



## Kickstarter für eine Wasserstoffwirtschaft

Innovationen und innovative  
Dienstleistungen aus den  
TransHyDE-Projekten

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

## Disclaimer

Diese Veröffentlichung ist eine Zusammenstellung von Innovationen und innovativen Dienstleistungen, die von den jeweiligen TransHyDE-Partnern erarbeitet und zur Kommunikation freigegeben wurden. Sie sind Teil ihres geistigen Eigentums. Diese Broschüre stellt ein dynamisch sich mit dem Projektfortschritt entwickelndes Dokument dar. Die Inhalte der TransHyDE-Publikationen werden im Rahmen des Projekts unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

# TransHyDE

## Transport- und Speicherinfrastruktur für Grünen Wasserstoff

Diese Broschüre gibt Ihnen einen Überblick über konkrete Ergebnisse, die unsere TransHyDE-Partner während der bisherigen Projektlaufzeit erarbeitet haben. Dies können zum Beispiel techno-ökonomische Innovationen oder innovative Dienstleistungen für eine Wasserstoffwirtschaft sein. Die Broschüre ist als dynamisch sich entwickelndes Dokument zu betrachten, das mit weiterem Projektfortschritt ergänzt wird.

### Kerndaten

**Förderung: circa 145 Mio. Euro**

**Partner: 89**

**Assoziierte Partner: 20**

**Laufzeit: 04.2021 – 03.2025**

An dieser Stelle liefert TransHyDE als eines der drei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Wasserstoff-Leitprojekte (neben H<sub>2</sub>Giga – Serienfertigung von Elektrolyseuren; und H<sub>2</sub>Mare – Grüner Off-shore Wasserstoff und Power-to-X Produktion durch Windkraftanlagen) einen zentralen Beitrag zur Umsetzung der NWS.

Insgesamt arbeiten 109 Partner und weitere assoziierte Partner in zehn Projekten an der Auflösung technologischer und ökonomischer Hemmnisse, die derzeit den effizienten Transport und die Speicherung von Grünem Wasserstoff erschweren. Die Förderung des BMBF für TransHyDE beträgt circa 145 Millionen Euro über die Laufzeit von vier Jahren. Der technische Fokus von TransHyDE liegt auf vier verschiedenen Transportmöglichkeiten: gasförmiger Wasserstoff (gH<sub>2</sub>), flüssiger Wasserstoff (LH<sub>2</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) sowie flüssige organische Wasserstoffträger (Liquid Organic Hydrogen Carrier, kurz: LOHC). Ferner analysiert TransHyDE die regulatorischen Rahmenbedingungen und spricht Empfehlungen für einen beschleunigten Hochlauf der Wasserstoff-Wirtschaft aus.

### Hintergrund des Wasserstoff-Leitprojekts TransHyDE

Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) sieht eine Versorgungssicherheit über innereuropäische Produktion sowie Diversifizierung und Sicherung von internationalen Importen für Wasserstoff vor. Daraus ergibt sich unweigerlich die Notwendigkeit einer überregionalen Transport- und Speicherinfrastruktur für den Energieträger.

# TransHyDE-Projekte

## Forschungsprojekte

# 1

**Die Systemanalyse** beschäftigt sich mit der systemischen Analyse von Transportlösungen für Wasserstoff. Kernaufgabe ist die Darstellung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Transportinfrastruktur für Wasserstoff aus der Perspektive der energieintensiven Industrie sowie die Optimierung der volkswirtschaftlichen Kosten. Die im Projekt entwickelte Roadmap fasst den wissenschaftlich-technischen Projektfortschritt, die systemische Einordnung der Transporttechnologien und die daraus resultierenden Aussagen zusammen.

**Sichere Infrastruktur** entwickelt und demonstriert Materialien und technische Grundsätze, die den sicheren Betrieb eines Wasserstoffpipelinesetzes gewährleisten. Dazu gehören die Änderung von Komponentenkonstruktionen, die Verbesserung der Materialmechanik und der Messtechnik, sodass bestehende Erdgaspipelines auf ihre H<sub>2</sub>-Tauglichkeit und ihren sicheren Einsatz in H<sub>2</sub>-Anwendungen geprüft werden können. Darüber hinaus konzentriert sich Sichere Infrastruktur auch auf die Entwicklung neuer Produkte, die für Wasserstoffanwendungen geeignet sind.

# 2

# 3

**AmmoRef** erforscht und entwickelt eine anwendungsorientierte, industriell umsetzbare, sichere und kostengünstige Technologie zur Ammoniakreformierung, d.h. zur Gewinnung von reinem Wasserstoff, um eine umweltfreundliche, wirtschaftliche und sichere Lösung für die zukünftige Energieversorgung zu gewährleisten.

**AppLHy!** analysiert und verwendet verschiedene Technologien für die Bereitstellung, die effiziente Speicherung und den Transport von flüssigem Wasserstoff (LH<sub>2</sub>). Die Arbeiten umfassen die Wasserstoffverflüssigung, die berührungslose Füllstandsmessung und -förderung, den synergetischen Transport (LH<sub>2</sub> und Supraleitung) und die Nachnutzung von Kälte.

# 4

# 5

**Norm** erhebt den aktuellen Stand der technischen Regelwerke und entwickelt eine Bedarfsanalyse sowie Handlungsempfehlungen, um Lücken in der Normierung, Standardisierung und Zertifizierung zu schließen.

**LNG2Hydrogen** entwickelt eine wissenschaftlich fundierte Zusammenstellung von Daten und formuliert Empfehlungen als Entscheidungsgrundlage für eine nachhaltige und langfristige Nutzung von LNG-Terminals als logistische Drehscheiben für Wasserstoff und seine Derivate (H<sub>2</sub>-Transportvektoren). Zusätzlich wird weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf identifiziert.

# 6

# TransHyDE-Projekte

## Umsetzungssäulen

# A

**Mukran** untersucht die Speicherung und den Transport von gasförmigem Wasserstoff, um Verbraucher zu versorgen, die nicht an ein H<sub>2</sub>-Pipelinennetz angeschlossen sind. Darüber hinaus werden kugelförmige Speicherbehälter entwickelt, die sich durch einen optimalen Kompromiss zwischen last- und materialgerechter Geometrie sowie geringen Herstellungs- und Betriebskosten auszeichnen und so einen effizienten Transport mit hohem Nutzlastanteil ermöglichen.

**GET H<sub>2</sub> TransHyDE** unterstützt die Entwicklung einer leitungsgebundenen Transportinfrastruktur für Wasserstoff, wobei wesentliche infrastrukturelle und betriebliche Fragen behandelt werden. Dabei werden wissenschaftliche und technische Arbeitsziele entlang der gesamten Transportkette von der Einspeisung des Grünen Wasserstoffs bis zur Ausspeisung verfolgt.

# B

# C

**CAMPFIRE** entwickelt die gesamte Wertschöpfungskette von Ammoniak, von der Produktion bis zur Lagerung, dem Transport und der Nutzung. Dazu gehören stationäre und mobile Anwendungen, Tankstellen, Logistik und Infrastruktur sowie gesetzliche Rahmenbedingungen und Akzeptanz.

**Helgoland** erforscht eine schiffsgestützte Wasserstoffversorgungskette vom Offshore-Bereich im schleswig-holsteinischen Küstenmeer zu den Wasserstoffverbrauchern auf dem Festland. In dieser Versorgungskette wird das Beispiel Helgoland als Modellstandort für die sichere Speicherung von Wasserstoff durch Hydrierung in LOHC auf Basis des Thermalöls Benzyltoluol und Hamburg als Standort für die Freisetzung von Wasserstoff aus LOHC durch Dehydrierung untersucht.

# D



# Inhaltsverzeichnis

## **01 | Innovationen und innovative Dienstleistungen im Bereich gasförmiger Wasserstoff**

- S. 08** Twinloop - Der innovative Prüfstand, *RMA Rheinau GmbH & Co. KG*
- S. 10** Echtzeit-Qualitätsmessungen mittels laserbasierter photoakustischer Spektroskopie, *Endress + Hauser Digital Solutions (Deutschland) GmbH*
- S. 12** Lebensdauerbewertung von Komponenten: Materialprüfung mit neuen Autoklaventechnologien, *Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM*
- S. 14** H<sub>2</sub>-Qualitätsmessung mittels Prozess-Chromatographie, *Meter-Q Solutions GmbH*

## **02 | Innovationen und innovative Dienstleistungen im Bereich flüssiger organischer Wasserstoffträger - Benzyltoluol (LOHC-BT)**

- S. 17** LOHC Wertschöpfungskette: Tanks, Werkstoffe und Beschichtungen, *Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM*
- S. 19** H<sub>2</sub>-Speicherung in LOHC-BT: Lösungen auf Helgoland als Blaupause für globale Projekte, *Hydrogenious LOHC Technologies GmbH*



**01.  
Innovationen und  
innovative  
Dienstleistungen  
im Bereich  
gasförmiger  
Wasserstoff**

# TwinLoop – Der innovative Prüfstand

## RMA Rheinau GmbH & Co. KG

Partner aus dem TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur

### RMA Hochdruckprüfstand mit Wasserstoff

Im Gegensatz zur allgemeinen Annahme ist Gas nicht einfach Gas. Insbesondere Wasserstoff verhält sich bei der Gasmengebestimmung anders als herkömmliche Gase wie Erdgas. Genau hier kommt der H<sub>2</sub>-Prüfstand ins Spiel: Als speziell konzipierter Gashochdruckprüfstand für Durchflusszähler ermöglicht er die präzise Bestimmung von Wasserstoffgasmengen. Mit dem Wasserstoff-Prüfstand kann nun eine Kalibrierung von Gaszählern bei Durchflussraten von bis zu 6.500 m<sup>3</sup>/h reinem Wasserstoff bei 51 bar Druck realisiert werden. Zusammen mit dem bereits vorhandenen Erdgas-Prüfstand bildet der im Rahmen des TransHyDE-Projekts entwickelte und in Betrieb genommene Wasserstoff-Prüfstand das neue Zwillingsspaar: den TwinLoop.

### Unser Weg zum Wasserstoff

Die RMA hat die Bedeutung von Wasserstoff für eine erfolgreiche Energiewende frühzeitig erkannt. Seit der Klimakonferenz im Jahr 2015 arbeiten wir kontinuierlich daran, unser Produktportfolio an die Anforderungen der Wasserstofftechnologie anzupassen. Dies mündete 2019 in der Entwicklung von „H<sub>2</sub>-Ready“-Armaturen und der Konzeption des Wasserstoff-Loops.

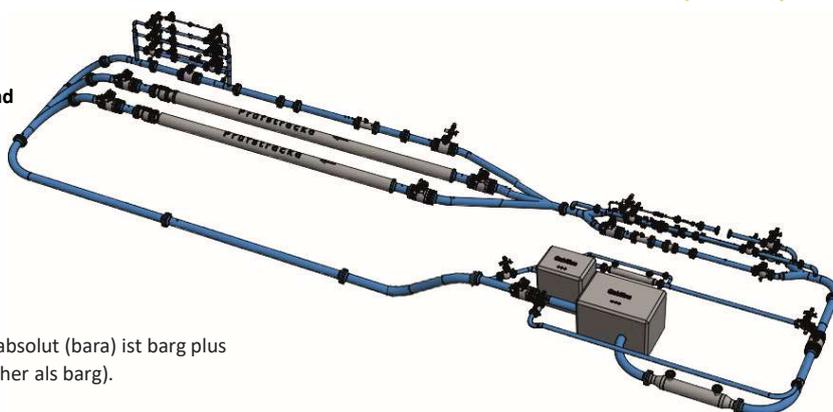
### Gemeinsam für eine sichere Zukunft

Als Koordinator des TransHyDE-Projekts Sichere Infrastruktur sind wir Teil einer nationalen Strategie zur Entwicklung und Demonstration von Technologien für den Wasserstofftransport. Neben der Entwicklung sicherer Komponenten für eine Wasserstoffinfrastruktur und Sensoren zur Überwachung von Wasserstoffspeichern, -leitungen und -anschlüssen war die Entwicklung und Inbetriebnahme eines eichfähigen Wasserstoff-Prüfstands ein zentrales Ziel.

### DIE FAKTEN

- ✓ Eichfähiger Wasserstoff-Prüfstand
- ✓ Kontinuierliche Überprüfung der H<sub>2</sub>-Reinheit
- ✓ Kalibrierung von Gaszählern
- ✓ Durchfluss: 5 bis 6.500 m<sup>3</sup>/h
- ✓ Druck<sup>3</sup>: 8 bis 51 bara
- ✓ Nennweiten von DN 50 bis DN 300
- ✓ 2 Messstrecken je 11 m
- ✓ Messunsicherheit: 0,2 bis 0,3 %

RMA Wasserstoff-Hochdruckprüfstand



<sup>3</sup> Balkenanzeige (barg) ist die Manometeranzeige. Bar absolut (bara) ist barg plus atmosphärischer Druck (in den meisten Fällen 1 bar höher als barg).



H<sub>2</sub>-Prüfstand

Erdgas-Prüfstand

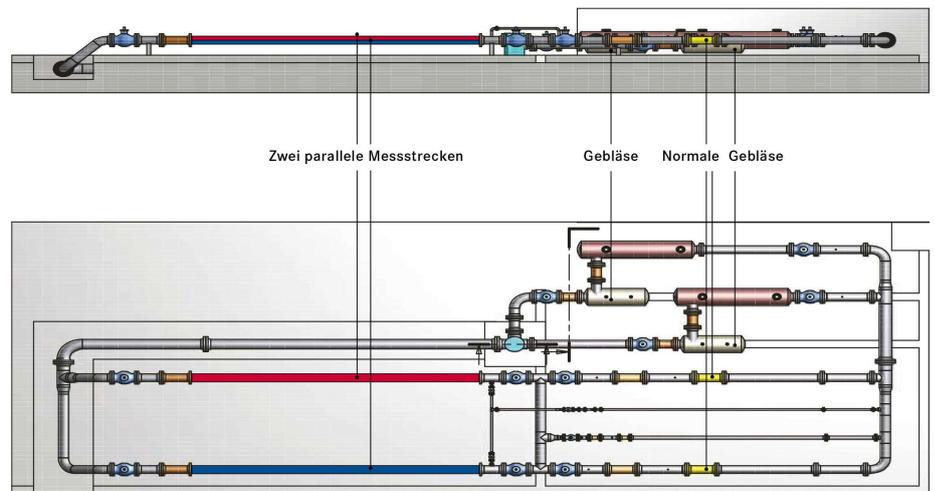


Mit unseren Prüfeinrichtungen können folgende Geräte gemessen und geeicht werden:

- ✓ **Volumetrische Gaszähler**
  - Drehkolbengaszähler
- ✓ **Strömungsgaszähler**
  - Ultraschallgaszähler
  - Wirbelgaszähler
  - Turbinenradgaszähler
- ✓ **Zustandsmengenumwerter und Zusatzgeräte**

## DIE FAKTEN

- ✓ Eichfähiger Erdgas-Prüfstand
- ✓ Konstante Gasqualität
- ✓ Kalibrierung von Gaszählern
- ✓ Durchfluss: 3 bis 13.000 m<sup>3</sup>/h
- ✓ Druck: 1 bis 51 bara
- ✓ Nennweiten von DN 50 bis DN 500
- ✓ 2 Messstrecken je 12 m
- ✓ Messunsicherheit: 0,25 bis 0,3 %



RMA Erdgas-Hochdruckprüfstand

## RMA Hochdruckprüfstand mit Erdgas

Als langjähriger und zuverlässiger Lieferant und Partner für die Gasversorgung und Industrie bieten wir eine breite Palette von Produkten und Dienstleistungen an. Unsere „Staatlich anerkannte Prüfstelle für Messgeräte für Gas“ ist dabei ein zentraler Bestandteil in unserem Anspruch, unseren Kunden ein komplettes System bieten zu können. Neben einem Prüfstand mit Luft und Wasserstoff verfügen wir über einen hochmodernen Hochdruckprüfstand für Gasmessgeräte.

Auf diesem Hochdruckprüfstand werden Gaszähler mit Erdgas justiert und kalibriert bzw. geeicht. Darüber hinaus kann diese Prüfeinrichtung auch für anspruchsvolle Messreihen im Rahmen einer Produktentwicklung oder Baumusterprüfung eingesetzt werden.

Die Messeinrichtungen unterliegen aufgrund der staatlichen Anerkennung unserer Prüfstelle der regelmäßigen Überwachung durch das zuständige Eichamt, welches in enger Zusammenarbeit mit der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig (PTB) tätig ist.

Nationale Normale und weitere TransfERNormale sind die Basis unseres Prüfstandes. Dies gewährleistet eine hohe Sicherheit sowie eine zuverlässige Messrichtigkeit.

## Ansprechpartner

E-Mail: [mrt@rma-rheinau.de](mailto:mrt@rma-rheinau.de)  
Mess- und Regeltechnik GmbH & Co. KG

## Kontaktinformationen

RMA Rheinau GmbH & Co. KG  
Forsthausstraße 3  
77866 Rheinau  
Deutschland  
Telefon +49 (0) 7844 404 0  
E-Mail: [info@rma-rheinau.de](mailto:info@rma-rheinau.de)  
Webseite: [www.rma.de](http://www.rma.de)



# Echtzeit-Qualitätsmessungen mittels laserbasierter photoakustischer Spektroskopie

## Endress + Hauser Digital Solutions (Deutschland) GmbH

### Partner aus dem TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur

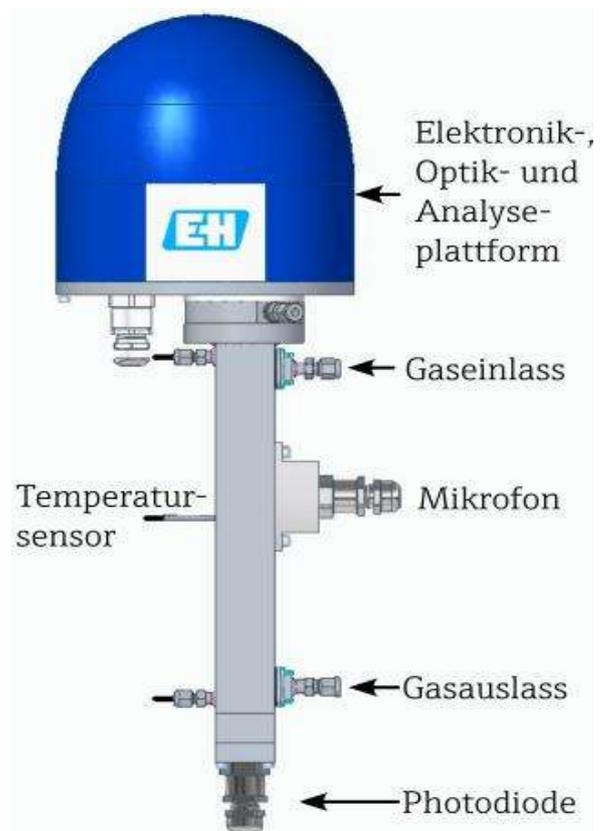
Im Rahmen des TransHyDE-Projekts Sichere Infrastruktur entwickelt das Sensor Automation Lab von Endress + Hauser Messtechnik für die Gasbeschaffenheitsanalyse sowie Leckagedetektion.

Das Projekt beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Voraussetzungen für die Umrüstung der Erdgasinfrastruktur (Komponenten, Leitungen und Speicher) für den Wasserstoffeinsatz. Für diese Untersuchungen werden im Projekt unter anderem eine Versuchspipeline und ein eichfähiger H<sub>2</sub>-Teststand aufgebaut. Ziel ist, zu verstehen, welche Materialien sich eignen, wie die bestehende Infrastruktur weitergenutzt und sicher betrieben werden kann und welchen Einfluss Transport und Lagerung auf die Wasserstoffreinheit haben.

### Der heute verwendete Wasserstoff stammt aus einer Vielzahl von verschiedenen Quellen.

Die Herkunft von Wasserstoff wird mit verschiedenen Farben betitelt: Grüner Wasserstoff wird ausschließlich aus regenerativen Energieträgern erzeugt, türkiser Wasserstoff wird durch die Methanpyrolyse hergestellt, bei dem Methan in einem thermochemischen Verfahren in festen Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegt wird. Bei grauem Wasserstoff erfolgt die Produktion mittels fossiler Energieträger. Wird das dabei entstehende CO<sub>2</sub> mit Hilfe der CCS-Technik (Carbon Capture Storage) gespeichert oder in der Industrie weiterverarbeitet, so spricht man von blauem Wasserstoff. Darüber hinaus fällt Wasserstoff in der Chemischen Industrie auch als Nebenprodukt an, zum Beispiel bei der Chlor-Herstellung. Um die Qualität des Wasserstoffs nach bzw. bei dessen Transport unabhängig von seiner Herkunft überprüfen zu können, ist neuartige Messtechnik notwendig.

Unser Augenmerk liegt dabei auf der Messung der Komponenten Kohlenmonoxid (CO) bzw. Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Feuchte (H<sub>2</sub>O) im Wasserstoff.



Prototyp des photoakustischen Gasanalysators

## Vorteile auf einen Blick

- ✓ **Präzise, wiederholbare und schnelle Messungen**
- ✓ **Geringer Wartungsaufwand**
- ✓ **Zuverlässig, auch in rauen Umgebungen**
- ✓ **Echtzeitmessungen mit kleinstmengen**
- ✓ **Keine Querempfindlichkeit**
- ✓ **Gleichzeitige Messung von zwei Fremdgasen mit einem Messgerät**

### CO, NH<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>O als Verunreinigung in Wasserstoff

Brennstoffzellen-Katalysatoren sind empfindlich gegenüber Verunreinigungen wie zum Beispiel Kohlenmonoxid, welches bei der Herstellung durch Dampfreformierung entstehen kann. Ist der Gehalt von Kohlenmonoxid zu hoch, sinkt die Effizienz der Brennstoffzelle ab. Auch die Stabilität der Brennstoffzelle in Bezug auf Alterung wird dadurch negativ beeinflusst.

Ein zu hoher Feuchteanteil hingegen kann unter anderem Korrosion an der Infrastruktur fördern, weshalb die erlaubte Maximalkonzentration bei 5 ppm (parts per million<sup>1</sup>) liegt. Eine Kontamination mit Feuchte kann unter anderem während der Elektrolyse, der Lagerung oder während des Transports auftreten.

Soll Wasserstoff aus NH<sub>3</sub> (als H<sub>2</sub>-Transportmedium) zurückkonvertiert werden, so kann als Verunreinigung Ammoniak verbleiben. NH<sub>3</sub> ist stark korrosiv und giftig. Es darf nur mit max. 100 ppb (parts per billion<sup>2</sup>) in H<sub>2</sub> enthalten sein. Die erforderliche Messgenauigkeit liegt hier bei 5 ppb. In der entsprechenden Norm für H<sub>2</sub> als Brennstoff (ISO 14687) werden Grenzwerte für verschiedene Verunreinigungen in H<sub>2</sub> festgelegt. Für CO liegt dieser bei 200 ppb, für Feuchte (H<sub>2</sub>O) bei 5 ppm und für NH<sub>3</sub> bei 100 ppb. Mit dem photoakustischen Meßsystem können wir diese Verunreinigungen mit den notwendigen Genauigkeiten online erfassen.

### Der Prototyp des Wasserstoffreinheitssensors

Mit der photoakustischen Spektroskopie (PAS) lassen sich Gase sehr genau und selektiv nachweisen. Das grundlegende Messprinzip wurde 1880 von Alexander Graham Bell beschrieben. Wenn die zu untersuchende Gasprobe von einer gepulsten Lichtquelle in der Messzelle beleuchtet wird, absorbieren die Gasmoleküle das Licht und erwärmen sich dadurch. Bei konstanter Volumengröße der Messzelle wird eine Schallwelle mit einer Frequenz erzeugt, die der Modulationsfrequenz der Lichtquelle entspricht. Diese akustischen Wellen bzw. optoakustischen Signale werden an akustische Wandler (z. B. handelsübliche MEMS-Mikrofone) übertragen. Die Signalamplitude korreliert mit der Absorptionsstärke und gibt Aufschluss über die Gaskonzentration in der Messzelle.

Basierend auf diesem Messprinzip haben wir den Prototypen eines Wasserstoffreinheitssensors entwickelt. Dieser kann neben Restfeuchte (H<sub>2</sub>O) jeweils zwei Fremdgase, CO oder NH<sub>3</sub>, in Wasserstoff detektieren. Um bei einer Leckage keine Zündquelle darzustellen, besitzt der Prototyp eine druckfeste Kapselung. Er ist in der Lage, autark "Online"-Messungen durchzuführen.

Unser Prototyp wird im Rahmen von Feldexperimenten bei Partnern des TransHyDE-Konsortiums getestet.

Zielgase	CO, NH <sub>3</sub> und H <sub>2</sub> O
Trägergas	H <sub>2</sub>
Messprinzip	Photoakustische Spektroskopie (PAS)
Messbereiche	CO: 0 bis 100 ppmv H <sub>2</sub> O: 0,05 bis 5.000 ppmv
Reproduzierbarkeit	CO: ±5 ppbv oder ±1 % des Messwerts; H <sub>2</sub> O: ±15 ppbv oder ±1 % des Messwerts
Nachweisgrenze (3σ)	CO: 20 ppbv H <sub>2</sub> O: 100 ppbv

#### Geplante Spezifikation des Prototyps

#### Ansprechpartner

Dr. Ulrich Hoefler  
Funktion: Business Development Manager  
Telefon: +49 (0) 172 7045327  
E-Mail: ulrich.hoefler@endress.com

#### Kontaktinformationen

Endress + Hauser Digital Solutions (Deutschland) GmbH  
Georges-Köhler-Allee 302  
79110 Freiburg  
Deutschland

<sup>1</sup> Die Angabe parts per million steht für einen Faktor 10<sup>-6</sup> oder für ein Millionstel. Mit einem v ergänzt, bezieht es sich auf das Volumen.

<sup>2</sup> Die Angabe parts per billion steht für den Faktor 10<sup>-9</sup>, also ein Milliardstel. Mit einem v ergänzt, bezieht es sich auf das Volumen.

# Lebensdauerbewertung von Komponenten: Materialprüfung mit neuen Autoklaventechnologien

## Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM

Partner aus dem TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur

### Lebensdauerkonzepte für Komponenten der Wasserstoffinfrastruktur

Sichere, zuverlässige und langlebige Komponenten der Wasserstoffinfrastruktur sind Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende. Umfassende Lebensdaueranalysen sind daher unerlässlich. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM ist eine der weltweit führenden Institutionen für die multiskalige Charakterisierung und Bewertung von Materialeigenschaften: von der Atomistik bis zum Kontinuum. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden erstklassige Modellierungs- und Simulationswerkzeuge für industrielles Komponentendesign, auch speziell für Wasserstoffanwendungen, entwickelt.

### Der Umgang mit Wasserstoff erfordert neue Materialprüfungsmethoden

Unter mechanischer Belastung verhält sich Stahl in einer Wasserstoffgasatmosphäre anders als in einer Erdgasumgebung. Der Grund hierfür liegt in der Eigenschaft von Wasserstoff. Als kleinstes Atom im Periodensystem der Elemente kann Wasserstoff unter bestimmten Bedingungen als atomarer Wasserstoff in Werkstoffe eindringen und ihre Performance unter mechanischer Belastung negativ beeinflussen. Dieses Phänomen wird Wasserstoffversprödung genannt und kann zu einer verkürzten Lebensdauer der betroffenen Komponenten im Einsatz führen.

Allerdings sind die Mechanismen der Wasserstoffversprödung bis heute nicht vollständig verstanden und werden intensiv untersucht. Zur weiteren Erforschung des Einflusses von Wasserstoff auf Werkstoffe hat das Fraunhofer IWM eine neuartige Prüfmaschine, den sogenannten Hochdruckwasserstoffautoklaven HypA-1000, mitentwickelt. Der HypA-1000 deckt alle Anforderungen für präzise Materialprüfungen

mit Standardproben für Zugversuche, Risszähigkeits-, Rissfortschritts- und Ermüdungsversuche in einer Wasserstoffatmosphäre bis 1.000 bar (100 MPa) ab.

Der sehr hohe Druck und das große Volumen des HypA-1000 erfordern allerdings ein hohes technisches Fachwissen, um Testbedingungen hinsichtlich des Drucks und Temperatur konstant zu halten. Darüber hinaus müssen strenge Sicherheitsvorschriften eingehalten werden, um die Bildung explosiver Sauerstoff-Wasserstoff-Gasgemische durch Lecks zu vermeiden. Dies erfordert einen enormen technischen Aufwand und verursacht höhere Kosten im Vergleich zu Tests unter Standardlaborbedingungen.

Allerdings sind schnelle und kostengünstige Messungen Voraussetzung für die rasche Implementierung einer Wasserstoffinfrastruktur, um die Energiewende in den kommenden Jahren erfolgreich zu meistern. Dringend erforderlich sind daher an die neuen Marktbedürfnisse angepasste Prüftechnologien für Werkstoffe, um Kosten für Analysen zu minimieren und gleichzeitig den Output zu maximieren. Einen Bedarf, den das Fraunhofer IWM erkannt hat und im Rahmen des Wasserstoff-Leitprojekts TransHyDE unter anderem umsetzt.

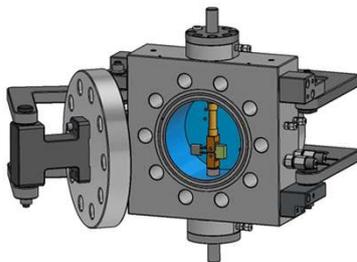
Dementsprechend werden momentan zwei neue, passgenaue Systeme aufgebaut, um den Einfluss von Wasserstoff auf Werkstoffe unter mechanischer Belastung zu untersuchen: der Hochdruckautoklav HypA-200FCG, der bei bis zu 200 bar (20 MPa) arbeitet und speziell für die Durchführung von Ermüdungsrisswachstumstests (FCG) entwickelt wurde. Und der HypA-100 $\mu$ , ein Autoklav mit geringem Volumen zur Charakterisierung von Materialeigenschaften auf sehr lokaler Ebene (z. B. Schweißnähte) mithilfe von Proben im Mikrometerbereich. Beide Systeme profitieren von der Reduzierung des Innenvolumens des Autoklavs. Dies führt zur Nut-

zung geringerer Wasserstoffmengen und damit zu einem deutlich geringeren Sicherheitsrisiko. Daher können diese Maschinen in Standardlaborumgebungen mit stark reduzierten Sicherheitsvorkehrungen eingesetzt werden.

### Neue Prüfmaschinen zur schnellen und kostengünstigen Erfassung von Materialdaten

Alle Systeme, der HypA-1000, der HypA-200FCG und der HypA-100 $\mu$ , ermöglichen eine maßgeschneiderte Produktentwicklung, liefern Daten für eine Lebensdauerbewertung vorhandener Komponenten und ermöglichen Produktsicherheit durch bessere Kenntnisse der Materialeistung.

Der HypA-200-FCG wurde im Rahmen des TransHyDE-Projekts Sichere Infrastruktur entwickelt, um schnelle und kostengünstige Risswachstumstests durchzuführen, indem das sicherheitsrelevante Wasserstoffvolumen auf weniger als 200 bar\*Liter begrenzt wurde. Der HypA-100 $\mu$  bietet quasi-statische Zug-, Ermüdungs- und bruchmechanische Tests in-situ bei bis zu 100 bar Wasserstoffdruck. Dabei kommen Mikroproben zur Charakterisierung von Materialeigenschaften auf kleiner Längenskala zum Einsatz. Der HypA-100 $\mu$  wird durch zwei Wasserstoff-Leitprojekte des BMBFs gefördert: dem H<sub>2</sub>Mare-Projekt H<sub>2</sub>Wind und dem TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur.



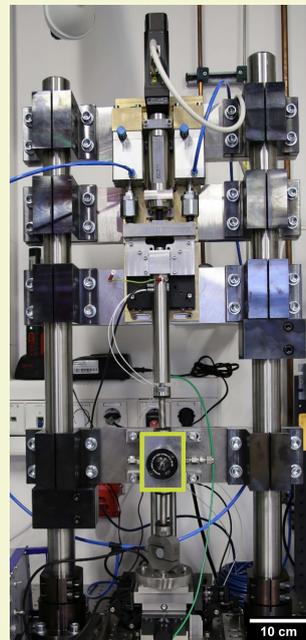
#### Spezifikationen des HypA-200FCG

- ✓ Elektromechanische Prüfmaschine
- ✓ Wasserstoffdruck bis zu 180 bar
- ✓ Raumtemperatur
- ✓ Tests für Bruchmechanik und Ermüdungsrisswachstum
- ✓ Optimiert für 0,5T CT (CT25)-Proben
- ✓ Zyklische Frequenz: bis zu 1 Hz

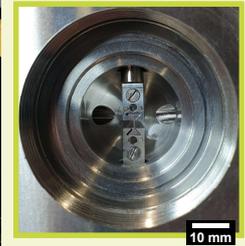
#### Warum Mikroproben analysieren?

Mikroproben, also Zugproben mit einem Querschnitt von weniger als 1 mm<sup>2</sup>, eignen sich hervorragend zur Charakterisierung kleiner Bauteile (zum Beispiel Federn, Membranen, Elektronikteile) und zur Analyse lokaler mechanischer Eigenschaften größerer Bauteile (zum Beispiel Schweißnähte). Dank hochpräziser Extraktionstechniken sind lokale Messungen an kritischen Bereichen mit hoher räumlicher Auflösung möglich.

Durch das geringe Probenvolumen und die hochaufgelöste Abbildung der Probenoberfläche ermöglichen Mikroproben neue Einblicke in mechanische Versagensmechanismen, auch unter Wasserstoffeinfluss.



Mikroproben im Größenvergleich



Aufbau des HypA-100 $\mu$  für H<sub>2</sub> in-situ Tests an Mikroproben  
Zoom rechts: Mikroprobe montiert in Probenhalter

Die an Mikroproben komplementär zu Makroproben gesammelten Ergebnisse tragen so zu den am Fraunhofer IWM entwickelten Materialmodellen und Lebensdauerkonzepten bei.

#### Förderung mit einem zielgerichteten Fokus

Das TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur entwickelt und demonstriert Materialien und technische Grundlagen für den sicheren Betrieb einer Wasserstoffinfrastruktur. Das heißt, dass Komponenten kontinuierlich modifiziert, Werkstoffmechanik und Messtechnik verbessert sowie bestehende Erdgasleitungen auf ihre H<sub>2</sub>-Tauglichkeit getestet werden. Darüber hinaus konzentriert sich das TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur auf die Entwicklung neuer Produkte für Wasserstoff-Infrastrukturanwendungen. Das Fraunhofer IWM ist stolz darauf, Teil dieses Konsortiums zu sein, um hierüber die Produktsicherheit zu steigern, Konzepte für die Lebensdauer vorhersage für Materialien und Komponenten der Wasserstoffinfrastruktur zu entwickeln und so über sein Know-how die Energiewende mitzugestalten.

#### Ansprechpartner

Dr. Frank Schweizer  
Telefon: +49 (0) 761 5142 122  
E-mail: frank.schweizer@iwm.fraunhofer.de

#### Kontaktinformation

Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM  
Wöhlerstr. 11  
79108 Freiburg  
Deutschland  
Webseite: www.iwm.fraunhofer.de

# H<sub>2</sub>-Qualitätsmessung mittels Prozess-Chromatografie

## Meter-Q Solutions GmbH

### Partner aus dem TransHyDE-Projekt GET H<sub>2</sub>

#### Das Umfeld der Gasanalytik Diskussionen

Energiewende, Erdgaskrise, Wasserstoff - alles hängt zusammen, sie sind heute präsenter in den öffentlichen Nachrichten und ganz besonders in der Erdgasbranche. Jede neue politische Entscheidung, jeder Schritt nach vorn wirft neue Fragen auf, auch zum Thema Wasserstoff. Wenig ist klar, außer dass Wasserstoff als Energiespeicher und Energieträger in naher Zukunft weiter deutlich an Bedeutung gewinnen wird.

Wo es hingehet – Mischgas, Erdgas und Wasserstoff parallel oder nur noch Wasserstoff – weiß heute niemand mit Sicherheit. Auch nicht, wofür der Wasserstoff genutzt werden wird: zum Heizen, für Wasserstoffmotoren oder Brennstoffzellen, für die chemische Industrie oder zur Methanisierung. Eines aber ist ganz sicher: Es werden Messgeräte benötigt, die den Wasserstoff analysieren können.

Für die Gasanalyse, das Spezialgebiet von meterQ, bedeutet dies: Die ewige Diskussion, ob ein Prozess-Gaschromatograph (PGC) 5 %, 10 % oder 20 % Wasserstoff in Erdgas messen können sollte, ist überholt. In der heutigen Übergangsphase werden Geräte benötigt, die den gesamten Bereich von 0 bis 100 % Wasserstoff abdecken können. Dazu Geräte, die die Wasserstoffqualität messen können, sei es von einem Elektrolyseur oder einer anderen Wasserstoffquelle, sei es, um zu beurteilen, wie sich der Transport in einer Pipeline auf die Gaszusammensetzung auswirkt, oder sei es, dass der Abnehmer sicher sein kann, die Qualität zu erhalten, die er benötigt und bezahlt.

Heute wird von vielen verschiedenen Parteien über Grenzwerte diskutiert. Grenzwerte für die Produktion, für den Transport, für die Nutzung und natürlich für die gesamte

Abrechnung. Macht das heute schon Sinn? Für die gesamte hypothetische Wasserstoffinfrastruktur fehlt die Erfahrung, wie sich die einzelnen Teile verhalten, welche Reinheit mit welchem Aufwand erzielbar ist, welche Verunreinigungen eine Rolle spielen – kurz es fehlen Messungen! Und es fehlen Messgeräte, um solche Messungen durchzuführen, sobald die ersten Pilotprojekte laufen.

#### Arbeiten im TransHyDE-Projekt GET H<sub>2</sub>

Als meterQ sind wir Teil des Wasserstoff-Leitprojekts TransHyDE, das zum Ziel hat, zu erforschen und zu bewerten, welche Möglichkeiten es für den Wasserstofftransport in den benötigten Mengen und über die benötigten Entfernungen gibt.

Wir sind am TransHyDE-Projekt GET H<sub>2</sub> beteiligt, das zum Schwerpunkt hat, die Umrüstung von Erdgasinfrastruktur (sprich: Leitungen und Speicher) für den Wasserstoffeinsatz zu untersuchen. Für diese Untersuchungen wird eine Versuchspipeline aufgebaut. Ziel ist zu verstehen, welche Materialien sich eignen, wie gut und sicher solche Einrichtungen und Leitungen betrieben werden können, welchen Einfluss ein Transport auf die Wasserstoffreinheit hat, und vieles mehr.

#### Neuentwicklung – ein hochpräzises Messgerät

Als Experten für Gasanalyse können wir einen grundlegenden Teil dazu beitragen. Mit unserer Neuentwicklung dem MGChydrogen liefern wir das erste Messgerät, das die Wasserstoffqualität analog zu der von Erdgas messen kann. Es geht dabei zunächst nicht primär um die Messung eines eichamtlich zugelassenen Brennwertes, wobei der MGChydrogen selbstverständlich auch diese Aufgabe erfüllen kann, sondern darum, die Reinheit von Wasserstoff möglichst genau und zu-

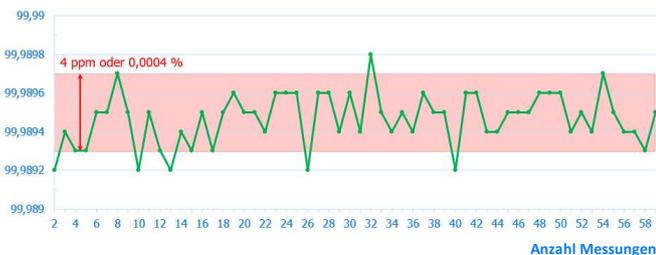
verlässig zu messen. Mit dem MGChydrogen haben wir einen Analysator geschaffen, der die zu erwartenden Verunreinigungen aus Produktion, Transport und Speicherung im Empfindlichkeitsbereich bis 1 ppm messen kann.

## „Wir messen Verunreinigungen bis 1 ppm.“

Dr. Achim Zajc

Es ist damit möglich, mit einem einzigen Referenzgerät die Wasserstoffqualität für alle Teilaspekte der Wasserstoffwirtschaft zu verfolgen und den jeweiligen Einfluss zu bewerten. Das gilt nicht nur für unser TransHyDE-Projekt GET H<sub>2</sub> sondern grundsätzlich auch für die TransHyDE-Projekte, die sich mit anderen Transportmedien wie LH<sub>2</sub> (flüssiger Wasserstoff), Ammoniak und LOHC (flüssige organische Wasserstoffträger) beschäftigen. Genau das sehen wir bei meterQ als unsere Herausforderung: Messgeräte zu liefern, die zuverlässig und unabhängig geprüft die benötigten Messungen der Wasserstoffqualität durchführen und genau die Daten liefern können, die für die Festlegung von Grenzwerten für Produktion, Transport und Abrechnung benötigt werden.

Reinheit des Wasserstoffs in %

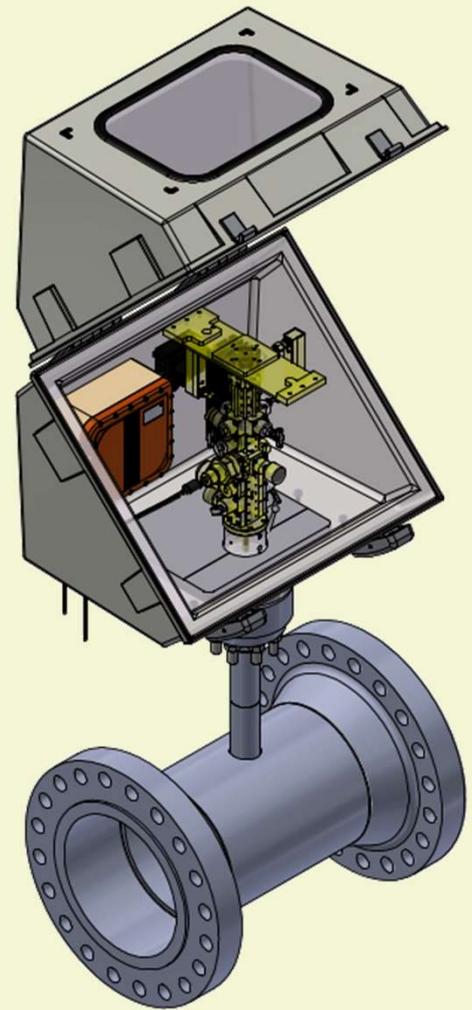


—●— Mittelwert aus 60 Messungen: 99,9894068 %,  
Abweichung: 0,0002832 % (= 2,832 ppm)

Ergebnisse der Wasserstoffbestimmung des MGChydrogen

Mit dem MGChydrogen haben wir dafür das richtige Werkzeug. Als State-of-the-Art-Gaschromatograph ist er robust, langzeitstabil, kann viele Komponenten erfassen, bietet eine Nachweisgrenze im Bereich 1 ppm und ist dabei einfach zu bedienen und leicht zu transportieren.

Die Technische Richtlinie (TR) G 19 und die Technische Regel G 260 zeigen deutlich, dass die Brennwertbestimmung von „reinem“ Wasserstoff eichamtlich geregelt werden wird, wenn auch heute noch nicht alle Regeln existieren. Der MGChydrogen kann, alle Anforderungen der TR G 19 (Fehlergrenze von 0,05 % (500 ppm) für Wasserstoff) und der G 260 für eine kontinuierliche Überwachung der Wasserstoffquali-



MGChydrogen für die Bestimmung der Wasserstoffqualität

tät und die eichamtliche Brennwertberechnung nach ISO 6976 erfüllen. Der MGChydrogen befindet sich bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zu einem Eignungstest gemäß TR G 19 (2/2023).

### Ansprechpartner

Dr. Achim Zajc  
Funktion: Geschäftsführer  
Telefon: +49 (0) 6033 92 45 210  
E-Mail: az@meterq.de

### Kontaktinformationen

Meter-Q Solutions GmbH  
Robert-Bosch-Straße 10  
35510 Butzbach  
Hessen, Deutschland



**02.  
Innovationen und  
innovative  
Dienstleistungen im  
Bereich flüssiger  
organischer  
Wasserstoffträger -  
Benzyltoluol  
(LOHC-BT)**

# LOHC Wertschöpfungskette: Tanks, Werkstoffe und Beschichtungen

## Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM

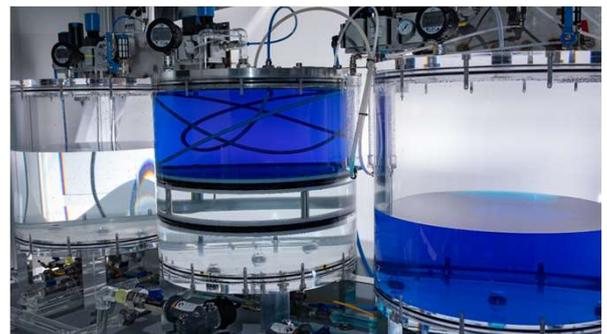
Partner aus dem TransHyDE-Projekt Helgoland

Der Ursprung des 1968 gegründeten Instituts der Fraunhofer-Gesellschaft mit seinen 700 Mitarbeitenden liegt in der Materialwissenschaft mit Schwerpunkten bei metallischen und polymeren Werkstoffen. Ergänzt wird dies durch einen starken Fokus auf Fertigungstechnologien. An den sieben Standorten Bremen, Dresden, Stade, Wolfsburg, Braunschweig, Helgoland und Cuxhaven wird an folgenden Kernkompetenzen geforscht: Metallische Werkstoffe, Polymere Werkstoffe, Oberflächentechnik, Kleben, Formgebung und Komponentenfertigung, Automatisierung und Robotik sowie Energiespeicher und -wandler. Sowohl grundlegende wissenschaftliche Fragestellungen als auch industriennahe Aufgaben mit kurz-, mittel- oder langfristiger Perspektive werden im Rahmen bi- oder multi-lateraler Konsortien bearbeitet. Zukünftigen Herausforderungen hinsichtlich Klimaneutralität, Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft fühlt sich das Fraunhofer IFAM in besonderem Maße verpflichtet.

Das Fraunhofer IFAM arbeitet in TransHyDE an dreizehn sehr unterschiedlichen Themen aus dem Kontext der Technologieentwicklung zum Wasserstofftransport. Der Kernaspekt, an dem sich die bearbeiteten Fragestellungen orientieren, ist die Wechselwirkung von flüssigen organischen Wasserstoff/Wasserstoffträgern (liquid organic hydrogen carrier, LOHC) mit Werkstoffen. Die bislang erzielten Ergebnisse bilden eine Grundlage für spezifische F&E-Dienstleistungen für die Industrie und für die Mitwirkung an zukünftigen Forschungsprojekten mit öffentlicher Förderung.

### Innovatives LOHC-Tankkonzept

Soll LOHC als Wasserstoffträger eingesetzt werden, liegen sowohl bei den Hydrieranlagen als auch bei den Dehydrieranlagen stets hydriertes LOHC als auch dehydriertes LOHC (Per-



**Abbildung 1: Tankdemonstrator mit beweglicher Zwischendecke zeigt Machbarkeit des Tankkonzepts zur Halbierung des Platzbedarfs**

hydro-Benzyltoluol, LOHC<sup>+</sup>, und Benzyltoluol, LOHC<sup>-</sup>) nebeneinander vor. Konventionell werden hierfür zwei Lagertanks benötigt, die sowohl platz- als auch kostenintensiv sind. Durch ein innovatives Tankkonzept kann das notwendige Tankvolumen und der Raumbedarf halbiert werden, indem nur ein Tank verwendet und mit einer beweglichen Zwischendecke ausgestattet wird. Dadurch können LOHC<sup>+</sup> und LOHC<sup>-</sup> gemeinsam in einem Tank gelagert werden.

Mit dem aufgebauten Tankdemonstrator konnte dieses Konzept erprobt und die Funktionalität belegt werden. Durch den Einsatz chemisch resistenter Elastomere als Dichtungsmaterialien können so die beiden Medien LOHC<sup>+</sup> und LOHC<sup>-</sup> voneinander getrennt gelagert werden. Der Betrieb der Tankanlage hat gezeigt, dass weder die beiden Medien vermischt werden noch, dass es zu nennenswerten Abnutzungserscheinungen der Elastomerdichtung kommt. Durch die Beschichtung der Elastomerdichtungen mit plasmapolymere Beschichtungen konnte die Abrasion der Elastomerdichtung abermals reduziert und die Gleiteigenschaften deutlich verbessert werden.



Abbildung 2: Teile der Testinfrastruktur des Fraunhofer IFAM auf Helgoland. Neben den hier sichtbaren Auslagerungsständen betreibt das IFAM dort das Testzentrum für Maritime Technologien.

Das Tankkonzept steht für die Anwendung in industrielle Umgebung bereit und lässt sich zudem auf weitere Einsatzfälle, wie die getrennte Lagerung von Frisch- und Abwässern übertragen.

#### Werkstoffeignung für LOHC-Tanks und LOHC-Anlagen

Für den LOHC-Transport werden Werkstoffe benötigt, die nicht nur Anforderungen des Einsatztemperaturbereiches und der mechanischen Beanspruchungen erfüllen, sondern auch eine hinreichende Langzeitbeständigkeit im Kontakt mit dem LOHC besitzen.

Die Beständigkeit gegenüber dem im Projekt eingesetzten LOHC wurde bisher an Stählen, glasfaserverstärkten Verbundwerkstoffen (GFK) sowie Thermoplasten, Dichtstoffen und Klebstoffen systematisch untersucht. Es wurden Werkstoffe identifiziert, die für den sicheren, langfristigen Einsatz in LOHC-Tanks oder LOHC-Anlagen sehr gut geeignet sind. Durch die exemplarische Auslegung verschiedener Tanks wurden die Werkstoffe auch auf deren Eignung für diesen Einsatzfall hin bewertet, durch eine Life Cycle Analyse wurden Unterschiede zwischen Materialalternativen hinsichtlich der Nachhaltigkeit ermittelt. Ferner wurden geeignete Konzepte für das Fügen von Anbauteilen mittels Kleben entwickelt.

Das Fraunhofer IFAM bietet Materialauswahl und Qualifizierung für die LOHC-Technologie als Dienstleistung an. Dazu können thermische, physikalische und mechanische Eigenschaften bestimmt werden. Spezifische Alterungsuntersuchungen im maritimen Feld oder im Labor durch Auslagerung von Proben in unterschiedlichen Medien wie LOHC oder Salzwasser werden nach Kundenwunsch oder entsprechenden Normen (z. B. DIN EN 13121-2) umgesetzt.

#### Beschichtungen zum Schutz von Pipelines

Im TransHyDE-Projekt Helgoland wurden biozidfreie Bewuchsschutzbeschichtungen entwickelt und Emissionen von Korrosionsschutzschichten untersucht. Feldprüfungen sind von entscheidender Bedeutung für die Bewertung von Beschichtungen. Auf Helgoland, im Testzentrum für Maritime Technologien des Fraunhofer IFAM, wurden verschiedene Prüfstände errichtet, darunter die marine Auslagerung von Beschichtungen nach ASTM-D3623-78a (2020) mit anschließender Bewertung gemäß ASTM-D6990-20. Ein weiterer Prüfstand ermöglicht die Evaluierung von Bewuchsschutzbeschichtungen unter dynamischen Bedingungen. Für atmosphärische Bewitterungstests nach DIN EN ISO 12944 C4 und C5 wird ein umzäuntes Testgelände im südlichen Hafengebiet genutzt. Ferner erlaubt ein Auslagerungsgestell die zonale Befestigung von Proben in verschiedenen Umweltzonen. Das Fraunhofer IFAM bietet zudem umfangreiche Laborprüfungen an, um vertiefte Einblicke zu gewinnen und zur technologischen Optimierung beizutragen. Praxisnahe Erprobungen von Unterwasserrobotik, insbesondere für Wartungs- und Inspektionsaufgaben, sind ebenfalls möglich. Die Flexibilität individueller Prüfscenarien gewährleistet die Erfüllung kundenspezifischer Anforderungen.

#### Ansprechpartner

Dr. Olaf Hesebeck  
Telefon: +49-421-2246-484  
E-Mail: [olaf.hesebeck@ifam.fraunhofer.de](mailto:olaf.hesebeck@ifam.fraunhofer.de)



#### Kontaktinformationen

Fraunhofer IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Deutschland

## H<sub>2</sub>-Speicherung in LOHC-BT: Lösungen auf Helgoland als Blaupause für globale Projekte

### Hydrogenious LOHC Technologies GmbH

#### Partner aus dem TransHyDE-Projekt Helgoland

Das 2013 gegründete deutsche Unternehmen Hydrogenious LOHC Technologies ist ein Pionier auf dem Gebiet der Speicherung und des Transports von Wasserstoff in flüssigen organischen Wasserstoffträgern (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC).

Bei dem von Hydrogenious entwickelten Verfahren wird Wasserstoff sicher an das schwer entflammable Thermalöl Benzyltoluol (LOHC-BT) gebunden und kann unter Umgebungsbedingungen in konventioneller und bereits vorhandener Flüssigbrennstoff-Infrastruktur verlustfrei über weite Distanzen gelagert oder transportiert werden. LOHC-BT kann zudem hunderte Male für die Speicherung und den Transport von Wasserstoff wiederverwendet werden. Hydrogenious schließt mit seiner Technologie die Lücke zwischen Wasserstoffproduzenten in Regionen mit gutem Zugang zu regenerativen Energiequellen und den energieintensiven Industrien als Abnehmer großer Mengen Wasserstoffs. Mit seinen internationalen Joint-Venture- und Tochterfirmen bietet Hydrogenious eine sichere und flexible globale Wasserstoffinfrastruktur auf LOHC-BT-Basis – von der Technologie-Lizenzierung bis hin zu schlüsselfertigen (De-)Hydrierungsanlagen im industriellen Maßstab.

Hydrogenious ist im Rahmen des TransHyDE-Projekts Helgoland an verschiedenen Projektabschnitten beteiligt, die bis 2025 ausgearbeitet werden. In 2023 lag der Fokus des Engineerings auf der Entwicklung einer LOHC-BT-Hydrieranlage für den theoretisch betrachteten Standort Helgoland. Aufgrund der schwierigen Umweltbedingungen sowie der Nähe zu Anwohnern und Tourismus ist die Insel ein optimaler Forschungsstandort. Unter Berücksichtigung dieser besonderen Voraussetzungen soll das TransHyDE-Projekt Helgoland als reproduzierbare und skalierbare Blaupause für weltweite Standorte von LOHC-BT-Hydrieranlagen dienen. Zwei Aspekte wurden zunächst besonders untersucht:

- Wie wirkt sich eine fluktuierende Wasserstoffverfügbarkeit auf die Auslegung der LOHC-BT-Hydrieranlage aus?
- Wie kann die entstehende Überschusswärme des Hydrierungsprozesses effizient für das lokale Wärmenetz genutzt werden?

#### Entwurf einer LOHC-Hydrieranlage bei fluktuierender Wasserstoffverfügbarkeit

Ein zentrales Ziel des Engineerings war die Entwicklung einer Hydrieranlage (StoragePLANT) zur Speicherung des Wasserstoffs in LOHC-BT, die mit einer fluktuierenden Wasserstoffbereitstellung umgehen und dynamisch betrieben werden kann. Der Grüne Wasserstoff, der für die sichere Lagerung und den Weitertransport auf das Festland in LOHC-BT eingespeichert werden soll, wird aus Windenergie erzeugt. Diese unterliegt natürlichen Schwankungen. Um die Randbedingungen für derartig dynamische Anforderungen zu präzisieren, wurden die Winddatenprofile der Insel Helgoland in stündlicher Auflösung für mehrere Jahre ausgewertet und das Setup aus geplanten Windenergieanlagen, Elektrolyse, Pipeline und StoragePLANT unter diesem Gesichtspunkt bewertet. Aus der Analyse konnten die notwendigen Randbedingungen für die Planung der StoragePLANT abgeleitet werden.

Die geeignete Größe der Hydrieranlage hängt im Wesentlichen von der Anzahl bzw. der installierten Leistung der Windenergieanlagen und Elektrolyseure vor der Insel Helgoland, sowie von der Länge der Pipeline dazwischen ab. Berücksichtigt wurden zwei Elektrolyseure mit je 10 MW Leistung, die dem Windprofil folgen. Neben der maximalen Wasserstoffspeicherkapazität der StoragePLANT mit 12 tpd (Tonnen pro Tag) gibt es weitere Variablen, zum Beispiel die minimale Teillast, die maximale Laständerungsgeschwindigkeit bezogen auf den Massenstrom sowie die Art der mög-

lichen Betriebspunkte (diskontinuierlich oder kontinuierlich). Im konkreten Anwendungsfall war zu prüfen, ob die installierte Leistung der Windkraftanlagen und die Dimensionierung der Pipeline zur Kapazität der StoragePLANT passen. Hierzu wurde das Windprofil ausgewertet und die daraus resultierende Laständerung zwischen zwei Datenpunkten bzw. innerhalb einer Stunde berechnet (Abb. 1).

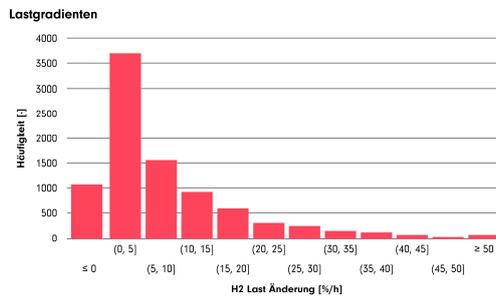


Abbildung 1: Häufigkeit der Laständerung des Wasserstoffmassenstroms

In Abb. 2 sind diese Daten als kumulative Verteilungsfunktion, dargestellt, die zeigt, dass die StoragePLANT mindestens für eine Laständerung von 30 % pro Stunde, bezogen auf den Eingangsmassenstrom von Wasserstoff und unbeladenem LOHC-BT, ausgelegt sein muss, um 95 % der auftretenden Fälle abzudecken.

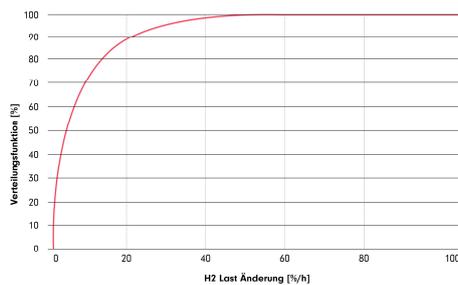


Abbildung 2: Kumulative Verteilungsfunktion der Laständerung des Wasserstoff-Massenstroms

Diese Anforderungen wurden im Rahmen des Basic Engineering untersucht. Die StoragePLANT wurde dabei so flexibel ausgelegt, dass die vorgegebenen dynamischen Anforderungen erfüllt werden können. Das Ergebnis zeigt: Die LOHC-BT-Hydrieranlage kann auch mit fluktuierenden Wasserstoffmengen umgehen - eine wichtige Voraussetzung, die auch für andere Szenarien, zum Beispiel bei der Erzeugung von Wasserstoff mithilfe von Solarenergie, entscheidend sein kann.

### Mögliche Integration der Hydrieranlage ins Wärmenetz der Insel Helgoland

Parallel zur Wasserstoffbereitstellung wurde die Überschusswärmenutzung einer LOHC-BT-Hydrieranlage am Beispiel der Einbindung in ein Fernwärmenetz betrachtet: Bei der Einspeicherung von Wasserstoff in das LOHC-BT wird Energie in Form von Wärme frei (ca. 9 kWh/kgH<sub>2</sub> – entsprechend Temperaturen von 200 bis 250 °C), die vor Ort in Form von Dampf oder gebunden an ein Wärmeträgeröl genutzt werden kann. Untersucht wurde die Möglichkeit einer Überschusswärmenutzung aus der StoragePLANT, um den Wärmebedarf der Insel Helgoland zu decken.

Zur Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Faktoren auf

die Wirtschaftlichkeit wurden verschiedene Standortoptionen auf der Insel Helgoland sowie unterschiedliche Anlagengrößen betrachtet: eine StoragePLANT mit einer Wasserstoffspeicherkapazität von 5 tpd und eine mit 12 tpd. Die Wärme soll über einen Dampfkreislauf ausgekoppelt und in ein Wärmenetz eingespeist werden. Dies ist in Abb. 3 schematisch dargestellt. Auf Basis der vorliegenden Daten und Rahmenbedingungen zeigt die Untersuchung für Helgoland, dass der wirtschaftliche Anreiz für eine Investition in die Wärmekopplung mit der StoragePLANT durch den Wärmenetzbetreiber gegeben wäre.

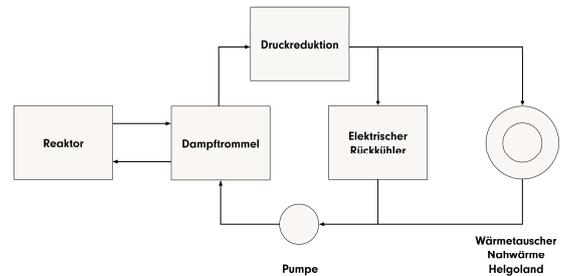


Abbildung 3: Dampfkreislauf und Einbindung ins Wärmenetz

Neben der Wirtschaftlichkeit wurde auch die Wärmebedarfsdeckung anhand von stündlich aufgelösten Windprofilen für mehrere Jahre untersucht. Es wurde angenommen, dass die StoragePLANT dem Windprofil folgt. Daraus ergeben sich starke Schwankungen in der LOHC-BT-Wärmeerzeugung über das Jahr (ca. 1.500 MWh bis 2.500 MWh). Trotz dieser Schwankungen könnte je nach Anlagengröße ein Großteil des jährlich anfallenden Wärmebedarfes der Insel Helgoland allein durch die Überschusswärme des Hydrierprozesses gedeckt werden:

- ca. 70 % jährliche Wärmebedarfsdeckung durch LOHC-BT-Überschusswärme bei einer 12 tpd StoragePLANT
- ca. 50 % jährliche Wärmebedarfsdeckung durch LOHC-BT-Überschusswärme bei einer 5 tpd StoragePLANT

### LOHC bietet große Chancen für eine globale Wasserstoffverfügbarkeit

Beide untersuchten Teilaspekte des TransHyDE-Projekt Helgoland zeigen die Stärken und Chancen, die LOHC-BT als Transportmedium für die Bereitstellung von Grünem Wasserstoff bietet. Sowohl der flexible Umgang mit Lastschwankungen regenerativer Energiequellen, der viele andere Technologien vor große Herausforderungen stellt, als auch die wirtschaftlich sinnvolle und gewinnbringende Ausnutzung von Nebenprodukten – hier die Überschusswärme des Hydrierungsprozesses – sind mit der Auslegung der StoragePLANT voll umsetzbar. Sprechen Sie uns an - wir erarbeiten eine auf Ihre Bedürfnisse maßgeschneiderte Lösung.

#### Ansprechpartner

Siying Huang

#### Kontaktinformationen

Hydrogenious LOHC Technologies GmbH

Weidenweg 13

91058 Erlangen, Deutschland

Telefon: +49 (0)9131-12640-0

E-Mail: [inquiries@hydrogenious.net](mailto:inquiries@hydrogenious.net)

## Impressum

Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE  
Geschäftsstelle Kommunikation und Koordination  
E-Mail: [koordination@transhyde.de](mailto:koordination@transhyde.de)

Webseite:  
[www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde](http://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde)  
Linked-In: Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE

Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion  
Stiftstraße 34-36  
45470 Mülheim an der Ruhr

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG  
Gulbener Straße 23  
03046 Cottbus

**cruh21** GmbH – Part of Drees & Sommer  
c/o Drees & Sommer Hamburg  
Ludwig-Erhard-Straße 1  
20459 Hamburg