. Der Wasserstoff zieht dabei den Sauerstoff aus den Pellets und bindet ihn an sich. Zurück bleiben reine, metallische Eisenpellets und Wasserdampf.

Die Energie des Wasserstoffs ist im Wesentlichen in den Pellets gebunden. So lässt sie sich bequem lagern oder über weite Strecken transportieren, ohne dass besondere Sicherheitsvorkehrungen einzuhalten sind. Um die Energie wieder zu entnehmen, lässt man Dampf durch die Eisenpellets strömen. Der Sauerstoff aus dem Wasserdampf bindet sich an das Eisen, zurück bleibt gasförmiger Wasserstoff.

Der Trick mit dem Rost ist in mehrerlei Hinsicht charmant. Eisen ist auf der Erde reichlich vorhanden, kostet nicht viel und lässt sich gefahrlos transportieren und lagern. Und die Technologie hat noch einen weiteren Vorteil. Genau genommen enthalten die Eisenspeicher gar keinen Wasserstoff, sondern nehmen lediglich dessen Energieinhalt auf. Beim Beladen des Speichers bildet der Wasserstoff nämlich wieder Wasser. Der Dampf kann also zumindest zu einem Teil im Kreis geführt werden. Das ist besonders wichtig an Standorten, in denen Wasser ein knappes Gut ist, also zum Beispiel in Wüstenregionen, in denen künftig Wasserstoff im großen Stil für Europa erzeugt werden soll.

EISENSPEICHER IM STANDARD-CONTAINER Wie viele Energiewende-Technologien ist auch der Eisen-Dampf-Prozess nicht neu. Howard Lane entwickelte ihn bereits 1804. In den 1970er-Jahren produzierte eine Industrieanlage in Magdeburg auf diesem Wege schon rund 20.000 m³ Wasserstoff

pro Stunde. Doch für die modernen Anwendungen braucht er ein paar Anpassungen an die aktuellen Erfordernisse.

Das Start-up Ambartec, in das auch der Energiekonzern Wintershall Dea investiert hat, will den Prozess unter anderem für den Wasserstofftransport nutzen. Dafür will Ambartec Eisenpellets in standardisierten 20-Fuß-Containern lagern und so in übliche Logistikabläufe eingliedern – vom Lkw für regionale Erzeugung bis zum Überseetransport per Frachter. „Die Herausforderung an dem Prozess ist es, die Eisenpellets so zu konditionieren, dass sie nicht nach wenigen Zyklen zu Staub zerfallen oder an der Oberfläche versintern“, sagt Matthias Rudloff von Ambartec.

Das ist dem Unternehmen mittlerweile nach eigenen Angaben geglückt. Der Demo-Speicher in Freiberg, etwa 40 Kilometer vom Firmenstammsitz in Dresden entfernt, hat bereits einige Hundert Zyklen stabil durchlaufen. Im Mai soll die nächste Skalierungsstufe kommen, Ende 2023 eine weitere. Ab 2024 will Ambartec erste kleine Stückzahlen an Kunden ausliefern.

Neben dem Eisengranulat an sich hat Ambartec auch an der Prozessführung gearbeitet. Für den passenden Druck und Temperaturgradienten sorgt eine separate Lade- oder Belade-Einheit. „Wir können zum Beladen gut Dampf einbinden, der in Industrieanlagen anfällt. Der Druck ist dabei insofern wichtig, da der Dampfdruck im Wesentlichen den Wasserstoffdruck bestimmt“, sagt Rudloff.

Der freiwerdende Wasserstoff sei mit Dampf gesättigt, aber ansonsten relativ rein. Anwendungen für die wasserstoffproduzierenden Eisenpellets sieht Rudloff nicht nur im Seetransport, sondern in Kombination mit einer Elektrolyse- und Rückverstromungseinheit auch als stationärer Stromspeicher und in der Schifffahrt.

UNIVERSITÄRE FORSCHUNG Auch ein von der Universität Duisburg-Essen koordiniertes Forschungsteam setzt auf den Eisen-Dampf-Prozess für den Wasserstofftransport. Partner sind die Technische Universität Clausthal und das Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT) Bremen. Hinzu kommen die thyssenkrupp Steel Europe AG und die SMS group GmbH als assoziierte Industrieunternehmen. Das Projekt Me2H2 Eisen-Dampf-Prozess wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung über drei Jahre mit insgesamt 1,3 Mio. Euro gefördert. Ein Großteil des Projekts wird sich mit den Grundlagen, wie beispielsweise mit der Erforschung geeigneter Legierungen, befassen. Das Projekt ist gerade erst angelaufen, so dass es noch keine Ergebnisse zu berichten gibt.

EINSATZ IN DER INDUSTRIE UND IN ZÜGEN Ein weiterer Akteur ist die Wolf Energetik GmbH, die vor allem auf die Einbindung in große Industrieprozesse setzt. „Wir brauchen

AMBARTEC-SPEICHER IN ZAHLEN

Aktuelle Skalierung: 100 Liter
Zielgröße: 40-Fuß-Container
Dichte der Eisen-Pellets: 2,5 kg/Liter
Energiedichte (vol.): 0,4 kWh/l
Energiedichte (grav.): 1 kWh/kg



Abb. 2: Energiespeicher Feredox10 im Technikum von Wolf Energetik. Bis zum Sommer soll die größere Variante Feredox1000 folgen, die dieselbe Größe haben wird, die später auch für den Zugantrieb verbaut werden soll [Quelle: Wolf Energetik]

Energiespeicher in den Dimensionen von Kohlehalden oder großen Öltanks“, sagt Claudia Hain, die das Unternehmen bereits 2013 zusammen mit dem Namensgeber Bodo Wolf gründete. Wolf Energetik dockt dabei an die vorhandene Technologie aus den 1970ern an. „Wir mussten die Apparaturen nicht neu entwickeln, sondern nur für neue Anwendungen qualifizieren“, sagt sie.

Als ideale Anwendung zur Stromspeicherung sieht sie einen stofflich geschlossenen Kreisprozess mit einer Hochtemperaturelektrolyse und -brennstoffzelle, bei dem sowohl Wärme als auch Dampf immer wieder genutzt werden. Bis zu 80 Prozent Speicherwirkungsgrad wären so möglich, ist Hain überzeugt. Statt selbst schlüsselfertige Anlagen zu liefern, will Wolf Energetik dabei lieber „Technologiegeber“ für den industriellen Anlagenbau sein.

Eine andere mögliche Anwendung der patentierten Technologie wäre die Zwischenspeicherung des Wasserstoffs und die Herstellung von Synthesegas für die Industrie. Die aus dem Mineralölhandel kommende Mabanaft-Gruppe, die mittlerweile in Chile und Norwegen selbst an der Produktion von E-Fuels arbeitet, ist bereits als Gesellschafterin eingestiegen. „Auch in Deutschland ansässige Industrieunternehmen, die kontinuierlich Wasserstoff brauchen, könnten sich mit unserem Speicher gegen Versorgungsunterbrechungen absichern“, so Hain.

Außerdem arbeitet Wolf Energetik an mobilen Speichern, die in Zügen eingesetzt werden sollen. Die Voruntersuchungen laufen. Ein Zugmodell für die Integration ist bereits ausgewählt. Mitte des Jahres soll in Freiberg im Zuge des Vorhabens Future H Drive eine stationäre Pilotanlage entstehen, in der Speicher und reversible Brennstoffzelle zu einem System zusammengestellt werden sollen, das im vorgesehenen Bauraum des Fahrzeugs Platz findet. Ziel eines anschließenden Projektes ist es dann, die Technologie tatsächlich in ein Fahrzeug zu integrieren. Partner ist dabei die Deutsche Eisenbahn Service AG, kurz Desag. ||

→ AMbartec – auf der Hannover Messe am Gemeinschaftsstand Niedersachsen in Halle 13 Stand C 61

27



QUALITÄT SEIT 1912

MAGNETSCHULTZ

Ihre Spezialisten für elektromagnetische Aktorik und Sensorik



Ventile für Wasserstoff

- Hochdruckventile bis 1050bar, NW 2,7mm
- Sicherheitsabsperrventile 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

17.4.- 21.04.2023

HYDROGEN FUEL CELLS
EUROPE

Halle 13, F21



www.magnet-schultz.com

HEUTE LNG, MORGEN GRÜNE GASE

Gastbeitrag des niedersächsischen Wirtschaftsministers Olaf Lies



28 Abb.: LNG-Terminal Wilhelmshaven mit schwimmender FSRU [Quelle: NPorts_WScheer]

Der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine hat nicht nur die deutsche Energiepolitik kurzfristig und fundamental verändert. Die schnellstmögliche Unabhängigkeit von russischen Erdgas-, Erdöl- und Kohlelieferungen hat seit Frühjahr 2022 unter den EU-Mitgliedern oberste Priorität. Aufgrund der gedrosselten, bis dato für die nationale Energieversorgung zentralen russischen Erdgaslieferungen an Deutschland – und nicht zuletzt angesichts der schrecklichen Ereignisse im Zuge des Ukraine-Krieges – galt es, unverzüglich eine von Russland unabhängige Gasversorgung aufzubauen.

Der Bau von LNG-Terminals (Liquefied Natural Gas, verflüssigtes Erdgas) in „neuer Deutschlandgeschwindigkeit“ ist vor diesem Hintergrund von zentraler Bedeutung. Die niedersächsische Landesregierung unterstützt diesen Ansatz nachdrücklich und mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln. Der Aufbau von LNG-Terminals bietet zudem die Perspektive, das ankommende fossile Flüssiggas mittelfristig durch klimaneutrale Gase zu ersetzen. Dafür können die LNG-Terminals ohne Umbau eingesetzt werden – eine wichtige Voraussetzung für unser Ziel, eine klimaneutrale Energieversorgung zu schaffen.

Für eine stärkere Diversifizierung der Erdgasversorgung der Mitgliedsländer drängt die EU-Kommission bereits seit Jahren auf einen Zugang zum weltweiten LNG-Markt. Deutschland hat nun seit Dezember 2022 als größter europäischer Erdgasmarkt mit Meereszugang auch LNG-Importterminals, in Niedersachsen sind das die Standorte Wilhelmshaven und Stade (aktuell im Bau).

NIEDERSACHSEN – ENERGIEDREHSCHLEIBE UND TOR ZUR WELT Niedersachsen ist aufgrund seiner geografischen Lage und seiner Nähe zu den wichtigsten europäischen Märkten ein geeigneter Standort für LNG-Terminals. Darüber hinaus ist die Region auch ein wichtiger Industriestandort – mit großem Energiebedarf. Niedersächsische LNG-Terminals spielen daher eine wichtige Rolle, um die Energieversorgung Deutschlands sicherzustellen und die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Bundeskanzler Olaf Scholz erklärte am 27. Februar 2022 im Bundestag, dass im schleswig-holsteinischen Brunsbüttel und im niedersächsischen Wilhelmshaven Flüssigerdgas- bzw. LNG-Terminals gebaut werden sollen. In den folgenden Wochen hat die niedersächsische Landesregierung zusammen mit der Bundesregierung notwendige Gesetzesanpassungen vorangetrieben, um mehr Tempo bei den erforderlichen Genehmigungsverfahren zu machen. Dazu gehören insbeson-

dere das Beschleunigen, Vereinfachen und Verkürzen oder gar, in besonders gelagerten Fällen, das teilweise Aussetzen von Planungs- und Genehmigungsverfahren.

Energieunternehmen und Behörden wurden und werden durch die Landesregierung unterstützt. Unser Ziel ist es, Antragstellung und Genehmigungsverfahren zügig und effizient durchzuführen, damit die LNG-Importterminals und die erforderlichen Anschlussleitungen schnellstmöglich gebaut werden können.

Die niedersächsischen Standorte Wilhelmshaven und Stade verfügen mit ihrer bestehenden Hafeninfrastuktur, den unmittelbaren Zugängen zu transeuropäischen Erdgasversorgungsnetzen sowie den küstennahen Gasspeicherkapazitäten über ausgezeichnete Standortmerkmale, um LNG-Infrastrukturen an der norddeutschen Küste zu entwickeln.

LNG-TERMINAL WILHELMSHAVEN MIT SCHWIMMENDER FSRU

Das LNG-Terminal in Wilhelmshaven mit einer schwimmenden Regasifizierungsanlage (Floating Storage and Regasification Unit – FSRU) wurde am 17. Dezember 2022 eröffnet. Nach einer Testphase ging es einen Monat später in den Regelbetrieb über. Das Genehmigungsverfahren sowie die baulichen Maßnahmen wurden beschleunigt (unter anderem dank des LNG-Beschleunigungsgesetzes).

Die Baumaßnahmen starteten am 5. Mai 2022, bereits am 11. November 2022 wurden sie abgeschlossen. Rekordtempo! Für den Weitertransport des regasi-

„Bis wir vollständig auf Erdgas verzichten können, werden noch einige Jahre vergehen. Entscheidend ist, dass wir im Bereich grüner Wasserstoff jetzt schnell Fortschritte erzielen. [...] Die neuen Terminals sollten vor allem auch dafür genutzt werden, um früher in den Import von klimaneutralem Wasserstoff einzusteigen. In Niedersachsen sind die Projekte dafür ausgelegt.“

Niedersachsens Ministerpräsident
Stephan Weil

fizierten LNG errichtete der Fernleitungsnetzbetreiber Open Grid Europe GmbH (OGE) binnen kürzester Zeit eine knapp 30 Kilometer lange Gasleitung mit Anschluss an die Hauptgasfernleitung und den Erdgasspeicher in Etzel.

Der LNG-Umschlag in Stade soll im Winter 2023/2024 in Betrieb gehen. Die Hanseatic Energy Hub GmbH betreibt im Seehafen Stade-Bützfleth das Projekt zum Bau eines landgestützten LNG-Terminals. Der Baubeginn für die Hafeninfrastuktur wurde am 16. September 2022 genehmigt, am 12. Oktober 2022 hat die niedersächsische Hafeninfrastukturgesellschaft NPorts den Bauauftrag vergeben.

Der erste Rammschlag für den Anleger folgte am 20. Januar 2023. Dort soll zunächst eine FSRU in Betrieb gehen (Ende 2023), bis das landseitige Terminal seine Arbeit aufnehmen kann (nach Stand der Planungen 2026/2027). Außerdem soll in Wilhelmshaven ohne Landesfinanzierung ein drittes niedersächsisches LNG-Terminal durch ein Konsortium um das Unternehmen Tree Energy Solutions (TES) entstehen.

DEUTSCHLANDGESCHWINDIGKEIT AUF WEITERE PROJEKTE ÜBERTRAGEN Die abgeschlossenen und laufenden LNG-Vorhaben zeigen, dass bei entsprechender Koordination, Bündelung und Priorisierung eine erheblich schnellere Genehmigungspraxis möglich ist – ohne Abstriche beim Umwelt- und Naturschutz. Diese neue Deutschlandgeschwindigkeit wollen wir für andere Projekte beibehalten.

Die Landesregierung ist daher entschlossen, bei den Planungs- und Genehmigungsverfahren im Klimaschutz weiter Tempo zu machen und die Rechtssicherheit der Verfahren zu verbessern. Dafür brauchen wir besser ausgestattete und effizienter organisierte Planungs- und Genehmigungsbehörden. Für die schnelle Transformation von Wirtschaft und Energieversorgung brauchen wir daher eine dauerhafte Stärkung der Energiewendebehörden. Die Landesregierung hat daher die „Taskforce Energiewende“ eingerichtet.

ENERGIEIMPORTE UNAUSWEICHLICH Es ist angesichts der geopolitischen Abhängigkeiten auf dem Energiemarkt und der damit einhergehenden Risiken eine nationale Aufgabe, zukünftig geeignete und ausreichende LNG-Importinfrastrukturen bereitzustellen. Nach einer Übergangszeit sollen diese neuen Infrastrukturen zügig „grün“ werden.

Grundsätzlich wird Deutschland auch bei einer klimaneutralen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien auf Energieimporte angewiesen sein. Die Energieimporte Deutschlands werden dabei deutlich zurückgehen, auch ihre Zusammensetzung ändert sich voraussichtlich grundlegend. Die Größenordnung dieser klimaneutralen Importe ist dabei von diversen Randbedingungen abhängig. Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit mit klimaneutralen Energieträgern wie Wasserstoff bzw. dessen Derivaten werden jedoch voraussichtlich mehrere Importterminals in Deutschland erforderlich sein.

Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger – und seine Derivate – sind wichtige Bausteine in der Klimastrategie des Landes Niedersachsen und der Bundesregierung. Ohne den Einsatz alternativer Energieträger, die aus erneuerbaren Energien gewonnen werden, werden wir die Klimaziele des Pariser Abkommens nicht erreichen. Insbesondere die Industrie hat vor dem Hintergrund ambitionierter Klimaschutzziele ein Eigeninteresse an der Entwicklung alternativer, emissionsarmer Prozesse, um trotz schärferer Umweltauflagen und steigender Energiekosten weiterhin international wettbewerbsfähig zu bleiben. Bei vie-

len Anwendungsfällen in der Industrie ist der Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff bzw. synthetischen Energieträgern die einzige Alternative, um die energiebedingten CO₂-Emissionen im Industriesektor deutlich zu senken – beispielsweise bei der Stahlerzeugung.

Laut LNG-Beschleunigungsgesetz (LNGG) darf die erforderliche immissionsschutzrechtliche Genehmigung zum Betrieb von schwimmenden und stationären landgebundenen LNG-Anlagen nur unter der Maßgabe erteilt werden, dass der Betrieb dieser Anlagen mit verflüssigtem Erdgas spätestens am 31. Dezember 2043 eingestellt wird. Die Genehmigung für einen Weiterbetrieb darüber hinaus darf nur für einen Betrieb mit klimaneutralem Wasserstoff und entsprechenden Derivaten erteilt werden.

Unabhängig davon setzt sich die Landesregierung dafür ein, die LNG-Anlagen so rasch wie möglich und deutlich vor der gesetzlichen Frist in den Betrieb mit klimaneutralem Wasserstoff bzw. entsprechenden Derivaten zu überführen. Zeitpunkt und Umfang der Verfügbarkeit klimaneutraler Gase hängt stark von der Entwicklung der weltweiten Angebotssituation dieser Energieträger sowie den jeweiligen Preisen ab. Eine verlässliche Prognose, ab wann klimaneutrale Gase auf dem Weltmarkt erhältlich sein werden, ist aktuell nicht möglich.

HEUTE LNG-, MORGEN WASSERSTOFF-TERMINAL Inwieweit ein LNG-Terminal für den Umschlag von Wasserstoff umgerüstet werden muss, hängt von der jeweiligen Wasserstofftransportform ab. Ein LNG-Terminal kann ohne größeren technischen Aufwand an bestehenden Anlagen und Leitungen für den Umschlag von Ammoniak oder flüssigem synthetischem Methan genutzt werden.

Der Transport von gasförmigem Wasserstoff erfordert sehr hohen Druck oder eine Kühlung auf extrem niedrige Temperaturen, um ihn flüssig zu halten. In flüssigem Aggregatzustand erreicht Wasserstoff wiederum die höchste Dichte. Für den Transport von flüssigem Wasserstoff müssten Anlagen und Leitungen erheblich umgerüstet werden, da die Temperaturen bei flüssigem Wasserstoff deutlich niedriger liegen als bei LNG. Zudem existiert bisher noch kein Wasserstofftransport – im Gegensatz zu LNG – in großem Umfang und über große Entfernungen. Zum einen sind noch technologische Entwicklungen erforderlich, zum anderen fehlen die Transportinfrastruktur und die entsprechenden Standards.

Auch wenn nicht alle Anlagenteile eines LNG-Terminals auf Wasserstoffimport umgestellt werden können, werden gleichzeitig mit den Flüssigerdgas-Terminals auch hierfür wichtige Voraussetzungen geschaffen. So können zentrale Elemente der LNG-Infrastruktur für einen späteren Wasserstoffimport genutzt werden: Die für den LNG-Import bereitgestellten Leitungs- und Speicherkapazitäten braucht es ebenso für den anschließenden Wasserstoffimport. Ähnliches gilt für die hafenseitigen Anbindungsstrukturen, deren Bau wir mit hohem Tempo vorantreiben. Sie müssen ohnehin kurzfristig sowohl für LNG als auch mittel- und langfristig für Wasserstoff zur Verfügung stehen. ||



Autor:

Olaf Lies
Niedersächsischer Wirtschaftsminister,
Hannover

EINE WASSERSTOFFINFRASTRUKTUR FÜR DIE ENERGIEWENDE

TransHyDE – Entwicklung und Bewertung von H₂-Transportpfaden

Grüner Wasserstoff soll in Zukunft vielen Sektoren zur Klimaneutralität verhelfen. Doch noch gibt es Lücken in der Umsetzung beim Transport sowie bei der Speicherung. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte H₂-Leitprojekt TransHyDE betrachtet verschiedene molekulare Transportoptionen für grünen Wasserstoff: gasförmigen Wasserstoff (GH₂), flüssigen Wasserstoff (LH₂), Ammoniak (NH₃) sowie organische Trägerflüssigkeiten (Liquid Organic Hydrogen Carrier, kurz: LOHC).

Am 30. Dezember 2022 fand in Berlin die erste wissenschaftliche Konferenz des Leitprojekts TransHyDE statt, bei der techno-ökonomische und regulatorische Hindernisse auf dem Weg zu einer effizienten Speicher- und Transportinfrastruktur im Fokus standen. Dabei stellten Projektmitarbeitende wichtige Lösungsansätze und Erkenntnisse aus ihren Forschungsarbeiten vor und diskutierten diese mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.

30

GANZHEITLICHE SYSTEMANALYSE ZUR INFRASTRUKTUR

In der fachlichen Eröffnung der wissenschaftlichen Konferenz illustrierte Prof. Dr. Mario Ragwitz (Fraunhofer IEG) die herausgehobene Relevanz der Sektorkopplung in einem klimaneutralen zukünftigen Energiesystem. Insbesondere durch die Komplexität der Modellierung von Multienergiesystemen sowie der hohen erforderlichen räumlichen Auflösung der dazugehörigen Infrastrukturen wird der Arbeitsauftrag von TransHyDE verdeutlicht. Lediglich durch die ganzheitliche Vereinigung von systemanalytischen Modellen sowie spezifischem Fachwissen ließen sich die offenen Fragen der Energiewende beantworten.

Dr. Joshua Fragoso Garcia (Fraunhofer ISI) beschäftigte sich in seinem Beitrag mit der Frage, wie der europäische Wasserstoffbedarf kosteneffizient gedeckt werden kann. Hierzu untersuchte er modellbasiert zwei Szenarien, die sich hauptsächlich in ihren Wasserstoffbedarfen un-

terscheiden (Basisszenario: H₂ nur als Grundstoff für die Chemie- und Stahlindustrie; erweitertes Szenario: breitere Anwendung von Wasserstoff zusätzlich im Bereich der Prozesswärme, Lkw auf der Langstrecke, und dezentralen Wärmeversorgung).

Die Modellergebnisse zeigen, dass in Europa ausreichend erneuerbare Potenziale vorhanden sind, um den Großteil des Wasserstoffbedarfs kosteneffizient zu decken (siehe Abb. 1). Außereuropäische H₂-Importe sind kostengetrieben nur in kleinem Umfang Teil der Lösung (~10 % bzw. 12,7 % der modellierten 1.383 TWh bzw. 2.495 TWh im Jahr 2045 im Basisszenario bzw. erweiterten Szenario). Für den innereuropäischen Ausgleich von Wasserstoffangebot und -nachfrage zeigen die Szenarienergebnisse einen Vorteil für regionale Wasserstoffherzeugung (s. Abb. 1) mit gekoppeltem Ausbau von H₂-Pipelines, welche Nord- und Südeuropa mit Mitteleuropa verbinden.

SICHERER WASSERSTOFFTRANSPORT: REALITÄT STATT VISION

Durch die systemanalytische Forderung, größere Mengen an gasförmigem Wasserstoff über Pipelines zu transportieren, stellen sich unmittelbare Sicherheitsfragen, welchen Dr. Frank Schweizer (Fraunhofer IWM) sowie Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein (Fraunhofer IPM) in ihrem Vortrag begegneten. Die Referenten hoben hierbei hervor, dass Stahlproben bereits in Wasserstoffumgebung hinsichtlich relevanter Verfahren und rechnerischer Konzepte bezogen auf statische Lasten, Ermüdung und Rissfortschritt auf ihre Wasserstoffverträglichkeit geprüft werden können. Darüber hinaus ist eine genaue und kostengünstige Detektion von Wasserstoffleckagen, beispielsweise über die charakteristische Wärmeleitfähigkeit oder die Schallgeschwindigkeit des Wasserstoffs, möglich.

Neben der sicherheitsrelevanten H₂-Leckagemessung ist gleichermaßen die Gewährleistung einer kontinuierlichen Qualität des transportierten Wasserstoffs erforderlich. Dr. Achim Zajc (Meter-Q Solutions) stellte in seinem

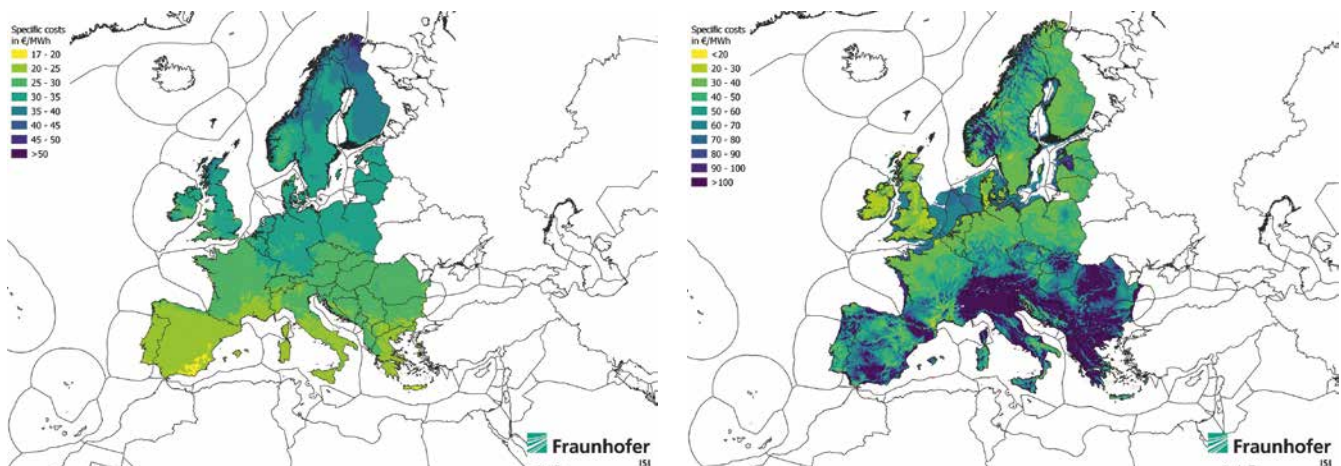


Abb. 1: Spezifische Photovoltaik- (l.) und Windstromerzeugungskosten (r.) in Europa.

[Quelle: Benjamin Lux, Joshua Fragoso, Frank Sensfuß – TransHyDE scientific conference 2022]

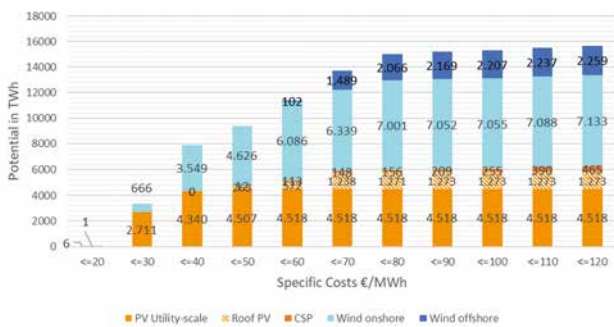


Abb. 2: Stromerzeugungspotentiale in Europa (2045)
[Quelle: Benjamin Lux, Joshua Fragoso, Frank Sensfuß – TransHyDE scientific conference 2022]

Beitrag mit dem firmeneigenen Nanogasprozesschromatographen (MGC) eine Möglichkeit vor, Wasserstoffgas und seine Verunreinigungen mit hoher Genauigkeit messen zu können. Der MGC macht sich hierbei die herausragende Wärmeleitfähigkeit des Wasserstoffs zunutze. Durch die direkte Kopplung des MGC an Pipelines lassen sich nicht nur die Anforderungen der Gasgruppe A (G260 9/2020) erfüllen, sondern ebenso die Messzeiten (< 45 s) und anfallenden Emissionen erheblich verringern, da unnötige Bypässe, lange Transportwege und Wasserstoffemissionen vermieden werden können.

AMMONIAK: VIEL MEHR ALS NUR EIN CHEMISCHER H₂-SPEICHER Ammoniak ist bereits heute zentraler Grundstoff verschiedener Industrien und wird als Molekül für effizienten interkontinentalen Energietransport sowie zahlreiche Direktanwendungen diskutiert. Trotz bereits vielseitiger Einsatzmöglichkeiten könnte die Wandlung von Ammoniak zu Wasserstoffgas (Reformierung) in verschiedenen Szenarien zur Deckung des H₂-Bedarfs erforderlich werden. Das energiewirtschaftliche Potential der Reformierung stellte Dr. Michael Poschmann (Max-Planck-Institut CEC) bei der Vorstellung von Forschungsarbeiten zur Verbesserung der eingesetzten Katalysatoren in den Mittelpunkt. Mittels speziell zu diesem Zweck entwickelter Reformierprüfstände (Druckbereich bis 40 bar) werden wesentliche Charakteristika der Reaktion (wie Umsetzungsgrad, Reaktionskinetik etc.) für verschiedene Katalysatormaterialien und -strukturen analysiert und mit bekannten Katalysatoren aus ähnlichen Katalyseprozessen verglichen.

Eine der vielseitigen direkten Anwendungsmöglichkeiten von Ammoniak wurde nachfolgend von Prof. Dr. Hinrich Mohr (GasKraft Engineering) am Beispiel eines ammoniakbetriebenen Verbrennungsmotors ausgeführt, der mit einer Leistung von 350 kW Anwendung in der Binnenschifffahrt finden kann. Erste Einzylinder-Verbrennungsversuche eines 50/50-Gasgemischs aus NH₃/H₂ bei Teillastbetrieb mit einem Mitteldruck von 11 bar erreichten bereits eine Effizienz von 39 Prozent.

Klaas Büsen (Hochschule Wismar) ergänzte die präsentierten Themen im Zusammenhang einer Ammoniak-Wertschöpfungskette um weitere Aspekte. In seinem Vortrag stellte er flexible Betankungs- und Bebunkerungskonzepte (sowohl an Land als auch auf See) sowie Technologien zur Gewährleistung der Anwendungssicherheit vor. Unter Betrachtung technologischer, wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte erfolgt eine szenarienbasierte Bedarfsplanung für die Transportlogistik von Ammoniak mit dem Stützjahr 2035.

I.E. Philip Green (Australische Botschaft in Berlin) hob die Frage der Transportlogistik auf ein globales Niveau und skizzierte die Möglichkeiten einer künftigen Ammoniaktransportkette von Australien nach Deutschland. Durch Projekte wie das Asian Renewable Energy Hub (26 GW Wind- und PV-Erzeugungsleistung), mit dem Australien enorme Investitionen in die Ausschöpfung seiner Erneuerbare-Energien-Potentiale tätigt, werden sich perspektivisch große Mengen grünen Wasserstoffs (gebunden in Ammoniak) jährlich exportieren lassen. Durch die niedrigen Stromgestehungskosten in Australien sowie geringe Zusatzkosten für die Ammoniaksynthese, den Schiffs-transport und die Reformierung sollen wettbewerbsfähige Preise möglich sein.

FLÜSSIGWASSERSTOFF - ERPROBTE TRANSPORTOPTION MIT POTENTIAL Eine zum Ammoniak alternative Transport- und Speicheroption stellt Flüssigwasserstoff dar. Dr. Michael J. Wolf und Sebastian Palacios V. (beide Karlsruher Institut für Technologie) stellten in ihren Vorträgen die einzigartigen Eigenschaften von LH₂, dessen Chancen, aber auch spezifische Herausforderungen vor, die in einem kürzlich erschienen Whitepaper auf der Leitprojekte-Webseite näher erläutert werden. Wesentliche Effizienzsteigerungspotentiale ließen sich beispielsweise in Kombination mit Hochtemperatursupraleitern bei gekoppeltem Strom- und Wasserstofftransport (hybride Pipeline) oder bei elektrischen Komponenten durch Erhöhung der Leistungsdichte erschließen. Prof. Alexander Alekseev (Linde) veranschaulichte anhand eines dynamischen Simulationsmodells einer LH₂-Transportkette im Gleichgewichts- und Nichtgleichgewichtszustand, dass eine schnellere und effizientere Befüllung sowie Entleerung von LH₂-Tanks durch großskalige Zentrifugal-LH₂-Pumpen vorteilhaft sein könnte.

WÄRMENUTZUNG BEI LOHC-PROZESSEN Für die Transport- und Speicherlogistik von flüssigen organischen Wasserstoffträgern zeigen sich ebenfalls starke Optimierungsmöglichkeiten. Beispielsweise lässt sich die Effizienz steigern, indem die Abwärme bei der Hydrierung oder zur Dehydrierung die industrielle Prozesswärme vor Ort genutzt wird, wie Monja Grote (Hamburger Hafen und Logistik AG) und Siying Huang (Hydrogenious LOHC Technologies) erläuterten. Außerdem sind weite Teile der bestehenden Infrastruktur für flüssige Brennstoffe ökonomisch weiterhin nutzbar, da Hydrogenious das Thermalöl Benzyltoluol als LOHC verwendet, welches sich ähnlich einfach handhaben lässt wie Diesel. Über die Hebung dieser Potentiale lasse sich der Business Case rund um die Versorgungsketten mittels LOHC weiter ausgestalten und perspektivisch in die Realwirtschaft transferieren, so die Referentinnen.

KEINE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT OHNE NORMUNG Alle vorgestellten Technologien setzen für ihre praktische Einführung jedoch einheitliche Vorgaben wie Normen, Standards und Zertifizierungen voraus. Hierzu erläuterte Thomas Systemans (DVGW) die bisherigen Ergebnisse einer Bestandsanalyse technischer Regelwerke, welche die Transportoptionen in TransHyDE umfassen. Die statistischen Auswertungen bezüglich der H₂-Tauglichkeit zeigen, dass 57 Prozent der 693 Dokumente auf Wasserstoff anwendbar sind. Weitere zwei Prozent weisen lediglich eine beschränkte H₂-Tauglichkeit auf, während 41 Prozent nicht für Wasserstoff geeignet sind. Die konsolidierten Da-

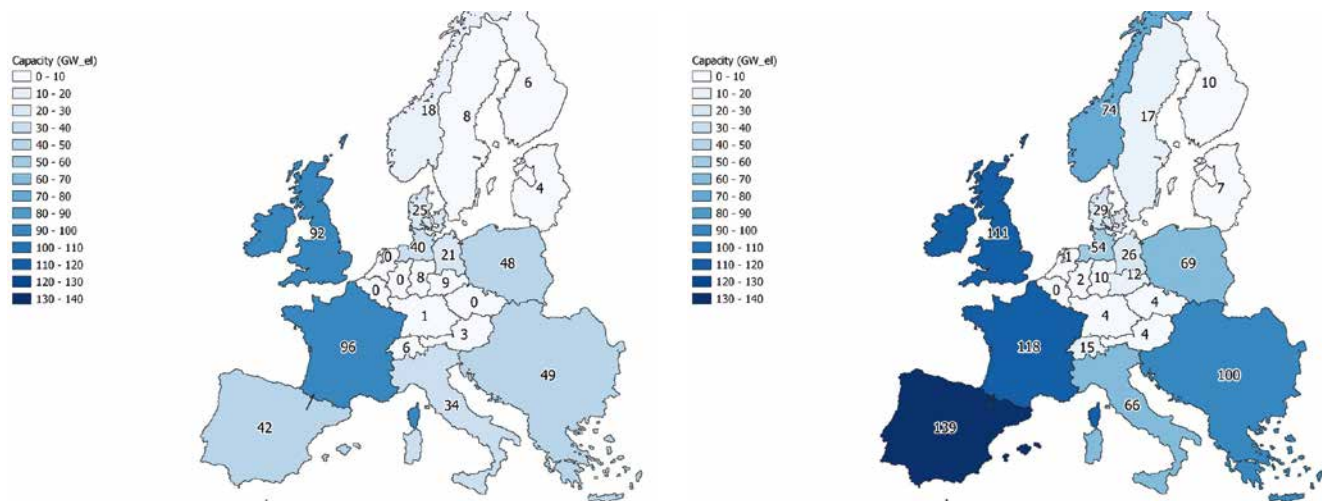


Abb. 3: Modellierter installierter Elektrolyseurkapazität im Jahr 2045. Links: Basisszenario; rechts: Erweitertes Szenario
[Quelle: Benjamin Lux, Joshua Fragoso, Frank Sensfuß – TransHyDE scientific conference 2022]

ten münden in einem nächsten Schritt in eine Bedarfsanalyse der zu überarbeitenden Normen, aus welcher schlussendlich eine Handlungsempfehlung zur Schließung der Lücken erfolgt.

Die enorme Relevanz eines konsistenten Rechtsrahmens für den Aufbau einer Transport- und Speicherinfrastruktur stellten im darauffolgenden Vortrag Friederike Allolio und Leony Ohle (beide IKEM) heraus. In ihrer Studie wurden Lücken im bestehenden Rechtsrahmen entlang der gesamten H_2 -Wertschöpfungskette mit Schwerpunkt auf der Transportinfrastruktur identifiziert. Insbesondere durch langwierige und komplexe Genehmigungsverfahren ergeben sich konkrete Hindernisse bei dem Ausbau einer Infrastruktur.

FORSCHUNGSMINISTERIN SIEHT IN H_2 „FEHLENDES PUZZLESTÜCK“ Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger ergänzte in einer Live-Zuschaltung die politische Perspektive. Sie verdeutlichte die Relevanz der Energiewende für viele Herausforderungen in unserer gegenwärtigen unruhigen und von Krisen geprägten Zeit. Klimaneutralität lasse sich nur über einen schnellen Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Nutzung von Wasserstoff als vielseitig einsetzbarem Energieträger erreichen. Stark-Watzinger betonte, dass die Kombination aus Forschung und praktischen Demonstrationen die Grundlage bilde, um den Entwicklungs- und Ausbauprozess der Wasserstofftechnologien zu beschleunigen. TransHyDE demonstriert als Teil der H_2 -Leitprojekte, wie die Hindernisse auf dem Weg zu einer Wasserstoffinfrastruktur aus dem Weg geräumt werden können, und zeigt passende Lösungsansätze auf. Mithilfe dieser Projektergebnisse wird die Basis für die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft geschaffen.

TECHNO-ÖKONOMISCHE UND REGULATORISCHE LÜCKEN Abschließend fand unter der Moderation von Lea-Valeska Giebel (dena) eine Panel-Diskussion mit Teilnehmenden aus Forschung, Industrie und Zivilgesellschaft statt. Die übergeordnete Fragestellung fokussierte sich auf die techno-ökonomischen und regulatorischen Lücken beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft.

Neben den TransHyDE-Koordinatoren Prof. Dr. Robert Schlögl (Direktor Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft) und Prof. Dr. Mario Ragwitz diskutierten Piotr

Kuś (General Director ENTSOG) und Ralph Bahke (Managing Director ONTRAS) aus der Industrie sowie Ulrike Hinz (Policy Advisor Klima und Energie WWF Deutschland), vertretend für die Zivilgesellschaft, miteinander. Hierbei verdeutlichte Piotr Kuś die Komplexität der Aufgabe, künftige Wasserstoffinfrastrukturen in bestehende Energieinfrastrukturlandschaften zu integrieren. Seiner Ansicht nach geschieht dies idealerweise in einer Bottom-up-Verfahrensweise.

Für Ulrike Hinz besteht die wesentliche Herausforderung in der ganzheitlichen Betrachtung der Aspekte Klima- und Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit. Ihrer Meinung nach ist eine grundlegende Aufgabe der Ausbau der erneuerbaren Energien als Voraussetzung für die Etablierung einer grünen Wasserstoffwirtschaft. Grundsätzliche Einigkeit bestand bei den Panelisten über die Relevanz der Entwicklung eines regulatorischen Rahmens. Wobei für Ralph Bahke geeignete Finanzierungsmodelle einer künftigen Wasserstoffwirtschaft eine besondere Rolle in diesem Rahmen einnehmen.

Robert Schlögl und Mario Ragwitz komplementierten, dass der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland Technologieoffenheit und europäische Zusammenarbeit benötige. Für die Planung und Entwicklung der Infrastruktur werden alle Optionen Beachtung finden und entsprechend systemanalytischer Optimierung verwendet werden. ||

AutorInnen:



Fenja Bleich
→ fenja.bleich@cec.mpg.de



Hauke Hinners
→ hauke.hinners@cec.mpg.de
beide vom Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, Mülheim a. d. Ruhr



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 

EIN RIESIGER HEBEL, DEN ES NUN ZU NUTZEN GILT

Richtlinienentwurf zu Klimaschutzverträgen



Abb. 1: Als Teil des eFarm-Projekts in Nordfriesland wandeln die PEM-Elektrolyseure von H-Tec Systems erneuerbaren Strom in grünen Wasserstoff um [Quelle: H-Tec Systems]

Kürzlich hat die Bundesregierung den Entwurf für eine Richtlinie zu Klimaschutzverträgen, auch Carbon Contracts for Difference (CCfD) genannt, vorgelegt. Wer seine Produktion klimafreundlich macht, soll auf der Basis eines 15-jährigen Vertrags zwischen Staat und Betrieb sowohl Geld für Investitionen als auch jährlich Mittel für die teurere grüne Produktion bekommen. Ziel der Maßnahme ist vor allem, die Umsetzung zu ermöglichen und zu beschleunigen. Interessant ist dieses Instrument unter anderem für die Transformation der Industrie in Richtung einer grünen Wasserstoffwirtschaft. Dr. Uwe Lauber, Vorstandsvorsitzender der MAN Energy Solutions, bewertet das Instrument aus Sicht eines Anlagenherstellers.

HZwei: Wie bewerten Sie diesen Aufschlag zu Klimaschutzverträgen aus der Bundespolitik?
Dr. Lauber: Wir sehen die von der Bundesregierung geplanten Klimaschutzverträge als einen ersten Schritt in die richtige Richtung. Der deutsche Industriesektor hat 2021 120 Mio. Tonnen CO₂ ausgestoßen. Hier hat die Politik einen riesigen Hebel, den es nun zu nutzen gilt. Wichtig ist, dass Unternehmen, die auf CO₂-ärmere oder CO₂-freie Technologien umsteigen, in einem marktkonformen Rahmen vor wirtschaftlichen Nachteilen geschützt werden. Die geplanten Klimaschutzverträge geben eine solche Perspektive, werden sich aktuell aber nur auf einige wenige Industrieunternehmen beschränken.

Unter anderem muss laut Entwurf nach zwei Jahren die geförderte Anlage im Vergleich zur herkömmlichen Technologie eine CO₂-Ersparnis von 60 Prozent erzielen. Zudem wird gefordert, mit der eingesetzten Technologie oder dem Energieträger theoretisch eine Reduktion um 95 Prozent zu ermöglichen. Inwieweit sehen Sie die Vorgaben als realistisch an? Sind diese zu hochgesteckt oder könnten sie sogar noch ambitionierter sein?

Technologisch ist diese Zielerreichung möglich, denn die Technologien zur CO₂-Vermeidung liegen bereits vor und sind ausgereift. Wichtig ist, dass die Messlatte mit Augenmaß und wirtschaftlichem wie technischem Sachverstand gelegt wird. Entscheidend für die deutsche Volkswirtschaft ist im Moment, dass es endlich gelingt, industrielle Großprojekte auf den Weg zu bringen – etwa im Bereich der Wasserstoffwirtschaft, synthetischen Kraftstoffe oder der CO₂-Abscheidung.

DETAILS DES ENTWURFS ZU KLIMASCHUTZVERTRÄGEN (CARBON CONTRACTS FOR DIFFERENCE, CCFD)

Laut dem Ende vergangenen Jahres vorgelegten Entwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hinsichtlich einer Förderrichtlinie sollen sich Unternehmen in Ausschreibungen für Klimaschutzverträge bewerben können.

- Dabei handelt es sich um Verträge zwischen dem Staat und einem Unternehmen für die klimafreundliche Produktion eines Gutes. Dies gilt etwa für den Wechsel vom Hochofen auf die Direktreduktion mit Wasserstoff in der Stahlerzeugung.
- Solch ein Vertrag garantiert dem Unternehmen für einen Zeitraum von 15 Jahren eine Ausgleichszahlung, die es für die höheren Kosten der klimaneutralen Produktion entschädigt. Gleichzeitig sichert er das Unternehmen gegen Schwankungen des CO₂-Preises und andere Risiken ab.

Die Umsetzung soll an diverse Kriterien gebunden sein:

- Für das Vorhaben muss grüner oder blauer Wasserstoff als Energieträger vorhanden sein bzw. muss der eingesetzte Strom aus erneuerbaren Energien stammen.
- Wer einen Vertrag abschließt, ist gefordert, seine Anlage innerhalb von zwei Jahren in Betrieb zu nehmen.
- Die CO₂-Ersparnis im Vergleich zu herkömmlichen Technologien muss nach zwei Jahren bei 60 Prozent liegen, und mit der eingesetzten Technologie oder dem Energieträger muss theoretisch eine Reduktion um 95 Prozent möglich sein.
- CO₂-Zertifikatepreis als Gradmesser: Laut Entwurf endet die staatliche Förderung dann, wenn während der Vertragslaufzeit der tatsächliche CO₂-Preis den bei Abschluss zugrundeliegenden Preis übersteigt.
- Der Einsatz von Biomasse soll nur in Ausnahmefällen förderfähig sein.

Welche weiteren Verbesserungsvorschläge für den Richtlinienentwurf haben Sie?

Der aktuellen Fassung zufolge werden nur einige wenige große Industriebetriebe von den Klimaschutzverträgen profitieren. Das ist sinnvoll, um Erfahrungen mit dem neuen Instrument zu sammeln und Projekte mit besonders großer Hebelwirkung vorrangig anzustoßen. Mittelfristig müssen Klimaschutzverträge aber auch für kleine und mittelgroße Industrieunternehmen möglich werden. Wir dürfen zudem nicht aus den Augen verlieren, dass ein wirkungsvoller CO₂-Preis nach wie vor der bedeutendste und marktgängigste Hebel ist. Derzeit ist aber der Preis deutlich zu niedrig.

Wie wichtig ist das Thema Geschwindigkeit? Wie schnell sollte die Richtlinie in Kraft gesetzt werden?

Die Zeit läuft uns davon und wir müssen endlich anfangen, klimafreundliche Technologien in industriellen Größenordnungen umzusetzen. Nur so können wichtige Betriebserfahrungen gewonnen und vor allem Skaleneffekte erzielt werden, die lang- und mittelfristig zu Kostensenkungen und Wettbewerbsvorteilen führen und letztlich gut bezahlte Industriearbeitsplätze sichern und schaffen. Die aktuellen Pläne der Bundesregierung zu Klimaschutzverträgen sind ein Schritt in die richtige Richtung.

Inwieweit gehen Sie davon aus, dass diese Fördermaßnahme dazu geeignet ist, Projekte im Bereich grüner und blauer Wasserstoff konkret anzureizen? Wie würde sich der Markt ohne solche Maßnahmen entwickeln?

Die spannende Frage ist: Wie vermeidet man das sogenannte Henne-Ei-Dilemma, bei dem potenzielle Hersteller von Wasserstoff ihre Investition an eine gesicherte Nachfrage knüpfen, die potenziellen Abnehmer ihre aber wiederum an ein gesichertes Angebot. Hier können Instrumente, die entsprechende Investitionen anregen, helfen. >>



Abb. 2: Dr. Uwe Lauber, Vorstandsvorsitzender der MAN Energy Solutions [Quelle: MAN Energy Solutions]

35

Carrying the new energy world.

Hydrogenious LOHC stellt das Missing Link für großvolumige flexible Wasserstofflieferketten weltweit – egal wie komplex die Route.

Basierend auf seiner innovativen Liquid Organic Hydrogen Carrier-Technologie ermöglicht der deutsche Marktpionier das Handling von Wasserstoff als ein Öl. Damit gelingt die Speicherung und der Transport von Wasserstoff auf besonders sichere, einfache und effiziente Weise – bei hoher Speicherdichte, unter Umgebungsbedingungen und in konventioneller Flüssigbrennstoff-Infrastruktur.



Besuchen Sie uns auf der Hannover Messe. Halle 13, Stand C 25



36

Abb. 3: Mit dem modularen Baukastensystem Hydrogen Cube System (HCS) von MAN Energy Solutions lassen sich PEM-Elektrolyseanlagen im Bereich 10 bis 100 MW realisieren

Unter anderem soll auch die CO₂-Verpressung im Untergrund gefördert werden. Wie bewerten Sie diese Maßnahme? Welche Potenziale sehen Sie hier etwa in puncto Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit, auch im Vergleich zu Wasserstoff?

Wasserstoff und Carbon-Capture-Technologien (CCUS) gehen ein Stück weit Hand in Hand. CCUS ist nicht nur unverzichtbar, um unvermeidbare Restemissionen zu eliminieren, sondern die Technologie kann auch die Basis einer CO₂-Kreislaufwirtschaft bilden, die die Abscheidung, anschließende Nutzung und erneute Abscheidung von CO₂ sicherstellt – eine Art Pfandsystem. CO₂ ist beispielsweise ein wichtiger Rohstoff, um grünen Wasserstoff in dringend benötigte synthetische Kraftstoffe umzuwandeln.

Welche Chancen eröffnet das Instrument für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau, etwa beim Bau von Elektrolyseuren?

Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau ist bereits führend bei der Wasserstoff- und auch CCUS-Technologie. Auch die vielfältige Industriedichte in Deutschland bietet optimale Voraussetzungen, um Deutschland als Klimachampion und Vorreiter zu positionieren. Die Gefahr ist aber groß, dass andere Länder und Regionen uns überholen, und das liegt vor allem daran, dass die bürokratischen Verfahren für die Umsetzung von konkreten Projekten viel zu langwierig sind. Da sind andere Länder deutlich effektiver, effizienter und dadurch auch schneller.

Inwieweit erfüllen Ihre Anlagen die Vorgaben der Richtlinie?

Wir bieten bereits eine Vielzahl von Technologien an, die Industriekunden helfen, ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren. Unter anderem haben wir beträchtlich in unser Tochterunternehmen H-Tec Systems investiert, um das Unternehmen in den nächsten Jahren zu einem der Top-3-Anbieter für

Elektrolyseure zur Erzeugung von grünem Wasserstoff zu entwickeln. Schon heute bietet H-Tec Systems das sogenannte Hydrogen Cube System (HCS) an, ein modulares Baukastensystem, um große PEM-Elektrolyseanlagen im Bereich 10 bis 100 MW zu realisieren. Wie alle anderen Hersteller arbeiten wir mit Hochdruck an einer Serienfertigung von Elektrolyse-Stacks und planen dazu den Bau einer Gigafactory bei Hamburg. Zudem kommen unsere Kompressoren weltweit bereits in mehr als 30 Carbon-Capture-Projekten zum Einsatz und sind somit bereits technisch ausgereift. Außerdem bieten wir industrielle Großwärmepumpen an, um große Industrieanlagen nachhaltig mit Prozesswärme und -kälte zu versorgen.

Was sind die Spezifika und Unterscheidungsmerkmale ihrer Komponenten im Wettbewerb?

Wir decken mit unseren Technologien zum einen die gesamte Wasserstoffwertschöpfungskette von der Elektrolyse über den Transport bis hin zu Reaktoren zur Umwandlung in synthetische Kraftstoffe ab. Zum anderen sind wir weltweit führend in der Produktion von Getriebekompressoren für die CO₂-Verdichtung. Weltweit hat kein Unternehmen in diesem Bereich mehr Erfahrung als wir. Auch unsere Wärmepumpentechnologie beruht auf erprobten und ausgereiften Technologien. Wir sprechen also nicht von Zukunftsplänen, sondern von Technologien, die bereits seit vielen Jahren im Feld im Einsatz sind.

Welche konkreten Markterwartungen für die kommenden Jahre haben Sie im Bereich Wasserstoff und gegebenenfalls CO₂-Verpressung?

Wir haben eine Reihe von Kerntechnologien identifiziert, auf die wir uns künftig konzentrieren werden. Alle diese

Technologien haben einen immensen CO₂-Hebel, um die Emissionen der Industrie und anderer energieintensiver Sektoren, die nur schwer zu elektrifizieren sind, zu reduzieren. Konkret sind das neben Elektrolyseuren und CCUS-Großwärmepumpen und klimaneutral betriebene Motoren für Schifffahrt und Energiegewinnung. Wir gehen davon aus, dass wir allein mit diesen Technologien bis zu zehn Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen adressieren können.

Die Bundesregierung erwägt neben den Klimaschutzverträgen auch das Instrument der grünen Leitmärkte umzusetzen (s. Infokasten). Der Staat kann dabei klimaneutral hergestellte Grundstoffe in seiner eigenen Beschaffung bevorzugen oder durch regulatorische Maßnahmen deren Einsatz vorschreiben. Der Wissenschaftliche Beirat empfiehlt, den grünen Leitmärkten den klaren Vorrang gegenüber Klimaschutzverträgen zu geben. Wie bewerten Sie die Ergebnisse dieses Gutachtens?

Über den Prozess der eigenen Beschaffung könnte die Bundesregierung mit gutem Beispiel vorangehen und zugleich einen großen Hebel umlegen. Umso größer ist dieser Hebel, wenn aus den grünen Leitmärkten regulatorische Rahmenbedingungen hervorgehen, die Standards vorschreiben, welche sich mithilfe klimafreundlicher Technologie adressieren ließen. Am Ende brauchen wir eine smarte Kombination aus wirksamer Förderung und einem regulatorischen Rahmen, in dem es stets wirtschaftlicher ist, das CO₂ abzuscheiden und anschließend wieder zu nutzen oder zu speichern, als es zu emittieren. ||

Autor: Michael Nallinger

KLIMASCHUTZVERTRÄGE VERSUS GRÜNE LEITMÄRKTE
Die Bundesregierung setzt bei der Förderung klimaneutraler Produktionsprozesse in der Grundstoffindustrie grundsätzlich auf zwei neue Instrumente: Klimaschutzverträge und grüne Leitmärkte. Ein grüner Leitmarkt ist ein staatlich geschaffener oder geförderter Markt für klimaneutral produzierte Grundstoffe. Dabei kann der Staat grüne Grundstoffe in seiner eigenen Beschaffung bevorzugt verwenden oder er kann durch regulatorische Maßnahmen vorschreiben, dass private Haushalte und Unternehmen in bestimmten Bereichen nur Produkte verwenden dürfen, die einen bestimmten Anteil grüner Grundstoffe beinhalten.

Der Wissenschaftliche Beirat beim BMWK empfiehlt, dem Instrument der grünen Leitmärkte den klaren Vorrang gegenüber Klimaschutzverträgen zu geben. Laut dem Vorsitzenden des Wissenschaftlichen Beirats, Prof. Klaus Schmidt, sind Klimaschutzverträge anfällig für eine Überförderung. Zudem bestehe die Gefahr, den Wettbewerb zu behindern und die Entwicklung neuer Technologien auszubremsen. Prof. Achim Wambach, Mitglied der Arbeitsgruppe, begründet seine Einschätzung so: „Grüne Leitmärkte fördern den Wettbewerb, neue Anbieter können in den Markt kommen, und über die Preiswirkung gibt es starke Anreize, klimafreundliche Technologien zu verbessern und kostengünstiger zu machen.“



Your partner for hydrogen and battery storage solutions

- Hydrogen refueling stations
- Hydrogen generation plants
- 2nd-Life battery storage systems
- Engineering, EPC & System integration

Advanced Engineering and project expertise supporting H₂ and battery storage projects.

covalion
A Framatome Brand

METHAN OHNE WASSERSTOFF

Innovativer Reaktor erzeugt im Labor reines CH₄



Abb. 1: Projektleiter Florian Kiefer neben der Versuchsanlage im Labor. Die Erkenntnisse aus dem neuen Reaktor-konzept dienen als Basis für den Bau von Großanlagen [Quelle: EMPA]

38

Synthetische Energieträger wie künstlich hergestelltes Methan können Ökoenergie transportierbar und langfristig speicherbar machen. Das Problem: Die Herstellung ist mit relativ hohen Energieverlusten verbunden. Bisherige Verfahren benötigen zudem eine zusätzliche Aufreinigung des Methans. Forschende der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) wollen das ändern. Sie haben nun ein neues Konzept für die Methanisierung entwickelt.

Künstlich erzeugtes Methan zählt zur Kategorie synthetischer Gase – und es bietet ein enormes Potential, wenn es aus atmosphärischem CO₂ und erneuerbar erzeugtem Wasserstoff hergestellt wird. Die Methanisierung stellt jedoch einige Herausforderungen dar: Die katalytische Umwandlung von Wasserstoff und CO₂ zu Methan führt zu einem Produkt, das noch Wasserstoff und gegebenenfalls auch CO₂ enthält. Das verhindert eine direkte Einspeisung ins Gasnetz.

DIREKTE EINSPEISUNG INS ERDGASNETZ Schweizer EMPA-Forschende um Florian Kiefer haben deshalb ein neues Reaktor-konzept entwickelt. Das wasserstofffreie Methan wird durch eine sogenannte sorptionsverstärkte Methanisierung erzeugt. Die Idee dahinter: Das bei der Reaktion entstehende Wasser wird während des Prozesses auf einem porösen Katalysatorträger fortlaufend adsorbiert. Dieser kontinuierliche Wasserentzug führt dazu, dass als Produkt nur Methan anfällt. Damit entfällt die Aufreinigung des Produktgemisches. Das Katalysatorträgermaterial wird nach Ende der Reaktion mittels Druckabsenkung wieder getrocknet und steht für den nächsten Reaktionszyklus bereit.

Bereits seit drei Jahren forscht das Team an einem neuen Reaktor-konzept mit sogenannten Zeolith-Pellets. Diese dienen als poröser Katalysatorträger und adsorbieren gleichzeitig das während der Methanisierungsreaktion entstehende

Wasser. „Wir erreichen eine relativ hohe Reinheit des Produktes durch den Effekt der sorptionsverstärkten Katalyse“, so Florian Kiefer, der Projektverantwortliche für die Methanisierung. „Das bedeutet, wir verschieben das Reaktionsgleichgewicht der Sabatier-Reaktion durch eine kontinuierliche Entnahme eines Teils der Produkte.“

In diesem Fall wird das Wasser entzogen. So entsteht nahezu reines Methan oder eben CH₄. „Die Entnahme des Wassers findet im Reaktor kontinuierlich durch Adsorption auf dem Katalysatorträger statt“, beschreibt Kiefer. Um dies zu erreichen, muss der Katalysatorträger eine hohe Wasseraufnahmekapazität haben.

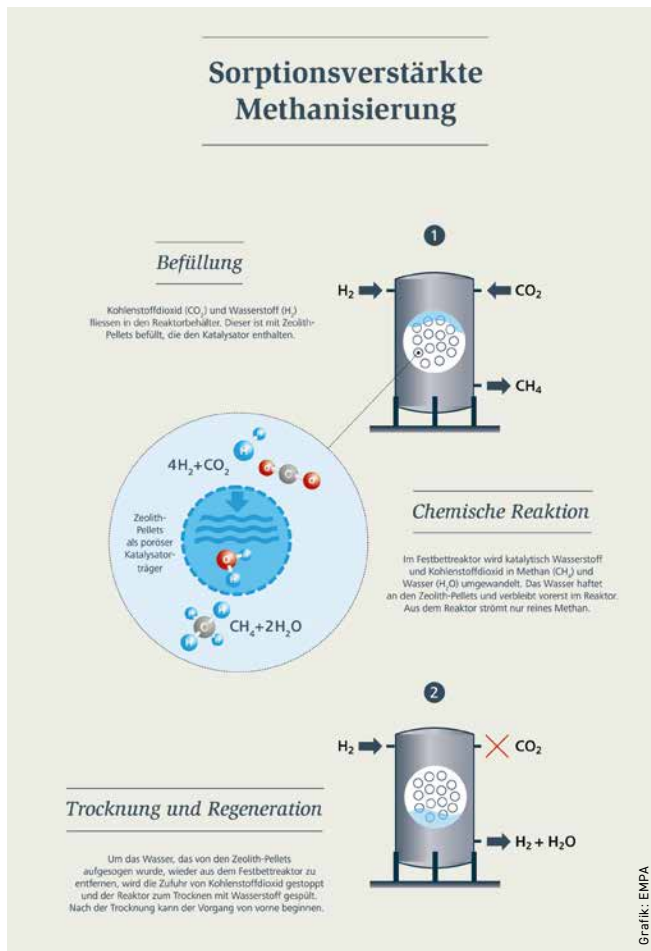
WAS MACHEN ZEOLITH-PELLETS? Mit dem verwendeten Zeolith kreieren die Wissenschaftler am EMPA genau diese Eigenschaft der Speicherung. Zeolithe verfügen über eine hohe Wasseraufnahme, selbst unter den Bedingungen, unter denen die Reaktion stattfindet. Doch was ist das für ein Material? „Zeolithe sind kristalline mikroporöse Aluminosilikate mit großer innerer Oberfläche“, beschreibt der Wissenschaftler, „und daher kommt die hohe Wasseraufnahmekapazität.“

Das Adsorbieren des Wassers ist unter anderem für die Einspeisung ins Gasnetz, die Verflüssigung zu LNG oder auch zur Nutzung in CNG-Fahrzeugen wichtig. Je nach Anwendung werden unterschiedliche maximale CO₂- und H₂-Anteile vorgeschrieben, die man mit möglichst geringem energetischem Aufwand zuverlässig erreichen möchte. Darüber hinaus ist eine möglichst vollständige Umwandlung der Ausgangsstoffe H₂ und CO₂ wichtig für die Gesamteffizienz des Prozesses. „Alternativ wäre natürlich eine Abtrennung und Rückführung von Wasserstoff und CO₂ möglich, was allerdings mit energetischem und technischem Aufwand verbunden ist“, erklärt Kiefer.

Einer der entscheidenden Vorteile des neuen Reaktor-konzepts ist der hohe Methananteil im Produktgas, der ohne Gasrückführung auskommt. Zudem kann der Prozess sowohl bei niedriger Teillast als auch bei schwankender Zufuhr von CO₂ und H₂ stabil betrieben werden. Diese Lastflexibilität ist insbesondere für die Kopplung mit erneuerbaren Energien wichtig.

ELEKTROLYSEUR TOLERIERT KEINE UNREINHEITEN Das Wasser muss zur Elektrolyse im PEM-Elektrolyseur aufbereitet werden (z. B. durch Umkehrosmose), denn der Elektrolyseur toleriert keine Unreinheiten, da diese die Membranen schädigen würden. Für die Bereitstellung des Wasserstoffs für die Methansynthese könne allerdings auch eine andere Elektrolysetechnologie verwendet werden, berichtet Kiefer. Um 1.000 kg Wasserstoff zu erzeugen, benötigt man rein rechnerisch 8.936 kg Wasser. Wird aus dem Wasserstoff Methan erzeugt, kann theoretisch die Hälfte des Wassers wieder zurückgeführt werden.

Synfuels lassen sich in herkömmlichen Benzin-, Diesel- oder Gasfahrzeugen nutzen. Ein Nachteil sind allerdings die hohen Umwandlungsverluste. Bei der Herstellung der Synfuels aus erneuerbarem Strom geht derzeit rund die Hälfte der Primärenergie verloren. Diese Verluste können laut



Angaben des EMPA in Zukunft voraussichtlich auf 40 bis 45 Prozent gesenkt werden. Der synthetische Kraftstoff ist deshalb nur dort sinnvoll, wo eine direkte Elektrifizierung nicht möglich ist. Mögliche Einsatzbereiche wären der Lastverkehr, Frachtschiffe und Flugzeuge.

Bei allen Verlusten haben Synfuels aber auch einen Vorteil: Sie lassen sich einfach über weite Strecken transportieren. Und so könnten auch weit entfernte Erneuerbare-Energie-Ressourcen, z. B. in Wüstengebieten, erschlossen werden. Die synthetischen Energieträger können dann auch über längere Zeiträume verlustfrei gespeichert werden. Sie stellen damit einen interessanten Puffer für ein regeneratives Energiesystem dar – das schon in weniger als drei Jahrzehnten komplett oder fast komplett erneuerbar sein soll.

VOM LABOR ZUR INDUSTRIEANLAGE Noch spielt sich all dies im Labor ab. Im Fokus des neuen Verfahrens stand aber von Anfang an die Skalierung. Die Forschenden haben also ein Konzept gesucht, das auch in Großanlagen umsetzbar ist. Finanziell unterstützt wurde das Projekt unter anderem durch den Kanton Zürich, Avenergy Suisse, Migros sowie Lidl Schweiz, Armasuisse und Swisspower. Zudem hat die EMPA mit verschiedenen Industriepartnern zusammengearbeitet.

Entscheidend für die Reaktorauslegung und Prozessplanung ist dabei vor allem die Regenerationszeit, also die für die Trocknung des Reaktors benötigte Zeit. Um eine kontinuierliche Methanproduktion zu gewährleisten, müssen deshalb mindestens zwei Reaktoren abwechselnd arbeiten. Für die Trocknung der Reaktoren ist zudem ein geeignetes Wärmemanagement zentral, entweder durch die Ableitung der Wärme aus dem Reaktor oder durch die interne Speicherung von Wärme im Katalysatorbett. In diesem Bereich hat

Kiefers Team ein Patent angemeldet. Details dazu will oder kann er jedoch noch nicht verraten.

„Für die Wasserstoffherzeugung benötigt man neben erneuerbarer Elektrizität aber auch viel Wasser“, weiß Kollege Christian Bach, Leiter der Abteilung für Fahrzeugantriebssysteme. In einem Mobilitätsdemonstrator soll deshalb neben dem CO₂ auch das Wasser für die Wasserstoffherstellung mithilfe eines CO₂-Kollektors des Spin-offs Climeworks der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) direkt vor Ort aus der Atmosphäre gewonnen werden. Solche Konzepte wären dann künftig auch in Wüstenregionen ohne flüssige Wasservorräte umzusetzen. Das Schweizer Start-up Climeworks betreibt mit Orca in Island bereits eine Anlage mit einer jährlichen Abscheidkapazität von 4.000 Tonnen CO₂ aus der Luft (s. Kasten).

CLIMEWORKS WILL CO₂ AUS DER LUFT HOLEN Diese neu-deutsch bezeichnete CO₂-Direct-Air-Capture-Anlage basiert auf dem Prinzip der selektiven Adsorption von CO₂ in einem Material, das mit Luft durchströmt wird. Neben CO₂ wird hierbei auch Wasser aus der Luft aufgenommen. Durch eine Temperaturerhöhung wird das aufgenommene CO₂ wieder aus dem Material ausgetrieben und in reiner Form für die Methanisierungsanlage bereitgestellt. Dabei wird Strom für die Ventilatoren benötigt, um die Zirkulation des Luftstroms zu gewährleisten. Zum Austreiben des adsorbierten CO₂ ist eine Wärme von rund 100 °C erforderlich. „Diese Wärme stellen wir mindestens zur Hälfte mit Abwärme aus dem Gesamtprozess zur Verfügung“, erklärt Kiefer. Zudem bringt eine Wärmepumpe die Abwärme des Elektrolyseurs auf das benötigte Temperaturniveau.

Ende 2023 soll der Demonstrator in Betrieb gehen. Die nächsten Schritte in der Entwicklung stünden schon fest, berichtet Kiefer: Optimierung des gesamten Betriebsablaufs und des lastflexiblen Betriebs sowie die Einbindung der Methanisierung in den Gesamtprozess. Eine genaue Beurteilung der Energieeffizienz wird erst dann möglich sein. ||

CLIMEWORKS STARTET ERSTE GROSSANLAGE ZUR ABSCHIEDUNG

Im September 2021 hat Orca ihren Betrieb auf Island aufgenommen. Hierbei handelt es sich aber nicht um einen großen Schwertwal, wie der Name suggerieren könnte, sondern um eine Anlage zur direkten Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid. Laut der Schweizer Firma Climeworks handelt es sich um die weltweit größte Abscheidungsanlage ihrer Art.

Die Anlage besteht aus acht Sammelbehältern mit einer jeweiligen Abscheidkapazität von 500 Tonnen jährlich. Die Container sind um eine Prozesshalle herum angeordnet. In dieser ist die gesamte Elektrik der Aufbereitungseinheit untergebracht, so dass diese auch aus der Ferne bedient und gesteuert werden kann.

Die erforderliche Wärme und Elektrizität für den Prozess der Lufterfassung kommt direkt vom Geothermiekraftwerk Hellisheidi. Die Orca nutzt also reine Ökoenergie für die Abscheidung. Dabei wird das konzentrierte CO₂ in der Erde gespeichert. Durch eine natürliche Mineralisierung reagiert der Kohlenstoff mit Basaltgestein und versteinert so innerhalb weniger Jahre. Mitte 2022 wurde der Baustart für ein weiteres Projekt auf Island verkündet. Die neue Anlage heißt: Mammut.

AUF DEM WEG ZU EINER REGIONALEN H₂-WIRTSCHAFT

Regionen-Serie: HyStarter Kulmbach



Abb.: Reges Interesse an der Roadshow [Quelle: Nuts One]

40 Der Landkreis Kulmbach wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) ausgerufenen Förderprogramms HyLand als HyStarter-Region ausgezeichnet. Seit Frühjahr 2022 wird in diesem Kontext intensiv am Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft gearbeitet. Dafür wurde ein Akteurskreis mit Vertreter:innen lokaler Unternehmen, Organisationen, Verbände sowie der Wissenschaft zusammengestellt. In insgesamt sechs Dialogformaten fanden externe Fachvorträge statt, es wurden bereits bestehende Aktivitäten vernetzt und sich darüber ausgetauscht, neue Projektideen gemeinsam entwickelt sowie eine übergreifende Strategie für die Region entworfen. Der Abschluss des HyStarter-Programms, das Mitte des Jahres 2023 mit der Veröffentlichung eines eigenen Regionenkonzeptes ausläuft, wird dabei nicht als Ende, sondern als eigentlicher Startschuss für die Aktivierung der Wasserstoffwirtschaft im Landkreis verstanden. Mit der Vernetzung der Akteure vor Ort und der Diskussion der vielzähligen Anwendungs- und Erzeugungspotenziale von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien wurden die Grundsteine für die Projektideen gelegt, die es nun in die Umsetzung zu bringen gilt.

Der ländlich geprägte Landkreis Kulmbach liegt im Herzen Oberfrankens im nördlichen Bayern. Die gleichnamige Kreisstadt ist bekannt für ihre Biere und imposanten Burgen. In der Nachbarschaft sind mit dem Wunsiedel-Projekt, der Universität Bayreuth sowie der HyExpert-Region Neustadt an der Waldnaab bereits spannende H₂-Aktivitäten zu verzeichnen. Ausschlaggebend für die frühzeitige Positionierung als H₂-Region war die Erkenntnis, dass der Landkreis als eine der letzten Gegenden im Entwicklungsplan des deutschen H₂-Backbone-Fernleitungsnetzes Anschluss erhält.

Damit daraus keine Standortnachteile entstehen, sollen die Grundlagen einer Wasserstoffinfrastruktur selbst geschaffen werden. Gute Ausgangsvoraussetzungen sind dafür gegeben: Handwerksbetriebe, Dienstleister und Hersteller innovativer Komponenten und Systeme im Bereich der Energietechnik sind im Landkreis heimisch. Und nach einem Jahr der intensiven Zusammenarbeit ist der Grundstein für den Aufbau der regionalen Wasserstoffwirtschaft gelegt.

STARKES NETZWERK, GROSSER UMSETZUNGSWILLE Motiviert durch den Willen der regionalen Wirtschaft, Innovationen umzusetzen und die Zukunft aktiv zu gestalten, kann der Landkreis Kulmbach auf eine gut vernetzte Unternehmerlandschaft blicken. Viele Betriebe existieren seit mehreren Generationen. Die Universität Bayreuth gründete am Außencampus Kulmbach im Herbst 2022 ihre neue Fakultät

für Lebenswissenschaften. Für die geplante Standorterweiterung ist die Idee eines Klimacampus entstanden, bei der auch Wasserstoff eine tragende Rolle einnehmen könnte. Die Planungen hierfür befinden sich noch im Anfangsstadium. Ein Klimacampus hätte Strahlkraft über den Landkreis hinaus, da die Begegnung mit gelungenen Praxisbeispielen sowie der Austausch der Studierenden akzeptanzstiftend wirken und weitere innovative Vorhaben nach sich ziehen kann.

Die (Aus-)Bildung und Qualifizierung von Fachkräften hat im Landkreis Kulmbach ohnehin einen hohen Stellenwert. In der Berufsschule in Kulmbach werden Fachkräfte u. a. in den Bereichen Versorgungs- und Kältetechnik mit einem Schwerpunkt auf Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik ausgebildet. Das Handwerk ist der Umsetzer der Energiewende. Veränderte Kompetenzanforderungen, die mit dem verstärkten Einsatz von Zukunftstechnologien einhergehen, sollen in einer langfristigen Anpassung der Lehrpläne Berücksichtigung finden. Kurzfristig sind Vortragsreihen mit einem starken Praxisbezug angedacht, um für das Thema zu sensibilisieren und Skepsis gegenüber der Technologie abzubauen.

Unter dem Schlagwort Praxisbezug lassen sich die Ansätze aus der ansässigen Verkehrsakademie zusammenfassen. Die Fahrschule und Berufskraftfahrer-Ausbildungsstätte möchte einen BZ-Lkw anschaffen, an dem die Anwendung sowie Instandhaltung und Reparatur derartiger Fahrzeuge demonstriert wird, damit Berufskraftfahrer:innen in dieser Technologie aus- und fortgebildet werden können.

GUTE IDEEN, INTERESSANTE ANWENDUNGEN Ohnehin hat der Landkreis einen starken Schwerpunkt auf Wasserstoffmobilität gelegt. Viele der Unternehmen im HyStarter-Netzwerk zeigen sich gegenüber der Technologie sehr offen und sind perspektivisch bereit, ihre Fahrzeugflotten anzupassen bzw. den Energieträger Wasserstoff bei der Umstellung ihres Fuhrparks zu berücksichtigen. Es gibt zudem ein Interesse am Einsatz von Wasserstoff in schweren Baumaschinen.

Eine Besonderheit hierbei bilden die Steinwerke, wo Bagger und schwere Sonderfahrzeuge im Einsatz sind. Sie eignen sich aufgrund der hohen energetischen Dauerbelastung besonders für die H₂-Nutzung, gleichzeitig gibt es derzeit aber noch keine serienreifen Modelle. Herausfordernd ist in dem Zusammenhang zudem, dass eine eigene Tankinfrastruktur nötig wäre, da die Fahrzeuge teilweise keine übliche Straßenzulassung besitzen und die Standorte der Steinbrüche naturgegeben abseits der Städte liegen. Mobile Tankstellen an den jeweiligen Standorten könnten für eine Übergangszeit eine Lösungsoption darstellen.

AUFBAU EINER EIGENEN H₂-STATION Als Nukleus der H₂-Mobilitätsoffensive wird der Aufbau einer Infrastruktur für Lkw und Pkw gesehen. Das Netzwerk hat sich frühzeitig auf die Notwendigkeit einer H₂-Station in zentraler Lage verständigt. Zunächst bildete sich eine Arbeitsgruppe aus engagierten Unternehmern sowie dem Klimaschutzmanagement des Landkreises Kulmbach. Nachdem ein Standort auf einem privaten, aber zukünftig für alle zugänglichen Betriebshof gefunden war, wurde bereits die erste Skizze zur Förderung verfasst. Im zweiten Anlauf wurde die finanzielle Unterstützung dann durch den Freistaat Bayern bewilligt.

Dass das regionale Interesse an der Nutzung der Tankstelle hoch ist, spiegelt sich in besonderem Maße in den zahlreichen Absichtserklärungen zur Anschaffung von BZ-Fahrzeugen wider, die im Rahmen der Antragstellung gesammelt wurden. Während die Planungen für die Tankstelle bereits in vollem Gang sind, werden die Potenziale für die zusätzliche Erzeugung von grünem Wasserstoff in der Region geprüft, um sich perspektivisch bei der Versorgung der Tankstelle von Importen aus anderen Regionen unabhängig zu machen. Das Vorhaben der bayerischen Landesregierung, den Aufbau von Elektrolysekapazitäten mit entsprechenden Förderprogrammen flächendeckend zu unterstützen, verspricht aus Sicht der HyStarter-Akteure eine gute Unterstützung.

REGES ÖFFENTLICHES INTERESSE Das in Kulmbach außergewöhnlich hohe Engagement, gepaart mit einem starken Willen zur Umsetzung, wurde im Spätsommer 2022 auch für die breite Öffentlichkeit sichtbar: Aus einer Informationsveranstaltung, auf der die Zwischenergebnisse des HyStarter-Projektes präsentiert werden sollten, wurde eine zweitägige Messe, bei der zahlreiche Aussteller aus Industrie und Forschung mit Exponaten dem interessierten (Fach-)Publikum Fragen rund um Fahrzeuge, Erzeugungstechnologien und allerlei Anwendungen beantworten konnten.

Grüßworte des Bundesverkehrsministers Volker Wissing und des bayerischen Wirtschaftsministers Hubert Aiwanger unterstrichen sowohl die Relevanz des Themas als auch die Unterstützung von Seiten der Politik. Das überregionale durchweg positive Meinungsbild war Anlass genug, eine jährliche Fortschreibung der Veranstaltung festzumachen. Im September 2023 wird in der Raumhalle Kulmbach die nächste H₂-Roadshow stattfinden.

Neben den Themen Bildung und Qualifizierung sowie Mobilität hat sich ein weiterer Baustein im Bereich der Gebäudeenergie- und Wärmeversorgung aufgetan. Ausgehend von der Tatsache, dass in zum Landkreis gehörenden Gemeinden Siedlungen oder Dörfer nicht an ein Wärmenetz angeschlossen sind und die Häuser entsprechend mit Öl und Flüssiggas beheizt werden, ist die Idee eines lokalen Nahwärmenetzes geboren. Wasserstoff könnte dafür nach den derzeitigen Überlegungen vor allem in den sonnenarmen Wintermonaten Einzug in die Energieversorgung halten.

Entscheidend für den Erfolg ist neben der Technologie aber vor allem die Akzeptanz innerhalb der lokalen Bevölkerung. Erste Beteiligungsformate wurden deswegen schon durchgeführt. Bei Erfolg des Projekts soll es als Blaupause für andere Gemeinden dienen.

GROSSE POLITISCHE UNTERSTÜTZUNG Der Landkreis Kulmbach zeichnet sich nicht nur durch eine umsetzungsgetriebene Wirtschaft aus, sondern kann zudem auf eine sehr praxisnahe und unterstützende Verwaltungsstruktur blicken, was insbesondere am Engagement des Klimaschutzmanagements und der Rückendeckung durch den Landrat im Rahmen von HyStarter sichtbar wurde. Bei der Planung der H₂-Tankstelle findet eine enge Zusammenarbeit zwischen Verwaltung und privaten Akteuren statt, und es gibt eine fraktionsübergreifende Aufgeschlossenheit gegenüber H₂- und BZ-Technologie in der Kommunalpolitik. Außerdem gab es starke Rückendeckung für die Wasserstoffprojekte aus der Landespolitik: Der bayerische Wirtschaftsminister hat sowohl für die Errichtung der Tankstelle als auch für die H₂-Roadshow die Schirmherrschaft übernommen.

Die unterstützenden Worte aus der Politik allein sind in der Regel (noch) nicht ausreichend und lassen Förderprogrammen auf Bundes- und Landesebene eine hohe Bedeutung zukommen. HyStarter hat es geschafft, den nötigen Rahmen für den erforderlichen Austausch untereinander bzw. zur Pflege des Netzwerks zu schaffen. Durch die Organisation und Durchführung der Dialogformate mit interaktiven Workshops, gezielten Fachinputs zu verschiedensten Wasserstoffthemen, angefangen bei technologischen Grundlagen über Praxisbeispiele hin zu Rechtsberatung, wurde der fruchtbare Nährboden geschaffen, der die raschen Entwicklungserfolge ermöglichte und von dem Landratsamt allein finanziell und personell nicht zu stemmen gewesen wäre.

Auch die Errichtung der Tankstelle ist ohne die Förderhilfe durch das Land Bayern zum derzeitigen Zeitpunkt nicht denkbar. Es braucht also nach wie vor kommunale Unterstützung zur Aktivierung regionaler Wasserstoffmärkte.

Am Beispiel der HyStarter-Region Kulmbach werden die Besonderheiten von Wasserstoff als Schlüssel der Energietransformation ersichtlich. Das Thema berührt viele Sektoren, Branchen und damit auch Akteure gleichermaßen, die bisher selten bis gar nicht an einem Tisch zusammenkommen. Es zahlt sich aus, diese Diversität in einen aktiven Akteurskreis mit Leuten aus Wirtschaft, Wissenschaft sowie Politik und Verwaltung zusammenzubringen, um gemeinsam eine langfristige Vision zu erarbeiten. Letztendlich sind es umsetzungswillige und engagierte Akteure, die mit Rückendeckung aus Politik und Verwaltung in die Umsetzung der Energiewende investieren und diese in die Praxis überführen. ||

Autoren:



Patrick Steiger
→ patrick.steiger@nuts.one



Nils Werner
→ nils.werner@nuts.one
beide Nuts One GmbH, Berlin

NICHT NUR AUF EINE TECHNOLOGIE SETZEN

Interview mit Opels H₂-Chefentwickler Dr. Lars-Peter Thiesen

Lars-Peter Thiesen, Opels Leiter Einführungsstrategie Wasserstoff und Brennstoffzelle, hat die Entwicklung des Brennstoffzellenantriebs in Deutschland von Anfang an begleitet und maßgeblich mitgeprägt. Im Interview mit HZwei plädiert er für ein technologieoffenes Zusammenspiel von batterie- und wasserstoffbasierter Elektromobilität, das sich an Markt und Bedarf orientiert und nicht an Direktiven. Zugleich sieht er den Wasserstoff als Transportspeicher der Zukunft für erneuerbare Energien und wirft den Wirkungsgrad-Kritikern eine beschränkte Sichtweise vor.



Dr. Lars-Peter Thiesen

HZwei: Dr. Thiesen, können Sie die Vorteile des Brennstoffzellenantriebs in drei, vier Punkten benennen?

Thiesen: Ein Brennstoffzellenauto ist ein Null-Emissions-Fahrzeug. Es fährt elektrisch, und aus dem Auspuff kommt nur Wasserdampf. Zweiter Punkt ist die Betankungszeit. Man kann die Autos bei 700 bar in drei Minuten betanken. Übrigens ein standardisierter Prozess, der anders als bei der Batterieelektrik, wo es ja große Unterschiede gibt, international gilt. Dann die hohe Reichweite. Und ein vierter Punkt, der speziell auf unsere Anwendung im Vivaro-e Hydrogen zutrifft: Wir erhalten den vollen Laderaum im Vergleich zu Verbrenner oder batterieelektrischem Antrieb, was bei einem Brennstoffzellenantrieb keine Trivialität ist.

Wie gelingt Ihnen das?

Durch das sogenannte Mid-Power-Konzept. Dabei ist die Brennstoffzelle nur etwa halb so groß wie die Maximalleistung des Elektromotors, mit dem Vorteil, dass das System unter die Motorhaube passt. Die Wasserstofftanks ersetzen im Unterboden die große Traktionsbatterie des batterieelektrischen Antriebs, und eine zusätzliche kleinere Batterie unter den Sitzen dient als Leistungspuffer und Energiereserve. So gibt es weder Einschränkungen beim Packaging noch in der Anwendung.

Und wo liegen die Nachteile des Brennstoffzellenantriebs?

Es gibt im Wesentlichen drei Herausforderungen, vor denen wir noch stehen: Die erste ist die Tankstelleninfrastruktur. Wir haben in Deutschland zwar ein weltweit einzigartiges System mit rund 100 Tankstellen, aber für Kunden, die komplett auf Wasserstoff setzen, sollte das Tankstellennetz weiter ausgebaut werden. Zweitens sind die Kosten für die Fahrzeugkomponenten noch relativ hoch, weil die Stückzahlen noch überschaubar sind. Der Schlüssel zum Erfolg lautet hier ‚economies of scale‘, um die Kosten weiter zu reduzieren. Und dann gibt es noch die dritte Herausforderung, dass wir mittelfristig genügend grünen, also nachhaltig und klimaneutral produzierten Wasserstoff brauchen.

Warum hat sich die Technologie nicht längst schon durchgesetzt? Sie sind immerhin seit mehr als zwanzig Jahren am Thema dran. Die Technik scheint doch ausgereift beziehungsweise kalkulierbar, oder?

Das stimmt. In der technischen Entwicklung haben wir die wesentlichen Hürden genommen. Das hat aber seine Zeit gebraucht. Beispielsweise bei der Kaltstartfähigkeit. Der Brennstoffzellenantrieb produziert ja Wasserdampf, der bei Minusgraden gefrieren kann, wenn er im System verbleibt. Hätten Sie mich 1999 gefragt, hätte ich gesagt: In zwei, drei Jahren haben wir das als Industrie im Griff. Es hat dann aber zehn Jahre gedauert. Opel hatte dann das erste Brennstoffzellenauto, das bei minus 20 °C Außentemperatur ohne Hilfsaggregate abgestellt werden konnte.

Der andere Punkt ist: Durch die E-Offensive trat die H₂-Entwicklung in den Hintergrund. Dazu gab es noch großen Abstimmungs- und Einigungsbedarf unter den industriellen Partnern, mit je unterschiedlichen Interessenslagen, wie etwa: Soll der Wasserstoff, mit dem die Brennstoffzelle fährt, direkt getankt oder an Bord aus Benzin oder Methanol reformiert werden? Wie soll der Wasserstoff im Auto gespeichert werden: flüssig oder unter Druck? Nach umfangreichen Tests mit beiden Technologien haben wir uns für Druckwasserstoff entschieden. Dann: welches Druckniveau ist sinnvoll, 350 oder 700 bar? Wir hatten als erster Hersteller ein Auto mit der 700-bar-Technologie auf der Straße. Über lange Sicht war das ein Multi-Stakeholder-Projekt, bei dem viele ins Boot mussten: die anderen Hersteller, die Öl- und Energiebranche, die Anlagenhersteller und die Tankstellenbetreiber. Nach diesem langen Weg freue ich mich, dass wir mit dem Opel Vivaro-e Hydrogen jetzt das erste Serienprodukt anbieten können, das auch schon bei Kunden wie etwa Miele im Einsatz ist.

Sie saßen von Anfang an mit im Boot. Wie wurde das Brennstoffzellenprojekt vorangetrieben?

1999 saß ich schon mit den anderen Herstellern, der Energieindustrie und dem Verkehrsministerium zusammen, und wir haben uns auf Wasserstoff als Zukunftskraftstoff geeinigt. 2002 haben wir die Clean Energy Partnership gegründet, ein Demonstrationsprojekt, das in Berlin und anderen großen Städten lief, um der Politik, Öffentlichkeit und Kunden zu zeigen, dass Wasserstoff als Kraftstoff für Autos funktioniert. Wir haben das Ministerium von einer gesamtheitlichen Strategie überzeugen können. Daraufhin wurde 2008 die



Thiesen erklärt die H₂-Strategie von Opel

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) gegründet, mit dem Ziel, nicht nur F&E-Projekte, sondern den Markthochlauf mit entsprechender Infrastruktur zu fördern. Der nächste Meilenstein war 2015 die Gründung der H2 Mobility, um das Henne-Ei-Problem zu lösen, indem mal mindestens 100 Tankstellen aufgebaut werden. Und schließlich 2020 die Nationale Wasserstoffstrategie, mit dem Ziel, einen schnellen Markthochlauf für grünen Wasserstoff zu schaffen.

Wobei Kritiker hier einwenden würden, man solle den grünen Wasserstoff nicht im Individualverkehr verbrennen, sondern industriell einsetzen.

Wohl wahr. Da wird dann gesagt, wir brauchen ihn vornehmlich für bestimmte Industriezweige wie die Stahlindustrie. Das kann ich auch alles verstehen. Nur wird es dort vielleicht auf einen geforderten Kilopreis von ein, zwei Euro hinauslaufen. Im Verkehrssektor sind aber deutlich höhere Preise zu erzielen. Unsere Haltung dazu ist ganz klar: Man soll es dem Markt überlassen und nicht per Direktive anordnen, welche Branche den grünen Wasserstoff bekommt. Nur so kann es funktionieren.

Geht das ohne staatliche Förderung?

Wir sind jetzt nach 20 Jahren an dem spannendsten Punkt. Wir sind nicht mehr bei Demonstration, aber auch noch nicht bei Massenproduktion. Wir machen jetzt den Hochlauf. Hier sind die Stückzahlen noch relativ gering, und die Komponenten kosten noch viel. Deshalb braucht es hier noch staatliche Unterstützung, um den Marktzutritt zu gewährleisten. Mit der Förderung, die komplett den Endkunden zugutekommt, können wir diesen dann entsprechend interessante Leasingraten anbieten.

Sie konkurrieren bei der Brennstoffzellentechnologie ja mit der Batterie? Oder sehen Sie das nicht als Konkurrenz?

Es ist kein Entweder-oder, sondern ein Sowohl-als-auch. Für den Kunden und für uns als Unternehmen brauchen wir beides – die Technologien sind komplementär. Ein Beispiel: Wir haben viele Kunden, in deren Betriebsmodell der Mitarbeiter das Auto mit nach Hause nimmt, zum Beispiel bei Monteuren oder Servicetechnikern, wie etwa aktuell bei Miele, die den Vivaro-e Hydrogen im Einsatz haben. Die Mitarbeiter haben häufig kein Eigenheim, die können schlichtweg nicht laden. Das Auto parkt auf der Straße, und am nächsten Morgen fahren sie wieder los. Da braucht es das

klassische Tankstellenmodell. Damit will ich sagen: Wenn wir in der Mobilität zukünftig hundert Prozent Null-Emissionen wollen, dann gibt es viele Kunden, die batterieelektrisch nicht bedient werden können, aber sehr wohl mit der Brennstoffzelle. Deshalb brauchen wir beide Technologien, weil es gewerbliche Bereiche gibt, die nicht auf Basis von Batterieelektrik ihrem Geschäft nachgehen können.

Also Batterie für Privatleute und Brennstoffzelle für Business?

Mit der weiteren Verbreitung der batterieelektrischen Fahrzeuge wird die Nutzung immer klarer werden – und wo ihre Begrenzung liegt. Wir wissen beispielsweise, dass 44 Prozent der Stellantis-Lieferwagen-Kunden täglich nicht weiter als 300 Kilometer fahren. Das heißt im Umkehrschluss aber, dass 56 Prozent auch weiter fahren. Und da ist es wichtig, sich nicht lange an einer Ladestation aufzuhalten. Selbst wenn in absehbarer Zeit das Laden vielleicht schneller geht, kann es dann immer noch sein, dass viele Leute an der Ladesäule vor mir sind. Und da ist das Tanken von Wasserstoff in drei Minuten klar im Vorteil – so, wie wir das von den bisherigen Kraftstoffen kennen.

Wann wird es die Brennstoffzelle für Pkw in nennenswerten Stückzahlen geben?

Wir konzentrieren uns im Moment erst mal auf das wichtige Segment der Lieferwagen. In zwei Jahren wird es auch noch ein größeres Modell geben. Dazu wollen wir die Produktionskapazität von jetzt 1.000 auf 10.000 Autos in 2024 hochfahren. Beim Pkw müssen wir sehen, wie sich der Markt und die Situation an sich entwickeln.

Der politische Mainstream favorisiert gerade die batterieelektrische Mobilität, nicht zuletzt mit dem Hinweis auf den besseren Wirkungsgrad gegenüber Wasserstoff. Was entgegnen Sie Ihren Kritikern?

Wenn ich immer die Zeit und die Möglichkeit habe und sich immer ein Windrad dreht, wenn ich laden will, dann ist es am sinnvollsten, die Energie batterieelektrisch zu nutzen. In puncto Praktikabilität aber gibt es, wie ich schon sagte, Branchen, wo das nicht geht. Viel entscheidender ist aber das größere Bild: Wir werden in Zukunft viel, viel mehr erneuerbare Energie brauchen, weil Europa und die Welt sich das Ziel gesetzt haben, CO₂-neutral zu werden. Die wird aber nicht vor unserer Haustür gewonnen, sondern dort, wo es günstig ist. Beispielsweise in Australien, wo die Entstehungskosten für Windkraft ein bis zwei Cent pro Kilowattstunde betragen. Das ist weit weg vom Ort des Verbrauchs und muss irgendwie transportiert werden. Hier wird Wasserstoff als Speichermedium für erneuerbare Energien eine wichtige Rolle spielen. Und wenn ich diese Energie erst mal per Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt habe, um sie speicherbar und transportfähig zu machen, dann ist es natürlich sinnvoll, den Wasserstoff auch gleich im Brennstoffzellenfahrzeug zu nutzen und nicht wieder zu verstromen, um damit ein Batterieauto zu laden.

Von daher ist die Wirkungsgraddiskussion mit dem Tanken und Laden des einzelnen Autos viel zu eng gefasst. Das große Bild muss man sehen und nicht das kleine, wie der Wirkungsgrad hier gerade vor meiner Haustür ausfällt. In dem Zusammenhang ist es viel zu kurz gesprungen, nur auf die eine Technologie zu setzen. Wir haben den Vivaro-e Hydrogen entwickelt, weil wir sehen, dass es für bestimmte Gruppen und für die Zukunft sinnvoll ist. ||

Autor: Frank Wald

H2GO – LASTENMOBILITÄT IM H₂-ZEITALTER

Nationaler Aktionsplan Brennstoffzellenproduktion

Steigende Verkehrsleistungen im Straßengüterverkehr haben einen kontinuierlichen Anstieg der CO₂-Emissionen in diesem Segment zur Folge, trotz Fortschritten bei Verbrauch und Abgastechnik. Alternativen zu fossilen Energieträgern werden daher besonders im Schwerlastverkehr dringend benötigt. Gemeinsam mit 18 weiteren Fraunhofer-Instituten arbeitet das Fraunhofer IWU mit Hochdruck daran, die Voraussetzungen für eine effiziente Großserienfertigung von Brennstoffzellen zu schaffen, die an Bord eines Nutzfahrzeugs Wasserstoff in Strom umwandeln. Im Rahmen von H2GO werden technologische Lösungen entwickelt, die einen zügigen Hochlauf der BZ-Produktion ermöglichen. Der Aktionsplan ist darauf ausgerichtet, Industrie und Forschung zu einem starken Ökosystem für eine wirtschaftliche und nachhaltige BZ-Produktion zu verbinden. H2GO wird die industrielle Massenproduktion der Komponenten mit durchgängigen Rolle-zu-Rolle-Verfahren entwickeln und konsequent den Kreislaufgedanken aufgreifen. Ein Teilprojekt widmet sich der automatisierten Montage und Demontage von Brennstoffzellen, damit Material und Bauteile für ein zweites Produktleben wiedergewonnen werden können.

Brennstoffzellenelektrische Fahrzeuge (FCEVs, fuel cell electric vehicles) haben das Potenzial, künftig eine tragende Rolle im CO₂-neutralen Fernverkehr zu übernehmen: In technologischer Hinsicht bietet die Brennstoffzelle im Vergleich zu den heutigen fossilen Antriebstechnologien ähnliche Volumen- und Gewichtszuladungen bei vergleichbaren Reichweiten und Tankzeiten. Damit bleibt Speditionen die heute gewohnte Flexibilität im Lkw-Einsatz erhalten. Gegenüber anderen emissionsfreien Antrieben sind FCEVs gerade im Schwerlastverkehr betriebs- wie volkswirtschaftlich und auch ökologisch wettbewerbsfähig – einen erfolgreichen Markthochlauf vorausgesetzt, der für Wasserstoff Kostenparität zu fossilen Energieträgern schafft.

Für den Produktionsstandort Deutschland kann Wasserstoff zusätzliche Wertschöpfung und damit ein umfangreiches, nachhaltiges und zukunftsfähiges Geschäftsfeld generieren. H2GO wird dazu beitragen, der deutschen Wirtschaft bedeutende Anteile am sich hochdynamisch entwickelnden globalen Brennstoffzellenmarkt zu sichern. Eine zügig aufgebaute BZ-Industrie kann so zu einem zentralen Kompetenzfeld deutscher Unternehmen werden. Zusätzlicher Klimaschutz im Mobilitätssektor eröffnet also auch industriepolitisch einmalige Chancen.

Somit gilt es, Fertigungstechnologien und -prozesse für eine effiziente, kostengünstige und hochrentable industrielle Serienfertigung zu ertüchtigen. H2GO wird dazu über produktionstechnische Forschung, Entwicklung und Vorbereitung der industriellen Umsetzung die Voraussetzungen schaffen. Der Aktionsplan richtet sich nicht zuletzt an kleine und mittelständische Unternehmen, die die gesamte Wertschöpfungskette der Brennstoffzellenproduktion abbilden und bis hin zur Anwendung in der Lastenmobilität schließen.

FORSCHUNGSVERBUND AUS 19 INSTITUTEN Das organisatorische Fundament von H2GO bilden 19 Fraunhofer-Institute in insgesamt neun Bundesländern, die mit ihren Forschungskompetenzen und -infrastrukturen sowie lokalen Netzwerken neue Fertigungslösungen in regionalen Technologiehubs entwickeln. Als dezentraler Produktionsforschungsverbund erlaubt der Nationale Aktionsplan die dynamische Einbindung weiterer Initiativen und setzt auf bestehenden Infrastrukturen auf. So werden ineffiziente Doppelstrukturen vermieden, und die Mittel können gezielt zur Entwicklung innovativer Technologien und wettbewerbsfähiger Produktionskonzepte für eine hochratenfähige Brennstoffzellenproduktion eingesetzt werden.

Das Entwicklungsziel sind Konzepte, die weit über die derzeit verfügbaren Lösungen hinausgehen. Diese Konzepte entstehen in Technologiehubs, die inhaltlich verschiedene Forschungsschwerpunkte verfolgen und zu vier Technologieverbänden zusammengefasst werden: R2MEA, R2HP, HP2BPP und ST2P. Diese bilden die wesentlichen Bestandteile der Wertschöpfungskette bei der Herstellung der wesentlichen BZ-Komponenten, Protonenaustausch-Membran (MEA) und Bipolarplatten (BPP), ab und beschäftigen sich zudem mit dem Recycling von Stacks (ST2P).

Das technologische Rückgrat des Aktionsplans ist die virtuelle Referenzarchitektur für Brennstoffzellenproduktion, die aus den digitalen Abbildern der Produktionsmodule in den Technologieverbänden entsteht. Mit diesem virtuellen Baukasten lassen sich anwendungs- und typspezifische Fertigungsszenarien für Einzelkomponenten und Gesamtsysteme im industriellen Maßstab planen, realisieren und flexibel anpassen.

ROLLE ZU MEA Der Verbund R2MEA entwickelt eine kontinuierliche (Rolle-zu-Rolle, R2R) Anlagentechnologie für die MEA-Herstellung. Der Schwerpunkt liegt dabei auf verschiedenen Verfahren zur Beschichtung und nachfolgenden Prozessen, die für eine industrielle Massenfertigung optimiert werden.

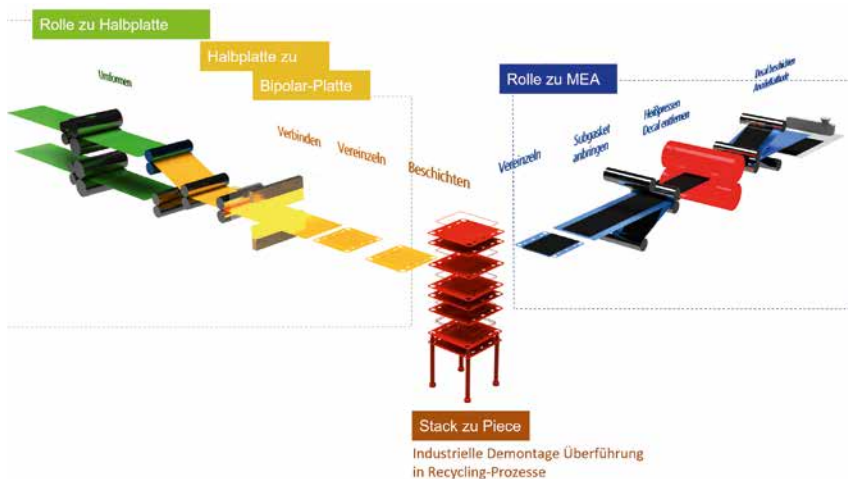


Abb. 1: Die H2GO-Technologieverbände bzw. -Prozessketten [Quelle: Fraunhofer IWU]



Abb. 2: Die H2GO-Roadmap – maßgeschneiderte Brennstoffzellen je Nutzfahrzeugklasse

ROLLE ZU HALBPLATTE Der Verbund R2HP entwickelt stückzahlskalierbare Umformtechnologien. Dabei kommen unterschiedliche Halbzeuge bzw. Ausgangswerkstoffe zum Einsatz, aus denen mit zwei hochratenfähigen Umformverfahren Halbplatten in drei verschiedenen Prozessrouten gefertigt werden. Die dafür eingesetzten Produktionstechnologien werden für die Brennstoffzellenfertigung neu geschaffen und hinsichtlich Qualität und Ausbringungsmenge optimiert. R2HP wird auch Herausforderungen bei Werkzeugbau und Handling lösen.

HALBPLATTE ZU BIPOLARPLATTE Der Verbund HP2BPP baut auf den Produktionsmodulen des R2HP auf und nutzt dessen Halbplatten. Das Ziel besteht darin, aus diesen Halbplatten kontinuierlich hochfunktionale Bipolarplatten herzustellen. Dazu werden spezifische Technologien für die dem Umformprozess (R2HP) vor- bzw. nachgelagerten Fertigungsschritte entwickelt. Der Fokus liegt dabei neben Qualitätsaspekten vorrangig auf höheren Geschwindigkeiten bei den Verfahrensschritten Fügen, Funktionalisieren, Beschichten und Separieren sowie auf einer Prozesskettenverkürzung.

STACK ZU PIECE H2GO folgt konsequent dem Gedanken geschlossener Stoffkreisläufe. Gemeinsam mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten stellt sich das Fraunhofer IWU bereits jetzt der Frage, wie die Produktion das Produktdesign der Brennstoffzellen beeinflussen muss, damit die eingesetzten Materialien demontiert, wiederverwertet oder am besten sogar wiederverwendet werden können. Der Verbund ST2P untersucht passend dazu, welche Maschinen, Anlagen und Prozesse benötigt werden, um Brennstoffzellensysteme automatisiert montieren sowie am Ende ihres Produktlebens zerstörungsfrei wieder demontieren zu können.

Der Nationale Aktionsplan entwickelt nun passgenaue stückzahlskalierbare Produktionslösungen und Prozessketten für die wirtschaftliche Fertigung von Brennstoffzellen in den Anwendungsbereichen Heavy, Medium und Light Duty (s. Abb. 2).

VON HEAVY BIS LIGHT DUTY Bei den Heavy-Duty-Fahrzeugen (> 11,8 t Gesamtgewicht) liegt der Fokus auf der technologischen Entwicklung von industriellen Produktionsverfahren, die die Ausbringungsmengen deutlich steigern, jedoch auch die Anforderungen an die BZ-Lebensdauer, resultierend aus einer hohen jährlichen Fahrleistung, besonders berücksichtigen. Deswegen werden in dieser Prozesskette Kunststoff-Compounds verwendet und vorgeformt. Das Einbringen der Flussfelder erfolgt danach durch Walzen (R2HP).

Weitere Prozessschritte sind laserbasierte Schneid- und Fügeprozesse sowie schließlich ein spezielles Prüfverfahren, das die Herstellung der BPP abschließt (HP2BPP). Kombiniert wird diese mit einer MEA, die durch eine Decal-Beschichtung mit Siebdruck oder Schlitzdüse hergestellt wurde (R2MEA).

Im Anwendungsbereich der Medium Duties (Gesamtgewicht zwischen 4,5 t bis 11,8 t) liegt der Fokus auf dem Einsatz des umformenden Prägens zur Herstellung von metallischen Halbplatten (R2HP). Die Fertigungsgeschwindigkeiten sollen gesteigert und die Prozessketten verkürzt werden, beispielsweise durch ein gemeinsames Werkzeug für das Prägen und Feinschneiden (HP2BPP). So sollen durch diese technologischen Entwicklungen die Ausbringungsmengen erhöht und an den steigenden Marktbedarf angepasst werden. Damit lassen sich erste Skaleneffekte zur Kostensenkung erzielen.

Um jedoch die komplette Bandbreite der Skaleneffekte auszunutzen und somit eine Kostenparität zu den fossilen Antrieben tatsächlich zu realisieren, bedarf es einer höchstratenfähigen industriellen Massenfertigung, insbesondere im Anwendungsbereich der Light Duties (< 4,5 t Gesamtgewicht). Mit dem kontinuierlichen Walzen lassen sich die benötigten Ausbringungsmengen von bis zu 100 Halbplatten pro Minute erzielen (R2HP).

Jedoch erfordert dies eine Synchronisation mit den nachfolgenden Füge- und Beschichtungsprozessen (HP2BPP). Zudem werden zur Stabilisierung des metallischen Systems vorbeschichtete Halbzeuge verwendet, die die Steigerung der Lebensdauer der BPP begünstigen. Interagieren werden diese mit MEAs, die durch eine besonders innovative und höchstratenfähige Methode hergestellt werden. Dabei wird die Membran direkt durch Inkjet-Verfahren beschichtet (R2MEA).

REFERENZFABRIK.H2 Mit den stückzahlskalierbaren Produktionslösungen und Prozessketten wird nicht nur der Markthochlauf der BZ-Technologie in unterschiedlichen Anwendungsszenarien der Lastenmobilität intensiviert, sondern auch eine breite Beteiligung verschiedener Industriezweige, insbesondere des Maschinen- und Anlagenbaus, in diesem neuen Geschäftsfeld forciert. Ein Tor für diese Unternehmen zu H2GO ist die vom Fraunhofer IWU koordinierte Referenzfabrik.H2.

Als produktionstechnischer Technologiebaukasten mit realen sowie virtuellen Maschinen und Anlagen unterstützt sie Unternehmen schneller und zielgerichteter. So lässt sich mit deutlich reduziertem Risiko in die H₂-Systemfertigung einsteigen. Unternehmen können sich in der Referenzfabrik.H₂ entwickeln, technologisch wachsen und Schritt für Schritt als Teil der Wertschöpfungsgemeinschaft eigene Produkte und Services anbieten. Dank flexibler Produktionsmodule für eine skalierbare, industrielle Fertigung wird die Wertschöpfungsgemeinschaft den Sprung von heute noch wenigen Stückzahlen hin zur industriellen Massenherstellung in den 2030iger Jahren schaffen. ||



Autorin:
Dr. Ulrike Beyer
Leitern der Referenzfabrik am Fraunhofer IWU, Chemnitz
→ ulrike.beyer@iwu.fraunhofer.de

JCB ERREICHT H₂-MEILENSTEIN

Fünzigster H₂-Verbrennungsmotor läuft vom Band



Abb. 1: Die mobile H₂-Betankungsstation mit dem wasserstoffbetriebenen Teleskoplader und Bagger [Quellen: JCB]

Der britische Land- und Baumaschinenhersteller JCB hat im März 2023 die Produktion seines fünfzigsten H₂-Verbrennungsmotors bekanntgegeben. Dieser Meilenstein ist Ergebnis der Klimaschutzbemühungen des englischen Unternehmens. Die Motoren befinden sich derzeit noch im Vorserienstadium und werden aktuell für weitere Tests und Entwicklungen verwendet. So wurden einzelne Aggregate bislang in Prototypen eines Baggerladers und eines Teleskopladers demonstriert und in einen Lkw eingebaut. Dass jetzt der fünfzigste Motor fertiggestellt wurde, ist insofern bemerkenswert, als das Unternehmen erst im Jahr 2020 seinen Fokus von Batterien und Brennstoffzellen abgewandt hat.

J.C. Bamford Excavators Limited, auch bekannt als JCB, wurde 1945 von Joseph Cyril Bamford in Staffordshire, England, gegründet. Das Unternehmen befindet sich noch immer in Familienbesitz und wird vom derzeitigen Vorsitzenden Lord Anthony Bamford, dem Sohn des Gründers, geleitet. Das Unternehmen hat sich zu einem der weltweit größten Hersteller von Bau- und Landmaschinen entwickelt und verfügt über 22 Produktionsstätten auf vier Kontinenten.

Im Rahmen seiner Dekarbonisierungsbemühungen investiert JCB 100 Mio. GBP in die Wasserstofftechnologie. Allerdings hatte das Unternehmen ursprünglich gar nicht vor, einen H₂-Verbrennungsmotor zu entwickeln. Zunächst lag der Schwerpunkt auf der Effizienzsteigerung des Dieselmotors, um den Kraftstoffverbrauch zu senken und die Vorschriften für Auspuffemissionen zu einzuhalten. Doch die Kunden von JCB wollten mehr.

ELEKTRIFIZIERUNG AB 2018 Im Jahr 2018 brachte JCB sein erstes elektrisches Produkt auf den Markt, einen Minibagger, und reagierte damit auf die Nachfrage der Kunden nach einer emissionsfreien Maschine, die in Innenräumen und lärmempfindlichen Stadtgebieten eingesetzt werden kann. Die Technologie wurde auf 14 Modelle ausgeweitet. Tim Burnhope, Chief Innovation and Growth Officer bei JCB, drückt es gegenüber HZwei so aus: „Wir waren etwas naiv und dachten, wir könnten einfach alles mit Batterien ausstatten.“

Während kleine, kompakte Produkte im batterieelektrischen Format gut funktionierten, erforderte die Deckung des Leistungsbedarfs von mittelgroßen und schweren Maschinen bedeutend mehr Kapazität. Dies erhöhte das Gewicht und die Kosten der Maschine drastisch, wobei die Ladedauer die Arbeitszeit verringerte. Die Schlussfolgerung: Batterien sind nicht skalierbar. JCB musste das Gewicht, die Kosten und die Ladezeit reduzieren.

Als Ersatz für Diesel wurden daraufhin andere Kraftstoffe in Betracht gezogen, nämlich Biomethan, E-Fuels, Ammoniak und mit Wasserstoff behandeltes Pflanzenöl (HVO). Allerdings hatte jeder Kraftstofftyp auch Nachteile, darunter hohe Kraftstoffkosten, Kohlenstoffgehalt, Toxizität, Geruch und Probleme im Zusammenhang mit der Verwendung von Pflanzen als Kraftstoff und nicht als Nahrungsmittel.

VERSUCHE MIT BRENNSTOFFZELLEN Die Überlegungen drehten sich um Wasserstoff und – als einzige Technologie, die JCB zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stand – um die Brennstoffzelle. 2019 kam der erste Prototyp eines BZ-Baggers auf den Markt, dessen zweite Iteration – ausgestattet mit einer größeren Brennstoffzelle und besseren Batterien – im Jahr 2020 folgte (s. Abb. 1). Die Kosten für die Brennstoffzelle, den DCDC-Wandler und die Batterien machten das Antriebssystem jedoch achtmal teurer als einen Dieselmotor.

Burnhope bringt die Schwierigkeiten der Brennstoffzellentechnologie auf den Punkt: „Sie ist zu kompliziert. Sie ist nicht robust genug für unsere Branche.“ Und Robustheit ist in rauen Arbeitsumgebungen wie Steinbrüchen oder Baustellen, wo die Geräte G-Kräften, Asphalt- und Farbdämpfen sowie Staub ausgesetzt sind, von entscheidender Bedeutung.

Ein weiteres Problem war die Verfügbarkeit von Brennstoffzellen. Die beiden Motorenwerke von JCB im Vereinigten Königreich und in Indien stellen jeweils bis zu 250 Motoren pro Tag her, so dass sich die Frage stellte, ob die Brennstoffzellenlieferanten die benötigten Mengen bewältigen würden.

VORGABE DES VORSTANDSVORSITZENDEN Obwohl JCB davon überzeugt war, dass Wasserstoff der gesuchte emissionsfreie Kraftstoff war, befand sich das Unternehmen in Bezug auf die Brennstoffzellentechnologie an einem Scheideweg. Im Juli 2020 präsentierte das Ingenieurteam seine Ergebnisse dem JCB-Vorsitzenden Lord Bamford, der daraufhin die ehrgeizige Herausforderung ausgab: Bis zu den Winterferien sollte ein Wasserstoffmotor entwickelt werden.

Am 7. Dezember 2020 hatte JCB dann einen mit Wasserstoff betriebenen Motor – den ersten H₂-ICE (engl. internal combustion engine = Verbrennungsmotor) der Branche. Bei dessen Entwicklung wurde der Verbrennungsprozess von Grund auf neu konzipiert. 100 Ingenieure waren daran beteiligt, unterstützt von der Universität Aachen in Deutschland.

Vier Schlüsselbereiche wurden untersucht: Wasserstoffmischung, Luftkompression, Funkenzündung und Dampfmanagement. Eine der Herausforderungen beim Übergang von einem flüssigen zu einem gasförmigen Kraftstoff bestand darin, eine gleichmäßige Mischung von Wasserstoff und Luft zu erreichen. Mithilfe der numerischen Strömungsmechanik (CFD) wurde die Vermischung im Zylinder visualisiert. Dabei



Abb. 2: Lord Bamford zeigt den H₂-Motor mit seinen Initialen

erkannte das Entwicklungsteam, dass der H₂-Verbrennungsprozess in Bezug auf das Luft-Kraftstoff-Verhältnis sehr mager sein kann und nur wenig Wasserstoff benötigt.

Ein weiterer bemerkenswerter Unterschied ist der Druck: Die Dieseleinspritzung erfolgt bei 2.000 bar, während die Wasserstoffeinspritzung bei etwa 10 bar erfolgt. JCB entdeckte auch, dass Wasserstoff bei einer viel niedrigeren Temperatur als andere Kraftstoffe verbrannt werden kann, wobei die genaue Temperatur, die in seinem neuen H₂-Verbrennungsmotor verwendet wird, von JCB streng geheim gehalten wird.

Das Ergebnis ist ein Vierzylindermotor mit Saugrohrinspritzung (s. Abb. 2). Er hat genau das gleiche Drehmoment, den gleichen Wirkungsgrad und die gleichen Leistungswerte wie sein Dieselpendant und ist so konzipiert, dass er in bestehenden Maschinen austauschbar ist. Die einzige Änderung an der Maschine selbst besteht darin, dass der Dieseltank durch Wasserstofftanks an der Seite ersetzt wird. Der H₂-ICE kann zudem mit bereits verfügbaren Komponenten hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil gegenüber Brennstoffzellen ist, dass die Maschine auf der Baustelle repariert werden kann.

H₂-ICE von JCB sind bereits in Prototypen von Baggern und Teleskopladern (s. Abb. 1, li. u. re.), die sich von ihren Dieselpendants durch eine neue grün-weiße Lackierung anstelle des traditionellen JCB-Gelbs unterscheiden, im Einsatz. Der Wasserstoffmotor wurde auch in einen 7,5-Tonnen-Lkw von Mercedes eingebaut, um zu zeigen, dass dies möglich ist und dass die Technologie in einem Lastwagen funktioniert.

Was die künftige Produktion betrifft, so konnte Ryan Ballard, Engineering Director for Powertrain bei JCB, bislang keine konkreten Ziele benennen, sagte aber: „Wir sind ehrgeizig.“ Die H₂-Testmotoren wurden auf denselben Produktionslinien gebaut wie die Dieselmotoren. Daher sei es möglich, bis zu 250 Wasserstoffmotoren pro Tag zu bauen, aber die Nachfrage sei noch nicht da, hieß es gegenüber H₂-international.

WASSERSTOFF AUF DEM VORMARSCH Eine Besonderheit in der Bau- und Landwirtschaftsbranche ist bislang die Lieferung von Diesel direkt an die Baustelle mit einem mobilen Tankwagen. JCB hat daher kürzlich eine eigene Wasserstofftankanlage entwickelt (s. Abb. 1, Mitte). Der Tankwagen fasst 100 Kilogramm bei 500 bar. Dies reicht aus, um 16 H₂-Bagger zu betanken, in denen der Wasserstoff bei 350 bar gespeichert ist, wobei 1 kg Wasserstoff etwa 3 kg Diesel entspricht. Die Betankungsanlage kann entweder auf der Rückseite einer modifizierten Fastrac-Zugmaschine oder auf einem Anhänger transportiert werden. Die Zapfpistole wird von der Firma WEH geliefert, und die Betankungszeit beträgt nur wenige Minuten.

Was die Bereitstellung des Wasserstoffs betrifft, so wird das JCB-Testgelände von Ryze Hydrogen per Tube-Trailer beliefert. Bei einem Besuch der HZwei-Redaktion vor Ort war der verwendete Wasserstoff ein Nebenprodukt eines Chlorherstellungsprozesses, bei dem Salzwasser durch Elektrolyse gespalten wird. Nach Angaben von JCB ist es jedoch das Ziel, zu grünem Wasserstoff überzugehen.

Auf die Frage nach dem Importvertrag, den JCB und Ryze Hydrogen mit dem australischen Unternehmen Fortescue Future Industries (FFI) für 2021 abgeschlossen haben, erklärte Ballard, dass diese Entscheidung auf die Nervosität des Marktes hinsichtlich der Zuverlässigkeit der H₂-Versorgung zurückzuführen sei. Die Einfuhr von Wasserstoff aus Australien werde wahrscheinlich in Form von Ammoniak erfolgen.

Mit Blick auf die Zukunft bleibt JCB „optimistisch“, was die künftigen Vorschriften für emissionsfreie Fahrzeuge angeht, und verfolgt aufmerksam die Änderungen der Vorschriften für Pkw und insbesondere für Lkw. Die Entwicklungen bei den Lkw-Vorschriften können nach Ansicht von JCB einen Hinweis darauf geben, was später auf Bau- und Landmaschinen zukommen kann. ||

Das Interesse an Wasserstoff ist bei JCB eine Familiensache. Der Sohn des JCB-Vorsitzenden, Jo Bamford, ist Eigentümer des nordirischen Unternehmens Wrightbus, das seit 2016 Brennstoffzellenbusse herstellt. Er ist auch der Gründer von Ryze Hydrogen, das Wasserstofftransport, -vertrieb und -infrastrukturleistungen in Großbritannien anbietet.

47



ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

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

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

AUFBAU EINER H₂-INFRASTRUKTUR FÜR NFZ

Größere Tankstellen sollen 2 t Wasserstoff pro Tag fördern können

Ganz allmählich startet Deutschland in den Aufbau eines Tankstellennetzes für wasserstoffbetriebene Nutzfahrzeuge. Die bislang 93 in Deutschland von H2 Mobility betreuten H₂-Stationen sind vornehmlich für Brennstoffzellen-Pkw konzipiert und verfügen über keine ausreichende Kapazität, um mehrere Lkw und Busse befüllen zu können. Am 11. Januar 2023 wurde jetzt aber eine der europaweit leistungsfähigsten H₂-Tankstellen in Berlin eingeweiht, die quasi den Auftakt für den Infrastrukturausbau für H₂-Trucks bildet.

wurde, stellt den Auftakt für den deutschlandweit geplanten Ausbau weiterer mittelgroßer und großer Wasserstofftankstellen dar. Nikolas Iwan, Geschäftsführer von H2 Mobility Deutschland, kündigte an: „Ende 2023 werden in allen Regionen Deutschlands H₂-Lkw betankt werden können. Unser Ziel ist, in den nächsten vier Jahren bis zu 120 weitere Standorte deutschlandweit zu ergänzen.“

Im Oktober 2022 war bereits eine neue Tankstelle für Lkw, Busse und Pkw bei der APEX Group in Laage bei Rostock in Betrieb genommen worden. Angeboten wird dort grüner Wasserstoff, der vor Ort per Elektrolyse erzeugt wird. Mit einer Tageskapazität von etwa 450 kg können zwei Schwerlastfahrzeuge und drei Pkw back-to-back betankt werden. Das Investitionsvolumen für die Anlage beläuft sich auf ca. drei Millionen Euro.

Eine deutlich größere Betankungsstation ist für Neumünster geplant. Dort hat die Hypion GmbH, ebenfalls im Oktober, den Zuwendungsbescheid zur Errichtung einer H₂-Tankstelle erhalten, die bis zu 2.000 kg Wasserstoff pro Tag, beispielsweise für die Lkw des Projektpartners Edeka, bereitstellen kann. Aus dem „Klima- und Transformationsfonds“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) werden dafür Fördermittel in Höhe von 4,9 Mio. Euro bereitgestellt. Die Gesamtinvestitionen liegen im zweistelligen Millionen-Euro-Bereich.

Noch weiter im Norden sollen zwei Tankstellen an der A1 bei Lübeck und an der A7 bei Schleswig im Rahmen des europäischen Förderprojekts GREATER4H entstehen. Bei-



Abb.: Tankstelleneröffnung mit Bundesverkehrsminister Dr. Volker Wissing in Berlin

Pro Tag können an der neuen H₂-Station im Tempelhofer Weg 850 kg Wasserstoff vertankt werden – deutlich mehr als an den bisherigen Standorten. Hauptkunden werden zunächst die Müllsammelfahrzeuge der BSR (bislang 6, zukünftig 24) sein, aber auch 200 Toyota Mirai von H2 move Berlin, die bis Sommer 2023 für Uber im Fahrgasttransport in der Hauptstadt unterwegs sein werden (s. HZwei-Heft Jan. 2023), sowie H₂-Trucks von Hylane.

Dieser Standort, der mit insgesamt 1,3 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert

„Nur wenn Wasserstofftankstellen flächendeckend zur Verfügung stehen, werden wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zum Einsatz kommen. [...] Wir müssen dekarbonisieren, CO₂-frei werden und dabei mobil bleiben.“

Bundesverkehrsminister
Dr. Volker Wissing

„Jetzt ist das Tempo erkennbar, das wir schon vor Jahren gebraucht hätten.“

Kurt-Christoph von Knobelsdorff,
NOW-Geschäftsführer

„Grüner Wasserstoff wird schon bald günstiger sein als fossiler.“

Nikolas Iwan,
H2 Mobility-Geschäftsführer

„Unsere Mieter sind seit Ende letzten Jahres mit Wasserstoff-Lkw in Deutschland unterwegs. Der Ausbau der Tankinfrastruktur gibt unseren Kunden zunehmende Flexibilität bei der Planung ihrer Routen und stellt durch regionale Redundanzen eine zuverlässige Wasserstoffversorgung sicher. Das ist wichtig, weil wir insbesondere im schweren Güterverkehr mehr Fahrzeuge mit nachhaltigen Antrieben brauchen, um die Klimaschutzziele zu erreichen.“

Sara Schiffer,
Geschäftsführerin Hylane

de Standorte sind Teil der STRING-Region, die über die Grenzen von Deutschland hinaus bis nach Dänemark, Schweden und Norwegen reicht. Das GREATER4H-Projekt wurde vom Land Schleswig-Holstein auf den Weg gebracht und wird von den drei privaten Partnern GP Joule, Everfuel und Hynion umgesetzt. Die Inbetriebnahme dieser beiden Stationen (Kapazität: mind. 1 t_{H₂} pro Tag) ist für Ende 2024 beziehungsweise Anfang 2025 vorgesehen.

Der Spatenstich für den Mobility Hub des Tankstellenbetreibers Maier-Korduletsch auf dem Gelände der Paul Group erfolgte im September 2022. Ab Mitte 2023 sollen an der Shell-Station in Passau Fahrzeuge aller Antriebsarten versorgt werden können – unter anderem auch bis zu zehn H₂-Lkw direkt hintereinander (Kapazität: 2.000 kg_{H₂}).

WELTWEIT NEUE H₂-STATIONEN IN PLANUNG Auch international tut sich so einiges beim H₂-Infrastrukturausbau. Phillips 66 und H2 Energy Europe gründeten bereits 2022 ein Joint Venture, das bis 2026 bis zu 250 Wasserstofftankstellen in Deutschland, Österreich und der Schweiz unter der Marke Jet errichten will. Im Februar 2023 kündigten auch TotalEnergies und Air Liquide an, in Europa über 100 Stationen für schwere Nutzfahrzeuge installieren und dafür ebenfalls ein eigenes Joint Venture gründen zu wollen.

Auch immer mehr Kompressorenhersteller widmen sich dem Tankstellenbau (s. HZwei-Heft Jan. 2023). Ende 2022 verkündete beispielsweise Maximator Hydrogen, 24 Wasserstoffstationen im Rahmen des Projekts REH2 in Schweden installieren zu wollen. Die Auslieferung der ersten Tankstelle für Lastkraftwagen ist für Herbst 2023 geplant, wobei ausschließlich grüner Wasserstoff – vornehmlich aus Windkraft sowie lokaler Wasserkraft – verwendet werden soll. Weitere Stationen, insbesondere an Standorten von Schwedens größter Rastplatz-Kette Rasta, sollen ab 2024 in monatlichem Rhythmus bis Ende 2025 folgen. Im März 2023 meldete Maximator gemeinsam mit Jet H₂ Energy den Bau von zehn Wasserstofftankstellen in Deutschland und Dänemark.

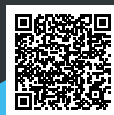
In Südkorea ging Anfang des Jahres die JeonjuPyeonghwa-Wasserstofftankstelle in Betrieb, die erste von 35 H₂-Stationen, deren Errichtung Kohygen bis 2025 im Land plant. Bei einer

Ladekapazität von 300 Kilogramm Wasserstoff pro Stunde können dort bis zu 100 Busse oder Lastkraftwagen pro Tag befüllt werden. Weltweit waren zum Jahresende 2022 insgesamt 814 Wasserstofftankstellen in Betrieb.

IMMER MEHR ELEKTRISCHE NFZ Bundesverkehrsminister Volker Wissing rechnet damit, dass 2030 drei Viertel der neu zugelassenen Nutzfahrzeuge der Gewichtsklasse ab 12 Tonnen emissionsfrei sein werden, ihre Energie also aus einer Batterie oder einer Brennstoffzelle bereitgestellt wird. Nach den Zielen der Bundesregierung soll bis 2030 ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch erbracht werden. ||

WO GEBÄUDE UND BIOTOPE ZEITGLEICH ENTSTEHEN.

Nachhaltige Gewerbeimmobilien
bei GOLDBECK.



MEHR
INFOS

BRENNSTOFFZELLEN-MEAS OHNE „FOREVER CHEMICALS“

Freiburger Start-up ionysis arbeitet an der fluorfreien Brennstoffzelle



Abb. 1: MEA im für Heavy-Duty-Anwendungen relevanten Maßstab [Quelle ionysis]

Die Bedrohung für Mensch und Umwelt durch Per- und Polyfluoralkylsubstanzen, sogenannte PFAS, ist längst bekannt. Erst im Februar 2023 berichteten zahlreiche Tageszeitungen über das Ausmaß der PFAS-Kontamination in Europa und rückten das Thema wirksam in die Öffentlichkeit. Auch in Brennstoffzellen werden PFAS verwendet. Das Freiburger Start-up ionysis hat sich zum Ziel gesetzt, dies zu ändern.

PFAS sind eine Gruppe von stark fluorierten Polymeren, die in vielen verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden, gut bekannt zum Beispiel aus beschichteten Pfannen oder Outdoor-Jacken. Sie verfügen über einzigartige Eigenschaften wie eine hohe chemische und thermische Stabilität. Sie sind nicht-haftend, nicht-färbend und stark öl- und wasserabweisend und daher heute weit verbreitet in Marken wie Teflon oder Gore-Tex.

Doch die positiven Materialeigenschaften haben eine Kehrseite: PFAS bauen sich in der Umwelt nicht ab, und das über Jahrhunderte. Zudem sind sie sehr mobil, so dass sie inzwischen in Grund- und Oberflächenwasser, Luft und Böden nachweisbar sind. Auch in der menschlichen Blutbahn und zahlreichen lebenden Organismen ist diese Stoffklasse bereits nachgewiesen worden. Dort stehen sie unter dem starken Verdacht, Krebs, Unfruchtbarkeit und andere schwere Erkrankungen zu verursachen.

Obwohl diese Eigenschaften seit vielen Jahrzehnten bekannt sind, häuften sich erstmals in den vergangenen Monaten Entscheidungen mit Tragweite zur Eindämmung von PFAS: Im November 2022 reichte der Bundesstaat Kalifornien in den USA eine umfassende Klage gegen PFAS-produzierende Unternehmen wie 3M und Dupont ein. Einen Monat später kündigte 3M als erster großer Chemiekonzern an,

sich bis Ende 2025 komplett aus der Herstellung von PFA-Substanzen zurückzuziehen.

Zuletzt hat das Thema dann medienwirksam noch einmal an Fahrt gewonnen: Im „Forever Pollution Project“ haben JournalistInnen von 18 Zeitungen und anderen Medienhäusern, darunter Le Monde (Frankreich), NDR, WDR, Süddeutsche Zeitung (Deutschland) und The Guardian (Vereinigtes Königreich) über mehrere Monate Tausende von Datenpunkten gesammelt, um eine „Karte der ewigen Verschmutzung“ zu erstellen, die zum ersten Mal das Ausmaß der Kontamination Europas durch PFAS zeigt.

Das „Forever Pollution Project“ deckte auch erstmals auf, wie groß die Anstrengungen der PFAS-Lobby sind, ein EU-weites PFAS-Verbot zu verwässern. Dieses umfassende Verbot der Verwendung und Herstellung von PFAS als Stoffklasse wurde von Dänemark, Deutschland, den Niederlanden, Norwegen und Schweden initiiert. Im Februar 2023 veröffentlichte die europäische Chemieagentur (ECHA) den Vorschlag und evaluiert ihn nun, bevor sie eine Empfehlung an die Europäische Kommission abgibt. Die Hauptargumente gegen das Verbot konzentrieren sich auf den Mangel an PFAS-Ersatzstoffen in Anwendungen, die als kritisch für die Gesellschaft angesehen werden.

Einer dieser scheinbar alternativlosen Fälle ist die Verwendung von Fluorpolymeren in Elektrolyseuren und Wasserstoffbrennstoffzellen. Aufgrund ihrer hohen Protonenleitfähigkeit und chemischen Stabilität werden Fluorpolymere auf Basis von perfluorierten Sulfonsäuren (PFSA) derzeit für Membranen und Elektrodenbinder in Wasserstofftechnologien verwendet.

ZIEL: GRÜNER WASSERSTOFF MIT GRÜNEN MATERIALIEN

Dr. Andreas Büchler, Co-Geschäftsführer und Mitgründer von ionysis, warnt: „Spätestens die Veröffentlichungen des ‚Forever Pollution Projects‘ sind ein Weckruf. PFAS werden eine enorme Bedrohung für die Umwelt, uns, unsere Kinder und Enkelkinder sein. Die PFAS-Werte, die schon jetzt nachgewiesen werden können, sind schockierend. Vor diesem Hintergrund ist es unerlässlich, jetzt, zu Beginn der exponentiellen Skalierung von Wasserstofftechnologien, die Forschung und Entwicklung von fluorfreien Materialien für Wasserstoffanwendungen voranzutreiben und möglichst schnell PFSA-Alternativen zur Marktreife zu bringen.“

Aus dem zunehmenden Bewusstsein über die Verschmutzung durch PFAS und dem dringenden Bedarf an Alternativen in der wachsenden grünen Wasserstoffwirtschaft heraus wurde das Start-up ionysis von einem Team aus dem Bereich Elektrochemische Energiesysteme bei Hahn-Schickard und der Universität Freiburg gegründet. Der Grundstein für das Start-up wurde im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte gelegt, die vom Land Baden-Württemberg, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurden. Das Unternehmen hat sich zum Ziel gesetzt, hocheffiziente und nachhaltige Kernkomponenten für Brennstoffzellen zu entwickeln.

Im September 2022 nahm ionysis mit einem achtköpfigen Team den Betrieb auf und wird bis Mitte 2023 auf die doppelte Teamgröße anwachsen. Neben Dr. Matthias Breitwieser (Chief Technology Officer), Dr. Florian Lombeck (Chief Scientist) und Dr. Severin Vierrath (Scientific Advisor) – alle aktive oder ehemalige Mitarbeiter von Hahn-Schickard und der Universität Freiburg – ergänzen Dr. Andreas Büchler (Chief Operation Officer) und Lisa Langer (Chief Financial Officer) das Gründerteam. Zwei starke Investoren unterstützen das Start-up nicht nur mit finanziellen Mitteln. Lisa Langer erklärt: „Durch unsere Investoren haben wir neben einer substanziellen Finanzierung im mittleren einstelligen Millionenbereich auch wertvollen Zugang zu Branchen-Know-how und Unterstützung bei der Geschäftsentwicklung.“

ERSTER LEISTUNGSNACHWEIS IM VOLLFORMAT IST ERBRACHT Neben der Entwicklung dieser neuartigen, umweltfreundlicheren Membran-Elektroden-Einheiten (MEAs) liegt der Fokus auf dem Nachweis ihrer technischen Machbarkeit im relevanten Maßstab. Ziel ist es, gänzlich fluorfreie MEAs zur Marktreife zu bringen und so einen Beitrag zu einer tatsächlich nachhaltigen, „grünen“ Wasserstoffwirtschaft zu leisten. Erst vor wenigen Wochen konnte der erste erfolgreiche Leistungsnachweis im Heavy-Duty-Vollformat erbracht werden, was einen wichtigen Meilenstein in der frühen Phase der Firma darstellt.

„Gemeinsam mit internationalen Partnern ist es uns gelungen, neuartige MEAs für Brennstoffzellen zu entwickeln, die erstmals die Leistungsfähigkeit des Standes der Technik erreichen. Darüber hinaus haben sie das Potenzial, in Zukunft effizienter und bei höheren Temperaturen betrieben werden zu können“, erklärt Dr. Matthias Breitwieser, Chief Technology Officer von ionysis.

So konnten in den vergangenen sechs Monaten seit dem operativen Start wichtige Entwicklungen vorangetrieben werden: Einerseits wurde die MEA-Zusammensetzung verbessert, zum anderen hat es große Fortschritte bei der Herstellung im Pilotmaßstab gegeben: „Gemeinsam mit einem Partner haben wir einen neuen Prozess zur CCM-Herstellung (catalyst coated membrane; Anm. d. Red.) entwickelt, der es uns perspektivisch ermöglicht, mit den Hydrocarbon-Materialien leistungsfähige CCMs im skalierten Maßstab reproduzierbar herzustellen“, freut sich Dr. Florian Lombeck, Chief Scientist bei ionysis.

EU-FÖRDERUNG UND INDUSTRIEAUFTRAG Dass es großes Interesse an der Technologie von ionysis gibt, zeigte sich bereits in der Startphase: Anfang Februar 2023 wurde ionysis zusammen mit dem slowenischen Start-up ReCatalyst für das prestigeträchtige Förderprogramm EIC Transition des European Innovation Council ausgewählt. Der European Innovation Council ist Europas führendes Innovationsprogramm zur Ermittlung, Entwicklung und Verbreitung bahnbrechender Technologien und wegweisender Innovationen. EIC Transition finanziert Innovationstätigkeiten, die über den experimentellen Nachweis im Labor hinausgehen, um sowohl die Reifung und Validierung von neuartigen Technologien im Labor und in relevanten Anwendungsumgebungen als auch die Entwicklung des Geschäftsmodells für die zukünftige Vermarktung der Innovation zu unterstützen.

Das Projekt „Enabler“ mit einem Gesamtvolumen von 2,5 Mio. Euro kombiniert die innovativen Technologien der beiden Start-ups mit dem Ziel, Brennstoffzellen für Schwerlastanwendungen kostengünstiger und umweltfreundlicher zu machen und ihre Leistung zu verbessern. ReCatalyst hat

eine eigene Technologie zur Herstellung neuartiger Elektrokatalysatoren auf der Grundlage von Platinlegierungen entwickelt, die eine höhere Leistung und Haltbarkeit der Katalysatoren ermöglichen. ionysis verwendet die Katalysatoren von ReCatalyst für ihre fluorfreien MEAs. Um die MEAs in der Praxis zu evaluieren, konnte der etablierte Brennstoffzellen-Stack-Entwickler EKPO Fuel Cell Technologies GmbH als assoziierter Projektpartner gewonnen werden.

Zudem konnte von ionysis ein erster Industriauftrag im Bereich der MEA-Entwicklung im mittleren sechsstelligen Bereich gewonnen werden. Grundlage für den umfangreichen Entwicklungsauftrag war die Erfahrung des Teams im Bereich der Prototypenentwicklung. „Wir freuen uns wirklich, dass unsere Kompetenz in der agilen und schnellen Entwicklung neuartiger Zusammensetzungen für Membran-Elektroden-Einheiten der nächsten Generation von etablierten Akteuren im Markt bereits jetzt erkannt wird. Das stimmt uns optimistisch für die Zukunft unseres jungen Unternehmens“, freut sich Dr. Matthias Breitwieser.

VALIDIERUNG, SKALIERUNG UND MARKTREIFE Für die kommenden eineinhalb Jahre hat ionysis einen klaren Entwicklungspfad: Die Validierung der Technologie im Brennstoffzellen-Stack, die Skalierung der CCM-Herstellung sowie der Aufbau von Partnerschaften mit Lieferanten und Kunden. Gleichzeitig geht es darum, das Geschäftsmodell zu entwickeln und die Kommerzialisierung vorzubereiten, so dass fluorfreie MEAs so bald wie möglich einen tatsächlichen Impact haben und der Verwendung von PFAS in eigentlich „grünen“ Wasserstoffanwendungen zeitnah ein Ende gesetzt werden kann. ||

HYDROCARBON-POLYMER-BASIERTE MEAS FÜR DIE PEM-BRENNSTOFFZELLE

Alternativen zu perfluorierten Ionomeren, wie dem in elektrochemischen Energieanwendungen bekannten Nafion™, werden bereits seit den 1990er-Jahren erforscht. Viele Jahre wurden Materialien wie zum Beispiel sulfonierte Polyetheretherketone (sPEEK) verwendet, die jedoch in Bezug auf Leistung und Haltbarkeit zu weit vom perfluorierten Stand der Technik entfernt waren. Erst in den letzten fünf Jahren gab es erstmals wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung von echten Alternativen: Vor allem durch die systematische Eliminierung der chemischen Schwachpunkte in den Polymeren (z. B. wenig stabile chemische Bindungen im Rückgrat der Polymere) konnten endlich stabile und gut protonenleitfähige Materialien gefunden werden.

Inzwischen gibt es eine Reihe an veröffentlichten Hydrocarbon-Ionomeren und -Membranen, beispielsweise auf Basis von sulfonierten Polysulfonen und verschiedenen sulfonierten Polyphenylenen. Die neuen Materialien ermöglichten erstmals hervorragende Leistungen im Labor und befinden sich inzwischen bei einigen Polymerfirmen wie Ionomr Innovations aus Kanada in der Kommerzialisierung.



AutorInnen:

Dr. Matthias Breitwieser

→ matthias.breitwieser@ionysis.com

ionysis.com

Lisa Langer

→ lisa.langer@ionysis.com

beide ionysis GmbH, Freiburg

SOLARER TREIBSTOFF PER KNOPFDRUCK

Effizientere und stabilere Katalysatoren erforderlich

Ulmer ForscherInnen ist es nun gelungen, ein System zu entwickeln, das die Herstellung von Wasserstoff aus Lichtenergie zu jeder Tages- und Jahreszeit ermöglicht. Diese photochemische Einheit könnte künftig zur nachhaltigen Wärmeerzeugung bis hin zur Betankung wasserstoffbetriebener Lkw und Busse eingesetzt werden – und zwar genau dann, wenn der Bedarf besteht. Da das Licht gespeichert werden kann, wird es möglich, Wasserstoff nachfrageorientiert und sogar bei Dunkelheit zu produzieren.

Der neue Ansatz der baden-württembergischen WissenschaftlerInnen basiert auf einem einzigen Molekül, das Sonnenlicht aufnehmen, Energie speichern und Wasserstoff herstellen kann. „Lichteinstrahlung führt in unserem Molekül zur Ladungstrennung und Elektronenspeicherung“, erklärt Prof. Carsten Streb vom Institut für Anorganische Chemie der Universität Ulm (s. HZwei-Heft Apr. 2018). Als Reaktion der Spaltung entsteht ein flüssiger, leicht speicherbarer Treibstoff. Die bedarfsgerechte Erzeugung des gasförmigen Wasserstoffs werde durch die Zugabe einer Protonenquelle erreicht, so Streb.

Die Aussichten für den neuen Ansatz sind vielversprechend. Das Team um Prof. Streb hat die Leistungsfähigkeit seines Systems mit verschiedenen Analysemethoden überprüft. Im Ergebnis zeigt die molekulare Einheit eine exzellente chemische und photochemische Stabilität. Der modulare Aufbau des Systems ermöglicht chemische Veränderungen und eine Optimierung des Gesamtsystems. Somit könnte das Modell auch als eine Art Blaupause für dezentrale Energiespeicher dienen.

die effiziente Erzeugung von grünem Wasserstoff auf dezentraler Basis zu schaffen.

NÄCHSTES ZIEL: WEG VON SELTENEN MATERIALIEN Denn derzeit finden sich noch seltene Materialien wie Ruthenium, Platin oder Rhodium in den Katalysatoren. Diese teuren und teils ökologisch bedenklichen Komponenten sollen nun durch leichter verfügbare Alternativen ersetzt werden, so das Ziel. Zum Beispiel könnten organische Farbstoffe, wie sie in Jena erforscht werden, das Problem lösen. Deren Instabilität lässt sich womöglich bald in den Griff bekommen.

Außerdem soll die Materialverknüpfung in den Solarenergiewandlern optimiert werden. „Ziel ist ein lichtgetriebener Prozess mit gekoppelter Oxidation und Reduktion. Dazu kommt die Weiterentwicklung physikochemischer Analysemethoden“, erklärt Prof. Benjamin Dietzek-Ivanšić von der Universität Jena. Er ist in der nun gestarteten zweiten Förderphase neuer Sprecher des Projekts. Der Kollege Carsten Streb ist derweil an die Uni Mainz gewechselt und arbeitet dort zu dem Thema weiter.

Das Fernziel bleibt die Herstellung künstlicher Chloroplasten: Diese pflanzlichen Zellbestandteile sind dabei für die Photosynthese zuständig. In Zukunft wird das Konsortium auch mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Ulm kooperieren.

EFFIZIENTER ALS ELEKTROLYSE Der Bedarf an Wasserstoff ist bereits jetzt hoch und wird weiter wachsen. Derzeit werden weltweit jährlich etwa 80 Mio. Tonnen Wasserstoff durch Dampferformierung hergestellt. Dabei werden immer noch fossile Brennstoffe verwendet und so große Mengen an CO₂ freigesetzt. In naher Zukunft muss die Produktion von Wasserstoff emissionsfrei werden oder zumindest mit emissionsarmen Methoden möglich sein.

Bisherige Verfahren zur Herstellung von grünem Wasserstoff beruhen oftmals auf der Kopplung mehrerer Komponenten wie Photovoltaikzellen, Batterien und Elektrolyseuren. Der Nachteil: Die Energieverluste sum-

52



Abb. 1: Photoreaktor: Bestrahlungsapparat im Institut für Anorganische Chemie [Quelle: Heiko Grandel]

VORBILD IST DIE PHOTOSYNTHESE IN DER NATUR Entwickelt wurde das photochemische System in einem Verbundprojekt. Forschende der Universitäten Ulm und Jena haben sich die natürliche Photosynthese zum Vorbild genommen und neue Materialien für die Energiewandlung entwickelt. Ein Beispiel sind künstliche Chloroplasten für die Wasserstoffherstellung. Die WissenschaftlerInnen haben unter anderem wichtige Strukturanalysen gemacht, die die Reaktion des Katalysators auf Licht beschreiben. Dabei kam unter anderem ein kostenintensives Gerät zur hochauflösenden Massenspektrometrie zum Einsatz, das durch EU-Mittel im Rahmen der regionalen Innovationsstrategie des Freistaates Thüringen angeschafft wurde.

Frühere Systeme zur Umwandlung von Sonnenlicht in chemische Energie waren relativ instabil. Durch die Einbettung der lichtgetriebenen Katalysatormoleküle in weiche Materie ist es dem Konsortium aus Chemie, Physik und Materialwissenschaften gelungen, diesen Prozess zu stabilisieren und zu steuern. Hauptziel des nun verlängerten Sonderforschungsbereichs ist es, Grundlagen für



Abb. 2: Katalyselösungen mit Ruthenium-Farbstoff werden im Labor mit Licht bestrahlt
[Quelle: Eberhardt/Uni Ulm]

mieren sich bei jedem Schritt, weshalb die Wasserstoffproduktion nur wenig effizient ist. Der für elektrolytische Verfahren benötigte grüne Strom kann zwar aus Windkraftanlagen gewonnen werden, allerdings gehen bei elektrolytischen Verfahren rund 40 Prozent der Energie verloren. „Die derzeitigen Ziele für die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff innerhalb der EU bis zum Jahr 2050 erfordern 2.800 TWh. Das entspricht dem Strom von 250.000 bis 460.000 neuen Windkraftanlagen“, berechnet Professor Marko Huttula, Leiter eines entsprechenden Projekts, das an der Universität Oulu läuft.

Der Vorteil von Solarwasserstoff im Vergleich zu elektrolytischem Wasserstoff ist, dass er nur die Energie der Sonne benötigt.

FINNLAND: SIEBEN PROZENT WIRKUNGSGRAD IM LABOR Photokatalytische Prozesse werden weltweit bereits seit Jahrzehnten untersucht und erforscht. Herausforderung ist und bleibt es, einen effizienten und langlebigen Katalysator zu entwickeln. Denn meist zersetzen sich die Katalysatoren zu schnell, oder es werden seltene und teure Metalle benötigt. Auch in Finnland, an der Universität Oulu, wird derzeit ein neuer Katalysator entwickelt, der aus sogenanntem Molybdänit besteht. Dabei handelt es sich um ein relativ billiges und natürlich vorkommendes Mineral. Die Verbundstruktur besteht aus geschichtetem Molybdändisulfid sowie Nickel- und Silbernano-partikeln, was den Katalysator nach Angaben der Forscher relativ kostengünstig macht.

Im Labor an der Uni Oulu lieferte der neue Katalysator immerhin 86 Tage hintereinander Wasserstoff, ohne zu zerfallen. Er erreichte dabei einen Wirkungsgrad von sieben Prozent, was mehr ist als der Schwellenwert für einen brauchbaren

Wirkungsgrad von mindestens fünf Prozent. Neben der Erzeugung von Wasserstoff reinigt das Verfahren zudem auch das natürliche Wasser, das für die H₂-Produktion verwendet wird.

Der Weg ist jedoch noch lang. „Es bedarf noch jahrelanger Forschung, bis die Produktion von Solarwasserstoff in größerem Maßstab möglich ist“, weiß Professor Huttula: „Die Technologie befindet sich derzeit noch in einem kritischen Entwicklungsstadium.“ ||

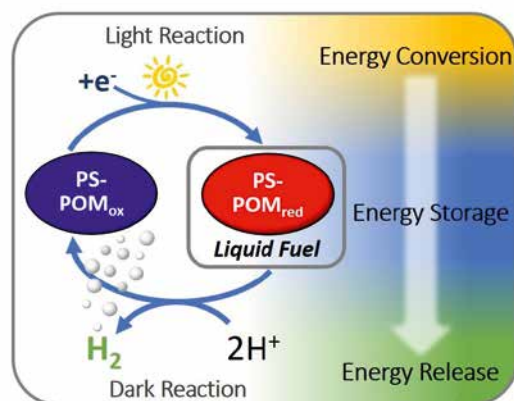


Abb. 3: Reaktionsschema [Quelle: Uni Ulm]

Verschraubungen für Wasserstoffsysteme - zertifiziert nach EC79



Systeme bis zu 35 MPa
6er Serie Verschraubungen



Systeme bis zu 70 MPa
20D Serie Verschraubungen

Druckregler für Wasserstoffsysteme - zertifiziert nach EC79



Sie möchten sich **persönlich** von unseren Produkten für **Wasserstoff** überzeugen?

Dann besuchen Sie uns auf der **Hannover Messe in Halle 13 an Stand F47!**

Eine Übersicht unserer Produkte für **H2-Anwendungen** finden Sie auch in unserem **Online-Shop:**

www.hps-solutions.de

WIRD 2023 EIN GUTES BÖRSENJAHR FÜR DIE WASSERSTOFFAKTIEN?

Aktienanalyse von Sven Jösting

Traut man den vielen, meist sehr positiven Meldungen aus der ganzen Welt rund um Brennstoffzelle und Wasserstoff, so steht dem Hochlauf von Wasserstoff – insbesondere an der Börse – nichts mehr im Weg. Denn Aktionäre und Investoren brauchen Visionen und Wachstumsstories, die Kursfantasie entfachen. Und genau dies tun die Initiativen vieler Länder, wie beispielsweise der USA mit ihrem Inflation Reduction Act, sowie vergleichbare Pläne der EU oder aber die sehr ehrgeizigen Vorhaben Südkoreas, Japans und auch Chinas.

Die Phase der Positionierung geht bei vielen der hier analysierten Unternehmen allmählich in die Phase der Skalierung über, wobei die richtigen Wachstumszahlen ins Visier genommen werden. Der Übergang in die Gewinnzone ist nur eine Frage der Zeit, wird dann aber beim Erreichen zu nachhaltigen Zuwächsen führen. 2024 wird das erste Jahr sein, in das so manches Unternehmen der Branche mit vollen Auftragsbüchern startet, um dann die bereits bestehenden Kapazitäten immer mehr auszunutzen.

Die Börse als Antizipationsmechanismus – Zukunft wird in die Kurse eingespeist – übernimmt damit ihre eigentliche Rolle. Dass da die vergangenen zwei Jahre, auch coronabedingt, für viel Enttäuschung in den Kursen sorgte, wird bald vergessen sein. Denn der weltweite Klimawandel, der Wunsch nach Energiesicherheit und ausreichender Verfügbarkeit sowie auch die Vorgaben, was saubere, regenerative Energie betrifft, sind Steilvorlagen für all die Märkte, in denen Wasserstoff fossile Energieträger wie Erdgas, Kohle und Rohöl immer mehr ersetzt.

Da es sich hier um einen neuen Megatrend handelt (20 Jahre hat es gedauert), geht es nun los, auch wenn dieser Zeit braucht, um Fahrt aufzunehmen, denn all dies geht nicht über Nacht. Zunächst muss die notwendige Infrastruktur her (Gaspipelines werden H₂-ready gemacht). Neue H₂-Tankstellen werden die Basis dafür sein, erst Nutzfahrzeuge wie Busse und Lkw, vor allem auf der Langstrecke, mit Wasserstoff zu bedienen, bis auch Pkw in ein paar Jahren verstärkt mit Brennstoffzelle und Wasserstoff auf die Straße kommen und die Serienproduktion beginnt.

Wasserstoff als Speichermedium für regenerative Energien wird an Bedeutung gewinnen, aber in den notwendigen Mengen wird er als Commodity in Form von Derivaten wie Ammoniak aus der ganzen Welt gehandelt und transportiert. Der Elektrolyse in ihren verschiedenen Varianten kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Da entstehen gewaltige neue Weltmärkte, aber auch neue Wettbewerbssituationen. Deshalb achte ich bei den hier behandelten börsennotierten Unternehmen sehr darauf, dass sie zu den Gewinnern der Entwicklung zählen, weil sie über wichtiges Know-how und Erfahrungen verfügen und zudem Geschäftsmodelle haben, die gute Gewinnmargen ermöglichen.

Aus vielen Pilotprojekten (Züge, Schiffe, Backup-Power, Drohnen, Flugzeuge, Lkw u. a.) rund um den Einsatz der Brennstoffzelle sowie um Wasserstoff als Energieträger werden dann Großserien in einem Markt, der für die meisten Teilnehmer spannende Wachstumsperspektiven verspricht. Bei diesem Hochlauf entsteht sehr viel Kursfantasie, und es ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl von Joint Ventures entsteht, die – mit einer ganzen Produktpalette in Sachen Wasserstoff – als One-Stop-Partner wahrgenommen werden und Gesamtlösungen anbieten: von der Produktion von Wasserstoff (Elektrolyse) bis hin zur dessen Verwertung in Gaskraftwerken, der Industrie (Stahl, Chemie) und der Mobilität in ihren vielen Facetten wie auch als Treibstoffersatz durch wasserstoffbasierte e-Fuels.

Unternehmen, die über entsprechendes Know-how und IP verfügen, selbst Wasserstoff produzieren und im eigenen Geschäftsmodell einzusetzen fähig sind, werden die Gewinner – auch an der Börse – sein, so meine Prognose. Institutionelle und auch private Investoren werden diesem Segment aus eigener Überzeugung sowie mangels Alternative in Sachen Nachhaltigkeit das notwendige Wachstumskapital zur Verfügung stellen und dann über steigende Kursnotierungen vor allem selbst davon profitieren.

Der neue disruptive Megatrend Wasserstoff ist spätestens jetzt der Startschuss für die Aktien dieses Segments. Allerdings braucht es für den Hochlauf Zeit, die auch Anleger als Voraus-

54

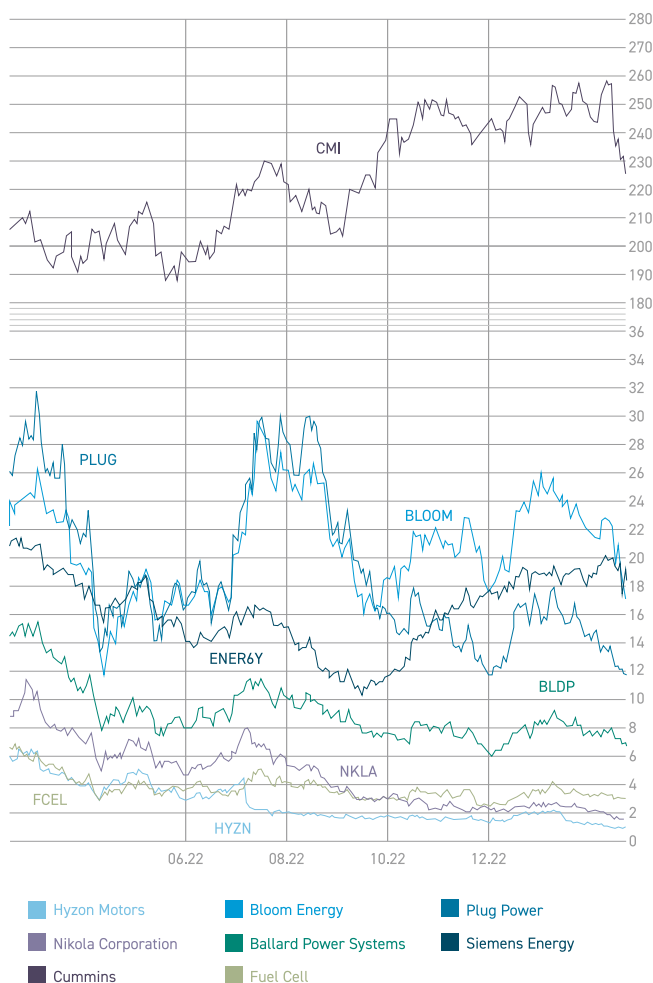


Abb. 1: Aktienkursverlauf der besprochenen Unternehmen
[Quelle: www.wallstreet-online.de] Kurse vom 18. März 2023



Abb. 2: Weltweit nimmt das Interesse an Elektrolyseuren weiter zu: Asahi Kasei baut eine Pilotversuchsanlage für alkalische Elektrolyse in Kawasaki, Japan [Quelle: Asahi Kasei]

setzung für ihr Invest mitbringen sollten. Man schaue sich nur an, was für Märkte (stellvertretend für andere der Schwerlastverkehr) die Studien namhafter Unternehmensberater wie McKinsey, PwC u. a. für die kommenden fünf bis fünfzehn Jahre prognostizieren. Und dann werden Investments in Unternehmen mit den passenden Lösungen und Produkten eine sichere Sache mit überdurchschnittlichem Potential sein.

Da ist es irrelevant, wenn es ein oder zwei Jahre dauert, bis das Ganze in Gang kommt und an Fahrt gewinnt. Die hier behandelten Unternehmen werden nach meiner vollen Überzeugung zu den Gewinnern des Megatrends Wasserstoff zählen.

BALLARD POWER – AB 2024 SETZT ÜBERDURCHSCHNITTLICHES WACHSTUM EIN

Bei Ballard ist es PR-mäßig noch ruhig, auch wenn da sicherlich an vielen Projekten und Piloten gearbeitet wird. Neuigkeiten erwarte ich am 17. März 2023, wenn die Zahlen für das Geschäftsjahr 2022 veröffentlicht werden, da dann der Vorstand immer auch eine Prognose und einen Ausblick präsentiert. Der Hochlauf der Brennstoffzelle, zum Beispiel in Lkw und Bussen und auf der Schiene, steht gerade erst am Anfang, wobei es da schon Indikationen gibt. Ballard ist da ganz vorne dabei.

Zum Beispiel im europäischen Bussektor: Der Informationsdienst Sustainable Bus meldete jüngst: 2022 wurden 4.152 batterieelektrische Busse in Europa neu in Dienst gestellt sowie 370 H₂-Busse. Von diesen 370 H₂-Bussen kamen wohl 292 Stück von Ballard Power, da man wichtige OEMs mit den Modulen beliefert (106 für Van Hool, 104 für Solaris und 82 für Wrightbus). Das ist ein sehr guter Indikator für die Zukunft.

Ballard-Konkurrent Toyota hat kürzlich für 60 Busse des portugiesischen Buserstellers Caetano den Zuschlag für die Zulieferung der Brennstoffzelle an den Kunden DB Regio bekommen. Das zeigt, dass nun Einzelaufträge immer größer werden, da Kunden wie Busflottenbetreiber auf Skalierungseffekte setzen und aus dem Stadium der Pilotprojekte heraus sind. Dieser Markt beginnt gerade erst, zumal die >>

55

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. 3: Forsee Power Standort in Poitiers, Frankreich [Quelle: Forsee Power]

H₂-Infrastruktur nun verstärkt in Europa, in den USA sowie in Asien angegangen wird. Ballard ist hier sehr gut aufgestellt und kann liefern.

CROSSWIND SETZT AUF BALLARD-BZ FÜR 1-MW-BZ-SYSTEM Dieses Projekt wird meines Erachtens die Blaupause für viele ähnliche werden: CrossWind ist eine Kooperation zwischen Shell und Eneco. Es geht hierbei um ein Windparkprojekt an der Nordsee mit der Bezeichnung The Hollands Kust Noord offshore wind project (Gesamtleistung: 759 MW, Energiemenge: 3,3 TWh pro Jahr). Damit sollen dann nach Inbetriebnahme 1 Million Haushalte mit grüner Energie versorgt werden.

CrossWind setzt auf viele sich ergänzende Technologien, die grüne Energie so effizient wie möglich zum Einsatz bringen. Überschussstrom wird in Batterien und Wasserstoff gespeichert – je nach Verfügbarkeit und Kapazität. Mittels der Brennstoffzellen von Ballard wird dieser Wasserstoff dann effizient in Strom für eine sichere Versorgung gewandelt. Dieses Projekt hat Vorzeigecharakter und dürfte in den kommenden Jahren sicherlich weitere Aufträge zur Folge haben. Leider wurde kein Auftragswert in Euro genannt.

SHORT-SELLER-ATTACKE HAT KEINEN EINFLUSS AUF BALLARD Noch vor ein paar Wochen klang es so, als wenn der indische Milliardär Gautam Adani Interesse daran haben könnte, sich an Ballard zu beteiligen und dessen BZ-Stacks in unterschiedlicher Weise in Indien in den Einsatz zu bringen (da gibt es ein MoU als Basis). Er plant(e), wie auch sein Milliardärskollege Ambani (Reliance Group), mehr als 50 Mrd. US-\$ über einen Zeitraum von fünf bis zehn Jahren in den Themenkomplex Wasserstoff zu investieren. Dies ist nun nicht mehr wahrscheinlich, da Adani und sein Firmenkonglomerat von dem Shortseller-Newsletter Hindenburg Research (s. u.) mit einem für Adani desaströsen Bericht ins Visier genommen worden sind. Über 100 Mrd. US-\$ Wertverlust sind die Folge. Für Ballard ist dies indes von nebensächlicher Bedeutung, da Adani weiterhin Interesse haben wird, die verschiedenen BZ-Anwendungen (Nfz, Lokomotiven, Schiffe u. a.) zum Einsatz zu bringen.

Konkret hat Adani als erstes Projekt ausgewählt, einen Minenlaster H₂-ready zu machen, wobei der Konzern zwar selbst der Auftraggeber für diese Umrüstung ist, aber Ashok Leyland als Tochter der Hinduja-Group das Fahrzeug stellt. Das ist eigentlich die viel bessere Nachricht, könnte Ashok Leyland doch geradezu ein idealer Partner für Ballard in Indien sein. Eine gemeinsame Stack-Produktion, vergleichbar mit dem Joint Venture von Ballard und Weichai Power in China, würde sich auch idealerweise für Indien anbieten. Denn Ashok Leyland ist die Nr. 4 in der Welt für Busse, Nr. 19 bei Lkw und Nr. 2 bei kommerziell genutzten Kfz in Indien. So gesehen sind die Negativ-News zu Adani für Ballard überhaupt kein Thema. Adani ist aber natürlich weiterhin als Großkunde für Ballard interessant. Somit zeigt sich auch hier mal wieder: Alles hat zwei Seiten.

DER FALL ADANI – DIE MACHT DER SHORTSELLER Hindenburg Research ist Ihnen schon bekannt: Das US-amerikanische Investment-Research-Unternehmen mit Sitz in New York City hat es vor allem auf börsennotierte Firmen aus dem Be-

reich Wasserstoff abgesehen. Hindenburg setzt via Leerverkauf auf fallende Aktienkurse der betroffenen Unternehmen und befeuert den Abwärtstrend durch eigene negative Wertpapieranalysen. Gewünschte Kurseinbrüche sind absehbar die Folge. Das ist eine Form der Kursmanipulation, da Hindenburg selbst durch eigene im Vorwege der Veröffentlichung durchgeführte Leerverkäufe partizipiert und Leerverkaufspositionen in Aktien wie auch Anleihen des Zielunternehmens, kombiniert mit Verkaufsoptionen, aufbaut – und eben dies vor Veröffentlichung des eigenen Newsletters.

Ich würde dies mit dem Begriff Frontrunning versehen, da es fast wie ein Insidergeschäft erscheint. Insider haben besonderes Wissen, dürfen dies aber nicht zum Einsatz bringen. Für mich ein klarer Interessenkonflikt. Nichtsdestotrotz hat Hindenburg (der Name soll an das gleichnamige Luftschiff erinnern) mit mancher Recherche durchaus recht, wenn dies auch im eigenen Interesse ausgeschlachtet wird und manche Interpretation fraglich ist. So wurden ja Unternehmen wie Nikola Motors (deren Lkw, der ohne Motor einen Berg herunterfuhr) bereits ins Visier genommen, woraufhin dessen Gründer das Unternehmen verlassen musste.

Im Fall Adani geht es Hindenburg um das „undurchsichtige“ Firmengeflecht, um Beteiligungen und die Finanzierung (die Höhe der Schulden) wie auch denkbare Vorteilsnahme durch die Nähe zum indischen Ministerpräsidenten Modi. Beide stammen aus derselben Provinz und gehören derselben Kaste an. Zudem könnten Zuschläge für den Bau von Flugplätzen oder Häfen ohne öffentliche Ausschreibungen erfolgt sein, so eine Annahme von Hindenburg.

In welcher Weise Hindenburg da selbst durch Leerverkäufe von Aktien der diversen börsennotierten Adani-Firmen oder Anleihen profitiert hat, wird leider verschwiegen. Klar ist, dass der Schaden für Adani nicht nur materiell gewaltig ist, sondern auch psychologisch auf ganz Indien und sein politisches System ausstrahlt. Am Ende des Tages hinterlässt all dies natürlich Spuren, wenn auch davon ausgegangen werden kann, dass Adani mit der richtigen Kommunikationsstrategie hier Informationen präsentieren wird, da das Unternehmenskonglomerat als Ganzes systemrelevant für Indien ist.

Gerade Unternehmer wie Adani können und werden Indien in Sachen

regenerativer Energien und Wasserstoff nach vorne bringen. Da mag zwar ein Widerspruch darin bestehen, einerseits Kohle zu fördern und andererseits auf grüne Energien zu setzen, allerdings erfolgt hierdurch auch eine Transformation: Die Gewinne aus dem einen Bereich werden als Re-Invest für den anderen genutzt. Fortescue Future Industries des australischen Milliardärs Forrest verdient sein Geld auch mit Erzen und Rohstoffen, reinvestiert die Gewinne aber in erneuerbaren Energien. Die meisten Ölunternehmen verhalten sich ähnlich oder planen, dies zu tun, und wollen hohe Gewinne aus der Ölproduktion verstärkt in den Themenkomplex regenerativer Energien und Wasserstoff umlenken.

GLÜCKLICHES HÄNDCHEN BEI DER BETEILIGUNG AN FORSEE POWER Die von Ballard 2021 eingegangene Beteiligung an dem französischen Spezialbatteriehersteller Forsee Power zahlt sich schon aus. Beachtliche 58 Prozent Umsatzzuwachs meldet Forsee für das Geschäftsjahr 2022 (111 Mio. Euro). In wenigen Jahren will man mehr als 500 Mio. Euro Umsatz machen. Ballard hatte hier bis zu 40 Mio. US-\$ via Aktienkauf beim IPO investiert und hält 10 bis 20 Prozent – ohne Obligo.

Ballard und Forsee arbeiten sehr eng zusammen. Forsee ist bei allen Ballard-Busmodullieferungen der Lieferant der ergänzenden Batterien und bedient den gleichen Kundstamm wie Ballard. Das sind echte Synergien. Beide investieren in neue Produktionsstätten in den USA, um vom IRA zu profitieren. Forsee meldet einen Auftragsbestand, der dem entspricht, was man 2022 umgesetzt hat. 2023 sollen die Batterien für 1.000 Busse (wasserstoff- und batterieelektrische) geliefert werden. Forsee beginnt zudem, die Batterien auch für Züge (steht hier Ballard über Siemens Mobility Pate?) und demnächst auch für Lkw zu liefern.

Am Rande noch dieser Hinweis: Es ist immer wieder zu hören, dass es bei Ballard so lange dauere, bis nennenswerte Umsätze oder gar ein Gewinn auszumachen seien. Das wird alles kommen. Ballard baut zielgerichtet Produktionsstätten auf (in den USA, Kanada, Europa, China). Die Auslastung der Anlagen ist nur eine Frage der Zeit. Ich erwarte diese ab 2024. In China stehen wichtige Förderprogramme für die Wasserstoffwirtschaft in den Startlöchern. Werden diese kleiner ausfallen als es die USA und Europa planen? Mitnichten. Ballard baut die Basis für hohes Wachstum auf.

Das ist vergleichbar mit der Entwicklung einer Mine: Erst geht es um den Standort (geologische Gutachten, Probebohrungen), dann wird in die Infrastruktur investiert und erst nach Abschluss dessen an den Rohstoffabbau herangegangen. Das dauert oft ein, zwei oder drei Jahre, bis es richtig losgeht. Bei Ballard ist die Entwicklung der Stacks bzw. der MEA die Basis. Der Bau von Produktionsstätten folgt und dementsprechend die Skalierung der Produktion. Parallel laufen Pilotprojekte. Am Ende des Tages wird die Produktion hochgefahren, das Unternehmen bedient die neu entstehenden Märkte und verdient Geld damit.

Bei Bussen und Lkw fängt es weltweit gerade erst an, dass CO₂-freie (batterie- und/oder wasserstoffbetriebene) Fahrzeuge produziert werden. Ballard verfügt über die umfassendste Erfahrung in diesem Bereich, nämlich durch BZ-Busse, die weltweit schon erfolgreich im Einsatz sind (Ballard inside). Behalten Sie diese Sicht bitte im Auge, denn Börse antizipiert die Zukunft, auch wenn es mal länger dauert, bis es zum Durchbruch kommt. Schwächephasen im positiven Sinne im Kurs nutzen und step by step zukaufen, um damit einen guten Durchschnittskurs zu erzielen, bietet sich als die richtige Strategie an.

BLOOM – UNTERNEHMENS-PLÄNE LASSEN EIN GROSSES POTENTIAL ERKENNEN

Das Zahlenwerk des Geschäftsjahres 2022, aber vor allem die Auswertung der schriftlichen Fassung der begleitenden Telefonkonferenz mit Fachanalysten namhafter Investmentbanken lässt für Bloom Energy eine sehr gute Zukunft erahnen und bestätigt meine äußerst optimistische Einschätzung. Da finden sich viele Superlative beim Vorstand: „Bloom ist jetzt ein Unternehmen mit planbarem Wachstum.“ Bloom ist dabei in vielen Märkten bestens positioniert, entwickelt neue ergänzende Technologien, geht neue Geschäftsfelder an und baut die Internationalisierung (verstärkt nun auch Europa nach Südkorea) auf und aus. O-Ton: „Im Jahr 2022 haben wir rekordverdächtige Wirkungsgrade für die Wasserstoffproduktion mit unseren Elektrolyseuren demonstriert [...] und für unsere vielversprechende Technologie zur Kohlenstoffabscheidung“.

Meine Schlussfolgerungen: Die erste Stufe im Aufbau der neuen Fabrik in Fremont ist gelaufen – Bloom hat 200 Mio. US-\$ investiert und produziert die Stacks für die Energieserver wie auch die Elektrolyseure. Eine Verdopplung der Kapazitäten kommt noch in diesem Geschäftsjahr. Die staatlichen Zuschüsse aus dem IRA (Inflation Reduction Act) werden hierbei sicherlich genutzt. Mit 10 Mrd. US-\$ Auftragsbestand (plus 1,5 Mrd. US-\$) befindet sich das Unternehmen >>

57

FAU

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

#FAUinsights Wasserstoff und Anwendungen

immer
mittwoch
17.00 bis
18.30 Uhr

Vortragsreihe vom 26.4. – 5.7.2023

Wasserstoff trifft Wirtschaft – Forschung trifft Praxis

In der Vortragsreihe der FAU und des EnCN diskutieren Expertinnen und Experten gemeinsam zum Thema Wasserstoff und dessen Anwendungsmöglichkeiten.

Ort: Energie Campus Nürnberg, Fürther Str. 250,
90429 Nürnberg oder live im Internet unter www.youtube.com/unifau



Gefördert durch:

Bayerische
Staatsregierung

Unterstützt durch:

Wirtschafts- und
WissenschaftsreferatENERGIE
CAMPUS
NÜRNBERG



Abb. 4: 200-kW-Microgrid-Lösung von Bloom

auf einem guten Weg. Man adressiert diverse Märkte, die vor allem saubere Energie liefern und Energiesicherheit schaffen, und dies im Modus 24/7.

Beispiel: Optimierungen wie ein Power-and-Heat-Ansatz lassen Abwärme sinnvoll nutzen. Dies war in den USA bislang kein Thema – wohl aber in Europa. Prozess- und Fernwärme finden ihren Einsatz und erhöhen den Wirkungsgrad der Energieserver und BZ-Kraftwerke auf rekordverdächtige 90 Prozent. Biogas als Basis für Wasserstoff, basierend auf Waste-to-Hydrogen-Technologien, wird ebenfalls ein sehr großes Zukunftsthema für Bloom. Zudem arbeiten die US-Amerikaner an Carbon-Capture-Technologien, um CO₂-Emissionen zu verringern oder bei e-Fuels zum Einsatz zu bringen. Bloom will sich bei all diesen Themen besonders auf die Märkte und Weltregionen konzentrieren, in denen sich die höchsten Gewinnmargen generieren lassen.

Denkbar wäre, zu einem späteren Zeitpunkt Produktionsanlagen für die Server/Stacks auch in Europa aufzubauen, wenn die hiesige Nachfrage dies zulässt und die Produktionskapazitäten in den USA ausgelastet sind. Sollte die EU ihr eigenes IRA-Programm so definieren, dass in Europa für Europa produziert werden muss, kann dies natürlich auch Bloom animieren, eine Produktion in Europa (Lieferketten) zu etablieren. Aber das ist bislang nur Zukunftsmusik.

GEWINNMARGE IST AUSBAUFÄHIG Die Zahlen für 2022: Fast 1,2 Mrd. US-\$ Umsatz und ein viertes Quartal mit Rekordumsätzen von 462,8 Mio. US-\$ (bei 400 Mio. US-\$ Erwartung). Zum Vorjahresquartal ein sattes Plus von 41,4 %. Die Gewinnmarge lag zwar nach der Non-US-GAAP-Berechnung bei über 30 % im vierten Quartal (23 % auf das Gesamtjahr bezogen), indes nach der GAAP-Rechnungslegung nur bei 15,4 % im Quartal 4. Der Non-GAAP-Gewinn erreichte hier 59 Mio. US-\$ – indes lag der operative Verlust bei 40,6 Mio. US-\$.

Der Auftragsbestand ist rekordverdächtig: 10 Mrd. US-\$ (8,5 Mrd. US-\$ im Vorjahr). Hier sei darauf hingewiesen, dass im GAAP-Ergebnis rechnerisch auch Bonusprogramme für Mitarbeiter, Vorstand (stock option plans; stock compensation) enthalten sind, die das Ergebnis verzerren. Mittlerweile wird die Non-GAAP-Rechnung sogar als aussagefähiger angesehen als die Rechnungslegung via GAAP. Denn bei ersterer werden Einmalfaktoren wie außerordentliche Abschreibungen (Einmalverluste) und Stock-Compensation-Plans u. a. herausgerechnet.

Bloom hat somit – vor außerordentlichen Aufwendungen – nach Non-GAAP Geld verdient: 0,27 US-\$/Akte. Die Gewinnmarge soll step by step auf 30 % ansteigen, wenn diese Einmalfaktoren bei der Berechnung im weiteren Verlauf der kommenden Jahre geringer ausfallen.

Der Bargeldbestand betrug am Ende des letzten Geschäftsjahres 500 Mio. US-\$ und wird in Kürze (erstes Quartal) um weitere 313 Mio. US-\$ steigen, da sk Group/sk ecoplant die zweite Rate für die Beteiligung an Bloom zu überweisen plant.

ANALYSTEN SIND GESPALTEN, ABER POSITIV GESTIMMT Die eine Seite der Analysten bewertet die Ist-Situation (aktuelle Quartalszahlen, Gewinnmargen), die andere die Perspektiven aufgrund der bestehenden Grundlagen und Unterneh-

mensprognosen. So ist zu hören, dass Analyst Mark Strouse von J.P. Morgan das Kurspotential nach der Veröffentlichung der Zahlen des vierten Quartals mit einem Zielkurs von 29 auf 27 US-\$ gesenkt hat. Sein Rating: von outperform zu neutral.

Strouse sieht die Gewinnmargen noch nicht auf dem vom Unternehmen selbst prognostizierten Level, während sein Kollege von Morgan Stanley im Gegenzug seine Einschätzung auf Outperform erhöht hat. Sein Ziel in der Aktie: 35 US-\$. Bloom sei in allen wichtigen Bereichen seines Marktes sehr gut aufgestellt und verfüge über ein hohes nachhaltiges Wachstumspotential.

Man kann auch sagen: Der eine sieht ein halbleeres Glas und der andere ein halbvolles. Mir sind vor allem die Perspektiven wichtig und nicht ein einziger Quartalsausweis bzw. ein einziges Geschäftsjahr. Die Richtung muss stimmen.

KRITISCHE BETRACHTUNGEN Der Aktienkurs stieg am Tag der Veröffentlichung intraday um fast zehn Prozent, fiel dann aber in den Folgetagen wieder zurück. Dies ist meines Erachtens der Meinung manchen Marktteilnehmers und Analysten geschuldet, dass die Gewinnmarge noch nicht den Vorgaben und Prognosen entspricht. Zudem muss man den hohen Auftragsbestand etwas relativieren, da hierin – 7,2 von 10 Mrd. US-\$ – langfristige Serviceverträge enthalten sind.

Das Themenfeld Elektrolyse wird entgegen den Erwartungen erst ab dem Jahr 2024 wirklich nennenswerte Umsätze generieren können. Da hatte man bereits für 2023 hohe Erwartungen. Der hohe Short-Interest, ausgedrückt in den leer verkauften Aktien, darf auch nicht übersehen werden, da Shortseller kein Interesse an steigenden Notierungen haben und via Trading Einfluss auf die Kursentwicklung behalten werden (Grundlage erhöhter Kursschwankungen). Gute Nachrichten (Auftragseingänge, technologische Durchbrüche) sind die Grundlage für tendenziell steigende Kurse und vor allem für die Erträge (Gewinnmargen) daraus.

DER AUSBLICK STIMMT Bloom weitet massiv die Kapazitäten für Stacks für Energieserver und Elektrolyseure aus. Nach einer Verdoppelung von 300 MW auf 600 MW p. a. nur bei den Energieservern wird dies in gleicher Weise bei den Elektrolyseuren fortgesetzt. Die Produktion läuft der Nachfrage nach

BZ-Kraftwerken (Energieservern) hinterher und lässt ein kräftiges langfristiges Wachstum unterstellen. Der Übergang in die Gewinnzone (nachhaltig und stark steigend) wird unseres Erachtens ab 2024 eintreten, da dann auch die Kapazitäten für die Elektrolyseure auf den Markt kommen. Bloom könnte dann auch selbst zum H₂-Produzenten werden und vom IRA-Zuschuss in Höhe von 3 US-\$ pro kg H₂ profitieren.

Durch die permanente Optimierung und das Heben von Kostensenkungspotentialen (Skalierung) wird diese Entwicklung auf den Ertrag im positiven Sinne durchschlagen. Bloom erwartet 40 Prozent der Umsätze im ersten Halbjahr 2023 und 60 Prozent im zweiten Halbjahr (genehmigungsverfahrenstechnische Einflüsse). Der Umsatz im laufenden Geschäftsjahr soll bei 1,4 bis 1,5 Mrd. US-\$ liegen, was einem Wachstum von 17 bis 25 % und leider nicht den ursprünglich avisierten mehr als 30 Prozent entspricht. Aber damit kann man auch gut leben. Mittel- bis langfristig soll das Wachstum indes 30 Prozent und mehr erreichen.

Sieht man das Gesamtbild aller Entwicklungen (weltweite Energiesicherheit und -nachfrage, Wasserstoff, Klimafragen, Förderprogramme wie den IRA), wird Bloom zu den Gewinnern zählen, was sich in stark steigenden Auftragseingängen und letztendlich auch Gewinnausweisen widerspiegelt. Neue Themenfelder wie der Einsatz der SOFC-Energieserver in Schiffen, die Themen Carbon-Capture und Power-&-Heat wie auch Waste-to-Hydrogen sind von Bloom technologisch adressiert. Hieraus lassen sich neue Auftragspotentiale erwarten.

Wichtig für das Investment: Zeit und Geduld. Temporär schwache Kurse eignen sich für Zukäufe. Mein bzw. ein Schlüsselinvestment in Sachen Wasserstoff und Brennstoffzelle. Gründe für Kursfantasie sind mannigfaltig vorhanden, so dass man von einem guten Chance-Risiko-Verhältnis ausgehen kann.

NIKOLA – BEI EMISSIONS-FREIEN LKW DIE NASE VORN

Am 25. Januar dieses Jahres fand der Analyst-Day in der Firmenzentrale in Phoenix statt und war – so meine Wahrnehmung – ein großer Erfolg für Nikola. Per Streaming konnte ich mir einen Eindruck verschaffen, wie sich über 300 Vertreter von Logistikunternehmen, Zulieferern, Energieunternehmen sowie aus der Politik und den Medien sich ein Stelldichein gaben, um sich über die Pläne von Nikola direkt vor Ort zu informieren.

Dort hieß es, HYL A solle die neue Kernmarke von Nikola für Wasserstoff werden. Dieser Name ist eine Kombination aus den ersten Buchstaben des englischen Wortes für Wasserstoff (Hydrogen) und der Endsilbe von Nikola. CEO und Präsident Michael Lohscheller erklärte: „Nikola ist das einzige Unternehmen, dem es gelingt, ein revolutionäres neues Produkt, den Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw, und die gesamte Lieferkette für die H₂-Energieinfrastruktur unter einem Dach zu vereinen.“

Am 23. Februar 2023 wurden die Zahlen für das vierte Quartal 2022 und damit das Gesamtjahr 2022 veröffentlicht: Der Umsatz erreichte in 4/2022 nur 6,5 Mio. US-\$, (Erwartung: 32 Mio. US-\$). Der Jahresverlust 2022 betrug 784,2 Mio. US-\$ (darin enthalten sind 255,4 Mio. US-\$ stock-based compensation).

Die Erklärung für den geringen Umsatz in diesem Quartal 2022 ist, dass Nikola nur 20 batterieelektrische Lkw ausgeliefert hat. Der Großteil der produzierten Fahrzeuge wurde als Inventory zurückgehalten – aus gutem Grund: Die Tre BEV wurden so optimiert, dass die Kosten um über 100.000 US-\$ pro Truck gesenkt werden konnten. Eine gewaltige Einsparung, wenn man bedenkt, dass ein solcher Truck gut 380.000 US-\$ in der Anfangsversion kostet, wobei Förderbeträge bis zu 190.000 US-\$ pro Fahrzeug möglich sind.

Der Einsparerfolg beruht auf einer Kombination aus der Optimierung beim Energiemanagement, der Software, den Batterien, dem Materialeinsatz und dem geringeren Personaleinsatz durch Automatisierung. So gesehen ist weniger Umsatz auch weniger Verlust und bedeutet für die Käufer der BEV einen günstigeren Kaufpreis. Fest steht, dass hier erst mit der Skalierung Geld verdient wird. Viel wichtiger indes ist der Ausblick, da im zweiten Halbjahr die Tre FCEV (H₂-Trucks) auf den Markt kommen.

Der Jahresverlust 2022 betrug 784,2 Mio. US-\$. Darin enthalten indes 255,4 Mio. US-\$ stock-based compensation. Neben 323 Mio. US-\$ Bargeld (frei verfügbar und restricted) stehen am Jahresende 2022 weitere Mittel zur Verfügung: 232,2 Mio. US-\$ aus dem laufenden ATM-Programm, weitere 75 Mio. US-\$ aus einer Wandelanleihe, 312,5 Mio. US-\$ aus der auf Aktien basierenden Kreditlinie des VC Tummin, so dass insgesamt 942,7 Mio. US-\$ an liquiden Mitteln für 2023 zur Verfügung stehen, was ausreicht, um das Jahr durchfinanzieren zu können (Selbstauskunft des Unternehmens). Zudem werden Vorschusszahlungen bei zu liefernden Tre FCEV und den BEV erwartet.

Für das Gesamtjahr 2023 wird nun die Auslieferung von 250 bis 350 Tre BEV und 125 bis 150 Tre FCEV erwartet, was einem Jahresumsatz von 140 bis 200 Mio. US-\$ entspricht. 2024 könnte der Umsatz bereits die Marke von 1 Mrd. US-\$ überschreiten, da die Nachfrage nach emissionsfreien Fahrzeugen ansteigt und Nikola die Früchte einer automatisierten Produktionslinie allmählich ernten kann. >>

59



Abb. 5: Michael Lohscheller auf der IAA Transportation 2022



Abb. 6: Auch Partner Iveco geht in Richtung Elektrifizierung

Um dem Henne-Ei-Problem zu begegnen, produziert Nikola selbst Wasserstoff – auch mit Partnern – und baut die notwendige Infrastruktur auf. Bis 2026 sollen mindestens 60 firmeneigene Wasserstofftankstellen etabliert sein. Zudem hat Nikola eine mobile Wasserstofftankstelle konzipiert, die 960 kg_{H₂} verfügbar hält. Die Tankzeit pro Lkw beträgt unter 20 Minuten.

Nikola will mittel- bis langfristig vor allem an dem Consumable Wasserstoff Geld verdienen, und dies mit steigender Menge und Ertragspotential. Der Inflation Reduction Act (IRA) der Regierung Biden bildet dafür den Turbo, da durch ihn grüner Wasserstoff mit 3 US-\$ pro kg subventioniert wird. Vielleicht kommt ein ähnliches Programm auch in Europa, wo Nikola zusammen mit Partner Iveco E.ON mit ins Boot geholt hat, um Wasserstoff für die Betankung der Lkw bereitzustellen.

SEIT FEBRUAR BEIM CRAB-PROGRAMM „GELISTED“ Die wasserstoffbetriebenen Lkw von Nikola sind für die Förderung durch das CARB (California Air Resources Board) im Rahmen des Programms HVIP (Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project) zugelassen worden. Daraus ergibt sich eine finanzielle Förderung von 240.000 bis zu 288.000 US-\$ pro Fahrzeug in diesem wirtschaftsstärksten US-Bundesstaat der USA.

Die US-Regierung gibt zudem über den IRA weitere 40.000 US-\$ pro Lkw dazu. (Für batterieelektrische Modelle liegt die Förderung durch CARB bei 120.000 bis 150.000 US-\$ pro Stück plus 40.000 US-\$ über IRA). Parallel hat der IRA noch weitere Förderungen vorgesehen, die sich auf die Produktion von Wasserstoff ebenso beziehen wie auf die Produktionsanlagen der Lkw (batterieelektrisch und wasserstoffbetrieben).

Per HYLA hat sich Nikola bereits perspektivisch eine Tageskapazität von 300 metrischen Tonnen Wasserstoff pro Tag (TPD = tons per day) geschaffen. Nikola positioniert sich über verschiedene Wege und Produktionsarten und stellt H₂-Liefersicherheit her, ohne von einem einzigen Zulieferer abhängig zu sein. Ohne den Wasserstoff als Consumable lassen sich die BZ-Trucks nicht verkaufen – das Henne-Ei-Problem ist gelöst.

DOE-KREDIT ÜBER 1,3 MRD. US-\$ ALS GAMECHANGER Dieser Kredit im Rahmen des IRA wäre perfekt für Nikola. Das Unternehmen ist geradezu dafür prädestiniert, diese Mittel zu erhalten und damit in die Wasserstoffinfrastruktur und -herstellung zu investieren. Ob es im Endeffekt 1,3 Mrd. US-\$ sein werden, nur ein Teil davon oder das Ganze in Tranchen über mehrere Jahre, ist nebensächlich. Wichtig ist der psychologische Effekt, denn wenn Nikola dieses Geld zur Verfügung steht, ist die Gesamtliquidität in einem gesunden Zustand. Die Bo-

nität dieses Start-ups erfährt dann eine spürbare Verbesserung. Die Refinanzierung des Kredites könnte peu à peu über die Jahre durch die Ausgabe von Aktien refinanziert werden, so dass aus Fremdkapital dann Eigenkapital wird. Aber das sind vorerst nur meine Erwartungen – ohne Obligo.

LOI FÜR 100 BZ-LKW VON GP JOULE

Mit dem deutschen Allrounder in Sachen regenerativer Energien, GP Joule, hat Nikola kürzlich eine Absichtserklärung (Letter of Intent) für die Lieferung von 100 wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen unterzeichnet. GP Joule betreibt Wind- und Solarparks, baut ein eigenes Netz an Wasserstofftankstellen auf und setzt auf eine eigene H₂-Produktion. Eine perfekte Kombination, so unser Fazit. GP Joule hatte zudem eine Absichtserklärung mit einem Rahmenvertrag für 5.000 wasserstoffbetriebene Lkw mit Clean Logistics abgeschlossen – wir berichteten –, die nach den negativen Entwicklungen der vergangenen Wochen nicht mehr realisiert werden kann, da Clean Logistics Konkurs anmelden musste (s. S. 6). Es gibt eben nur ganz wenige Lkw-Hersteller, die absehbar dazu in der Lage sind, wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zu liefern. Nikola ist da eine gute Wahl. Diese für den europäischen Markt bestimmten BZ-Lkw werden aber wohl erst 2024 zur Auslieferung kommen.

PARTNERSCHAFT MIT FORTESCUE FUTURE INDUSTRIES

Auch mit Fortescue Future Industries (FFI), dem Unternehmen des australischen Milliardärs Forrest, arbeitet Nikola zukünftig bei der Wasserstoffproduktion zusammen. Beide Unternehmen planen eine Kooperation bei Wasserstoffprojekten. Konkret geht es um Buckeye/Phoenix, wo eine eigene Wasserstoffproduktion geplant ist. Hier ist es sogar denkbar, dass sich FFI mit 51 Prozent (Nikola 49 Prozent) beteiligt, während sich Nikola das Recht ausbedingt, über den Wasserstoff voll verfügen zu können. Nikola hat bereits in Form von Grundstückskäufen über 16 Mio. US-\$ investiert.

Plug Power hat indes 75 wasserstoffbetriebene Lkw bei Nikola bestellt. Außerdem hieß es, man wolle da auch in der Wasserstoffbelieferung (Nikola als Kunde von Plug) zusammenarbeiten. Plug liefert die Technik für die Wasserstoffverflüssigung. Nikola geht somit verschiedene sich ergänzende Wege, um Wasserstoff in den notwendigen Mengen verfügbar zu machen und in keine Abhängigkeit zu geraten.

CTO CHRISTIAN APPEL BEI MISSION HYDROGEN Im Rahmen der Vortragsreihe bei Mission Hydrogen sprach Christian Appel, Chief Technical Officer (CTO) von Nikola, und präsentierte den Status und die Pläne des Unternehmens. Appel war in leitender Funktion bei Unternehmen wie Bosch tätig. Nikola ist seinen Ausführungen zufolge perfekt positioniert, um bei der Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs eine wichtige Rolle einzunehmen. Immerhin habe man bereits gut 2 Mrd. US-\$ in die Produktionsstätten und den Aufbau des Unternehmens mit aktuell circa 1.500 Mitarbeitern investiert.

Die wasserstoffbetriebenen Lkw kommen im zweiten Halbjahr 2023 auf den Markt. Testfahrzeuge sind bereits unterwegs und bei Kunden wie Walmart und Anheuser Busch im Tageseinsatz. Wie es aussieht, wird Nikola einen der ersten in Großserie produzierten BZ-Lkw anbieten. Mit 70 kg Wasserstoff wird dann eine Strecke von 500 Meilen zurückgelegt werden können.

BESONDERE ABSICHERUNG Nikola setzt beim Energiemanagement in wasserstoffbetriebenen Lkw auch auf KI, denn Batterie und Brennstoffzelle müssen perfekt, je nach Beschaffenheit der Straßen und Leistungsanforderung, aufeinander abgestimmt sein: Mal wird der Wasserstoff für den Elektromotor über BZ eingesetzt, mal kommt der Strom aus der Batterie, mal wird diese während des Fahrens wieder aufgeladen. Ein wichtiger Einflussfaktor ist, ob sich der Truck auf ebener Strecke befindet oder im Gelände oder in den Bergen. Auch Klimazonen werden berücksichtigt.

Was die Sicherheit angeht, setzt Nikola nicht nur auf staatlich festgelegte Regularien und Industriestandards, sondern zusätzlich auch noch auf eigene Kriterien, u. a. für Crash-Tests. Die Tanks haben nicht nur eine besondere Beschichtung (thermal protective coating), sondern sind in ein System aus Sensoren eingebunden, das wie ein Airbag funktioniert (crash-detection-system). Zudem sind die Wasserstofftanks besonders abgesichert (u. a. bei Auffahrunfällen) und halten großer Hitze bis zu 1.000 °C, zum Beispiel in einem Tunnel, für mehr als 30 Minuten Stand.

SICHERHEITSSOFTWARE-SYSTEM Zur weiteren Erhöhung der Sicherheit setzt Nikola auf das PlusDrive-System. Hierbei handele es sich um ein Assistenzsystem für den Lkw-Fahrer, welches die eigene Software perfekt ergänze, erläuterte der Lkw-Hersteller. Der Fahrer entwickle sich zu einem Piloten, der in seinem Cockpit sitzt. Da geht es um viel mehr als nur um Fahrspursensorik. Das System berechnet Fahrstrecken, setzt die Geschwindigkeit – je nach Straßenzustand und Verkehr – fest, und Sensorik hilft, Unfälle zu vermeiden. Mittels verschiedener Kamerasysteme hat der Fahrer alles im Blick, bis hin zum Einsatz von Radar. Selbst der Zustand des Wasserstoffs wie auch der Ladung unterliegt einer permanenten Überwachung. Der Fahrer wird gewarnt – sei es vor Fußgängern, Radfahrern, anderen Fahrzeugen oder dem Straßenzustand. PlusDrive gilt als ein Frontrunner dieser Technologie zum Einsatz in Nutzfahrzeugen, und Nikola ist einer der ersten Nutzer. Die Umsetzung soll bis Ende 2024 erfolgen.

PERSPEKTIVEN Im zweiten Halbjahr wird der wasserstoffbetriebene Tre FCEV Class 8 auf den Markt kommen. Gamma-Exemplare für Testzwecke sind bereits bei Kunden im Testlauf. Seitens Nikola heißt es dazu: „Wir sind der Meinung, dass wir das einzige kommerzielle EV-Unternehmen sind, das eine integrierte Mobilitätslösung bestehend aus Lkw und Energie anbietet.“ Nikola profitiert nicht nur vom Zuschuss für H₂ in Höhe von 3 US-\$ pro kg (IRA), sondern zusätzlich von einem weiteren Zuschuss in Höhe von 1 bis 2 US-\$/kg in Kalifornien (LCFS). In wenigen Jahren will das Unternehmen 300 Tonnen pro Tag produzieren und verkaufen, das bedeutet 400 bis 500 Mio. Jahresumsatz. Damit lassen sich 7.500 Lkw pro Tag betanken.

Mobile H₂-Tankstellen können für zwei Drittel des Preises einer festen Tankstelle produziert werden und lassen erhöhte Flexibilität zu. Vier davon sind aktuell in der Abnahme. Die Integration von Romeo Power (Batterien) verläuft planmäßig. Hier geht es um die Automatisierung der Batterieproduktion wie auch der Integration der BZ-Stacks (Bosch) in einer Produktionslinie für beide Lkw-Varianten mit erheblichem Kostensenkungspotential.

NIKOLA PEILT 1,7 PROZENT MARKTANTEIL IN DEN USA 2026 AN Der Lkw-Bauer erwartet, insgesamt 1,7 Prozent aller Class-8-Trucks in den USA zu verkaufen. Laut ACT Research werden 2026 ungefähr 360.000 LKW dieser Klasse in den USA nachgefragt. Das bedeutet: 1.000 bis 1.250 BEV und 5.000 bis 6.000 FCEV. >>

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



EXNT 8292
Wasserstoff-Drucktransmitter
für Ex-Zone 0, 1



EHI 8280
Wasserstoff-Drucktransmitter
für Ex-Zone 2



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

Damit würde Nikola dann Umsätze in Milliardenhöhe erzielen. Der Umsatz mit Wasserstoff soll 2026 immerhin 450 bis 500 Mio. US-\$ erreichen. Ab 2025 plant das Unternehmen, nachhaltig steigende Gewinne zu erzielen.

MEIN FAZIT Für mich hat die Aktie von Nikola Motors von den analysierten H₂-Aktien das höchste Kurspotential. Das Investment in diese Aktie ist zugleich sicherlich das spekulativste, da man das Unternehmen als Start-up verstehen und einschätzen muss. Wenige gute Nachrichten können sofort zu größeren Ausschlägen nach oben führen, da der Kurs sehr stark von Shortsellern beeinflusst wird (circa 105 Mio. Aktien sind per 2. März. 2023 leer verkauft, das entspricht über 25 Prozent des Free Floats).

So hat STA Research die Aktie auf „strong buy“ aufgewertet – mit erstem Kursziel von 5 US-\$. Die durchschnittliche Erwartung von sechs Analysten sieht die Aktie bei 8,20 US-\$ im Laufe der kommenden zwölf Monate. Ich teile diese Erwartung. Bedingt durch die Zahlen für das 4. Quartal haben aber Deutsche Bank (3 US-\$) und Wedbush (4 US-\$) ihre Kursziele erst einmal reduziert. Für mich sind dies Momentaufnahmen, da jedes Quartal zu neuen Einschätzungen führt, man aber das Investment in ein Start-up perfektivisch sehen sollte.

Das richtige Wachstum beginnt im zweiten Halbjahr dieses Jahres mit der Auslieferung des Tre FCEV (und dem Verkauf von Wasserstoff) und wird dann in den kommenden Jahren gewaltig ausfallen können. Nikola muss aber neue Liquidität beschaffen, wie ich angesichts der Perspektiven und Partner für unproblematisch halte. Gerade schwache Kurse bleiben Kaufkurse. Es handelt sich aber zweifelsohne um ein hochspekulatives Investment. Sehen Sie sich selbst als Investor der ersten Stunde, der in ein Start-up investiert. Bei Tesla waren die Anfangsjahre sehr schwierig, bis dann der Höhenflug einsetzte.

Wird Nikola also ein zweites Tesla – nur eben für Lkw?

HYZON MOTORS – UNSICHERHEITEN BELASTEN

Hyzon Motors hätte spätestens am 13. Februar 2023 die bereinigten Zahlen für das Geschäftsjahr 2022 abliefern müssen, um die Börsennotierung an der NASDAQ aufgrund bestehender Vorgaben und Regeln nicht zu gefährden. Nun hat das Unternehmen um eine Vorladung für ein neues Hearing gebeten, da man seitens Hyzon auch das komplette Zahlenwerk für das erste Geschäftsjahr 2021 einer umfassenden neuen Prüfung zusammen mit KPMG unterwirft. Nach unserer Kenntnis gibt es da eine weitere Duldungsfrist von 40 bis 60 Tagen. Ein Hearing-Termin wurde für den 16. März angestrebt und bestätigt.



Abb. 7: Hyzon Motors hat eine Zusammenarbeit mit Hyliion, einem führenden Anbieter elektrifizierter Antriebsstränge, bekanntgegeben

Der aktuelle Kursrückgang ist meines Erachtens Investoren geschuldet, die Angst haben, dass die Börsennotierung eingestellt werden könnte. Hyzon war vor den Bilanzunregelmäßigkeiten finanziell gut aufgestellt. Lkw werden öffentlichkeitswirksam zur Auslieferung gebracht und man sucht

Personal, während wichtige Managementpositionen neu besetzt wurden. Im Extremfall würde die Notierung an einer anderen Börse, dem Freiverkehr (OTC), weitergehen, da dort weniger Regulatorik vorhanden ist.

So wie die Pressemitteilungen klingen, gehe ich davon aus, dass Hyzon Klarheit schafft und sein Listing an der Nasdaq wird halten können. Klar ist aber auch, dass die Shortseller – circa 18,5 Mio. Aktien wurden leer verkauft und damit über 20 % des free float – die aktuelle Unsicherheit für sich nutzen werden. Aber selbst die Shortseller könnten geneigt sein, in Richtung des 16. März ans Eindecken zu denken, denn bei dem von mir (ohne Obligo) erwarteten positiven Ausgang der Prüfungen wird die Aktie viel Terrain an der Börse wieder gutmachen können, so dass das Unternehmen völlig neu bewertet werden wird.

Auch für Trader werden die kommenden drei Wochen sehr spannend, da von einer hohen Volatilität (Kursausschlägen von 5, 10 oder gar 20 % in nur einer Börsensitzung, je nach Nachrichtenlage) in der Kursentwicklung ausgegangen werden muss. Hyzon adressiert – wie Nikola Motors – genau den richtigen ersten großen Markt in Sachen Wasserstoff in der Mobilität: Nutzfahrzeuge. Wer da als Anleger Sorgen hat, sollte sich verabschieden und dann wieder neu einsteigen, wenn alle Unklarheiten beseitigt sind. Hartgesottene kaufen sogar zu.

PLUG POWER – ZU VIELE SUPERLATIVE, ENTTÄUSCHENDE ENTWICKLUNG

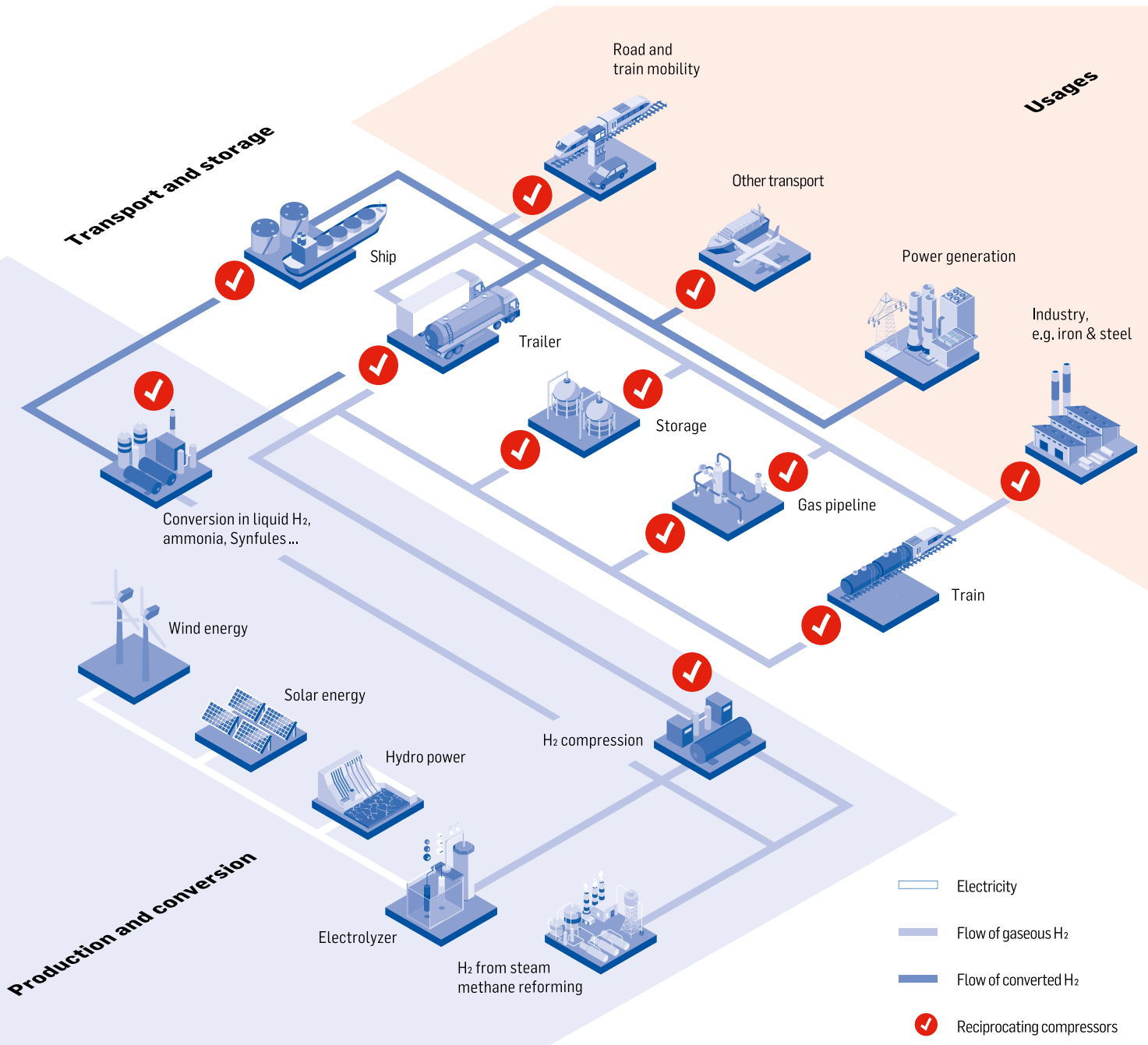


Abb. 8: BZ-System von Plug im Gabelstapler

Der Analyst-Day am 25. Januar 2023 brachte leider nicht viele neue Erkenntnisse. Die Unternehmensvertreter beschworen eine glänzende Zukunft und sehen sich als einen führenden Player in Sachen Wasserstoff. Manche Prognose und manches selbstgesteckte Ziel könnten mehr Realitätssinn vertragen, so mein subjektives Gefühl. Leider gibt es immer wieder Rückschläge, die getroffene Prognosen wieder einkassieren.

So hat Plug den Plan, mit der australischen Fortescue Future Industries (FFI) des Milliardärs Forrest eine gemeinsame Gigafactory (50:50) für Elektrolyseure in Australien zu bauen, verworfen. Beide Unternehmen behaupten von sich, die jeweils bessere Elektrolysetechnologie zu besitzen. FFI setzt auf eigene PEM- und alkalische Elektrolyse und plant, die haus-eigene Elektrolyse für Großprojekte zu nutzen. Das Gemeinschaftsprojekt in Queensland wurde indes beendet. Hier sollte eine Jahreskapazität in Höhe von 2 bis 3 GW entstehen. >>

OUR MAX UPTIME IS YOUR SUCCESS



Burckhardt Compression offers compressor solutions over the entire value chain of hydrogen for mobility and energy. Our oil-free diaphragm and piston compressors (550 bar) stand for the highest reliability and gas purity at minimal maintenance costs and energy consumption. The global network of Burckhardt Compression local service centers enables us to perform local support with quick response time, ensuring the highest uptime for your business.

Learn more: burckhardtcompression.com/hydrogen

Compressors for a Lifetime™



FFI will Plug für kleinere Elektrolyseurprojekte jedoch weiterhin Aufträge geben. Unabhängig davon, dass ich gar nicht wusste, dass FFI eine eigene Elektrolyse-Technologie nebst Produktionsanlagen besitzt, wirft diese abrupte Beendigung der Zusammenarbeit durchaus Fragen auf, denn Plug hatte ja bereits entsprechende Kooperationen angekündigt. Was bedeutet dies dann für Plugs schon abgegebene Zukunftsprognosen?

STACKS UND ELEKTROLYSEURE GEHEN IN PRODUKTION

Mit politischer Prominenz, dem Senator Chuck Schumer (Demokraten), wurde am 12. Januar 2023 der Vista Tech Campus (Albany) von Plug Power eingeweiht. 125 Mio. US-\$ hat Plug hier investiert. Diese Produktionsstätte lässt sich erheblich ausbauen. Ein ähnliches Investment hat Plug vergangenes Jahr in Rochester getätigt. Nach Aussage des CEO Andy Marsh ist, sinngemäß, jede Produktionsstätte einzigartig. In Rochester werden Brennstoffzellen für Gabelstapler gefertigt. Der Vista Tech Campus wird bereits dieses Jahr aufgrund sehr hoher Nachfrage voll ausgelastet sein, so ein Statement.

Gerade einmal 220,7 Mio. US-\$ Umsatz (48 Mio. US-\$ weniger als erwartet) brachte das vierte Quartal 2022. Unter dem Strich ein Minus von 1,25 US-\$ pro Aktie (GAAP). Nun peilt man 1,4 Mrd. US-\$ in diesem und 2,1 Mrd. Umsatz 2024 an. Liest man den 10-K (Geschäftsbericht), so wird auf sehr viele Risiken hingewiesen, die Plug adressiert (10-K kann man über die Website von Plug herunterladen).

Dass Amazon seine Bestellung von GenDrive für Gabelstapler 2022 um fast 55 Prozent gegenüber 2021 gesenkt hat, ist bemerkenswert. Besonders interessant ist der Blick auf den Bargeldbestand, da daraus das starke Wachstum finanziert wird (Produktionsstätten für BZ-Stacks, Elektrolyseure und Wasserstoff wie auch diverse Akquisitionen). 2022 ist der Bargeldbestand auf 2,15 Mrd. US-\$ gesunken, wobei davon 858 Mio. US-\$ „restricted cash“ sind, also als Sicherheit für Sale-and-Leaseback-Projekte dienen. 2023 sollen 1 Mrd. US-\$ investiert werden. Steht da womöglich die nächste Kapitalerhöhung via Neuausgabe von Aktien an?

Analysten sehen die Aktie im Durchschnitt nun bei 22 US-\$ (27 US-\$ vorher).

CUMMINS – WASSERSTOFF BESTIMMT ZUNEHMEND DAS KONZERNBILD



Abb. 9: Cummins' 135-kW-Brennstoffzellensystem für Nfz

Könnte sich der Konzern Cummins Engine zu einem One-Stop-Shopping-Unternehmen in Sachen Wasserstoff entwickeln? Der Konzern arbeitet an einer Reihe von Produkten und Anwendungen, die zu Zero-Emission führen sollen, so z. B. an Motoren für e-Fuels oder Wasserstoff, im Bereich Elektrolyse wie auch der Stack-Produktion für Lkw/Nfz und an Schienenfahrzeugen und Schiffen.

Bei der Elektrolyse konnte Cummins den Auftragsbestand 2022 auf 300 Mio. US-\$ verdreifachen. Cummins wird einen PEM-Elektrolyseur für ein 35-MW-Projekt für Linde

64



Abb. 10: Schema, einer zukünftigen Energieversorgung [Quelle: Siemens Energy]

in den USA, Niagara Falls, liefern. Das Unternehmen ist gut positioniert. Man setzt auf verschiedene Entwicklungen, was man daran erkennen kann, dass Cummins alle Elektrolysevarianten anbietet – also von PEM über SOFC bis hin zu alkalischer – je nach Kundenwunsch und Projektspezifikation.

26,2 Mrd. US-\$ Umsatz und 2,2 Mrd. US-\$ Nettogewinn (15,12 US-\$ pro Aktie) 2022 sprechen für sich. Das prognostizierte jährliche Wachstum liegt bei durchschnittlich 10 bis 15 %. Der Bereich New Power ist noch klein, wird aber perspektivisch erheblich zulegen, so ein Take aus der letzten Bilanzpressekonferenz. Sehr wahrscheinlich kauft Cummins hier auch strategisch durch Akquisitionen zu, wie man das in anderen Bereichen des Konzerns bereits macht. Über 2 Mrd. US-\$ Jahresgewinn lassen da viel Fantasie entstehen.

SIEMENS ENERGY – BÖRSE SIEHT DAS UNTERNEHMEN AUF GUTEM WEG

Die Integration der Windtochter Gamesa wird noch Zeit benötigen, bis Synergien (Lieferketten, gemeinsame Kaufkraft) und Kostensenkungspotentiale in guten bzw. erst einmal überhaupt besseren Zahlen sichtbar werden. Nichts anderes ist zu erwarten. Der erhöhte Verlust im ersten Quartal (30.

Sept. 2022) des Geschäftsjahres 2022/23 von 598 Mio. Euro (-246 Mio. Euro im Quartal davor) scheint der Übergangsphase geschuldet, wird sich unseres Erachtens aber im Jahresverlauf verbessern lassen.

Beachtlich ist der Auftragseingang in Höhe von 12,7 Mrd. Euro im ersten Quartal des Fiskaljahres, der ein Plus von über 50 Prozent gegenüber der Vergleichszeit im Vorjahr zulässt, wobei wir davon ausgehen, dass nur solche Neuaufträge hereingenommen werden, die auch eine vernünftige Rendite bzw. Gewinnmarge ermöglichen.

In den USA wird der Inflation Reduction Act (IRA) positive Impulse geben, da grüner Wasserstoff mit 3 US-\$ pro kg gefördert wird und sich dadurch manches Projekt überhaupt erst rechnet. Da Siemens Energy Produktionsstätten in den USA unterhält, wird das Unternehmen bei dortigen Projekten vom IRA profitieren bzw. daran partizipieren können. Siemens Energy ist in den USA mit 84 Standorten und 26 Produktionsstätten mit insgesamt 9.600 Mitarbeitern vertreten, so dass es da eine Vielzahl von Fördermöglichkeiten im Rahmen des IRA geben wird, die Siemens Energy für sich nutzen kann. In Europa sind ähnliche Pläne vor der Umsetzung, so dass der Konzern auch da manche Förderung erwarten kann.

Nun geht es erst einmal um die Schaffung eines Kapitalzuflusses durch die Ausgabe neuer Aktien. Bis zu 363,3 Mio. neue Aktien könnten platziert werden, um mehr als 2 Mrd. Euro neues Eigenkapital zu erhalten. Siemens Energy verhandelt da wohl mit diversen großen Staatsfonds, so eine Meldung im Handelsblatt. >>

ANMERKUNGEN IN EIGENER SACHE

Ich werde oft gebeten, in diese Analyse weitere Unternehmen einzubeziehen und auch Titel wie Nel Asa, SFC, ITM Power, Powercell u. v. a. zu besprechen. Viele dieser Player besitzen aber für mich – subjektiv – leider nicht den Charme der hier besprochenen Akteure.



Abb. 11: Es gibt viele interessante Anwendungen: Stromversorgung für Windmesssystem von SFC [Quelle: SFC]

Die Konzentration auf einige wenige Player aus dem H₂-Kosmos drängt sich auch angesichts der Informationsfülle auf, wobei es nicht nur um Kennzahlen und Wachstumsperspektiven geht. Insgesamt werden alle Akteure vom Megatrend Wasserstoff profitieren – auch in der Aktienkursentwicklung.

Es sei der Hinweis erlaubt, dass Anleger all diese Werte zusammen mit denen großer Unternehmen, wie denen aus der Gasindustrie (Linde, Air Products, Air Liquide), über Fonds und ETFs erwerben bzw. darin anlegen können. Die meisten Anleger tun eh gut daran, sich im Themenkomplex Wasserstoff in Form von Fonds zu engagieren, statt mit Einzeltiteln zu spekulieren (Risikotoleranz). Das Cost-Average-System eignet sich da hervorragend, da man zum Beispiel feste monatliche Beträge investieren kann, dadurch einen guten Durchschnittskurs erreicht und am Megatrend Wasserstoff damit mittel- bis langfristig gutes Geld verdienen und eine hohe Rendite erzielen wird. Jede Bank bietet dazu passende Fonds an oder vermittelt diese.

Meine Analyse hat ergeben, dass viele H₂-Fonds die gleichen H₂-Aktien auch im Verhältnis im Depot halten, da es ohnehin noch nicht so viele börsennotierte Unternehmen in dieser Branche gibt. Mein eigenes Wikifolio BZVision (BZ steht für Brennstoffzelle) bei www.wikifolio.com ist hingegen sehr konzentriert, hochspekulativ und hat nur die drei Werte Bloom Energy, Ballard Power und Nikola Motors im Portfolio.

Der Grund für diese spekulative Asset-Aufteilung: Diese drei Unternehmen zusammen decken den Themenkomplex Wasserstoff perfekt ab. Das bezieht sich auf die verschiedenen Märkte, die Anwendungen und die H₂-Produktion. Diese Aktien besitzen für mich – subjektiv – das größte Potential in den kommenden Jahren.

Die Finanzierung via Neuausgabe von Aktien stellt kein Problem dar, da viele institutionelle Anleger zukünftig gerade in Unternehmen wie Siemens Energy verstärkt investieren wollen. Die Story ist eine Wachstumsstory und gleichzeitig eine Turnaround-Spekulation (Gamesa). Am Ende des Tages wird Siemens Energy eine Erfolgsstory sein – begleitet von steigenden Kursen. Die Börse wird die Zukunft antizipieren. Analysten sehen die Aktie bei 25 Euro – ich sehe sie bei über 30 Euro auf Sicht von zwei Jahren – eine gute 50-Prozent-Chance.

FUELCELL ENERGY – ZAHLENWERK ÜBERZEUGT NOCH NICHT



Abb. 12: FuelCell-Energy-Plattform auf dem U-Boot-Stützpunkt der US-Marine in Groton, CT [Quelle: FuelCell Energy]

Die Zahlen für das vierte Quartal 2022 (Fiskaljahr 31.10.): Der Umsatz stieg zwar um 88 % auf 130,5 Mio. US-\$ im Gesamtjahr (39,2 Mio. US-\$ nach 13,9 Mio. US-\$ im vierten Quartal), indes ist der Verlustausweis mit minus 147,2 Mio. US-\$ kritisch zu bewerten. Beim Umsatz sind meines Erachtens Sonderfaktoren wie ein abzuwickelnder Auftrag des Ex-Partners Posco in Südkorea zu berücksichtigen. Der Auftragsbestand fiel im Gesamtjahr von 1.288 Mrd. US-\$ auf 1.090 Mrd. US-\$. Einzig positiv der Bargeldbestand, der auf 458.1 Mio. US-\$ (31.10.) gegenüber 432,2 Mio. US-\$ erhöht wurde. Dies hängt mit einem ATM-Programm zusammen, wodurch laufend Aktien über die Börse platziert werden. Da stellt sich mir die Frage, warum die Börse, die Anleger, dies so mittragen?

Positiv zu bewerten sind die Aussagen, wonach man eine führende Elektrolysetechnologie (SOFC) besitze und damit perspektivisch Wasserstoff zu sehr günstigen Bedingungen produzieren könne. Das Unternehmen investiert in verschiedene Produktionsstätten in den USA wie auch in Kanada. Die Kooperation mit ExxonMobil, bezogen auf die Carbon-Capture-Technologie von FuelCell Energy, geht weiter, wenn auch mit geringerem Invest seitens ExxonMobil.

ExxonMobil steht derweil massiv in der Kritik, Greenwashing mit seinen Klimaaktivitäten (CO₂-Emissionen u. a.) zu betreiben. Der Charakter dieser Forschungspartnerschaft ist nicht ganz klar durchschaubar. Welches potentielle Auftragsvolumen steht für FuelCell Energy hiermit in Verbindung?

Gute Nachrichten betreffen Projekte, die nun in die Umsetzung gehen: Mittels PPA (Power Purchasing Agreement) verkauft FuelCell Energy Strom der US Navy „Groton Sub Base“ (6 MW) an die Connecticut Municipal Electric Energy Cooperative.

FuelCell Energy betreibt immer mehr BZ-Kraftwerke in Eigenregie, d. h., es verkauft die Energie mittels langfristiger Abnahmeverträge. Für Toyota wird in Long Beach eine 2,3-MW-Anlage betrieben, die Strom, Wasserstoff und Wasser produziert. Pro Jahr kann das Unternehmen 41,5 MW an Leistung liefern, 2023 sollen es 45 MW werden. Das erste Ziel ist eine Jahresleistung neuer Anlagen von 100 MW und eine Fertigungskapazität, die 200 MW pro Jahr erreichen soll.

FuelCell Energy positioniert sich somit als Player im Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft und wird durch den Inflation Reduction Act Förderung erhalten. Die Carbon-Capture-Technologie soll nach Aussagen des Unternehmens eine führende sein. Die Aktie wird ihren Weg gehen, aber das permanente ATM-Programm gibt mir zu denken. ||

RISIKOHINWEIS

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

DAS FEUER DES WASSERS



[Quelle: Westend]

„Wer die Kraft des Windes und der Sonne erntet und in Form von Wasserstoff konserviert, der hält das irdische Perpetuum Mobile in den Händen.“ Dieser Satz aus dem Klappentext des Buches löst bei Naturwissenschaftlern ein Kopfschütteln aus, denn wissenschaftlich betrachtet kann es in der Realität kein Perpetuum Mobile geben. Die Aussage, Timm Koch bringe „faktengesättigt“ Licht in das Dunkel, lässt somit Zweifel an der Interpretation die-

ser Fakten aufkeimen, die bei der Lektüre des Innenteils eher noch bestärkt werden.

So relativiert Koch die Klimakrise und bezeichnet die völkerrechtlich verbindliche Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5°C aus „ökosystemarer Sicht“ als „Schwachsinn“. Er spricht sich zwar für eine rasche Reduzierung der CO₂-Emissionen aus, wettet aber nicht nur gegen Kernener-

gie sowie fossile Energieträger, sondern auch gegen jegliche Arten der Bioenergie und Energiespeicherung in Akkumulatoren. In seine prosaischen Ausführungen bettet der Autor geschichtliche Rückblicke ein und scheut auch vor dem Einstreuen persönlicher Anekdoten nicht zurück, auch wenn deren Aussagekraft mehr als fraglich und deren Inhalt eher selbstdarstellerischer Natur ist.

Gänzlich unverständlich bleibt, warum die Kapitel mit willkürlich gewählt wirkenden Zitaten eingeleitet werden, in denen beispielsweise Volksweisheiten oder Karl May wiedergegeben werden und unter anderem völlig unzeitgemäß von „roten Kriegern“ gesprochen wird. Und warum Koch die Funktionsweise einer Brennstoffzelle über eine skurril anmutende Hochzeitsanalogie zu erklären versucht, erschließt sich dem Leser ebenfalls nicht.

Irritierend ist zudem seine unverhohlene Ablehnung von Politikern, über die arg populistisch und verleumderisch hergezogen wird. Mit zahlreichen haltlosen Behauptungen, unbelegten Thesen und auch Falschaussagen (angeblich soll die Förderung zum Bau von H₂-Stationen eingestellt worden sein) bedient er immer wieder das Klischee, dass Otto Normalverbraucher von „denen da oben“ durch Fake News abgezockt werde. Das Bedienen zahlreicher Stereotype spricht dafür, dass das Buch eher die ewig nörgelnde Masse ansprechen soll und weniger eine technisch-wissenschaftlich interessierte Leserschaft – für HZwei-Leserinnen und -Leser daher nicht empfohlen. ||

□ Koch, Timm; Das Feuer des Wassers, Westend Verlag, ISBN 978-3-86489-916-4, 2022

67

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 zukunfts-fähigen, wirklich nachhaltigen Energieversorgung. Es erklärt leicht verständlich die Vorteile und Herausforderungen des Speichermediums Wasserstoff und stellt die Vielfalt 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



TSCHECHIEN BESCHRÄNKT SICH NICHT AUF GRÜNEN WASSERSTOFF

H₂-Lagebericht aus der Tschechischen Republik

Tschechien gehört in Mitteleuropa nicht gerade zu den großen Förderern der Wasserstofftechnologie. Das Land zaudert noch mit dem Ausbau der Wind- und Solarenergie. Der Anteil von PV- und Windkraftanlagen an der gesamten Stromerzeugung in der Tschechischen Republik lag im vergangenen Jahr bei gerade einmal 3,7 Prozent. Damit liegt das Land weit hinter dem europäischen Durchschnitt zurück, der EU-weit bei rund 22 Prozent lag. Klimapolitisch wurde in den mehr als dreißig Jahren seit der politischen Wende in Tschechien dennoch viel erreicht. CO₂-freie Energiequellen wie die Kernkraft und Wasserkraft sind für rund 63 Prozent der Stromproduktion verantwortlich. Auf der anderen Seite bleibt der Anteil der Kohle mit 30 Prozent weiterhin hoch. Es sind aber auch gerade die ehemaligen Kohleabbaugebiete, die sich aktiv um Investitionen in die Wasserstoffwirtschaft bemühen. Sie verfügen nicht selten über langjährige Erfahrungen in der Wasserstoffproduktion, da sie bis heute große Industrie- und Chemiestandorte sind. Daher ist dort unter anderem qualifiziertes Personal mit einem breiten Branchen-Know-how vorhanden.

plant den Bau mehrerer neuer konventioneller Reaktoren und mehrerer SMRs (Small Modular Reactor).

„Im Bereich der Wasserstoffherzeugung wollen wir uns nicht nur auf die Erzeugung aus erneuerbaren Quellen konzentrieren, sondern auch auf die Nutzung anderer alternativer Optionen für eine kohlenstoffarme Wasserstoffherzeugung, wie zum Beispiel die Nutzung von Erdgas mit Abscheidung und Verarbeitung des dabei entstehenden CO₂, die Pyrolyse/Plasmavergasung von organischen Abfällen und die Wasserstoffherzeugung mit Strom und Wärme aus Kernkraftwerken“, heißt es dazu in der tschechischen Wasserstoffstrategie, die am 27. Juli 2021 vom Ministerium für Industrie und Handel veröffentlicht wurde.

Entwicklungspotentiale liegen auch bei der Verwendung von aus der Verbrennung von Abfällen resultierender elektrischer Energie, die für die Wasserstoffproduktion verwendet wird. Seit Ende letzten Jahres ist das schwedische Unternehmen Plagazi (s. HZwei-Heft Okt. 2021) zusammen mit dem heimischen Abfallentsorgungsunternehmen PGP Terminal mit den entsprechenden Verfahren auch in Tschechien aktiv.

OHNE IMPORTE GEHT ES NICHT Die tschechische Regierung stellte jedoch im Rahmen der Wasserstoffstrategie fest, dass auch Tschechien, ebenso wie Deutschland, in Zukunft auf Wasserstoffimporte angewiesen sein wird. „Wir gehen davon aus, dass die Tschechische Republik in Zukunft Wasserstoff aus Ländern importieren muss, in denen die Bedingungen für die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff günstiger sind, weil es dort mehr Sonne und Wind gibt. Die Infrastruktur muss für den Import von Wasserstoff vorbereitet werden, und Wasserstoff könnte die derzeitigen Importe von Erdgas und Erdöl ersetzen. Die Tschechische Republik kann ein wichtiger Akteur auf dem Gebiet des Wasserstofftransports von Süden nach Norden und von Osten nach Westen sein“, sagte der ehemalige Industrie- und Handelsminister Jozef Síkela.

VERKEHRS- UND INDUSTRIEWENDE MIT WASSERSTOFF

In Tschechien fehlt es seit Jahren nicht an Plänen, die dem Klimaschutz dienen sollen. Der National Action Plan for Clean Mobility aus dem Jahr 2015 gehört zu den ersten Veröffentlichungen, in denen die tschechischen Wasserstoffpläne formuliert wurden. Zum damaligen Zeitpunkt wurde der Bereich Verkehr als besonders geeignet angesehen, um H₂-Technologien einzuführen. „Die tschechische Regierung strebt bis 2023 die Entstehung von sechs bis acht Wasserstoffbetankungsstationen an, bis 2025 soll es sogar 15 Stationen dieser Art geben“, hieß es im Report des Institute of Central Europe zum Thema Wasserstoff in Mitteleuropa.

Der Bau von Wasserstofftankstellen sollte ursprünglich mit 350 Mio. Euro unterstützt werden. Mit der Covid-19-Pandemie kamen die offiziellen tschechischen Wasserstoffpläne jedoch ins Stocken. Das Thema Wasserstoff und die Verkehrswende blieben aber oben auf der tschechischen

68



Abb. 1: Der neue BZ-Bus von Skoda vor der Firmenzentrale [Quelle: Skoda]

„Wasserstoff ist eine logische Lösung für unsere Region, da die chemische Industrie, die eine Quelle für Wasserstoff ist, stark vertreten ist. Deshalb wollen wir uns auf diesen Energieträger konzentrieren, um eine Wirtschaft aufzubauen, in der Wasserstoff produziert, verteilt und von den Endverbrauchern in unserer Region genutzt wird, zum Beispiel im Verkehr. Wir haben sicherlich das Potenzial, eine führende Rolle und eine treibende Kraft im Bereich Wasserstoff zu sein“, sagte Jan Schiller, Gouverneur der Region Ústí nad Labem, den tschechischen Medien.

Dass Tschechien sich dabei nicht nur auf grünen Wasserstoff beschränken kann, ergibt sich aus dem Energiemix des Landes, der auf den Ausbau der Kernkraft ausgerichtet ist. Tschechien, das bereits sechs Reaktorblöcke in Betrieb hat,

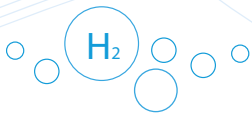


Abb. 2: Der H'City 12 auf der Innotrans in Berlin [Quelle: Skoda]

Agenda, was durch die Absichtserklärung vom Dezember 2022 untermauert wurde. In dieser Absichtserklärung haben sich Air Products und Alstom dazu verpflichtet, wasserstoffbetriebene Verkehrsmittel mit der erforderlichen Schieneninfrastruktur in der Tschechischen Republik zu betreiben. Während der feierlichen Unterzeichnung dieser Absichtserklärung bedauerte Dan Kurucz, Geschäftsführer von Alstom in der Tschechischen Republik und der Slowakei, dass es in Tschechien an entsprechenden Gesetzen fehlt, die die Wasserstoffindustrie voranbringen könnten.

Ähnlich wie im nördlichen Nachbarland Polen macht die Verkehrswende auch gerade bei den Stadtbussen erste Fortschritte. In Tschechien ist es allen voran der heimische Hersteller Škoda (s. Abb.), der seit 2009 Stadtbusse mit Brennstoffzellen herstellt. In der Tschechischen Republik sind neun FCEVs (Stadtbusse mit Brennstoffzelle), aber bis dato keine öffentlichen Wasserstofftankstellen im Zentralen Fahrzeugregister registriert. Bis zum Jahr 2030 soll es insgesamt 40.000 bis 50.000 Personenkraftwagen, 870 Busse und 80 Tankstellen in Tschechien geben, die emissionsfreien Verkehr ermöglichen, also mit Brennstoffzellen oder ausschließlich mit Elektrizität angetrieben werden.

LEITUNGSNETZE - H₂-READY? Gleichzeitig muss auch an den Leitungsnetzen gearbeitet werden. Der Leiter des operativen Geschäfts des größten tschechischen Erdgasverteilers GasNet, Andrej Prno, versicherte im Gespräch mit den tschechischen Medien, dass über das tschechische Erdgasleitungsnetz jetzt schon Wasserstoff fließen kann. Technisch steht dem nichts im Wege. Gesetzlich gibt es aber keine ausreichende Grundlage. Die ersten Schritte, um den Anteil von Wasserstoff in seinem Gasnetz zu erhöhen, hat GasNet aber bereits gemacht. In der Region Ústí hat das Unternehmen eine Zusammenarbeit mit FORH2ENERGY vereinbart, die in der Industriezone Triangle in Žatecko eine Wasserstoffproduktionsanlage bauen will. Diese wäre dann die erste Wasserstoffanlage, die GasNet an sein Gasverteilungsnetz anschließen würde. ||



Wasserstoff für eine grüne Zukunft!

- Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft und -industrie
- Effiziente Lösungen zur Erreichung der Klimaneutralität
- Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff in der Mobilität
- Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen und Wasserstoffspeichern
- Transformation energieintensiver Industrieprozesse mit Wasserstoff
- Internationale Wasserstoff-Energiepartnerschaften



Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband

Mitgliedschaft

Sie wollen Teil der Energiewende mit Wasserstoff werden? Dann werden Sie Mitglied im DWV. Lassen Sie sich durch einen starken und erfahrenen Partner in der Politik vertreten und sich von uns unterstützen! Durch eine Mitgliedschaft genießen Sie einen entscheidenden Wissensvorsprung und haben Zugang zu einem großen Netzwerk von Wirtschaftslenkern und Entscheidungsträgern der Politik.

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffstellen-Verband (DWV)

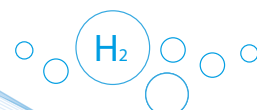
Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

Telefon +49 030 62959482
Telefax +49 030 62959483

E-Mail h2@dwv-info.de
Web www.dwv-info.de



@DWV_H2



WASSERSTOFF AUF DER SCHIENE

Der polnische Weg im Zugverkehr



Abb. 1: H₂-betriebene Rangierlok SM42-6Dn [Quelle: PESA]

Polen hat sich in Sachen einer aktuell entstehenden Wasserstoffwirtschaft für eine außergewöhnliche Vorgehensweise entschieden: Im Gegensatz zu Deutschland liegt der Schwerpunkt nicht auf der Produktion und der Speicherung von grünem Wasserstoff. Hintergrund ist, dass Polen ohnehin große Mengen konventionellen Wasserstoffs produziert, der vor allem als Abfallprodukt in der Industrie entsteht. Als strategisch wichtiger erachtet das osteuropäische Land den Aufbau funktionierender und tragfähiger Leitungs- und Vertriebsstrukturen. Sobald die notwendige Skalierung erreicht ist und grüner Wasserstoff bereitsteht, könnten derartige Strukturen von entscheidender Bedeutung auf einem europäischen H₂-Markt sein.

In Polen scheint es andere Überlegungen hinsichtlich der Anwendbarkeit von Wasserstoff zu geben als in Deutschland. Ideologische und klimapolitische Paradigmen spielen kaum eine Rolle. Umsetzbarkeit und Rentabilität sind dagegen wesentlich wichtiger.

Auf der diesjährigen Konferenz zur Zukunft des Wasserstoffesatzes bei der polnischen Bahn wurde das besonders deutlich, als der Vertreter des wichtigsten polnischen Güterbahnunternehmens PKP Cargo eine sehr nüchterne und sachliche Betrachtung vornahm. Er präsentierte eine praxisnahe Machbarkeitsanalyse, in der alle Einsatzformen, von Personenbeförderungsverkehr, Land- und Kurzstrecken, über Güterverkehr bis hin zur Güterbahnhof- und Terminalinfrastruktur, untersucht und die Vor- und Nachteile der Brennstoffzelle im Vergleich zum Elektroantrieb vorgestellt wurden. Dabei zeigte sich, dass die Brennstoffzelle nur da Vorteile bringt, wo Bahnstrecken nicht elektrifiziert sind und große dieselgetriebene Rangierloks arbeiten. Nicht elektrifizierte Strecken sind in Polen seltener zu finden als in Deutschland, was den dortigen Einsatz von Wasserstoffzügen einschränkt.

Anders sieht es hingegen bei den Rangierloks aus, die auf den vielen polnischen Bahnhöfen und den gerade neu entstehenden Terminals und Hafenanlagen dringend benötigt werden. Diese Anlagen sind auch wegen der internationalen Konkurrenz sehr darum bemüht, ihre Klimabilanz zu verbessern. Ein gutes Beispiel ist die PKP Cargo selbst, die als

mit Abstand größter polnischer Güterverkehrsanbieter auch der größte Abnehmer von Wasserstoffloks sein wird, die in Polen gebaut werden.

DIE ERSTE H₂-LOK GIBT ES SCHON Das wichtigste polnische Unternehmen, das sich explizit mit dem Bau von Zügen und Lokomotiven beschäftigt, ist die PESA in Bydgoszcz. PESA hat schon vor Jahren mit der Entwicklung von Brennstoffzellen für die Eisenbahn begonnen. Das aussichtsreichste H₂-Projekt entwickelte PESA gemeinsam mit dem größten polnischen Mineralölkonzern PKN Orlen, der gleichzeitig auch der wichtigste Produzent Polens im Bereich des konventionellen Wasserstoffs ist. Das Ergebnis dieser Zusammenarbeit wurde auf der Innotrans 2022 in Berlin vorgestellt. PESA stellte in Berlin die Rangierlok SM42-6Dn samt einem Betankungskonzept von Orlen vor.

„Unsere beiden Unternehmen haben soeben eine strategische Vereinbarung geschlossen und beabsichtigen, den Kunden ein gemeinsames Produkt anzubieten – die Lieferung von Schienenfahrzeugen zusammen mit Betankungsdienstleistungen und Wasserstofflieferungen. Ein potenzieller Betreiber eines Gleisanschlusses oder einer Verladestation erhält ein einziges Paket: ein Fahrzeug, eine Tankstelle und Wasserstoff“, erklärte Krzysztof Zdziarski, Vorsitzender von PESA, gegenüber der Presse.

Zdziarski sprach bei der Gelegenheit auch davon, dass nicht nur polnische Unternehmen interessiert seien. Demnach hätten auch Häfen im Süden Europas Interesse an dem Konzept von Pesa und Orlen. Darüber hinaus sind die Erfahrungen, die die Entwickler im Zusammenhang mit der SM42-6Dn gesammelt haben, eine gute Ausgangssituation, um als Nächstes einen H₂-Personenzug zu entwickeln. PESA beabsichtigt, den ersten polnischen Personenzug auf Brennstoffzellenbasis 2025/2026 bauen zu können.

Die Aussagen Zdziarskis sind aber mit Vorsicht zu bewerten. PESA erfüllt zwar bereits die ersten Rahmenbedingungen für ein interessantes Wasserstoffprodukt, aber von einer Marktreife ist man noch weit entfernt. Aktuell kann der Hersteller weder einen konkreten Preis nennen, noch konnte die Rangierlok SM42-6Dn in der Praxis zeigen, was sie kann.

VERBINDUNG VON TRADITION UND HIGHTECH Das PESA-Werk in Bydgoszcz könnte schon bald nicht mehr der einzige polnische Hersteller von Brennstoffzellenantrieben für Schienenfahrzeuge sein. Auf der diesjährigen Konferenz zur Zukunft des Wasserstoffesatzes bei der polnischen Bahn in Poznań kam es zur Unterzeichnung eines Memorandums zwischen der Posener Polytechnischen Hochschule, den Werken H. Cegielski – FPS und der Firma Impact. Alle drei Partner haben bereits Erfahrungen in der Forschung und Entwicklung im Zusammenhang mit Wasserstoff gemacht. Impact liefert bereits Batteriesysteme an Bahnausrüster wie Stadler und Siemens.

„Wir haben über zehn Jahre weltweite Erfahrung in der Bereitstellung von Lösungen für Batterie- und Wasserstofffahrzeuge sammeln können. Wir betrachten Wasserstoff als den Energieträger der Zukunft. Die Rentabilität von Wasserstoff als Kraftstoff und Energiespeicher setzt eine Größen-



Abb. 2: Schematischer Aufbau der SM42-6Dn [Quelle: PESA]

ordnung voraus, das heißt, er muss von Elektrolyseuren aus erneuerbaren Quellen hergestellt werden, damit die Wirtschaft so weit wie möglich auf Wasserstoff umgestellt werden kann. Die Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff ist ein Prozess von 10 bis 15 Jahren, es sei denn, die EU-Maßnahmen verkürzen diesen Zeitraum. Ein gemeinsames Projekt zur Anwendung der Wasserstoffzelle auf Schienenfahrzeuge könnte das Wachstum dieser vielversprechenden Branche erheblich beschleunigen“, sagte der Vorsitzende von Impact, Bartłomiej Kras.

Das Posener Traditionsunternehmen H. Cegielski und Impact arbeiten schon seit über einem Jahr an der Idee eines H₂-Zuges. Der erste Schritt zu einer neuen Zugreihe ist auch mit der neuen Plattform PLUS gemacht worden. Für mehr wissenschaftliches Know-how und Forschungskapazitäten

soll jetzt die Partnerschaft mit Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny an der Polytechnischen Hochschule sorgen. Hierbei handelt es sich um ein Technologieinstitut, an dem 700 Wissenschaftler arbeiten, die auf sechs Forschungszentren verteilt sind. Eines der Forschungszentren, das Instytut Pojazdów Szynowych TABOR, beschäftigt sich ausschließlich mit Schienenfahrzeugen.

„Das Łukasiewicz-Institut arbeitet seit vielen Jahren an H₂-Energieslösungen. Ich glaube, dass diese Absicht, die wir heute in diesem Dokument zum Ausdruck gebracht haben, bald zu einer Revolution auf dem Eisenbahnmarkt führen wird, die vor allem im Zusammenhang mit der Klimakrise und den Energiemärkten so notwendig ist“, sagte Arkadiusz Kawa, Direktor des Łukasiewicz – Poznań Institute of Technology, beim Auftakt der Konferenz. ||

71

2023

Berliner

ENERGIETAGE

Energiewende in Deutschland

Energiewende: jetzt! gemeinsam!

Die Leitveranstaltung mit rund 100 Events zur Energiewende

3.-5. Mai digital | 22.-23. Mai in Präsenz

WWW.ENERGIETAGE.DE

DER NESO – NEUER BRENNSTOFFZELLENBUS AUS POLEN

Neue Konkurrenz für Solaris



Abb. 1: Brennstoffzellenbus Neso [Quelle: PAK-PCE]

72

In der Nähe der polnischen Stadt Lublin liegt die Ortschaft Świdnik. Dort im Osten Polens soll eine neue Fabrik für den Bau des Brennstoffzellenbusses Neso errichtet werden. Ab 2024 sollen dort rund 100 Busse jährlich hergestellt werden.

Neso ist ein Akronym aus den Anfangsbuchstaben des polnischen Umweltmottos „Nie Emituję Spalin i Oczyszczam“ (dt.: Ich emittiere keine Abgase und bin sauber). Der Neso ist eines der Kernprojekte von PAK-PCE, einer polnischen Holdinggesellschaft, die sich auf die Entwicklung von Projekten im Bereich der erneuerbaren Energien und der Produktion sowie der Nutzung von Wasserstoff spezialisiert hat. Wichtigster Investor der PAK-PCE ist der prominente polnische Geschäftsmann Zygmunt Solorz, der mit seinem Energieunternehmen ZE PAK SA zu den fünf führenden polnischen Energieproduzenten zählt.

Das ehemals auf Braunkohleverstromung ausgerichtete Unternehmen vollzog in den letzten Jahren eine umfangreiche Energiewende, die darauf abzielt, bis 2030 ganz auf die Kohle zu verzichten. Erneuerbare Energien und Wasserstoff spielen dabei eine zentrale Rolle. Neben Solar- und Windkraftanlage dient bei der ZE PAK SA auch Biomasse als Energiequelle für die Herstellung von Wasserstoff. Das Unternehmen hat bereits 2021 den ersten Elektrolyseur zur Erzeugung von Wasserstoff mit Energie aus der Verbrennung von Biomasse für das Kraftwerk Konin gekauft. Der dort produzierte Wasserstoff soll mithilfe von transportablen H₂-Speichern landesweit an die H₂-Tankstellen ausgeliefert werden.

Mit dem Projekt Neso greift PAK-PCE den wichtigsten und erfolgreichsten Bushersteller in Polen, die Firma Solaris, direkt an. Solaris hat allein bis Ende Oktober 2022 62 Brennstoffzellenfahrzeuge an Verkehrsbetriebe in Italien, Deutschland, den Niederlanden, Schweden und Polen ausgeliefert. Die technischen Daten des Neso unterscheiden sich kaum von denen des Konkurrenz-Busmodells Urbino Hydrogen von Solaris: Beide Modelle setzen bei den elektrischen Motoren auf die ZF AVE 130, und bei beiden beträgt die Antriebsleistung 70 kW.

Ähnlich wie Solaris richtet sich PAK-PCE gezielt an städtische Verkehrsbetriebe, die ihren Fuhrpark klimafreundlicher gestalten möchten, und bietet diesen den Stadtbus in einer Länge von zwölf Metern an. Allerdings möchte PAK-PCE sein Angebot mit einem weiteren Modell mit einer Fahrzeuglänge von 18 Metern bald erweitern.

Chefdesigner Tomasz Dunia möchte den Neso zudem hinsichtlich der Reichweite weiterentwickeln. Nach seinen Plänen werden die H₂-Tanks, die auf dem Dach montiert sind, zukünftig mit 700 bar befüllt. Aktuell sind es fünf Flaschen

mit einem Druck von 350 bar. Dies könnte die Reichweite von 450 auf 700 km steigern, was wiederum bedeuten würde, dass die Fahrzeuge lediglich alle drei Tage aufgetankt werden müssten. Die Betankung soll dann nach Dunias Aussagen je nach Umgebungstemperatur innerhalb von 8 und 13 Minuten möglich sein.

„Unser Unternehmen bietet den städtischen Verkehrsbetrieben eine Gesamtlösung: von der Bereitstellung der Fahrzeuge bis zur Wasserversorgung durch die ZE PAK. Wir können mit den Städten auch pro gefahrenem Kilometer abrechnen“, erklärte der technische Direktor Wojciech Kopeć im Gespräch mit den polnischen Medien.

Bis jetzt haben zehn polnische Städte den Betrieb des Neso getestet. Trotz des Tempos, das PAK-PCE beim Neso-Bus vorlegt, kommt das Unternehmen bereits jetzt in den Städten wie Konin und Lublin zu spät, da der Wettbewerber Solaris bei den Testfahrten schneller gewesen ist. PAK-PCE konkurriert jedoch nicht nur mit Solaris, sondern zusätzlich noch mit einem weiteren lokalen Hersteller: Autosan, der unweit von Lublin in Sanok ebenfalls an der Herstellung von Brennstoffzellenbussen arbeitet. ||

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, Bau, Wartung
von Elektrolyse-, Brennstoffzellen-, Ver-
dichter-, Speichersystemen, Berliner Str.
82-88, 25746 Heide, Tel. 01577-7438466,

sales@h2coresystems.com, www.h2coresystems.com



**Silica Verfahrenstechnik
GmbH** – Vom Enginee-
ring bis zur Inbetrieb-
nahme alles aus einer

Hand! Wir nehmen uns Zeit für Ihr Projekt! Wittstr. 24,
13509 Berlin, Tel. 030-43573-5, sales@silica.de, www.silica.de



**XENON Automa-
tisierungstechnik
GmbH**,

Pforzheimer Str. 16,
01189 Dresden, Tel. 0351-40209-240, Fax -109,
www.xenon-automation.com

ARMATUREN, REGLER, VENTILE



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



Festo SE & Co. KG,
Automatisierung
Elektrolyseure, HRS,

Kompressoren, Stack- & Brennstoffzellen-Produktion,
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



Eugen Seitz AG, Führende
H₂-Magnetventil-Techno-
logie von 10 bis 1.000 bar,

Spitalstr. 204, 8623 Wetzikon, Schweiz, Tel. +41-44-9318190,
h2info@seitz.ch, www.seitz.ch



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



MAGNETSCHULTZ

Ihre Spezialisten für elektromagnetische Aktorik und Sensorik

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



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



POPPE+POTTHOFF

Poppe + Potthoff GmbH,
Wasserstoffverteilssysteme für
Brennstoffzellen-Anwendun-
gen und Wasserstoffmotoren,
Dammstr. 17, 33824 Werther, Tel. 05203-9166276,
www.poppe-potthoff.com



www.ptec.eu

**PTEC – Pressure Technology
GmbH**, 35 & 70 MPa: OTV,
Filter, Ventile, Regler, TPRD,
GHU, Linde 11, 51399 Bur-
scheid, Tel. 02174-748-722,
Fax -223, www.ptec.eu



VOSS Fluid GmbH,

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

73

BERATUNG & PLANUNG



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



EMCEL GmbH – Ingenieurbüro für
BZ, H₂-Technologie und E-Mobilität.
Machbarkeitsstudien, Normen & Zu-
lassung, Instandhaltung. Am Wasser-
mann 28a, 50829 Köln, Tel. 0221-292695-0, Fax -229,
email@emcel.com, www.emcel.com

**GIC – Agentur der Neuen Energien und Zukunftsthemen
GbR**, Rosenhagenstr. 42, 22607 Hamburg,
Tel. 040-89018247, www.gic-zukunft.com



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

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

H₂ Analytik, Analyse, Beratung, Optimierung,
Matthias Bromeis, Parkstr. 52, 23568 Lübeck,
Tel. 0177-3163576, mb@h2analytik.de, www.h2analytik.de

HAAS ENGINEERING

INGENIEURBÜRO FÜR VERFAHRENSTECHNIK

Haas Engineering GmbH & Co. KG, Reinhold-Schneider-Str. 18a, 79194 Gundelfingen, Tel. 0761-503649-0, Fax -69, info@haasengineering.de, www.haasengineering.de

**HydroHub**

HydroHub – eine Initiative von Unternehmen der TÜV NORD GROUP für technische H₂-Beratung/Engineering, 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, Werner-Eckert-Str. 7, 81829 München, Tel. 089-2555940, hydrogen@ilf.com, www.ilf.com

**infraser**
höchst

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



LIFTE H₂ GmbH, Wasserstoffprojekte 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 Ruhenstein 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 Systemtechnik GmbH, Kälteanlagen zur Kühlung von Wasserstoff gemäß SAE, Heavy Duty Betankung, Strassfeld 5, 3441 Freundorf, Österreich, Tel. +43-2274-44109, office@kustec.at, www.kustec.at



Spir Star AG, Auf der Rut 7, 64668 Rimbach-Mitlechtern, Tel. 06253-9889-0, info@spirstar.de, www.spirstar.de



WEH GmbH Gas Technology, 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



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



Schunk Kohlenstofftechnik GmbH, graphitische Bipolarplatten, Rodheimer Str. 59, 35452 Heuchelheim, Tel. 0641-608-0, Fax -1223, bipolarplates@schunk-group.com, www.schunk-carbontechnology.com



SITEC Industrietechnologie GmbH, Prototypen, Serienfertigung, Produktionsanlagen für Ihre Bipolarplatten, Stack-Baugruppen und Balance of Plant, info@sitec-technology.de, www.sitec-technology.de

BRENNSTOFF- UND LUFTVERSORGUNG



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



MAGNETSCHULTZ
Ihre Spezialisten für elektromagnetische Aktorik und Sensorik

Magnet-Schultz GmbH & Co. KG,
Magnetventile für

Wasserstoff, Allgäuer Str. 30, 87700 Memmingen, Tel. 08331-104-0, info@magnet-schultz.de, www.magnet-schultz.com



info-compress@sera-web.com, www.sera-web.com

sera ComPress GmbH,
sera-Str. 1, 34369 Immenhausen,
Tel. 05673-999-04, Fax-05,

BRENNSTOFFZELLEN



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



Fax -1520, www.optima-packaging.com/lifescience

Optima life science GmbH,
Steinbeisweg 20, 74523 Schwä-
bisch Hall, Tel. 0791-506-1900,



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



Tel. 089-4524463-0, info@siqens.de, www.siqens.de

Siqens GmbH, Landsberger
Str. 318d, 80687 München,

DICHTUNGEN



www.eisenhuth.de

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

ELEKTROLYSEURE



info@asahi-kasei.eu, www.asahi-kasei.eu

Asahi Kasei Europe GmbH,



Cummins Inc.,
Am Wiesenbusch 2, Halle 5, 45966 Glad-
beck, Tel. 02043-944-133, Fax -146,
powersales@hydrogenics.com,
www.cummins.com



info@ecolyzer.com, www.ecolyzer.com

EcoLyzer | Ecoclean GmbH,
Druck-Alkali-Elektrolyseure 1-10
MW + Systemintegration, Hans-



Empowering a sustainable world

Elogen GmbH,
Eupener Straße 165, 50933 Köln,
Tel. 0221-2919073-0, Fax -9,
www.elogenh2.com



Enapter

Enapter srl, AEM-Elektrolyseure
für alle Anwendungsbereiche,
Pisa, Berlin, Chiang Mai,
Via di lavoro 56G, 56040 Crespina Lorenzana (PI), Italien,
Tel. +39-50644281, +49-30-921008130, www.enapter.com



www.green-h2-systems.de

green-h2-systems,
engineering,
contracting &



THE STACK COMPANY

Wismar, Tel. 03841-38901-0, www.hoeller-electrolyzer.com

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



H-TEC SYSTEMS

info@h-tec-systems.com, www.h-tec-systems.de

Hydrogen is now.

H-Tec Systems GmbH,
PEM-Elektrolyseure
für industriell-
le Anwendungen,



iGas energy GmbH,

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



www.ips-fest.de

IPS-FEST GmbH, Power Supplier,
Eisenbahnstr. 22-23, 53489 Sinzig,
Tel. 02642-9020-20, sales@ips-fest.de,



info-itmgmbh@itm-power.com, www.itm-power.com

ITM Power GmbH,
Energy Storage –
Clean Fuel,



www.mcphy.com

**McPhy Energy
Deutschland GmbH,**

Schwartzkopff 1, 15745 Wildau,
Tel. 03375-497210-0, Fax -9,



info@nelhydrogen.com,
www.nelhydrogen.com

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



Tel. 0209-589094-60, Fax -99, www.propuls.de

ProPuls GmbH, Hochdruck-
elektrolyse, Stackbau sowie
Systemintegration und


MSR-Technik, Neidenburger Str. 10, 45897 Gelsenkirchen,



sunfire GmbH,

Gasanstaltstr. 2, 01237 Dresden,
Tel. 0351-896797-0, Fax -885,
www.sunfire.de

Tel. 0351-896797-0, Fax -885,




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

ELEKTRONIK

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



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

INTELLIGENCE IN DRIVES

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 Powder Metallurgy Holding GmbH, Pennefeldsweg
11-15, 53177 Bonn, Germany, www.gknhydrogen.com



GP JOULE Hydrogen GmbH,
Trust your energy, Cecilienkoog 16,
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 – eine Initiative von Unternehmen der TÜV NORD GROUP für technische H₂-Beratung/Engineering, Munscheidstr. 14, 45886 Gelsenkirchen,
Tel. 0201-8252026, wasserstoff@hydrohub.de, hydrohub.de



Schaeffler Engineering GmbH,
H₂-Prüfstände,
Software und Steuergerätelösungen für H₂-Motoren,
Gewerbestr. 14, 58791 Werdohl, Tel. 02392-809-0, Fax -100,
www.schaeffler-engineering.com

SEGULA Technologies GmbH, Rugbyring 12, 65428
Rüsselsheim am Main, Herr H. Sötje, Tel. 0151-12183180,
Hauke.Soetje@segulagr.com, www.segulatechnologies.com



Silica Verfahrenstechnik GmbH – Innovatives Engineering mit Leidenschaft,
Wasserstofftechnologie seit über 80 Jahren! Wittestr. 24,
13509 Berlin, Tel. 030-43573-5, sales@silica.de, www.silica.de

FERTIGUNGSTECHNIK


Bipolar Plate Technologies

Gräbener Maschinentechnik GmbH & Co. KG,
Fertigungsanlagen für das Formen, Schneiden und
Schweißen metallischer Bipolarplatten, Tel. 02737-989-0,
info@graebener.com, www.graebener.com



Martin Lotter, Ihr Spezialist für Hochleistungswerkstoffe
Ihr Spezialist für Hochleistungswerkstoffe, Hertinger Weg 10, 87484 Nesselwang, Tel. 08361-1353, kontakt@martin-lotter.de, www.martin-lotter.de

FINANZIERUNG

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

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG


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



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

MISSION: HYDROGEN

Mission Hydrogen GmbH,
Einsteinstraße 55, 89077 Ulm,
Tel. 0731-790605-0,
www.mission-hydrogen.de



mummert – creating relations,
Uta Mummert, deutsch-französi-sche Kommunikationsdienstleis-tungen – Medien, Messen, Mar-
keting, Ecksteinstr. 18, 04277 Leipzig, Tel. 0177/4811408,
info@mummert.fr, www.mummert.fr

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



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



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



Neuman & Esser Group,
Werkstraße o.Nr.,
52531 Übach-Palenberg,
Tel. 02451-481-01, Fax -100,
www.neuman-esser.de



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

MEMBRANEN



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, Ralf Kraume, Waldstr. 5, 82418 Murnau-Westried, Tel. 08841-672147-0,
ralf.kraume@plusplus.com,
www.plusplus.com

MESS- UND REGELUNGSTECHNIK



ADZ NAGANO GmbH,
H₂-Drucksensorik mit EC79-Zulassung, Bergener 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 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,
Mess-, Regel- und Automatisierungstechnik für Wasserstoff-Anwendungen, Moritz-Juchheim-Str. 1, 36039 Fulda, Tel. 0661-6003-0, Fax -500, mail@jumo.net, 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



Poppe + Potthoff
Maschinenbau GmbH,
Prüfstände zum Einsatz in
Forschung und Entwicklung,
An der Helme 26, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-46221022,
www.poppe-potthoff.com



Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH,
Druck- und Temperatursensortechnik für H₂-Anwendungen, Margarethenstr. 61, 19322 Wittenberge-Elbe, Tel. 03877-56746-15, Fax -18,
www.prignitz-mst.de



Trafag GmbH, Zuverlässige Sensoren und Drucktransmitter für Wasserstoffanwendungen, info@sensors-controls.com, trafag.de und trafagat@trafag.com,
www.trafag.de und www.trafag.at



Durchflussmesser-Manufaktur TrigasDM GmbH,
Erdinger Str. 2b, 85375 Neufahrn,
Tel. 08165-9999-300, Fax: -369,
info@trigasdm.com, www.trigasdm.com

ORGANISATION



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



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



Greenlight Innovation Corp. Canada,
Europäische Vertretung:
Dr. Lutz Consulting GmbH, Kahlenbergstr. 44, 66849 Landstuhl, Tel. 06371-914914,
tlutz@greenlighteurope.com, www.greenlightinnovation.com



JA-Gastechnology GmbH,
Albrecht-Thaer-Ring 9,
30938 Burgwedel,
Tel. 05139-9855-0, Fax -33,
www.jag.de



MACEAS GmbH, Experten für Dichtungsprüfung und Automatisierung,
Königstr. 2, 26676 Barßel-Harkebrügge,
Tel. 04497-9269-90, Fax -18,
www.maceas.com



Maximator GmbH,
H₂-Hochdrucktechnik,
Prüftechnik, Hydraulik,
Pneumatik, Dienstleistungen,
Lange Str. 6, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-9533-5040,
info@maximator.de, www.maximator.de



MARPOSS GmbH, Ihr Partner für Dichtungsprüfung und Automatisierung, Mercedesstr. 10, 71384 Weinstadt, Tel. 07151-20540, marposs-mkt@de.marposs.com, www.marposs.com



POPPE+POTTHOFF

Poppe + Potthoff Maschinenbau GmbH, Prüfstände zum Einsatz in Forschung und Entwicklung, An der Helme 26, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-46221022, www.poppe-potthoff.com



HIGH PRESSURE TECHNOLOGY

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. 09421-9275-0, Fax -199, 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



Reformer GmbH

WS Reformer GmbH, Dornierstr. 14, 71272 Renningen, Tel. 07159-163242, Fax -2738, www.wsreformer.com

SICHERHEIT



HydroHub – eine Initiative von Unternehmen der TÜV NORD GROUP für technische H₂-Beratung/Engineering, 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 Powder Metallurgy Holding 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

TANKSTELLEN

Driving
clean energy
forward

McPhy Energy
Deutschland GmbH,
Schwartzkopff 1, 15745 Wildau,
Tel. 03375-497210-0, Fax -9,
www.mcphy.com

TECHNISCHER SERVICE



BSZ-Technischer Service und Werks-
kundendienst für Brennstoffzellen
und Batteriespeicher, Eckhartstr. 12,
76227 Karlsruhe, Tel.: 0721-665586-6,
Fax: -7, www.bsz-service.de

TECHNOLOGIEZENTREN

HIAT gGmbH,

Schwerin, CCMs/MEAs für PEFC, DMFC & PEM-
Elektrolyse, DMFC-Membranentwicklung, Prozess-
entwicklung 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



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



MARPOSS GmbH, Ihr Partner für Dicht-
heitsprüfung und Automatisierung,
Mercedesstr. 10, 71384 Weinstadt,
Tel. 07151-20540, marposs-mkt@de.marposs,
www.marposs.com



POPPE+POTTHOFF

Poppe + Potthoff
Maschinenbau GmbH,
Prüfstände zum Einsatz in
Forschung und Entwicklung,

An der Helme 26, 99734 Nordhausen,
Tel. 03631-46221022, www.poppe-potthoff.com

VERANSTALTER



electrical energy storage

ees Europe – Internationale Fach-
messe für Batterien und Energie-
speichersysteme / Solar Promoti-
on GmbH, P.O. Box 100 170, 75101

Pforzheim, Tel. 07231-58598-0, Fax -28, 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

H2 Forum – the management conference for the entire
value chain / by IPM AG, ECC Berlin, Tel.: 0511-473147-96,
h2f@ipm.ag, www.h2-forum.eu

MunichExpo Veranstaltungen GmbH, Zamdorfer Str. 100,
81677 München, Tel. 089-322991-14, www.emove360.com



Landesmesse Stuttgart GmbH –
f-cell Stuttgart, f-cell Canada,
f-cell China,
www.messe-stuttgart.de,

<https://www.messe-stuttgart.de/f-cell/aussteller/f-cell-weltweit>



HANNOVER MESSE 2023,
17.-21. April, Tobias Renz FAIR,
Berlin, Tobias Renz, tobias@h2fc-fair.com, Tel. 030-60984556,
www.h2fc-fair.com

VEREINE & VERBÄNDE

Deutscher Wasserstoff- &
Brennstoffzellen-Verband

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

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

Wasserstoff
Region
Rheinland e.V.

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



HYPOS

Hydrogen Power Storage & Solutions e.V.,
Geschäftsstelle-Leuna: Am Haupttor,
Bau 4310 (Eingang 3), 06237 Leuna /
GS-Leipzig: Schillerstr. 5, 04109 Leipzig,
Tel. 0341-60016-20, www.hypocologne.de



Industriegase-
verband e.V.,
Französische

Str. 8, 10117 Berlin, Tel. 030-20645 8804, Fax -8805,
www.industriegaseverband.de

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

WASSERSTOFFERZEUGUNG

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

WASSERSTOFF-LIEFERANT



Propan Rheingas GmbH & Co. KG,
Lieferant für Wasserstoff & H₂-
Tankstellen aus einer Hand, Fi-
schenicher Straße 23, 50321 Brühl,
Tel. 02232-7079-9142,

wasserstoff@rheingas.de, www.rheingas.de

SL Schwanteland GmbH,
Transport & Lagerung von technischen und
medizinischen Gasen, Perwenitzer Chaussee 2,
16727 Oberkrämer, Tel. 03304-3994-0, Fax -30,
www.sl-schwanteland.de



SWF Sauerstoffwerk Friedrichsha-
fen GmbH, Produktion & Vertrieb:
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

Universität Augsburg, Anwenderzentrum Material-
und Umweltforschung – AMU,
Am Technologiezentrum 5, 86159 Augsburg,
Tel. 0821-598-3070,
www.amu.uni-augsburg.de

Weiterbildungszentrum für innovative Energietechno-
logien der Handwerkskammer Ulm (WBZU),
Helmholtzstr. 6, 89081 Ulm,
Tel. 0731-1425-7520,
info@wbzu.de, www.wbzu.de

WINDENERGIE

Windpark Ellhöft GmbH & Co KG.,
Reinhard Christiansen, Dorfstr. 11, 25923 Ellhöft,
Tel. 04663-7299, Fax -1704,
info@reinhard-christiansen.de,
www.reinhard-christiansen.de

ZULIEFERER



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

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



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 Kreisell- 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



Kerafol Keramische Folien
GmbH & Co. KG, Kerami-
sche Elektrolyte, Festoxid-
zellen, Glasfolien, Koppe-
platz 1, 92676 Eschenbach, Tel. 09645-884-30, Fax -90,
www.kerafol.com/sofc

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

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 /
Coil Container Service – On Site Tubing Solution



Siemens AG – Mit unserem
Portfolio unterstützen wir
OEMs, EPCs und Endkunden von der Planung bis zum
Betrieb von Teilanlagen oder ganzen Anlagen entlang der
Wasserstoff Wertschöpfungskette. www.siemens.com/h2



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



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

TERMINKALENDER

Alle Angaben unter Vorbehalt

APRIL

Hannover Messe

Hydrogen + Fuel Cells Europe
17. bis 21. April 2023, Hannover Messe
www.h2fc-fair.com

MAI

27. Kolloquium Gas- und Wassermessung

2. bis 3. Mai 2023 – Handwerkskammer Hamburg,
Holstenwall 12, 20355 Hamburg
www.dvgw-kongress.de/veranstaltungen

World Hydrogen Summit & Exhibition

9. bis 11. Mai 2023, in Rotterdam
www.world-hydrogen-summit.com

Technikforum Wasserstoff

Innovationen – Technologien – Projekte
9. bis 10. Mai 2023 – online
www.dvgw-kongress.de

3-Länder-Korrosionstagung 2023

Korrosionsprozesse in neuen CO₂-freien Energietechnologien
11. und 12. Mai 2023, DECHEMA-Haus, Frankfurt am Main
gfkorr.de/3LKT+2023.html

Powerfuel Week

13. bis 21. Mai 2023, im Verkehrshaus der Schweiz in Luzern
www.powerfuel.ch

DBI-Fachforum Wasserstoff – Technologien

16. bis 17. Mai 2023, Leonardo Hamburg Stillhorn
www.dbi-gti.de/termine

JUNI

hy-fcell Canada

5th Annual International Hydrogen and Fuel Cell Event
organisiert von: Landesmesse Stuttgart GmbH
5. bis 7. Juni 2023, Vancouver, Canada
www.hyfcell.com

H2 Forum

6. bis 7. Juni 2023, ECC Berlin + online, www.h2-forum.eu

Die Woche des Wasserstoffs

10. bis 18. Juni 2023, in Ost-Deutschland und darüber hinaus
www.woche-des-wasserstoffs.de

ees Europe

Messegelände München – mit Green Hydrogen Forum & Expo
Konferenz: 13. bis 14. Juni 2023 / Messe: 14. bis 16. Juni 2023
www.ees-europe.com

Next Generation Electrolysers North America

21. bis 22. Juni 2023, Dallas / Fort Worth, Texas
www.electrolyser-usa.redcabin.de

B2B Forum Grüner Wasserstoff Bayern

22. Juni 2023, in Straubing,
www.forum-h2.de

IMPRESSUM

HZwei

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND
BRENNSTOFFZELLEN
HZwei

ISSN 1862-393X

Jahrgang 23. (2023) / Heft 2, April 2023

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.hzwei.info

Redaktion. Mitarbeit

Eva Augsten, Aleksandra Fedorska, Sven Geitmann,
Sven Jösting, Michael Nallinger, Niels Hendrik Petersen

Design Dipl.-Des. Andreas Wolter, Weimar

Satz Dipl.-Des. Henrike Hiersig, Berlin

Anzeigen Uta Mummert, creating relations, Leipzig

Lektorat Dione Gutzmer, Berlin

Druck

Printec Offset – medienhaus, Kassel



mineralölfrei gedruckt auf Steinbeis Select Silk, hergestellt aus 100 % Altpapier, ausgezeichnet mit dem Blauen Engel für den Wald-, Arten- und Klimaschutz

Druckauflage 4.000 Stück (2.700 Downloads pro Heft/Jahr)

Erscheinungsweise 4 x jährlich

Einzelpreis (Inland) 8 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 2 Euro Versand)

Jahrespreis (Inland) 30 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 7 Euro Versand)

Einzelpreis (Europa) 8 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 4 Euro Versand)

Jahrespreis (Europa) 30 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 16 Euro Versand)

Studenten 50 % Ermäßigung

Kündigung jederzeit möglich, 6 Wochen vor nächster Ausgabe

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

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

Titelbild: „Am Ende wird er grün sein – der Wasserstoff“

[Bild: Liliane Orłinski, Galerie KAM]

Editorial-Foto: derBildmacher, Rüdiger Tesch-Zapp



SOLUTIONS FOR A SUSTAINABLE FUTURE

WWW.E-WORLD-ESSEN.COM



ORGANIZED BY

con | energy

MESSE
ESSEN



HYDROGEN MEETS PROCESS KNOW-HOW AND PERFORMANCE

Your partner along the hydrogen value chain

Low carbon hydrogen is an important building block aiming at decarbonizing entire industries as well as the energy and transportation sector. We are committed to helping you in your transition to a clean energy future. As a supplier of core components for Electrification, Automation and Digitalization. And with our hydrogen-enabled portfolio, serving Process OEM, EPC and end customers to build and operate equipment modules or entire plants along the hydrogen value chain – from H₂-production, conversion, storage and transport to usage. Transforming the everyday to create a better tomorrow, we empower you to drive sustainable growth, transform your business with a more appreciative interaction of our planet's resources. Visit our website for more information: [siemens.com/h2](https://www.siemens.com/h2)

SIEMENS