



## TransHyDE

Transport- und Speicherinfrastruktur  
für Grünen Wasserstoff

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



© Bundesregierung / Guido Bergmann

## Liebe Leserinnen und Leser,

die Energie von morgen muss sicher, sauber und solide sein. Grüner Wasserstoff ist unsere Chance, voll und ganz auf Erneuerbare Energien zu setzen. Damit treiben wir die Transformation in Richtung Nachhaltigkeit und Klimaneutralität voran, befreien uns von einseitigen Abhängigkeiten und sichern langfristig unseren Wohlstand.

Als Bundesforschungsministerium fördern wir mit drei Wasserstoff-Leitprojekten innovative Technologien, um derzeit noch bestehende Hürden für eine Wasserstoffwirtschaft abzubauen:

Wie gelingt die Serienfertigung großskaliger Elektrolyseure (H<sub>2</sub>Giga)?  
Wie lassen sich Wasserstoff und weitere Power-to-X-Produkte auf See erzeugen (H<sub>2</sub>Mare)?

Und – in diesem Heft im Mittelpunkt – welche Technologien eignen sich, um Wasserstoff zu speichern und zu transportieren (TransHyDE)? Seit Beginn der Leitprojekte im April 2021 arbeiten Forschung und Industrie Hand in Hand an Lösungen für diese Herausforderungen.

Grüner Wasserstoff muss dort produziert werden, wo es am günstigsten ist. Folglich braucht die Wasserstoffwirtschaft eine geeignete Transport-Infrastruktur, damit sie funktioniert. Das betrifft den Grünen Wasserstoff, der aus besonders wind- und sonnenreichen Regionen der Welt importiert wird, aber auch den, der in Deutschland selbst produziert wird.

TransHyDE wird verschiedene Speicher- und Transportmöglichkeiten für Wasserstoff demonstrieren und bewerten. Vier Umsetzungsverbände nehmen sich dabei jeweils einer Transporttechnologie an. Fünf Forschungsverbände unterstützen sie wissenschaftlich bei übergreifenden Themen, wie der Materialforschung oder der Anlagensimulation. Besonders wichtig für einen schnellen Weg in die effektive und effiziente Anwendung: Neben neuen und optimierten Technologien stehen am Ende auch Empfehlungen, welche Transporttechnologie sich für welchen Einsatz am besten eignet.

Die Forschungsergebnisse aus TransHyDE helfen, eine deutsche Wasserstoffwirtschaft aufzubauen, aber auch internationale Partnerschaften. Deutschland wird weiterhin ein Importland für Energie bleiben. Das Wissen und die Technik zum Wasserstoff-Transport können aber unsere Exportschlager werden.

Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre!

**Bettina Stark-Watzinger**

Mitglied des Deutschen Bundestages  
Bundesministerin für Bildung und Forschung

# TransHyDE

## Speicher- und Transportlösungen für Grünen Wasserstoff

Für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft ist die Beschreibung und Entwicklung einer Speicher- und Transportinfrastruktur essentiell. Das Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE, mit seinen fünf Forschungs- und vier Umsetzungsverbänden erarbeitet Lösungen, wie ideale Wasserstoff-Infrastrukturen beschaffen sein sollten, um größtmögliche Effizienz und Resilienz zu schaffen.

Im technologischen Zentrum von TransHyDE steht die Erforschung und Entwicklung von Transport- und Speicheroptionen folgender molekularer Energieträger: gasförmiger Wasserstoff ( $\text{gH}_2$ ), flüssiger Wasserstoff ( $\text{LH}_2$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) sowie flüssiger organischer Träger (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC). Die Projektstruktur von TransHyDE gewährleistet einen kontinuierlichen und wechselseitigen Austausch zwischen den Forschungs- und Umsetzungsverbänden. Durch die enge Informationskopplung wird einerseits sichergestellt, dass anwendungsnah geforscht wird, und andererseits eine auf aktuellsten Erkenntnissen beruhende technische Umsetzung erfolgt. Die erarbeiteten Ergebnisse fließen darüber hinaus direkt in Roadmapping Prozesse für die Entwicklung einer Wasserstoffinfrastruktur bis 2045 sowie die Schließung von Normierungs-, Standardisierungs-, Zertifizierungs- und regulatorischen Lücken ein.

Die agile Projektstruktur des TransHyDE-Ökosystems aus Verbänden und Arbeitspaketen ermöglicht eine fortwährende Anpassung an die Erfordernisse des dynamischen und technologischen Projektumfelds.



### Projektstruktur

01. Systemanalyse
02. Sichere Infrastruktur
03. AmmoRef
04. AppLHy!
05. Norm
  - A. Mukran
  - B. GET H<sub>2</sub> TransHyDE
  - C. CAMPFIRE
  - D. Helgoland

# Vorstellung Koordinatoren

Ende 2020 konzipierten Prof. Robert Schlögl, Prof. Mario Ragwitz und Jimmie Langham das Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE und definierten die Verbundvorhaben. Seit 2021 sind sie vom BMBF als die drei TransHyDE Gesamtkoordinatoren bestellt.



**Prof. Dr. Robert Schlögl**

Der Chemiker Prof. Robert Schlögl ist eine Schlüsselfigur der deutschen Energiewende. Die Ergebnisse seiner Forschungsprojekte bilden ein facettenreiches Fundament für seine vielfältige Beratertätigkeit für die Bundesregierung und supranationale Organisationen zu energiepolitischen Fragen. Seit 1994 ist Prof. Schlögl Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und Honorar-Professor an der Technischen Universität Berlin. 2011 war er Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr, das er bis 2022 leitete. Seit 2011 ist er Vizepräsident der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina in Halle, seit 2013 Honorar-Professor an der Universität Duisburg-Essen und seit 2016 Beiratsvorsitzender der BMBF geförderten Kopernikus Forschungsinitiative zur Energiewende. 2019 ernannte das Center for Catalysis and Surface Science der Northwestern University in Evanston, Illinois Prof. Schlögl zum Ipatieff Dozenten. 2020 erhielt er die Ehrendoktorwürde der Universität Darmstadt. Er ist für 2023 designierter Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung in Bonn. Während seiner Laufbahn erhielt Prof. Schlögl viele Auszeichnungen für sein wissenschaftliches Engagement, darunter 2017 den ENI Award für seinen "Vielfältigen Ansatz zur Ermöglichung der Transformation der Energiesysteme", 2016 den Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen und 2015 den Alwin Mittasch-Preis.



**Prof. Dr. Mario Ragwitz**

Der Physiker Prof. Mario Ragwitz widmet sich in seiner wissenschaftlichen Tätigkeit Fragestellungen der Energiesystemanalyse, der Modellierung und Analyse von Energiesystemen und -infrastrukturen sowie der Policy Analyse und Transformationsforschung im Energie- und Klimabereich. Seit 2014 ist Prof. Ragwitz Honorarprofessor an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg an der Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, seit 2017 Part-Time Professor am Robert Schuman Centre for Advanced Studies des European University Institute in Florenz. Gemeinsam mit Prof. Rolf Bracke leitet er seit 2019 die Fraunhofer Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG) und koordiniert als wissenschaftlicher Direktor des Fraunhofer Cluster of Excellence »Integrierte Energiesysteme« die gemeinsame Forschung von acht Fraunhofer-Instituten im Themenfeld der Transformation des Energiesystems. 2020 wurde er zum Sprecher des Fraunhofer-Wasserstoff-Netzwerks berufen, welches die Arbeit von 35 Instituten in diesem Themenfeld koordiniert. Als Professor der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg leitet er an der Fakultät für Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme das Fachgebiet »Integrierte Energieinfrastrukturen«. Neben der deutschen Bundesregierung berät er die Europäische Kommission, den Deutschen Bundestag, das EU-Parlament, die Weltbank, nationale Regierungen und Unternehmen.



**Jimmie Langham**

Der ehemalige Tischtennis-Bundesligatrainer und Hauptgeschäftsführer des Verbands Deutscher Tischtennisstrainer studierte in Karlsruhe, Hamburg und London Architektur und Stadtplanung. Nach seiner Ausbildung arbeitete er mehrere Jahre als freiberuflicher Projektmanager für unterschiedliche Planungs- und Ingenieurbüros in Hamburg. In diesem Kontext begann er 2008 seine Beratertätigkeit in der Energiebranche. Im Jahr 2012 fing er bei E.ON in der Projektentwicklung Offshore Wind zu arbeiten an. Ab 2017 war er als „Regulatory & Strategy Advisor“ erstmals für die Projektentwicklung im Bereich Offshore Wind & Wasserstoff zuständig. Bei der Neuausrichtung von E.ON und RWE im Jahr 2019 wechselte er zu RWE Renewables. Dort gründete er 2020 im Rahmen seiner Beraterfunktion die AquaVentus Initiative mit – eines der größten geplanten Wasserstoffherstellungsvorhaben weltweit. Als Geschäftsführer von AquaVentus, leitete er das Koordinationsbüro, aus dem 2021 das Beratungsunternehmen **cruh21** hervorging, dessen Geschäftsführer Langham ist. Das Unternehmen legt seinen Beratungsfokus auf die Themen Grüner Wasserstoff, Sektorkopplung und das erneuerbare Energiesystem. Für seine Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten wurde **cruh21** jüngst mit dem Siegel „Innovation durch Forschung“ im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ausgezeichnet.

# Die Geschäftsstelle von TransHyDE

Die Geschäftsstelle von TransHyDE ist Teil der übergreifenden Projektstruktur (Verbund Kommunikation und Koordination), die in beratender und unterstützender Funktion den drei Koordinatoren unterstellt ist. Zusätzlich soll durch die Geschäftsstelle der Informationstransfer zwischen den Koordinatoren und dem gesamten Projekt sowie unter den Projekt-Verbänden gestärkt werden. Die Geschäftsstelle setzt sich aus Mitarbeitenden des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion, der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG und des Beratungsunternehmens **cruh21** zusammen.

## Aufgaben der Geschäftsstelle

### Projektinterne Aufgaben

- Umsetzung der TransHyDE Gesamtstrategie in Abstimmung mit den Koordinator:innen
- Interne Koordination und Kommunikation mit den Teilprojekten
- Organisation von projektübergreifenden Veranstaltungen, Treffen der Koordinator:innen, jährlichen Vollversammlungen und weiteren Konferenzen
- Zentrale Anlaufstelle für die TransHyDE-Technologieplattform
- Aufbereitung von Daten, Präsentationen für die Koordinatoren und die TransHyDE-Technologieplattform
- Erarbeitung von Vorschlägen zur Anpassung des regulatorischen Rahmens
- Erstellung eines projektinternen Newsletters

### Projektexterne Aufgaben

- Vertretung der Geschäftsstelle und Unterstützung bei Koordinatoren-Besuchen
- Zentrale Anlaufstelle für externe Partner, Organisationen, Medien und Vertreter:innen der Zivilgesellschaft
- Austausch mit den Ministerien zu regulatorischen und genehmigungsrechtlichen Fragen der Wasserstoff-Infrastruktur
- Erarbeitung von fachlichen Papern/Whitepapers zu aktuellen Themen der Wasserstoff-Speicher und -Infrastruktur
- Projektberichterstattung gegenüber dem Zuwendungsgeber

### Öffentlichkeitsarbeit

- Erarbeitung, Abstimmung und Herausgabe von Dokumenten für die öffentliche Darstellung des Projektes, dessen Ergebnisse sowie Veröffentlichungen aus dem Projekt heraus
- Planung, Koordination und Durchführung von Messeauftritten und wissenschaftlichen Konferenzen
- Koordination leitprojektübergreifender Veröffentlichungen und Veranstaltungen
- Diskussion mit der Öffentlichkeit auf nationaler und internationaler Ebene

Kontakt:

TransHyDE Geschäftsstelle Kommunikation und Koordination

E-Mail: [koordination@transhyde.de](mailto:koordination@transhyde.de)

# 01

## Systemanalyse

### Roadmapping und Infrastrukturentwicklung

Das Verbundprojekt TransHyDE-Sys (Systemanalyse) ist ein Forschungsvorhaben innerhalb der Technologieplattform TransHyDE, das sich explizit mit der systemischen Analyse von Transportlösungen für Grünen Wasserstoff befasst. Kernaufgabe ist die Darstellung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Transportinfrastruktur für Wasserstoff aus Sicht der energieintensiven Industrie sowie der Optimierung volkswirtschaftlicher Kosten.

Eine Transformation hin zu einer treibhausgasneutralen Gesellschaft kann nur gelingen, wenn die Versorgungssicherheit mit den benötigten, sich wandelnden Energieträgern und Rohstoffen nicht

nur im Zielsystem, sondern über den ganzen Übergangszeitraum gesichert ist. Dies bedingt die Integration neuer sowie die Umwandlung oder gegebenenfalls die Stilllegung von Energie- und Rohstoffinfrastrukturen. Zeitgleich ändert sich durch die Nutzung neuer Technologien bei den Anwendern, insbesondere in den energie- und emissionsintensiven Grundstoffindustrien, auch der Bedarf nach Art und Menge der genutzten Energie- und Rohstoffe, so dass nur eine gekoppelte Beschreibung der Komplexität gerecht wird. Das Ziel innerhalb der Systemanalyse ist die konsistente modellbasierte Beschreibung möglicher Entwicklungsperspektiven mithilfe von Szenarien.



© TransHyDE-Systemanalyse

Hierzu werden zwei komplementäre Ansätze verfolgt: Zum einen nimmt ein Stakeholder-Ansatz die geplanten Entwicklungen in der europäischen Grundstoffindustrie auf Unternehmensebene auf und leitet daraus die räumlich und zeitlich notwendigen Entwicklungen der Infrastrukturen ab. Zum anderen wird die Infrastrukturentwicklung mit Schwerpunkt auf Grünem Wasserstoff aus einer volkswirtschaftlichen Kostenminimierung betrachtet. Die parallele Vorgehensweise führt zu komplementären Ergebnissen, die einem umfassenden Modellvergleich unterzogen werden. Daraus können robuste Ergebnisse abgeleitet, politische Handlungsoptionen aufgezeigt und Herausforderungen identifiziert werden. Dabei werden

Erkenntnisse der anderen TransHyDE Forschungs- und Umsetzungsverbände in die Modelle aufgenommen und einer vergleichenden Bewertung unterzogen. Damit wird eine systemische Einordnung dieser Technologien ermöglicht. Im Rahmen von TransHyDE-Sys werden die Erkenntnisse auf verschiedenen Ebenen publiziert und kommuniziert. Die Roadmap des Verbundes stellt als ein sich kontinuierlich entwickelndes, öffentlich zugängliches Dokument den wissenschaftlich-technischen Projektfortschritt von TransHyDE, die systemische Einordnung der Technologien und die sich daraus ergebenden Aussagen zusammen.

# 02

## Sichere Infrastruktur

### Materielle und technische Grundlagen zum sicheren Betrieb eines H<sub>2</sub>-Pipelinenetzes

Der Aufbau einer Transportinfrastruktur für Grünen Wasserstoff, vor allem für die Industrie, trägt wesentlich zum Erreichen der Klimaziele in Deutschland und Europa bei. Die Infrastruktur muss technisch zuverlässig, wirtschaftlich und zudem unfallsicher und beständig sein. Dieses Ziel soll im Rahmen des TransHyDE-Verbundvorhabens Sichere Infrastruktur an einem Verteilnetz demonstriert werden, welches für diesen Zweck von Erdgas auf Wasserstoffgas umgestellt wird. Hauptaufgaben des Verbundes sind die Erarbeitung von Bewertungskonzepten, Entwicklung von experimentellen Prüf- und numerischen Simulationen sowie der Aufbau eines Hochdruckprüfstands zur Kalibrierung und Eichung von Messgeräten für Wasserstoff. Die ermittelten Werkstoff- und Sensordaten fließen in die Auslegung der Komponenten dieses Verteilnetzes ein.

Bauteilauslegung, Werkstoffmechanik und Gassensorik müssen dahingehend weiterentwickelt werden, dass bestehende Erdgasleitungen auf H<sub>2</sub>-Readiness geprüft und neue H<sub>2</sub>-Gasleitungen entsprechend gefertigt werden können. Seit mehr als einem Jahrhundert ist bekannt, dass Wasserstoff die mechanischen Eigenschaften der meisten metallischen Legierungen negativ beeinflusst. Trotz jahrzehntelanger Forschung sind diese Mechanismen noch nicht vollständig aufgeklärt. Normen zur Bauteilauslegung, sollen über die gewonnenen Erkenntnisse so erweitert werden, dass Bauteile für den Hochdruck-

wasserstoffbetrieb unfallsicher und kostengünstig ausgelegt sowie ressourcensparend produziert werden können. Das aus dem Umstellungsprozess gewonnene Knowhow wird in einem Leitfaden zusammengefasst und in die jeweiligen Normungsgremien eingebracht. Weiterhin wird eine Roadmap für die Umstellung von Verteilnetzen auf den Wasserstoffbetrieb erarbeitet.

Der TransHyDE-Verbund **Sichere Infrastruktur** umfasst:

- die Bereitstellung von Konzepten und Methoden zur Bewertung von Werkstoffen und Bauteilen im Kontakt mit gasförmigem Wasserstoff und deren Eignung für einen unfallsicheren und dauerhaften Einsatz unter praxisnahen Bedingungen in einer realen Wasserstoff-Transportinfrastruktur;
- die Entwicklung von Gassensoren und Sensorsystemen zur Erhöhung und zur Gewährleistung der Sicherheit von Wasserstoffinfrastrukturen und Komponenten; Erprobung der Sensorik unter praxisnahen Bedingungen am Prüfstand und Integration in eine reale Wasserstoff-Transportinfrastruktur;
- den sicheren und langfristigen Betrieb von Erdgas-Transport- und Verteilnetzen, welche auf Wasserstoff umgestellt werden;
- die Erarbeitung einer Roadmap und eines Leitfadens für die Umstellung von Verteilnetzen.



# 03

## AmmoRef

### Katalysatoren für die industrielle $\text{NH}_3$ -Reformierung

Der Verbund AmmoRef hat zum Ziel, eine anwendungsbezogene, industriell umsetzbare, sichere und kosteneffiziente Technologie zur Reformierung von Ammoniak, d.h. die Rückgewinnung von reinem Wasserstoff, zu erforschen und weiterzuentwickeln, um eine umweltschonende, ökonomische und sichere Lösung für die zukünftige Energieversorgung zu gewährleisten. Dies ist eine notwendige Grundlage, um Ammoniak großtechnisch als Wasserstoffspeicher zu verwenden.

Ein intelligent gewähltes, an den Anwendungsfall angepasstes Management der Energieflüsse für den Wärmeeintrag, für die Stofftrennung und die Kompression wird für die Ammoniak-Reformierung erarbeitet. Dies erfordert eine nachhaltige Energieversorgung und wärmetechnische Integration sowie eine hochgradige stoffliche Trennung und robuste Reaktoren mit hoher spezifischer Umsatzleistung. Es werden zwei bedarfsoptimierte Lösungswege erarbeitet, bei der die Ammoniak-Reformierung zum einen bei Niederdruck (Atmosphärendruck) und zum anderen bei Hochdruck ( $\geq 30$  bar) abläuft. Die Prozesse werden im Technikumsmaßstab in bestehende Infrastrukturen integriert und dargestellt, wobei Wasserstoffreinheiten von  $>99,9\%$  angestrebt sind.

Für den Prozess sind hochaktive Katalysatoren notwendig, die stabil und kosteneffizient ohne Edelmetalle arbeiten. Verschiedene Synthesemethoden werden genutzt, um unterschiedliche Realstrukturen zu erzeugen sowie deren Reaktivität und strukturelle Desaktivierung durch spektroskopische Grundlagenforschung und Modellierung zu untersuchen. Eine zentrale Funktion übernimmt dabei die Nitridforschung, in der die N-H Bindungsverhältnisse untersucht werden. Durch diesen wissensbasierten Ansatz werden die Katalysatoren im Verbund entwickelt und optimiert. Die Katalysatoren werden zudem an den TransHyDE-Umsetzungsverband CAMPFIRE zur Demonstration in einem weiteren industriellen Umfeld übergeben.

# 04

## AppLHy!

### Transport und Synergien von LH<sub>2</sub>

Im Verbund AppLHy! werden verschiedene Technologien zur Bereitstellung, zur effizienten Speicherung sowie des Transports von flüssigem Wasserstoff (LH<sub>2</sub>) analysiert und zur Anwendung gebracht. Darüber hinaus werden mögliche Synergien des tiefkalten LH<sub>2</sub> mit elektrischen Komponenten sowie dem effizienten Transport elektrischer Energie erarbeitet. Begleitend werden Sicherheits- und Materialaspekte für Tieftemperatur-Wasserstoffumgebungen untersucht.

LH<sub>2</sub> birgt durch seine intrinsische Reinheit, extrem hohe gravimetrische und hohe volumetrische Energiedichte große Potentiale innerhalb einer Wasserstoffwirtschaft. Weitere Synergieeffekte sind durch Nutzung der Kälte sowie in Verbindung mit Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) möglich.

Die Bereitstellung des LH<sub>2</sub> erfolgt im Allgemeinen durch großtechnische Verflüssigungsanlagen. Im Rahmen von AppLHy! werden auch diesbezügliche Komponenten untersucht. Bei der nachfolgenden Speicherung und dem Transport des LH<sub>2</sub> steht die Verringerung der Verdampfungsverluste durch Entwicklung effizienter Rückverflüssigungsverfahren im Vordergrund. Weitere Optimierung wird durch eine kontaktlose Füllstandmessung des Speichertanks auf Basis von Oberflächenwellen-Sensoren sowie ein auf LH<sub>2</sub> zugeschnittenes Pumpensystem erreicht. Spezielle Testplattformen ermöglichen hierbei eine präzise Charakterisierung der entwickelten

Komponenten. Der Einsatz der LH<sub>2</sub>-Kälte in konventionellen Kühlkreisläufen ist ein weiterer Aspekt zur Steigerung der Effizienz der LH<sub>2</sub>-Nutzungskette.

Im Weiteren werden mögliche Synergien im kombinierten Transport von elektrischer Energie und LH<sub>2</sub> demonstriert. Der widerstandsfreie Transport der elektrischen Energie wird über HTS-Bandleiter ermöglicht, deren Eignung zum Einsatz in LH<sub>2</sub> parallel untersucht wird. Weitere Optimierungspotentiale verspricht der Betrieb elektrischer Komponenten in Kombination mit LH<sub>2</sub>.

Neben der technischen Funktionsfähigkeit aller Komponenten und Materialien wird besonderer Wert auf die Beantwortung sicherheitsrelevanter Fragestellungen gelegt. Dies beinhaltet die Untersuchung postulierter Unfallszenarien und die Entwicklung von Sicherheitsstrategien zur Gewährleistung des sicheren Betriebs. Gleichzeitig stellt die kryogene Umgebung und der Wasserstoff selbst besondere Anforderungen an die verwendeten Materialien. Durch Materialcharakterisierungen relevanter Funktions- und Strukturmaterialien wird die Wissensbasis für eine sichere Werkstoffauswahl im Kontext mit LH<sub>2</sub> sichergestellt.

Die hieraus resultierenden Erkenntnisse leisten wichtige Beiträge, um über adäquate Normierung und Zertifizierung eine ganzheitliche Akzeptanz von kryogenem Wasserstoff zu fördern.

© Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Irina Westermann



# 05

## Norm

### Bestandsaufnahme von Regelwerken, Bedarfsanalyse und Handlungsempfehlung zur Schließung von Normierungs-, Standardisierungs- und Zertifizierungslücken

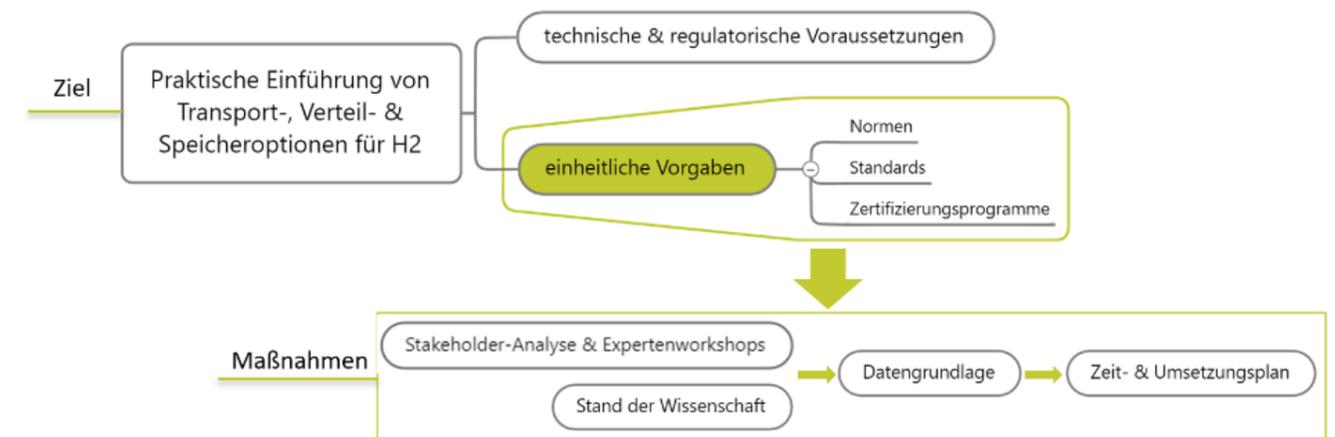
Für die praktische Einführung von Transport-, Verteil- und Speicheroptionen für Wasserstoff bzw. andere chemische Energiebedarfe gibt es neben den technischen und regulatorischen Voraussetzungen auch einheitliche Vorgaben in Form von Normen, Standards und Zertifizierungsanforderungen. Ziel des Verbunds Normung, Standardisierung und Zertifizierung (Norm) ist es, die genannten Aspekte ganzheitlich zu untersuchen, um so Regelungslücken aufzuzeigen und Lösungsansätze zu entwickeln.

#### Aufgaben und Herausforderungen

Angestrebt wird eine umfassende Dokumentation existierender Vorgaben sowie die darauf aufbauende Bedarfsanalyse von zu

entwickelnden oder zu überarbeitenden Regelsetzungen verschiedener Transporttechnologien für Wasserstoff. Dabei kann der Wasserstoff sowohl in gasförmiger oder flüssiger Form als auch gebunden in Ammoniak oder LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) vorliegen.

Der Verbund ermittelt den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik. Bereits bestehende nationale, europäische und internationale Normen, technische Anwendungsregeln und Zertifizierungsanforderungen werden in einer Datensammlung inventarisiert und fortlaufend aktualisiert. Aufbauend auf der Bestandsanalyse erfolgt eine Bedarfsanalyse im Zuge der Durchführung von Experteninterviews. Dazu werden alle in TransHyDE vertretenen Verbände



Die Abbildung stellt den Ablauf des Projekts basierend auf dem Ziel der „praktischen Einführung von Transport-, Verteil- und Speicheroptionen für Wasserstoff“ dar. © Norm

angesprochen. Die Auswertung bzw. Bewertung der qualitativen Antworten liefert wiederum die Basis für die zu identifizierenden aktuellen Regelwerkslücken.

Weiterhin werden die nationalen, europäischen und internationalen Normungsinstitute sowie nationale und internationale Berufs- und Branchenverbände, wie auch weitere Interessengruppen für ein vollständiges Bild im Rahmen einer Stakeholderanalyse und darauf aufbauenden Expertenworkshops konsultiert. Die zusammengetragenen Erkenntnisse münden in einem gemeinsamen Datenbestand. Abschließend werden alle Ergebnisse in einer Normungs-Roadmap mit einem Zeit- und Umsetzungsplan als klare Handlungsempfehlung

zusammengefasst. Eine stetige Zusammenarbeit und ein regelmäßiger Austausch mit den anderen Verbänden in TransHyDE ist für die Erreichung dieser Ziele Voraussetzung.



# A

## Mukran

Trimodaler H<sub>2</sub>-Transport und Erprobung der gesamten H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette mittels innovativer Hochdruck-Kugelspeicher

Welche Möglichkeiten haben Wasserstoffanwender, die noch nicht an eine Wasserstoffpipeline angeschlossen sind?

Das Konsortium des Verbundes Mukran will darauf eine Antwort geben. Ziel des Verbundes ist es, einen trimodalen Transport von Wasserstoff in Hochdruck-Kugelspeichern, der per Schiff, Zug und LKW zu den Verbrauchern gelangen soll, zu untersuchen und die gesamte Wertschöpfungskette von der Wasserstoffbereitstellung, über den -Transport, die -Speicherung bis hin zum Endanwender praktisch zu erproben. Dieser dezentrale Transportansatz erlaubt es, zukünftige Wasserstoffkonsumenten ohne eigenen Zugang zum Wasserstoff-pipelinennetz zu bedienen.

Wichtiger Teil des Projektes in Mukran ist die Entwicklung von zwei neuartigen Wasserstoffspeicherbehältern. Im Detail handelt es sich um kugelförmige Hochdruckspeicher, die wegen ihrer Materialzusammensetzung und einem innovativen Fertigungsverfahren ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber aktuell am Markt verfügbaren Speicheroptionen erreichen sollen. Die Behälter sind in standardisierten Containerformaten verbaut, um den trimodalen Transport zu ermöglichen. Darüber hinaus ist der Bau einer Wasserstofftankstelle im Hafen angedacht, die die Abnehmer direkt vor Ort versorgen könnte.

# B

## GET H<sub>2</sub> TransHyDE

### Umstellung von Erdgastransportnetzen auf H<sub>2</sub> und sicherer Betrieb von H<sub>2</sub>-Pipelinenetzen

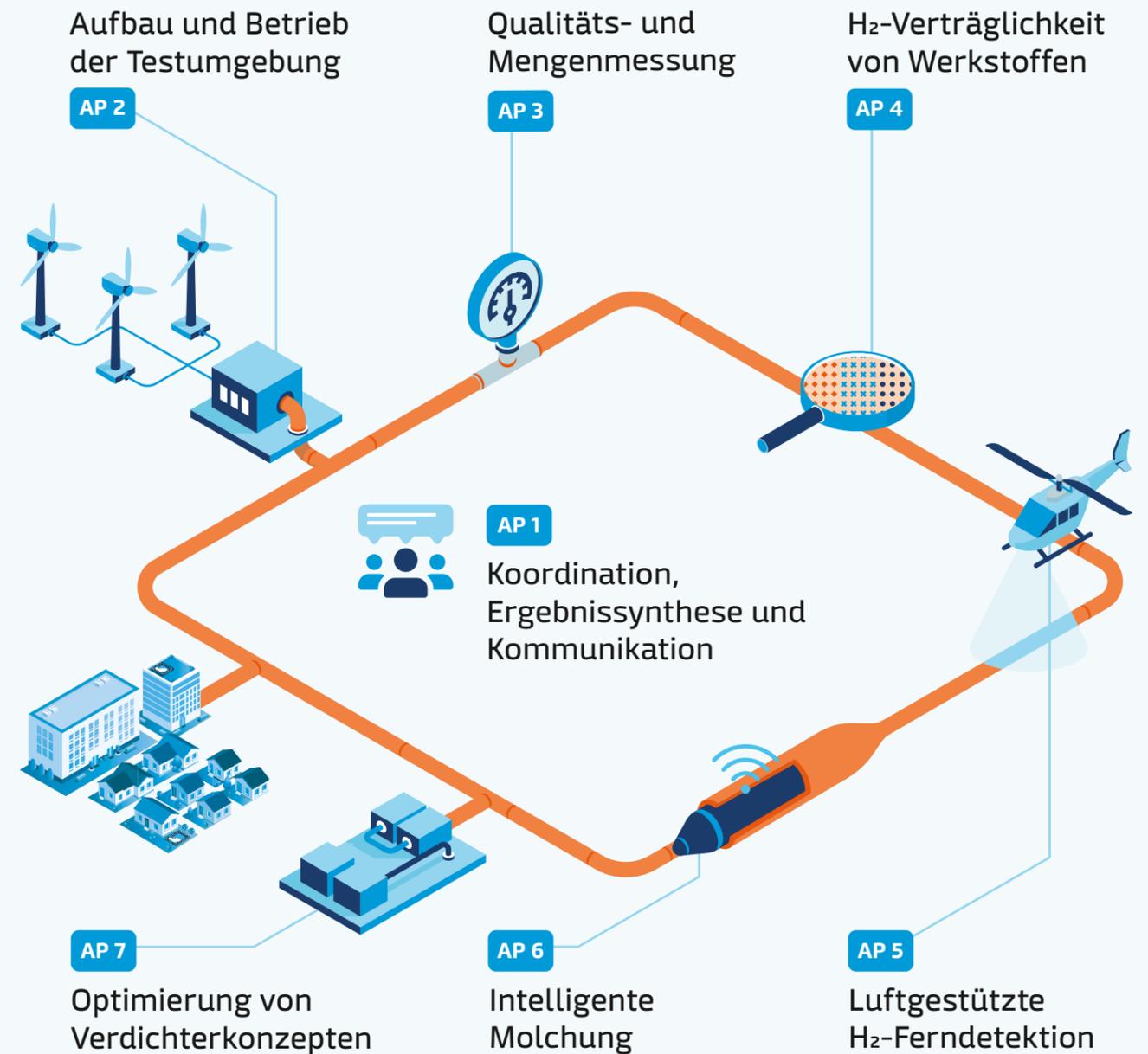
Die existierende Gasinfrastruktur soll zukünftig auch für den Transport von Wasserstoff verwendet werden. Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene liegen umfangreiche Planungen für den Aufbau eines Wasserstofftransportnetzes vor. Demnach sollen in Deutschland bis 2030 bereits 5.100 km und in Europa 28.000 km H<sub>2</sub>-Transportleitungen verfügbar sein, um 71 bzw. 330 TWh/a Wasserstoff zu transportieren.

Um den Aufbau der leitungsgebundenen Transport-Infrastruktur für Wasserstoff zu unterstützen, werden im Verbundvorhaben GET H<sub>2</sub> TransHyDE wichtige infrastrukturelle und operative Fragestellungen bearbeitet. Dafür werden wissenschaftliche und technische Arbeitsziele entlang der gesamten Transportkette von Einspeisung von langfristig Grünem Wasserstoff bis zur Ausspeisung verfolgt. Für die vorgesehenen experimentellen wissenschaftlichen Untersuchungen werden Gasleitungen eingesetzt, in denen bereits über viele Jahre Erdgas transportiert wurde. Bei der Umstellung von bestehenden Erdgasleitungen sind insbesondere sicherheitstechnische Aspekte wie Materialfragen zu klären. Verdichteranlagen spielen bei der Einspeisung und beim Leitungstransport eine wichtige Rolle. Daher sollen Umrüst- und Neubauoptionen für Einspeise- und Leitungsverdichteranlagen im Rahmen des Projektes evaluiert und deren

Zusammenspiel optimiert werden. Zur Aufrechterhaltung des hohen Sicherheitsniveaus beim Transport von Wasserstoff bedarf es der regelmäßigen Überprüfung des Leitungssystems. Hierzu werden innovative Molchungsverfahren und ein hubschraubergestütztes Ferndetektionssystem für Wasserstoff entwickelt und erprobt.

GET H<sub>2</sub> TransHyDE entwickelt praxistaugliche Konzepte für die Mengenmessung, mit denen die eichrechtlichen Anforderungen eingehalten werden können. Außerdem werden verschiedene Probenahme- und Analyseverfahren für die Überwachung der Gasbeschaffenheit entwickelt und unter realen Bedingungen getestet. Weiterhin werden Gasaufbereitungskonzepte zur kundenspezifischen Einhaltung von Gasbeschaffenheitsanforderungen erstellt. Hierzu wird im Projekt ein Test- und Demonstrationsumfeld rund um eine Versuchspipeline in Lingen aufgebaut und betrieben. Dies ermöglicht es, an einem existierenden Leitungssystem mit bereits gealterten Werkstoffen deren Wasserstofftauglichkeit zu untersuchen.

Die erzielten Erkenntnisse geben wichtige Impulse für die deutschlandweite Einführung des leitungsgebundenen Wasserstofftransports, um eine bedeutende nationale und europäische Transportlösung für Wasserstoff zu erschließen.





## CAMPFIRE

### NH<sub>3</sub>-Wertschöpfungskette als Energieträger und H<sub>2</sub>-Speicher

Der Verbund CAMPFIRE beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung neuer Energieumwandlungs- und Speichertechnologien für das zukünftige Energiesystem auf der Basis von Grünem Ammoniak. Neben technischer Umsetzung werden ebenso rechtliche Rahmenbedingungen und Akzeptanzfragen betrachtet.

Ammoniak (chemisch NH<sub>3</sub>) stellt durch seine leichte Verflüssigbarkeit (8 bar bei Raumtemperatur oder -33°C bei Atmosphärendruck), die hohe volumetrische Energiedichte im verflüssigten Zustand (3,2 kWh/l) sowie über die langjährige Erfahrung der Agrar- und chemischen Industrie eine gute und sichere Möglichkeit zur Speicherung sowie zum Transport Grüner Energie dar.

Um die derzeitige, auf fossilen Energien basierende industrielle Produktion von Ammoniak in klimafreundliche Prozesse zu überführen, entwickelt CAMPFIRE lastflexible Haber-Bosch-Verfahren. Unter Verwendung mikrostrukturierter Reaktionstechnik, neuer Katalysatoren und innovativer Anlagenkonzepte, soll bei Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien auch bei geringen Grundlasten von 5–10% eine effiziente Synthese von Ammoniak aus Elektrolyse-Wasserstoff ermöglicht werden.

Für den mobilen Anwendungsfall wird das Ziel eines Einsatzes von Ammoniak in Verbrennungsmotoren und Gasturbinen in der Binnen- und Seeschifffahrt sowie die Entwicklung von Systemen für die direkte Verstromung von Ammoniak in einer Brennstoffzelle mit keramischen Membranen verfolgt.



© CAMPFIRE Open Innovation Lab –  
Leibniz Institut für Plasmaforschung  
und Technologie



Bei einer stationären Energieversorgung kann Ammoniak direkt in motorischen Blockheizkraftwerken (BHKWs) eingesetzt werden. CAMPFIRE passt hierfür den Verbrennungsprozess in BHKW-Gasmotoren auf einen Hybrid-Betrieb mit NH<sub>3</sub>-Reformierung an.

Der Aufbau zukünftiger Transportketten auf der Basis von Grünem Ammoniak wird durch CAMPFIRE mittels Lösungen für flexible autonom und emissionsfrei betriebene Betankungsanlagen vorangetrieben (Ship-to-Ship, Land-to-Ship und Lorry-to-Ship). Der Betankungsprozess muss dabei über verschiedene Druck- und Temperaturstufen durchführbar sein. Für Wasserstoff-Endkunden werden Ammoniak-betriebene multimodale Tankstellen mit angepassten Ammoniak-Reformierern und Wasserstoff-Feinstreinigungsmodulen für die Versorgung von landseitigen Verbrauchern (PKW, LKW, Bus, Bahn) entwickelt.

CAMPFIRE identifiziert zudem rechtliche Hemmnisse, die der praktischen Umsetzung der verschiedenen Erzeugungs-, Anwendungs- und Transportlösungen von Ammoniak entgegenstehen und adressiert sie durch konkrete Gesetzesvorschläge zur Weiterentwicklung des geltenden Rechtsrahmens. Auch soll die generelle Akzeptanz von Ammoniak durch gezielte Kommunikationsmaßnahmen gestärkt werden.

# D

## Helgoland

### H<sub>2</sub>-Speicherung und -Transport mit LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers)

Im Verbund Helgoland haben sich neun Projektpartner aus Wissenschaft und Industrie mit der Insel Helgoland vernetzt, um den Aufbau einer Wasserstoff-Lieferkette aus dem Offshore-Bereich im schleswig-holsteinischen Küstenmeer über die Häfen zu den Wasserstoffverbrauchern auf dem Festland zu erforschen und zu entwickeln. In dieser Lieferkette wird das Beispiel Helgoland modellhaft als Ort der Einspeicherung von Wasserstoff in LOHC (Hydrierung) sowie Hamburg als Ort der Freisetzung von Wasserstoff aus LOHC (Dehydrierung) untersucht.

Sobald der auf See produzierte Grüne Wasserstoff die Insel Helgoland via Pipeline erreicht, wird er in einer Hydrieranlage an LOHC – konkret das Thermalöl Benzyltoluol – gebunden. In diesem flüssigen Träger wird er per Schiff zum Festland transportiert und für die Wasserstoffverbraucher verfügbar gemacht.

Ziel des Projekts ist eine reproduzierbare und skalierbare Blaupause für weltweite Standorte mit ähnlich herausfordernden Rahmenbedingungen.



© Jakob Martens

#### Was steckt hinter der LOHC-Technologie?

Die Wasserstoffmoleküle werden durch Hydrierung chemisch an das Trägermaterial gebunden und können verlustfrei transportiert werden. Durch Dehydrierung wird der Wasserstoff wieder freigesetzt, um ihn für die Abnehmer nutzbar zu machen.

Benzyltoluol eignet sich besonders als Träger, weil es schwer entflammbar und nicht explosiv ist. Seine Handhabung funktioniert unter Umgebungsbedingungen, sodass für Speicherung und Transport bestehende Infrastruktur für Flüssigbrennstoffe genutzt werden kann. Zudem kann LOHC Wasserstoff mehrere hundert Male binden, ähnlich einem Pfandsystem.

The image features a dark green background with several abstract geometric shapes in light green and white. These shapes include curved lines, L-shaped brackets, and vertical and horizontal bars. The shapes are scattered across the frame, with some appearing in the upper half and others in the lower half. The overall composition is minimalist and modern.

**TransHyDE**  
**Technologieplattform**







## Impressum

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

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  
Erste Brunnenstraße 1  
20459 Hamburg