



HyCS-Versuchsanlage zur wasserstoffbasierten Energiespeicherung mit geringem Raumbedarf

Quelle: Ambartec

## Energiespeicherung kompakt, effizient und nachhaltig

Energiespeicherung ist ein wesentlicher Baustein der Energiewende. Die Umwandlung von elektrischer Energie in Wasserstoff ( $H_2$ ) ist dabei eine relevante Option. Die  $H_2$ -Speicherung muss dazu effizient, kompakt und kostengünstig werden. Die HyCS-Technologie eröffnet dafür neue Möglichkeiten.

Das HyCS-Speicherverfahren der Ambartec AG besteht im Kern aus einem Eisenmassespeicher und somit aus einem gut verfügbaren, kostengünstigen und nachhaltigen Material. Der Speicher ermöglicht durch zyklische Reduktion und Oxidation des Eisens (Fe) die Freisetzung arbeitsfähigen Wasserstoffs, der dann direkt genutzt oder in Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor oder Gasturbine wieder in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Bei der Speicherbeladung (Bild 1) wird  $H_2$  mit leichtem Überdruck ( $< 0,5$  bar) in den Speicher gebracht. Restwassergehalte oder Gasverunreinigungen aus der Elektrolyse sind hierbei unschädlich, so dass Aufbereitungsstufen bei der  $H_2$ -Erzeugung eingespart werden können. Im Speicher nimmt der  $H_2$  bei der endothermen Reduktion des

$FeOx$  Sauerstoff auf und wird als Wasserdampf wieder freigesetzt. Dieser kann kondensiert und das Wasser der Elektrolyse zur erneuten  $H_2$ -Produktion zur Verfügung gestellt werden. Das führt zu einer deutlichen Senkung der Betriebskosten. In trockenen Regionen, die wegen der geringen Kosten für Strom aus Photovoltaik-(PV-)Anla-

gen für die  $H_2$ -Herstellung prädestiniert sind, vermindert das eines der Hauptprobleme beim Aufbau einer internationalen  $H_2$ -Wirtschaft: die Wasserbereitstellung. Wird der freigesetzte Dampf einer Hochtemperatur-Wasserdampf-Elektrolyse (SOEC) direkt wieder zugeführt, erhöht sich der Wirkungsgrad der SOEC um 10 bis 15 %-Punkte.

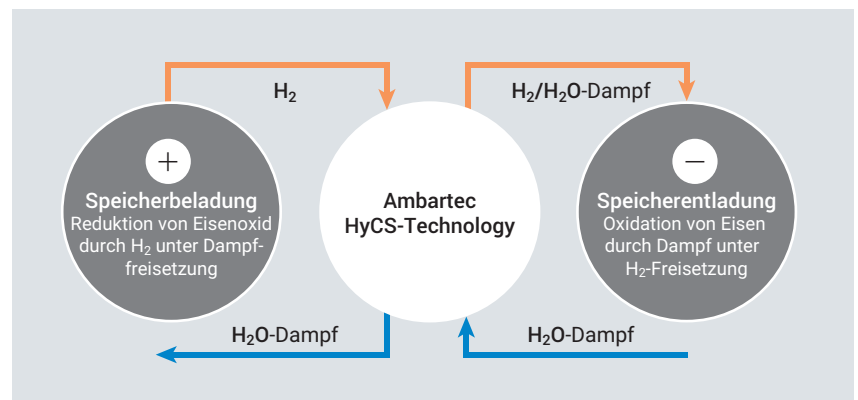


Bild 1. Verfahrensbild

Quelle: Ambartec

Der gefüllte Speicher enthält somit kein  $H_2$  (was Vorteile bei Genehmigung und Zertifizierung hat, da keine großen  $H_2$ -Mengen gelagert werden), sondern das Potenzial zur Bereitstellung von  $H_2$ . Die Entladung wird durch Zuführung von Wasserdampf vorgenommen. Das reaktive Fe im Speicher bindet den Sauerstoff des Wassers, ein  $H_2/H_2O$ -Gemisch mit über 90 Vol.-%  $H_2$  verlässt den Speicherbehälter. Dieses wird gekühlt und die Wärme wird zur Bereitstellung des Dampfes genutzt.

Je nach angestrebter Nutzungsart des  $H_2$  kann dieser mit einem Druck bis 100 bar zur Verfügung gestellt werden. Erst für höhere Drücke beispielsweise für Tankstellen wird ein  $H_2$ -Verdichter benötigt. Für die Nutzung in alkalischen oder PEM-Brennstoffzellen ist eine marktverfügbare Wasserabscheidung erforderlich, bei Nutzung zur Stromerzeugung in Gasturbinen oder Verbrennungsmotoren ist der Wasseranteil aufgrund der daraus resultierenden erhöhten spezifischen Wärmekapazität des heißen Arbeitsmediums vorteilhaft.

### Vergleich mit marktverfügbaren $H_2$ -Speichertechnologien

Um im Wettbewerb mit nicht  $H_2$ -basierten Speichersystemen wie batterieelektrischen Lösungen bestehen zu können, müssen  $H_2$ -Speicher effizient, kompakt und nachhaltig sein. Bild 2 zeigt, welche Energiemenge in einem Kilogramm und in einem Liter Speicher zwischengelagert werden kann. Es wird deutlich, dass alle  $H_2$ -basierten System erheblich kompakter sind als die Lithium-Ionen-(LiOH-) Batterien.

Beim Vergleich der verschiedenen  $H_2$ -basierten Systeme fällt auf, dass die HyCS-Technologie die

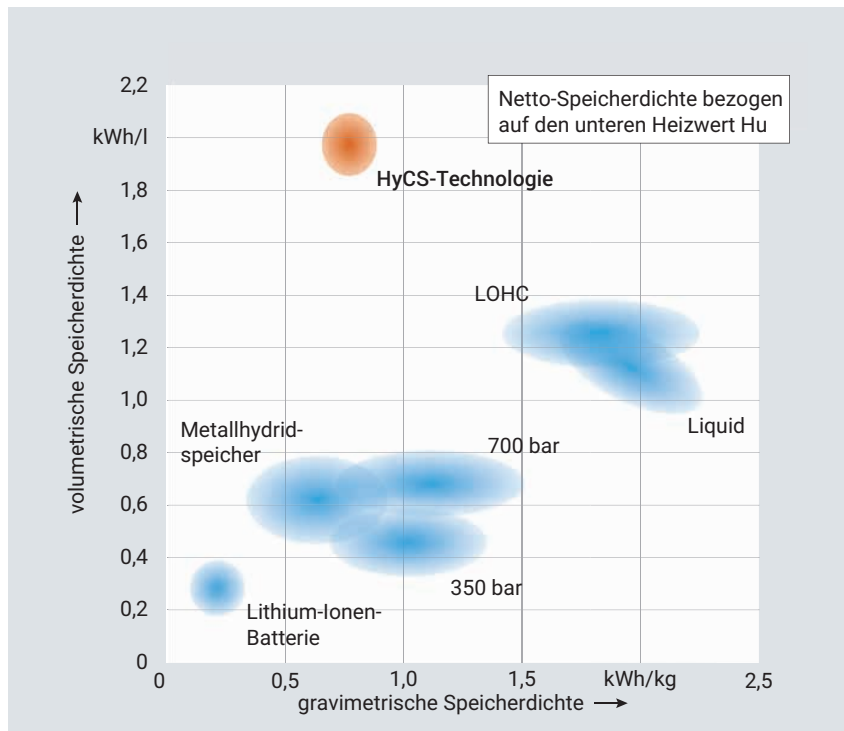


Bild 2. Speicherdichten von Energiespeichern nach [1;2]

Quelle: Ambartec

deutlich höchste volumetrische Speicherdichte aufweist. Eine hohe Speicherdichte bietet vor allem Vorteile, wo Platz relevant ist, z. B. beim Transport mit Fahrzeugen (Lkw, Schiff) oder bei Tanksystemen in Fahrzeugen.

Nachteil der  $H_2$ -Systeme ist, dass der Strom-zu-Strom-Wirkungsgrad geringer ist als bei batterieelektrischen Energiespeicherlösungen.

Während bei LiOH 85 bis 95 % der eingespeicherten Energie wieder als elektrische Energie genutzt werden kann, sind es bei den heute marktverfügbaren  $H_2$ -Systemen lediglich 30 bis 35 % (Bild 3).

Durch eine clevere thermische Integration in die vor- und nachgelagerten Systeme SOEC und SOFC kann mit dem HyCS-Speicher ein Strom-zu-Strom-Wirkungsgrad bis

Anzeige

66 % erzielt werden (Bild 4). Die Nutzung als Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Anlage auf einem Temperaturniveau über 90 °C ist ebenso möglich und erhöht den Nutzungsgrad nochmals deutlich.

Im Vergleich mit anderen H<sub>2</sub>-Speichersystemen verspricht die HyCS-Speichertechnologie einerseits einen um den Faktor 2 bis 5 geringeren Bauraum, andererseits eine Verdopplung des Strom-zu-Strom-Wirkungsgrads in der Kette „erneuerbare Stromerzeugung – H<sub>2</sub>-Erzeugung – H<sub>2</sub>-Speicherung – Rückverstromung“. Außerdem lassen sich die Kosten der elektrolytischen H<sub>2</sub>-Erzeugung um bis zu 30 % senken, wobei bei der Speicherbeladung das für die Elektrolyse benötigte, enthärtete Wasser zurückgegeben wird, was besonders für die H<sub>2</sub>-Erzeugung in sonnenreichen, aber trockenen Regionen enorme Vorteile bietet.

Damit kann das Verfahren einen signifikanten Beitrag zur kosten-

günstigen und effizienten dezentralen Speicherung von erneuerbarer Energie zur Überbrückung von „Dunkelflauten“ und damit zur Stabilisierung des Energiesystems sowie zur Sektorenkopplung leisten und zusätzlich den interkontinentalen H<sub>2</sub>-Transport vor allem aus sonnenreichen, trockenen Regionen voranbringen.

### Anwendungsfälle

#### Anwendungsfall 1: Energieversorgung Gewerbebetrieb

Ein Gewerbebetrieb mit einem jährlichen Strombedarf von 100 MWh bei einer Spitzenleistung von 50 kW und einem Niedertemperaturwärmebedarf in gleicher Größenordnung strebt eine weitge-

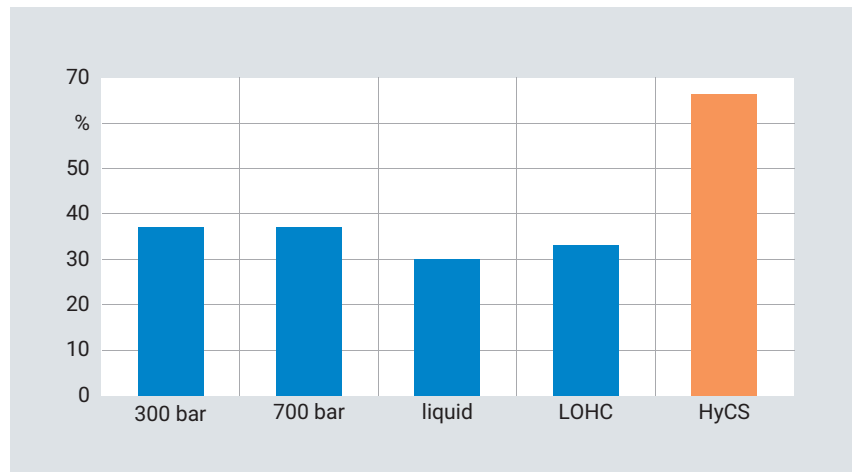


Bild 3. Strom-zu-Strom-Wirkungsgrade von H<sub>2</sub>-Systemen (Elektrolyse – Speicher – Rückverstromung), [eigene Berechnung]

Quelle: Ambartec

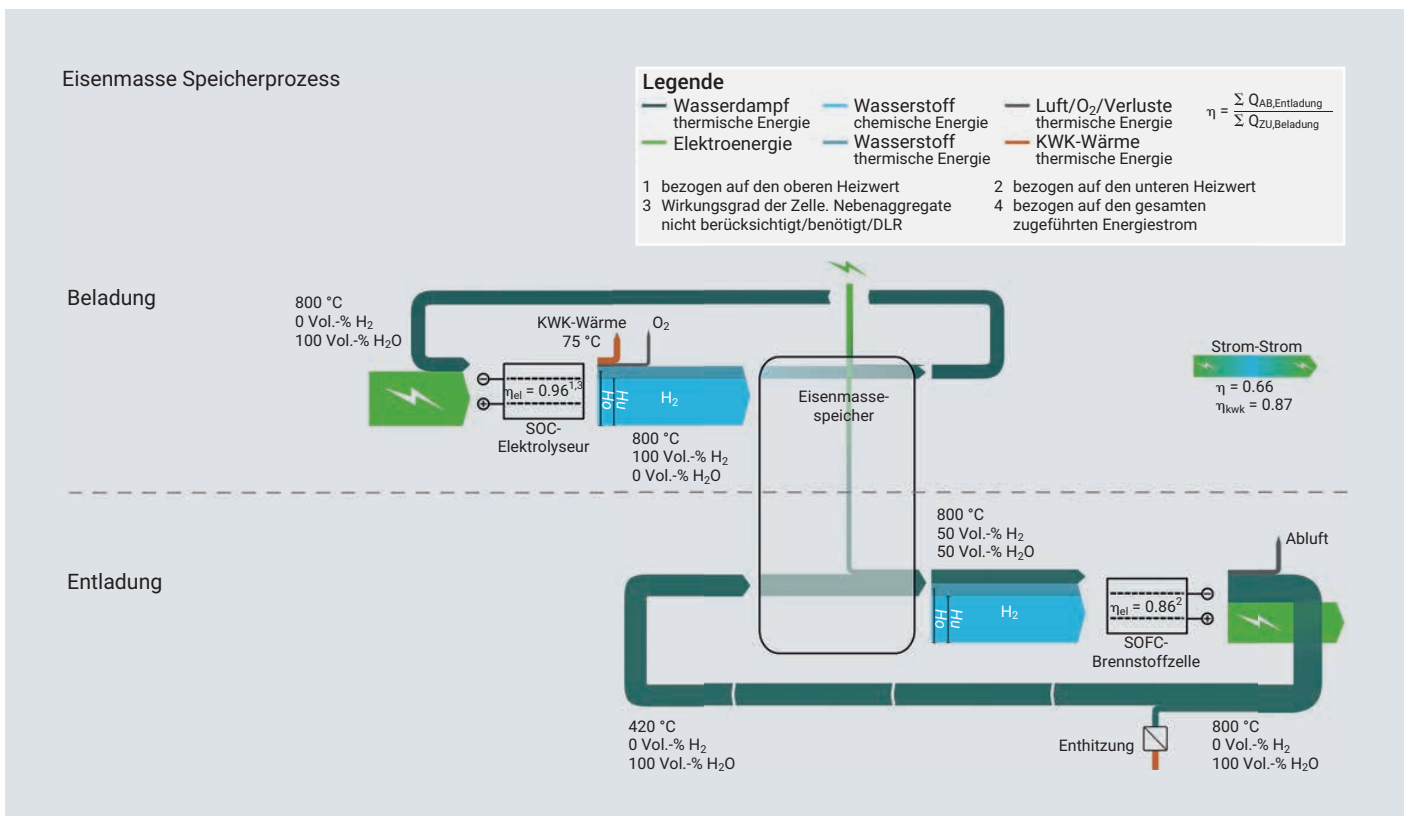


Bild 4. Sankey-Diagramm Strom-zu-Strom-Wirkungsgrad mit HyCS-Speicher

Quelle: Ambartec

hend klimaneutrale Stromversorgung durch Solarenergie an. Dazu wird eine PV-Anlage mit einer Leistung von 200 kWp installiert, die jährlich rd. 190 MWh Solarstrom bereitstellt. Dieser wird zu 30 % (57 MWh) direkt im Betrieb genutzt, damit können 57 % des Strombedarfs des Betriebs gedeckt werden. Von den verbleibenden 133 MWh werden 80 % in einer Elektrolyse mit einer Leistung von 50 kW(e) in Wasserstoff umgewandelt und in einem HyCS-Speicher mit einer Kapazität von 9 000 kWh gespeichert. In Zeiten ohne eigene PV-Produktion wird der Wasserstoff in Variante 1 mit einem für H<sub>2</sub> geeigneten Gasmotor mit einer Leistung von 25 kW(e) in Kraft-Wärme-Kopplung wieder in elektrischen Strom gewandelt. Der Speicher, der ein Volumen von rd. 3 m<sup>3</sup> hat, ermöglicht einen Vollastbetrieb des Gasmotors für bis zu 150 Stunden (entsprechend mehr als sechs Tagen). Mit diesem Konzept lässt sich insgesamt ein elektrischer Autarkiegrad von rd. 90 % erreichen. Knapp 27 MWh PV-Strom werden ins Netz eingespeist.

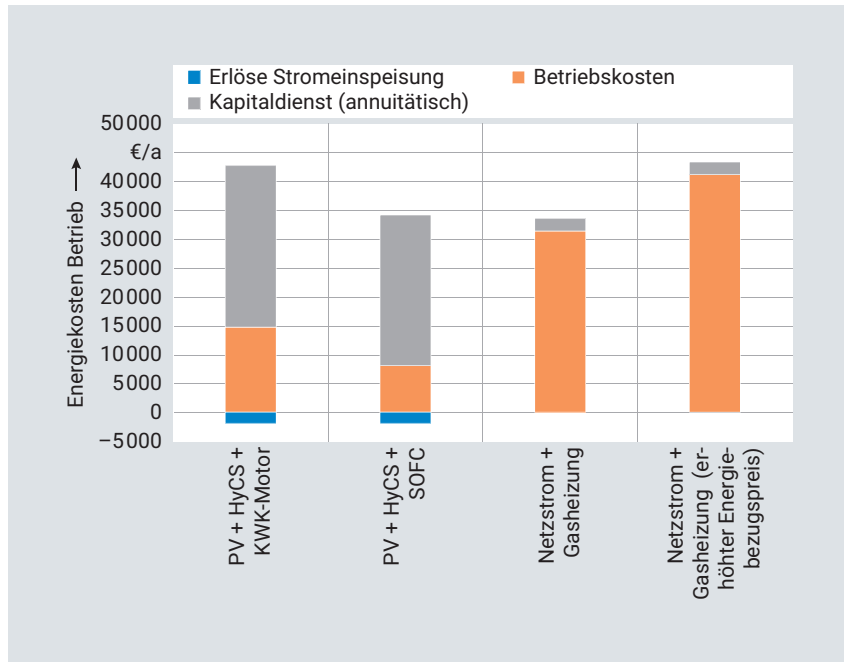


Bild 5. Energiekosten Gewerbebetrieb

Quelle: Ambartec

Für die Wärmeversorgung stehen aus der H<sub>2</sub>-Erzeugung und -Einspeicherung rd. 9 MWh/a, aus der Rückverstromung rd. 36 MWh/a zur Verfügung. Damit können somit rd. 45 % des Wärmebedarfs gedeckt werden.

In Variante 2 wird die Rückverstromung mit einer in der Zukunft

verfügbaren Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC) vorgenommen. Durch die optimale Integration in das Wärmemanagement des HyCS-Speichers erhöht sich dadurch der Wirkungsgrad der Rückverstromung des H<sub>2</sub> auf 85 %. Für die gleiche Strommenge wird folglich nur rd. 50 % des H<sub>2</sub> und entsprechend

Anzeige

## Rohrnetzüberwachung



DIE Investition, um in der Zukunft Kosten zu sparen!

- Eine gut geplante Rohrnetzüberwachung sorgt für den problemlosen Betrieb von Fernwärmenetzen
- Je früher ein Schaden an unterirdisch verlegten Rohren bemerkt wird, desto günstiger können die Reparaturkosten ausfallen.



LANCIER Monitoring GmbH Überwachungsspezialist seit über 50 Jahren  
 Gustav-Stresemann-Weg 11 • 48155 Münster • Tel. +49 (0) 251 674 999-0 • Fax +49 (0) 251 674 999-99 • mail@lancier-monitoring.de



weniger H<sub>2</sub>-Speicherkapazität benötigt. Der HyCS-Speicher verkleinert sich so nochmals auf nur 1,5 m<sup>3</sup>. Durch den höheren elektrischen Wirkungsgrad steht weniger Abwärme für die Wärmenutzung zur Verfügung, so dass sich der regenerative Anteil der Wärmeversorgung auf 15 % reduziert.

Bild 5 zeigt die jährlichen Kosten der beiden Varianten im Vergleich zu einer konventionellen Versorgung mit Netzstrom und Erdgasbezug beim Preisniveau des Jahres 2021. Es wird deutlich, dass beide H<sub>2</sub>-basierten Varianten deutlich geringere operative Kosten aufweisen als die konventionelle Variante. Die kapitalgebundenen Kosten liegen für die H<sub>2</sub>-Speicherung wegen der derzeit noch hohen Investitionen für Wasserstoffkomponenten trotz einer Investitionsförderung von 50 % vergleichsweise hoch, so dass die um die Einspeiserlöse des PV-Überschussstroms geminderten Jahreskosten einschließlich Kapitaldienst rd. 20 % höher liegen. Kostengleichheit wird erreicht, wenn die spezifischen Kosten des vermiedenen Gas- bzw. Strombezugs um 30 % auf 33,0 Ct/kWh Strom und 7,8 Ct/kWh Gas erhöht werden. Die in Zukunft realistische Variante 2 mit optimierter H<sub>2</sub>-Nutzung verspricht eine deutliche Kostensenkung gegenüber der konventionellen Versorgung.

### Anwendungsfall 2: Erhöhung des Eigenversorgungsanteils von kommunalen Liegenschaften mit PV-Strom

PV-Anlagen amortisieren sich auf kommunalen Gebäuden wie Rathäusern oder Kindergärten oft bereits nach wenigen Jahren, da der Strom vor allem in Zeiten verbraucht wird, wo die Solarstromproduktion hoch ist und so ein hoher Eigenverbrauchsanteil realisiert werden kann. Andere kommunale Gebäude wie Betriebshöfe oder Freibäder verfügen oft über große

Flächen, die aber aufgrund des geringen Eigenverbrauchs nicht wirtschaftlich für PV-Strom genutzt werden können. Hier bietet sich die Speicherung und/oder Veredlung der Energie an, um sie

- in Zeiten zu nutzen, wo die Sonne nicht scheint, und/oder
- sie für andere Anwendungen/Sektoren wie die Wärmeerzeugung oder die Mobilität nutzbar zu machen.

Für die Kurzzeitspeicherung über wenige Stunden bieten sich batterieelektrische Speicher z. B. auf LiOH-Basis an. Ihre Grenzen erreichen diese Systeme, wenn größere Energiemengen für längere Zeit gespeichert werden sollen. Sie werden dann sehr groß, sind spezifisch sehr teuer und benötigen große Mengen der wenig nachhaltigen Rohstoffe Lithium und Cobalt.

Wie oben erläutert ist die Speicherung von Energie mit H<sub>2</sub> deutlich kompakter. Außerdem muss die Speicherung via H<sub>2</sub> nicht unbedingt am gleichen Ort wie die Stromerzeugung stattfinden. Seit Anfang 2021 ist es möglich, grünen Strom unter bestimmten Bedingungen kostenlos durchs öffentliche Netz zu leiten, wenn damit eine Elektrolyse zur Herstellung grünen Wasserstoffs betrieben wird. Damit kann dann faktisch die Solarenergie vom Dach des Betriebshofs beispielsweise in ein Krankenhaus oder ein Wohnquartier transportiert werden. Dort wird sie in H<sub>2</sub> umgewandelt und bei Bedarf zur Senkung der Strom- und Wärmekosten genutzt. Auch eine H<sub>2</sub>-Tankstelle könnte dort betrieben werden.

Der wirtschaftliche Nutzen ist am höchsten, wenn der teure Strombezug aus dem Netz reduziert werden kann. Deshalb ist ein möglichst hoher Strom-zu-Strom-Wirkungsgrad anzustreben. Wie bereits erläutert können die bisherigen H<sub>2</sub>-Systeme dabei nicht überzeugen. Die HyCS-Technologie mit einem elektrischen

Wirkungsgrad von über 65 % und ihrer Fähigkeit zur Integration als KWK-Anlage eröffnet hier ganz neue Horizonte.

## Zusammenfassung und Entwicklungsstand

Das Prinzip, mit Eisenmassen reaktive energiereiche Gase bereitzustellen, wurde bereits in den 1970er-Jahren beispielsweise in Magdeburg großtechnisch angewandt. Die Dresdener Firma Ambartec hat nun das Prinzip für konkrete dezentrale Anwendungen weiterentwickelt und nutzbar gemacht. Seit Anfang 2022 wird die Technologie in einer Versuchsanlage demonstriert, die Lieferung erster kommerzieller Einheiten ist ab 2023 geplant. Lösungen für großtechnische Anwendungen beispielsweise zur Bereitstellung von Synthesegas können individuell entwickelt werden.

## Literatur

- [1] Wasserscheid, P. et al.: Neue Option für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wasserstoffzügen durch Nutzung der LOHC-Technologie? – Abschlussbericht zum kleinen Forschungsprojekt (Zuwendungsbescheid Nr. 07 05 / 89375 / 130 / 2017 vom 2.3.2017).
- [2] Povel, R. et al.: Flottenerprobung H<sub>2</sub>-Fahrzeuge in Berlin. In: Ledjeff, K. (Hrsg.): Neue Wasserstofftechnologien – Konkrete Nutzung unter Wasser, auf der Erde, im Weltall. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1989.

**Matthias Rudloff**  
Vorstand



**Dr. Thorsten Lutsch**  
Projektingenieur  
Verfahrenstechnik,  
Ambartec AG, Dresden  
post@ambartec.de  
www.ambartec.de

