



Transport- und Speicherinfrastruktur für Grünen Wasserstoff

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



© Bundesregierung / Guido Bergmann

Liebe Leserinnen und Leser,

Wasserstoff ist unsere Chance, Energiesicherheit, Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit miteinander zu verbinden. Deswegen wollen wir Deutschland zur Wasserstoffrepublik machen.

Unsere Nationale Wasserstoffstrategie weist den Weg zu diesem Ziel. Ein zentraler Punkt ist dabei der Import von Wasserstoff. Denn unser Produktionspotential in Deutschland ist begrenzt. Von der Menge an Wasserstoff, die wir im Jahr 2030 voraussichtlich benötigen, werden 50 bis 70 Prozent aus dem Ausland kommen müssen. Danach dürfte der Anteil sogar noch steigen. Für das Erzeugen von Grünem Wasserstoff kommen vor allem wind- und sonnenreiche Länder wie zum Beispiel Namibia oder Australien in Betracht. Folglich benötigen wir eine geeignete Transport-Infrastruktur – sowohl für den Import, als auch für die Verteilung im Inland.

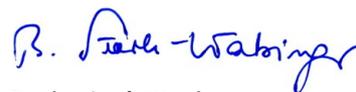
Genau an diesem Punkt setzt TransHyDE an. Das Projekt ist dazu da, genau zu erforschen und zu demonstrieren, wie sich Wasserstoff speichern und transportieren lässt: gasförmig in Pipelines und Hochdruckbehältern, flüssig oder gebunden in Ammoniak und LOHC. Wissenschaft und Wirtschaft arbeiten dabei Hand in Hand und gewährleisten so den unmittelbaren Transfer in die Praxis. Das gilt ebenso für die zwei weiteren Wasserstoff-Leitprojekte. H₂Giga

erforscht, wie die Serienfertigung großskaliger Elektrolyseure gelingt. Bei H₂Mare geht es um die Wasserstofferzeugung auf See.

Wir als Bundesministerium für Bildung und Forschung investieren allein in diese drei Wasserstoff-Leitprojekte über 700 Millionen Euro. Damit sind wir Wegbereiter und Tempomacher der Wasserstoffrepublik Deutschland, die mit ihrem Know How auch weltweit Akzente setzen soll. Wir wollen Leitmarkt für Wasserstofftechnologien werden und damit für neue Exportschlager Made in Germany sorgen.

Machen Sie sich auf den folgenden Seiten gern selbst ein Bild von TransHyDE.

Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre.



Bettina Stark-Watzinger

Mitglied des Deutschen Bundestages

Bundesministerin für Bildung und Forschung

TransHyDE

Organisationsstruktur

Koordinatoren S.5

Koordination und Kommunikation S.6

Projektkonsortium S.28

Hintergrund des Wasserstoff-Leitprojekts TransHyDE

Die Nationale Wasserstoffstrategie 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.

Kerndaten

146,6 Mio. Euro Förderung
89 Partner
20 assoziierte Partner
04.2021 - 03.2025 Laufzeit

Insgesamt arbeiten 109 Partner und assoziierte Partner in zehn Projekten an der Auflösung technologischer und ökonomischer Hemmnisse, die derzeit den effizienten Transport und die Speicherung von Grünem Wasserstoff behindern.

Die Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) für TransHyDE beträgt 145 Mio. Euro über die Laufzeit von vier Jahren. Der technische Fokus von TransHyDE liegt auf vier verschiedenen Transportmöglichkeiten: gasförmigem Wasserstoff (gH₂), flüssigem Wasserstoff (LH₂), Ammoniak (NH₃) sowie flüssigen organischen Trägern (Liquid Organic Hydrogen Carriers, kurz: LOHC).

Ferner analysiert TransHyDE die regulatorischen Rahmenbedingungen und spricht Empfehlungen für einen beschleunigten Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft aus.

Projekte

Systemanalyse S.8

S.10 **Sichere Infrastruktur**

AmmoRef S.12

S.14 **AppLHy!**

Norm S.16

S.18 **LNG2Hydrogen**

Mukran S.20

S.22 **GET H₂**

CAMPFIRE S.24

S.26 **Helgoland**

TransHyDE-Koordinatoren

Ende 2020 konzipierten Prof. Robert Schlögl, Prof. Mario Ragwitz und Jimmie Langham das Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE und definierten die TransHyDE-Projekte. 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 Berater-tätigkeit 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 seit 2023 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. Mario 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 Dezember 2019 die Fraunhofer Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG. Seit 2019 koordiniert er 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-Bundesliga-trainer und Hauptgeschäftsführer des Verbands Deutscher Tischtennis-trainer 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 an zu arbeiten. 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 BMBF ausgezeichnet.

Kommunikation & Koordination

Das TransHyDE-Projekt Kommunikation und Koordination ist Teil der übergreifenden Projektstruktur und setzt sich aus den Koordinatoren sowie einer Geschäftsstelle zusammen. Sie unterstützt die drei TransHyDE-Koordinatoren in administrativer und beratender Funktion und dient als erste Anlaufstelle des Projekts. Zusätzlich soll durch die Geschäftsstelle der Informationstransfer zwischen den TransHyDE-Koordinatoren und den TransHyDE-Projekten sowie zwischen den TransHyDE-Projekten untereinander gestärkt werden. Die Geschäftsstelle besteht aus Mitarbeitenden des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion, der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG und der strategischen Projektberatung **cruh21**.

Die Aufgabenbereiche der Kommunikation und Koordination setzen sich aus *Koordination*, *Interne Kommunikation*, *Externe Kommunikation* sowie *Regulatorik* zusammen, in denen vielfältige und detailreiche Tätigkeiten behandelt werden. Um einen Überblick der Ziele und bisherigen Ergebnisse zu gewähren, kann die Detailtiefe der einzelnen Aufgaben jedoch nur auszugsweise und beispielhaft abgebildet werden.

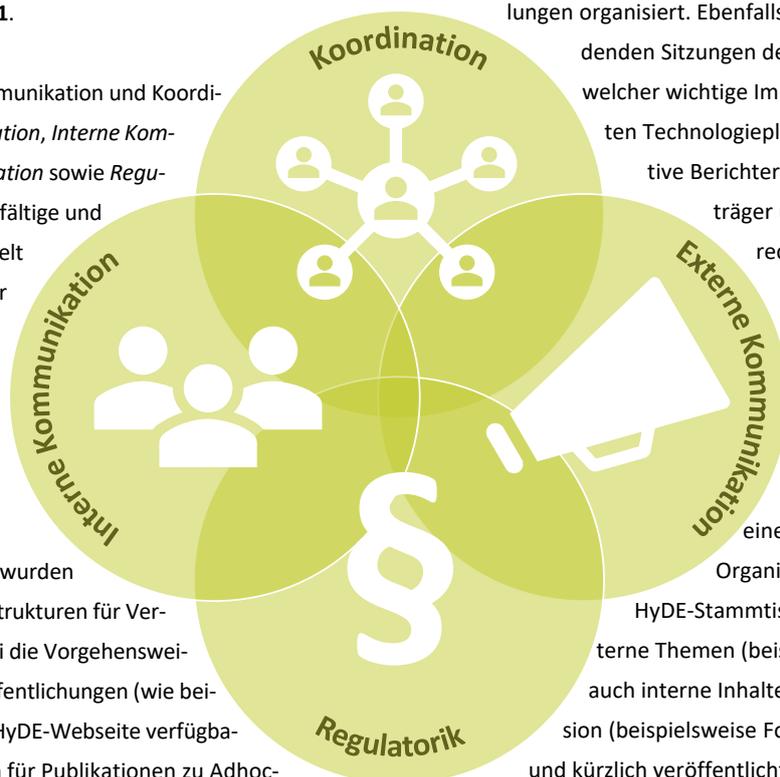
Im Arbeitsbereich *Koordination* wurden gemeinschaftlich Governance-Strukturen für Veröffentlichungen etabliert, wobei die Vorgehensweisen nicht nur für reguläre Veröffentlichungen (wie beispielsweise die unter der TransHyDE-Webseite verfügbaren Whitepaper), sondern auch für Publikationen zu Adhoc-Anfragen, wie politischen Konsultationen, gelten.

Die inhaltliche Ausarbeitung der Beiträge erfolgt durch die Wissens- und Kompetenzträger aus den TransHyDE-Projekten. Im anschließenden internen Review-Prozess werden Kommentier- und Teilhabemöglichkeiten für die indirekt beteiligten Expertinnen und Experten ermöglicht.

Eine weitere Aufgabe der *Koordination* betrifft das Management von Schnittstellen zwischen den TransHyDE-Projekten. Hierbei stehen sowohl die Ermöglichung von Synergien als auch die Vermeidung von inhaltlicher Doppelarbeit im Vordergrund. In diesem Zusammenhang werden quartalsweise virtuelle Treffen und jährlich in Präsenz stattfindende thematisch-fokussierte Workshops sowie Vollversammlungen organisiert. Ebenfalls werden die halbjährlich stattfindenden Sitzungen des TransHyDE-Beirats vorbereitet,

welcher wichtige Impulse zur Ausrichtung der gesamten Technologieplattform liefert, sowie die qualitative Berichterstattung gegenüber dem Projektträger und Zuwendungsgeber termingerecht durchgeführt.

Der Bereich *Interne Kommunikation* stellt kontinuierlich detaillierte Neuigkeiten für die TransHyDE-Projekte zusammen. Insbesondere durch den Versand eines internen Newsletters sowie die Organisation eines regelmäßigen TransHyDE-Stammtisches können sowohl aktuelle externe Themen (beispielsweise Veranstaltungen) wie auch interne Inhalte in die gemeinschaftliche Diskussion (beispielsweise Forschungs- und Arbeitsergebnisse und kürzlich veröffentlichte Whitepaper) gegeben werden.



Bleiben Sie immer auf dem Laufenden und folgen Sie uns auf LinkedIn

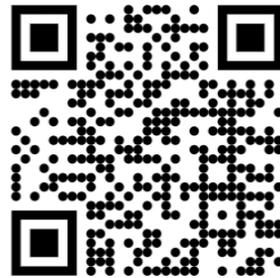


Ergebnisse und Fortschritte der TransHyDE-Projekte werden ebenfalls einer breiteren Öffentlichkeit sowie der Fachwelt zugänglich gemacht. Der Bereich *Externe Kommunikation* nutzt hierbei unter anderem Printmedien, wie Fachjournale und Whitepaper sowie digitale Plattformen, wie die TransHyDE-Webseite und Social Media. Einen breiteren Einblick in die TransHyDE-Aktivitäten geben zwei projektbeschreibende Broschüren, welche als Informationsmaterial dienen. Darüber hinaus wurde für einen tieferen Einstieg in einzelne Innovationen von Partnern, die im Rahmen von TransHyDE entstanden sind, eine digitale Innovationsbroschüre entwickelt. Durch die laufende Überarbeitung des Dokuments werden dem Portfolio kontinuierlich neue technologische Erfindungen hinzugefügt.

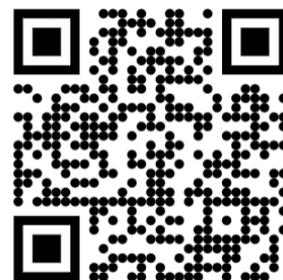
Ein reger persönlicher Austausch mit der Öffentlichkeit findet durch regelmäßige Messeauftritte und -besuche im nationalen und europäischen Raum statt. Die Durchführung einer TransHyDE Wissenschaftlichen Konferenz sowie die Teilnahme an externen Veranstaltungen, u.a. mit Projektpräsentationen, Workshopmoderationen oder Paneldiskussionen, stärken darüber hinaus den Diskurs mit anderen im Feld der Transport- und Speicherinfrastruktur für Grünen Wasserstoff tätigen Akteuren.

Der Bereich *Regulatorik* beschäftigt sich mit Fragestellungen rund um die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Unterstützung des Hochlaufs einer Grünen Wasserstoff-Wirtschaft. Um den rechtlich-regulatorischen Fragestellungen auf der gesamten Breite der TransHyDE-Technologien zu begegnen und Optimierungsvorschläge zu entwickeln, wurde eine Regulatorik-Community gegründet.

Diese besteht aus Expertinnen und Experten der einzelnen TransHyDE-Projekte. Sie erarbeiten eigene Kurzanalysen und Handlungsempfehlungen und beauftragen externe Studien zu spezifischen Themen. Die Ergebnisse werden kontinuierlich den politischen Entscheidungsträgern zur Verfügung gestellt und digital auf der TransHyDE-Webseite publiziert. Daneben dienen Parlamentarische Abende als Mittel, um die politische Ebene direkt zu adressieren.



Link zum TransHyDE-Video



Video der **Wissenschaftlichen Konferenz**



Veröffentlichungen & weitere Informationen zu TransHyDE

Ansprechpartner

Name: *Geschäftsstelle TransHyDE*

Institution: *Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG und cruh21*

E-Mail: *koordination@transhyde.de*

Gesamtfördersumme: 5,1 Mio. Euro

Systemanalyse

Die Rolle von Infrastruktur im Energiesystem

Innerhalb der Technologieplattform TransHyDE befasst sich das TransHyDE-Projekt Systemanalyse mit Transport- und Bereitstellungsoptionen von Grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten sowie mit der dafür nötigen Transportinfrastruktur. Ein großer Teil der Nachfrage wird von der energieintensiven Industrie erwartet. Die Energiesystemmodelle optimieren die volkswirtschaftlichen Kosten.

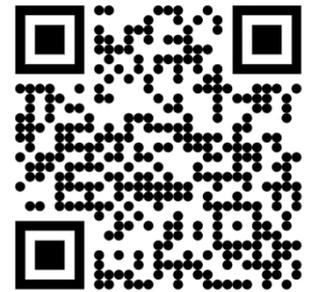
Für die H₂-Importstudie des TransHyDE-Projekts Systemanalyse werden Bereitstellungsoptionen von Wasserstoff auf die technische Machbarkeit untersucht. Grundsätzlich enthalten alle Optionen Prozessschritte, die derzeit noch nicht kommerziell verfügbar sind. Ein Beispiel wäre die Rückgewinnung von Wasserstoff (Cracking) aus Ammoniak.

Am leichtesten mit unserer Infrastruktur nutzbar wäre Grünes Methan. Dafür müssten allerdings nachhaltige Kohlenstoffquellen gefunden werden.

Auch verschiedene Akteursperspektiven finden im Projekt Systemanalyse Berücksichtigung, da es in ganz Europa unterschiedliche Standpunkte von Industrie und Politik, aber auch technische Voraussetzungen gibt.

So wurde beispielweise auch eine **Medienanalyse zu Wasserstoff-Transportinfrastrukturen** und ein Stakeholderworkshop in Salzgitter durchgeführt.

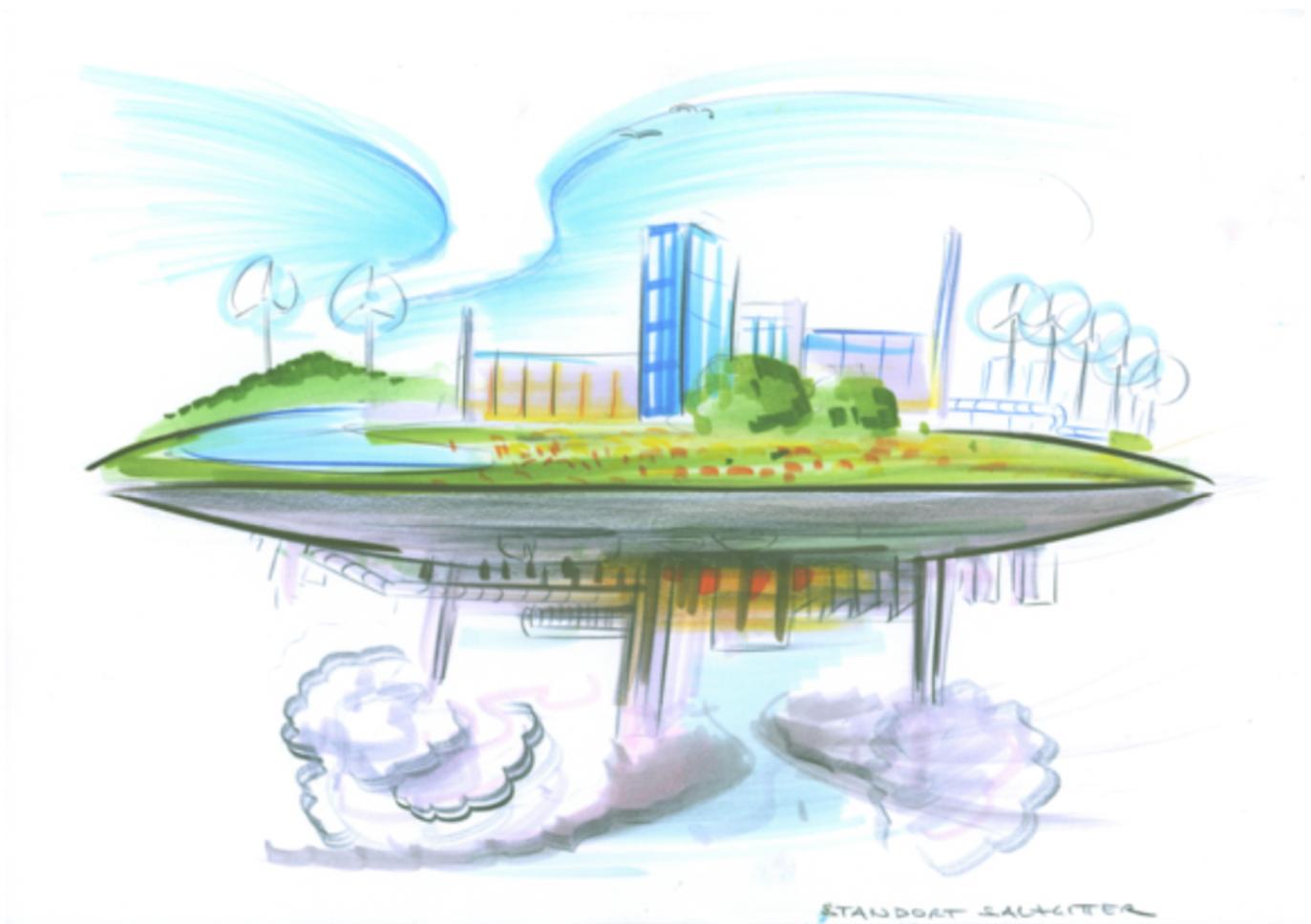
Link zum Video der **Projektvorstellung** von TransHyDE-Systemanalyse



Derzeit wird im Projekt Systemanalyse ein zukünftiges Wasserstoffnetz modelliert. Dazu ist bereits eine Toolchain vorhanden, mit welcher eigene Netztopologien entworfen und Arbeiten anderer nachgebaut werden können. Dieses Netz kann mit den Modellierungsergebnissen verschiedener Nachfrageszenarien verknüpft werden. Zusätzlich können auch Strömungsmechaniken simuliert werden. In den nächsten Schritten sollen weitere Variationen und Ergänzungen erfolgen, etwa weitere Stützjahre sowie eine Ausweitung der Modellierung auf Europa.

Link zur **Medienanalyse**





Künstlerische Begleitung des Stakeholderworkshops in Salzgitter.
Quelle: Fraunhofer ISI, Zeichnung Hyko Stöber

Auch werden vorhandene Modelle und Modellierungen verglichen. Dafür wurde ein systematischer Ansatz entwickelt und in einem Review mit dem Titel „TransHyDE-Sys: An Integrated Systemic Approach for Analysing and Supporting the Transformation of Energy Systems and Hydrogen Infrastructure Development“ verfasst.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten fließen schlussendlich in eine Roadmap ein, welche Szenarien, Hintergrundinformationen, Rahmenbedingungen sowie Forschungs- und Handlungsfelder darstellen wird.

Eine erste umfassende Darstellung der Ergebnisse wird in der Flagship Publikation „European Hydrogen Infrastructure Planning“

dargestellt. Die Publikation bietet einen tieferen Einblick in die Analysen zur zukünftigen Entwicklung von Wasserstoffnachfrage, -versorgung, -infrastruktur und -speichermöglichkeiten und leitet daraus erste Handlungsempfehlungen für industrielle und politische Entscheidungsträger ab.

Flagship-Paper: „European Hydrogen Infrastructure Planning“



Ansprechpartner

Name:	Dr. Florian Ausfelder und Prof. Dr. Mario Ragwitz
Institution:	DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. und Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG
E-Mail:	florian.ausfelder@dechema.de und mario.ragwitz@ieg.fraunhofer.de
Gesamtfördersumme:	17,5 Mio. Euro

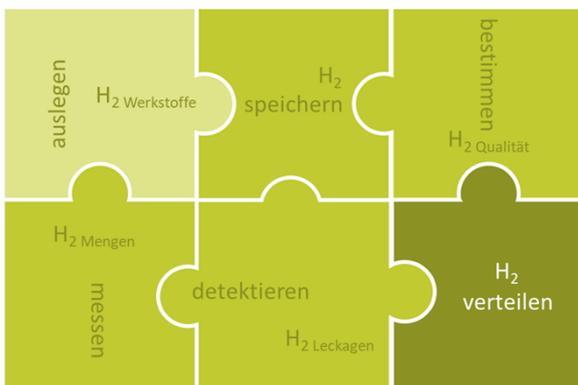
Sichere Infrastruktur

Mit Wasserstoff-Transport- und Verteilnetzen sicher in die Zukunft

Können unsere bestehenden Erdgasnetze und untertägigen Speicher zukünftig zur Nutzung mit Wasserstoff eingesetzt werden? Diese einfach klingende Frage treibt die Forschungs- und Industriepartner des TransHyDE-Projekts Sichere Infrastruktur seit April 2021 gemeinsam um. Denn diese eine Frage gleicht einem Puzzle: Viele Teile greifen ineinander und müssen im Detail betrachtet werden, um ein vollständiges Bild zu erhalten und so eine validierte Antwort zu liefern.

rechnet und Sicherheitskonzepte, sowie Risikoanalysen erstellt werden.

Außerdem ist es wichtig, die Qualität und Quantität des ins Netz eingespeisten und entnommenen Wasserstoffs zu bestimmen, sowie eventuell auftretende Leckagen sicher, schnell und über lange Distanzen hinweg zu detektieren. Hierfür müssen bestehende Sen-



Kernaufgaben des TransHyDE-Projekts Sichere Infrastruktur
Quelle: TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur

Die 6 Kernaufgaben des Projektes

1. Auslegung von Werkstoffen und Komponenten für eine sichere und dauerhafte Wasserstoff-Infrastruktur
2. Speicherung von Wasserstoff in untertägigen Speichern
3. Bestimmung von Fremdgasen in Wasserstoff im ppm-Bereich
4. Eichung von Durchflusszählern zur Quantifizierung von Wasserstoffmengen
5. Aufspüren von Leckagen in Wasserstoff-Transport- und Verteilnetzen
6. Umstellung der Verteilnetze von Erdgas auf Wasserstoff

Wasserstoff sicher zu speichern und bis zu den Endkunden zu transportieren ist der Schlüssel zum Erfolg. Die Wasserstoffinfrastruktur muss diesen hohen Belastungen Stand halten. Bestehende Erdgasnetze und auch neue Komponenten müssen daher genauestens für die Wasserstoffnutzung qualifiziert werden.

In allen Teilbereichen des TransHyDE-Projektes Sichere Infrastruktur spielen Normen, Richtlinien und Regularien für Materialien oder auch der Speicherung und Verteilung eine wichtige Rolle. Daher müssen technische Regelwerke für die Werkstoffauslegung und auch der Speicherung analysiert, Kapazitäten von Transport- und Verteilnetzen be-

sorsysteme ausgelegt werden und so ist Forschung für Neuentwicklungen unablässig.

Aber auch werkstoffmechanische Aspekte, wie die sogenannte Wasserstoffversprödung, müssen genau verstanden werden. Hierbei handelt es sich um das Eindringen von atomarem Wasserstoff in die Kristallgitterstrukturen von beispielsweise Stahl. Der eingedrungene, atomare Wasserstoff kann unterschiedliche Schädigungen hervorrufen, die zu Rissen im Material und damit zu Ausfällen der Komponenten führen können. Viele verschiedene Stähle existieren bereits im bestehenden Erdgasnetz und müssen für die neue Nutzung entsprechend qualifiziert werden.

Wo stehen wir heute?

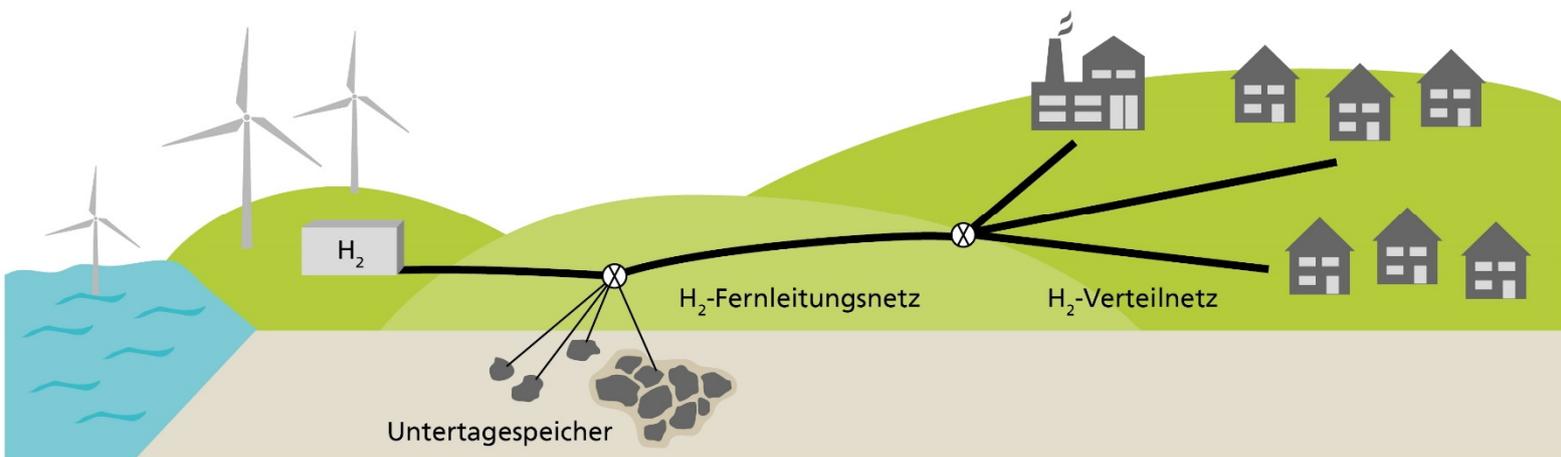
Die **Salzgitter Mannesmann Forschung SZMF** und das **Fraunhofer IWM** konnten jeweils an ihren Standorten innovative Prüfinfrastrukturen aufbauen, um Stähle in Wasserstoffatmosphären auf deren werkstoffmechanischen Belastungsfähigkeiten hin zu untersuchen. Auch ein Ringversuch wurde gestartet, um die ermittelten Ergebnisse an den verschiedenen Standorten zu bestätigen, was einen wichtigen Aspekt für die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen und somit für die Sicherheit der Wasserstoff-Infrastruktur darstellt. Zudem wurden relevante Normen und Regelwerke wie die AD2000, die ASME 31.12 oder das DVGW-Merkblatt G 221 identifiziert und deren Anwendbarkeit für Wasserstoff analysiert. Die **Ontras Gas-transport** begleitete die Auswahl der Stähle durch wichtige Materialinformationen und Randbedingungen für den Betrieb von Ferngasleitungen.

Potenzielle H₂-Speicherstätten konnte das **Fraunhofer IEG** mit vor-

von Wasserstoffmengen konzipiert, gebaut und Ende Juni 2023 in Betrieb genommen. Dieser soll amtliche Prüfstelle der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Deutschland werden. Der H₂-Prüfstand steht vis-à-vis des Erdgasprüfstands und bildet zusammen mit diesem den neuen TwinLoop der RMA.

Leckagen in Komponenten der Wasserstoffinfrastruktur zu detektieren ist alles andere als trivial. Bei herkömmlichen Erdgasleitungen werden meist Infrarot-Sensoren zur Detektion eingesetzt. Wasserstoff ist leider nicht infrarot-aktiv. Das **Fraunhofer IPM** setzt daher auf die Raman-Spektroskopie, eine etablierte Technologie zur Identifizierung und Quantifizierung von chemischen Substanzen und ist der Entwicklung eines kostengünstigen Sensors zur selektiven Quantifizierung von Wasserstoff in beliebigen Gasmatrizen einen erheblichen Schritt nähergekommen.

Wasserstoff für Raumwärme und zur Bereitung von Warmwasser zu nutzen, war das hehre Ziel der der **Thüga** zusammen mit **Energie**



Wasserstoff speichern, transportieren und verteilen mit Hilfe von sicheren Werkstoffen und zuverlässiger Leckagedetektion.
Quelle: TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur

handenen und geplanten Transportinfrastrukturen abgleichen, zudem wurden Bewertungskriterien für untertägige Wasserstoff-Porenspeicher formuliert und Speicher- und Barrieregesteine für Wasserstoff charakterisiert. Mit Hilfe von Monte-Carlo Simulationen wurden Speicherkapazitäten beispielhaft formuliert.

Endress + Hauser entwickelte einen Prototyp für die Bestimmung von Kohlenmonoxid (CO) und Wasser (H₂O). Dieser detektiert die Spurengase in Wasserstoff höchst sensitiv. Die Nachweisgrenzen für CO liegen bei 15 ppm bzw. für H₂O bei 50 ppb.

In Rheinau bei der **RMA** wurde ein eichfähiger H₂-Prüfstand zur Kalibrierung bzw. Justierung von Durchflusszählern für die Bestimmung

Südbayern, unterstützt durch die **Energienetze Bayern**. Nun ging die erste Einspeiseanlage für Wasserstoff in Betrieb. Ein bestehendes Erdgasnetz wurde auf Wasserstoffgas umgestellt. Durch die Zusammenarbeit mit der Firma **Vaillant**, die die H₂-Heizthermen entwickelte und zur Verfügung stellte, werden in einem Feldversuch 18 Monate lang neun Haushalte und ein Gewerbeunternehmen mit Wasserstoff versorgt.

Das TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur stellt sich weiter seinen Herausforderungen, um Wasserstoff eine sichere Zukunft zu geben und so zu einer erfolgreichen Energiewende in Deutschland und weltweit beizutragen.

Ansprechpartner

Name:	Thomas Plocher
Institution:	RMA Rheinau GmbH & Co. KG
E-Mail:	thomas.plocher@rma.de
Gesamtfördersumme:	12,0 Mio. Euro

AmmoRef

Reformierung von Ammoniak zu Wasserstoff

Das TransHyDE-Projekt AmmoRef hat zum Ziel, eine anwendungsbezogene, industriell umsetzbare, sichere und kostengünstige Technologie zur Reformierung von Ammoniak, d.h. zur Rückgewinnung von reinem Wasserstoff, zu erforschen und weiterzuentwickeln, um eine umweltschonende, ökonomische und sichere Lösung für die zukünftige Energieversorgung zu gewährleisten. Hierfür gibt es bisher keine groß-industriell einsetzbare Technologie.

Eine umfassende Analyse publizierter Daten von internationalen

ForscherInnen zeigt, dass das Edelmetall Ruthenium die höchsten Umsatzraten erzielt. Jedoch zeichnet sich Ruthenium durch eine geringe Verfügbarkeit in Verbindung mit hohen Kosten aus. Katalysatoren auf Basis der häufiger vorkommenden Metalle Eisen, Nickel und Kobalt weisen ebenfalls vielversprechende Aktivitäten auf. Insbesondere Eisen ist hierbei als potentielles Katalysator-material hervorzuheben, da seine Verfügbarkeit als nicht kritisch festgestellt werden kann.

Nachteilig ist jedoch, dass die katalytische Aktivität von Eisen sich im Vergleich zu den anderen genannten Elementen erst bei höheren Temperaturen einstellt.

Zu Beginn des Projektes wurden zunächst Katalyse-Teststände errichtet, um die Ammoniak-Reformierung unter standardisierten Bedingungen detailliert studieren zu können. Erste Untersuchungen erfolgten dann an ausgewählten Katalysatoren, welche aus anderen industriellen Katalyseverfahren bekannt sind. Hierbei erwiesen sich neben Edelmetall-basierten Katalysatoren auch jene Katalysatoren als bereits gut geeignet, welche in anderen Reformierungsprozessen (z.B. Methan-Reformierung) eingesetzt werden.



Abbildung 1: Katalysator-teststand am MPI CEC.

Quelle: Simon Ristig, MPI CEC

Die im Projekt entwickelten Katalysatoren auf der Basis von unter anderem Eisen, Kobalt oder Nickel zeigen unterschiedliches Potential abhängig von weiteren enthaltenen Komponenten. Geträgert als fein verteilte Nanopartikel auf oxidischen Materialien mit großer spezifischer Oberfläche wie z.B. Magnesiumoxid, zeigen Kobalt und Nickel bisher höhere Umsatzraten als vergleichbare Eisen-basierte Katalysatoren (siehe Abbildung 1). Im Kontrast dazu erreichen Eisen und Kobalt auf Kohlenstoff-Materialien aufgebracht höhere Umsatzraten als jene mit Nickel. Die vielversprechendsten Ansätze werden nun detaillierter untersucht und Optimierungsstudien durchgeführt. Hierbei ist neben der möglichst hohen Umsatzrate insbesondere auch die Langzeitstabilität im Fokus der Untersuchungen.

Hinzu kommen grundlegende Untersuchungen der katalytischen Prozesse mittels modernster spektroskopischer Methoden und

fortschrittlichen Computermodellierungen. Mit dem hierdurch generierten Verständnis der katalytischen Prozesse können die Katalysatoren gezielt optimiert werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt des Projekts ist die Entwicklung von Pilotanlagen und deren Komponenten, um schlussendlich die Industrietauglichkeit einer energieeffizienten Ammoniak-Reformierung zu Wasserstoff mit einer Reinheit von >99.9 % mit den geeignetsten Katalysatoren zu demonstrieren. Zu den Komponenten zählen insbesondere das geeignete Reaktordesign für eine besonders hohe Energieeffizienz, die Gasreinigung mittels Druckwechsel-Adsorption, Membranverfahren oder Plasmapolymerisation und eine möglichst vollständige Wärmeintegration zur Erreichung der maximalen Energieeffizienz. Die Plasmapolymerisation soll ebenfalls als Alternative zur thermisch-katalytischen Ammoniak-Reformierung untersucht werden.

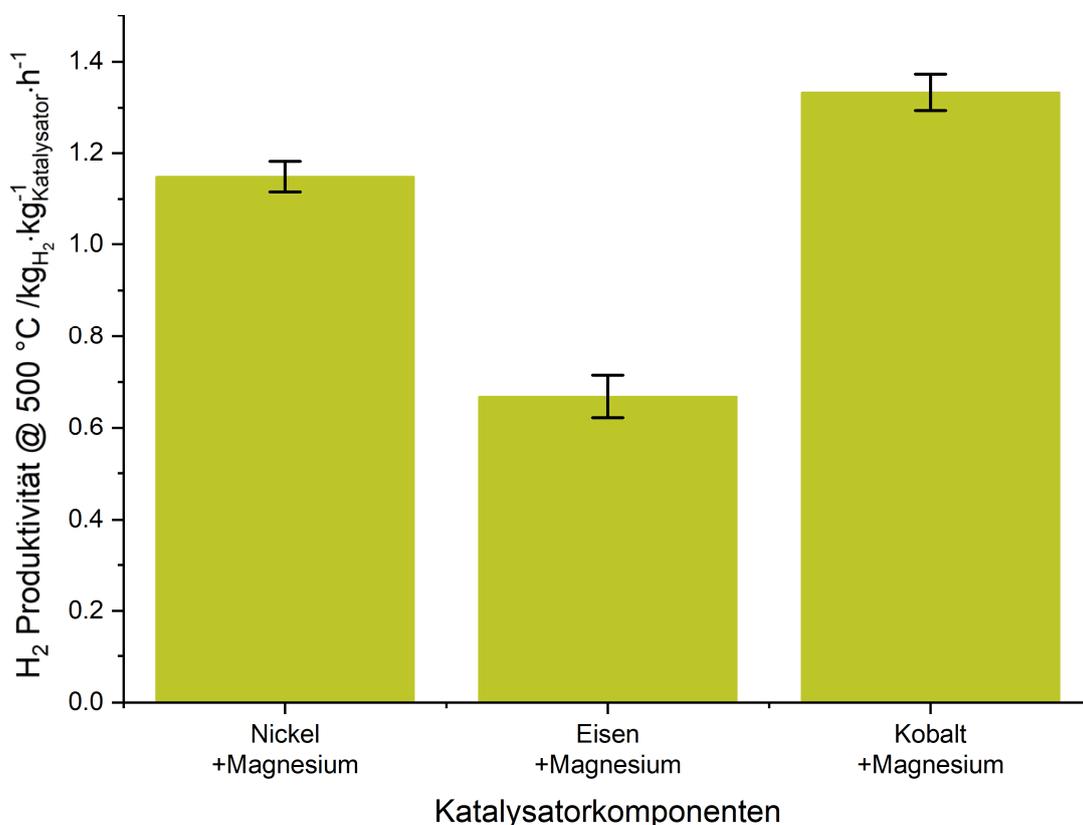


Abbildung 2: Vergleich der Wasserstoff-Produktivitäten bei der Ammoniak-Reformierung durch Katalysatoren mit unterschiedlicher elementarer Zusammensetzung.
Quelle: Michael Poschmann, MPI CEC

Ansprechpartner

Name:	Dr. Saskia Heumann und Dr. rer. nat. Michael Poschmann
Institution:	Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion
E-Mail:	saskia.heumann@cec.mpg.de und michael.poschmann@cec.mpg.de
Gesamtfördersumme:	14,7 Mio. Euro

AppLHy!

Flüssigen Wasserstoff effizient speichern, transportieren und verwenden

Im Fokus der Forschungsarbeiten des TransHyDE-Projekts AppLHy! steht flüssiger Wasserstoff (LH₂). Er bietet aufgrund seiner hohen Energiedichte und Reinheit sowie Synergieeffekten mit Hochtemperatur-Supraleitern große Potenziale für eine nachhaltige und effiziente Wasserstoff-Wirtschaft. Die Forschenden entwickeln seit dem Projektstart im April 2021 verschiedene Technologien für die gesamte Versorgungskette von der Wasserstoff-Verflüssigung, über die Speicherung und den Transport bis hin zu unterschiedlichen Anwendungsszenarien von LH₂.

Wasserstoff flüssig importieren ist energetisch vorteilhaft

Der Entwicklungsstand zum Einsatz von LH₂ zeigt bisher vielversprechende Ergebnisse und weitere Verbesserungspotentiale:

- LH₂ verfügt bereits über einen sehr hohen technischen Reifegrad (TRL9) der gesamten landgebundenen Transportkette und Verflüssigungskapazitäten bis ca. 30 Tonnen pro Tag.
- LH₂ überzeugt perspektivisch durch eine hohe energetische Effizienz beim Import per Schiff. Zudem fällt der Energieaufwand zur Verflüssigung einmalig am Ort der Elektrolyse an. Dort stehen voraussichtlich große Mengen regenerativer Energie zur Verfügung, die über den Eigenbedarf des Exportlandes hinausgehen.
- In großtechnischen Anwendungen sinken die Verluste durch Wärmeeintritt in die LH₂-Speichertanks, so genannter Boil-off, durch verbesserte Speicher- und Transferprozesse auf unbedeutende Mengen: Am Exportterminal wird das Boil-off-Gas in der Regel direkt rückverflüssigt, während des Schiffstransports kann es als Treibstoff genutzt oder rückverflüssigt werden, und am Importterminal wird das Gas komprimiert und in die Produktpipeline eingespeist.

Insgesamt wird die Verflüssigung von Wasserstoff nicht nur als Mittel für den behältergebundenen Transport, sondern als flexibel einsetzbarer Baustein für die künftige Wasserstoffversorgung erachtet, der

gleichzeitig große Reichweiten bei hohen Nutzlasten in brennstoffzellen-elektrischen Mobilitätsanwendungen ermöglicht.

Für die weitreichende Kommerzialisierung sind jedoch weitere Entwicklungen bezüglich der Kapazitäts-Vergrößerung, Demonstration in Deutschland und Marktunterstützung erforderlich.

HyLiq – Lösungen für effizienten Transport und Verteilung von LH₂

Das Dresdner HyLiq-Konsortium befasst sich im Rahmen von AppLHy! mit der Speicherung, dem Transport und dem Handling von flüssigem Wasserstoff. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Minimierung von Verlusten sowie der Effizienzsteigerung der logistischen Kette – etwa durch effiziente Transferpumpen mit verschleißresistenten Lagern. Neuartige Sensorarrays erlauben zudem eine kontaktlose Füllstandsabfrage, die quasi keine Wärme in den LH₂-Tank einbringt. Eine hoch-effiziente Rückverflüssigung von Boil-Off-Gas verringert die Verluste weiter, insbesondere bei längeren Lagerzeiten oder falls die Verwertung des Verlustgases an einem Ort nicht möglich ist. Ein weiterer Baustein zur Effizienzoptimierung der LH₂-Versorgungskette ist die Rückgewinnung der Verflüssigungsenergie durch ort- und zeitunabhängige Nachnutzung der in LH₂ gespeicherten Kälte. Neben der Entwicklung der dafür benötigten Komponenten ist in Dresden eine Umgebung geschaffen worden, die die Untersuchung und Erprobung von Materialien und Baugruppen unter realistischen Bedingungen in LH₂ erlaubt und als Demonstrator für stationäre und mobile Anwendungen dient.



Abbildung 1: Flüssigwasserstoff-Kryostat.
Quelle: Scientific Instruments Dresden GmbH

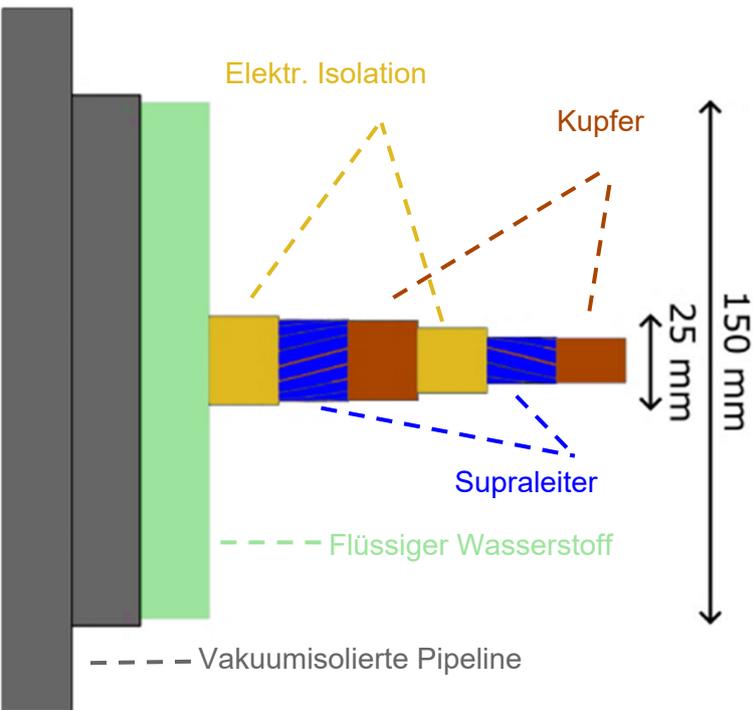


Abbildung 2: Schematischer Querschnitt einer hybriden Pipeline mit LH₂ und Strom in einem supraleitenden Kabel.
Quelle: Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Technische Physik ITEP

Hybride Pipeline: LH₂ und Supraleiter

LH₂ wird bei extrem kalten Temperaturen von ca. 20 Kelvin (-253 °C) transportiert, einer optimalen Betriebstemperatur für Hochtemperatur-Supraleiter. Besonders interessant ist diese Synergie beim gemeinsamen Transport in einer hybriden Pipeline: Darin fließt neben chemischer Energie in Form von LH₂ auch Strom in einem supraleitenden Kabel, und das extrem effizient, verlustarm und platzsparend. Die AppLHy!-Forschenden haben bereits erste Anwendungsszenarien und Komponenten entwickelt, um die Umsetzbarkeit des Konzeptes im weiteren Projektverlauf in einer Testumgebung zu demonstrieren.



LH₂ für Reichweiten-Steigerung in mobilen Anwendungen

Besonders große Fahrzeuge mit Brennstoffzellen-Antrieb profitieren von LH₂ als Energieträger: Seine hohe Energiedichte ermöglicht Lastkraftwagen, Lokomotiven und Schiffen hohe Reichweiten bei großen Nutzlasten. Diese Alternative zu elektrischen Fahrzeugen rentiert sich besonders in Regionen mit wenig ausgebauter elektrischer Infrastruktur sowie für nachhaltigen Flugverkehr.

Außerdem sind Antriebsstränge, die mit der intrinsischen „Gratis-kälte“ des LH₂ gekühlt werden, sehr effizient, da eine separate Kühlung entfällt: Beispielsweise sind elektrische Motoren in ihrem Leistungsdiagramm durch drei Erwärmungsgrenzen von Bauteilen limitiert. Regasifiziert man das LH₂ jedoch erst im Antriebsstrang, kühlt der Wasserstoff währenddessen den umliegenden Motor. Dieses Temperaturfenster ist zudem ideal für Komponenten aus Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) geeignet. AppLHy!-Forschende entwickeln deshalb LH₂-gekühlte, supraleitende Motoren und berechnen dabei bisher unerreichte Leistungsdichten von mehr als 10 kW/kg im Vergleich zu weniger als 4 kW/kg bei konventionellen Motoren.

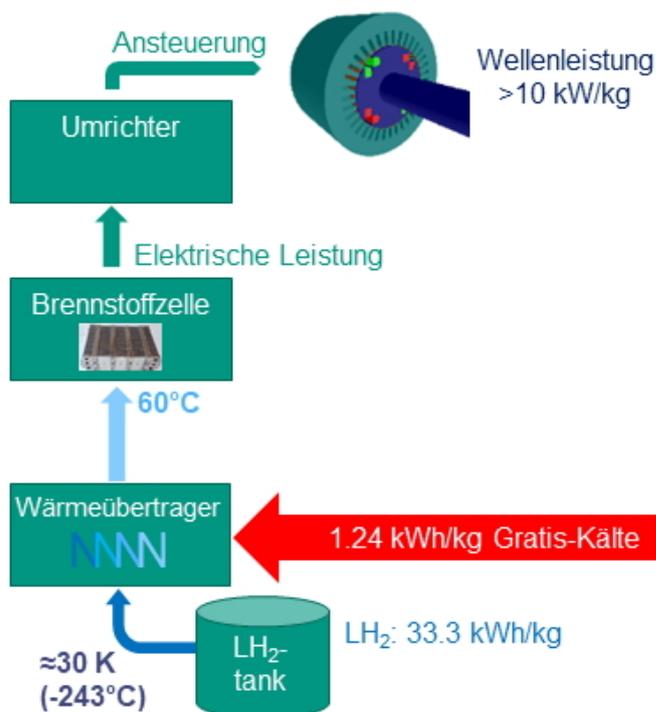


Abbildung 3: Brennstoffzellen-elektrischer Antriebsstrang mit HTS und LH₂ für Fahrzeuge (schematisch).
Quelle: Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Technische Physik ITEP

Ansprechpartner

Name:	Prof. Dr. Tabea Arndt
Institution:	Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Physik (ITEP)
E-Mail:	applhy@itep.kit.edu
Gesamtfördersumme:	15,2 Mio. Euro

Norm

Technische Regelsetzung für den Wasserstoffhochlauf

Ein zügiger und erfolgreicher Wasserstoffhochlauf bedarf neben technischen und regulatorischen Voraussetzungen auch einheitlicher Vorgaben in Form von Normen und Zertifizierungsprogrammen. Das TransHyDE-Projekt Norm untersucht diese Aspekte.

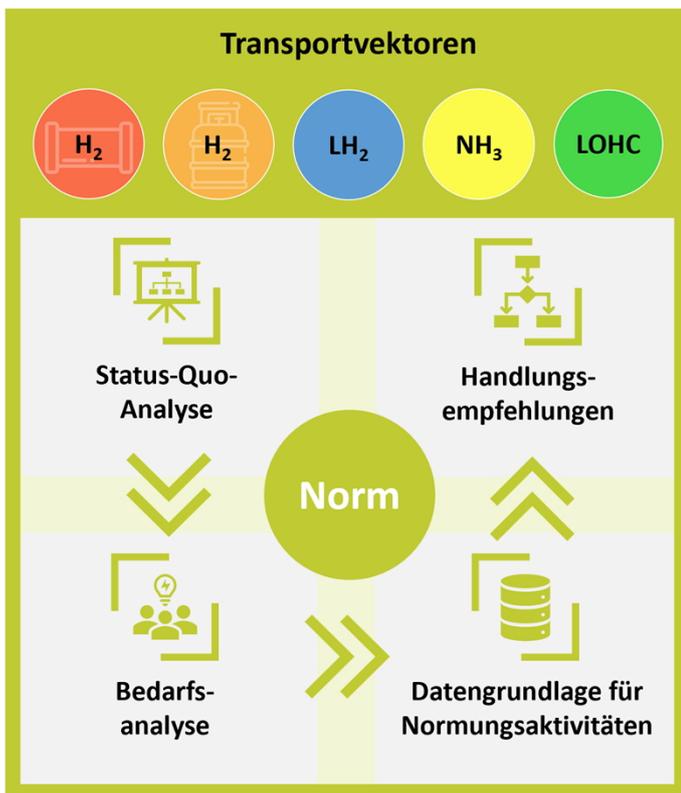


Abbildung 1: Inhaltliche Übersicht der Arbeitspakete 1 bis 5 im TransHyDE-Projekt Norm
Quelle: TransHyDE-Projekt Norm

Technische Regelwerke und Normen bilden die Grundlage im Hinblick auf Sicherheit, Vergleichbarkeit und Umweltverträglichkeit. Hier ermöglichen die Arbeiten innerhalb des Projekts Defizite in der Regelsetzung für die in TransHyDE betrachteten Transportvektoren

- komprimierten Wasserstoff (H₂) in Leitungen,
- komprimierten Wasserstoff (H₂) in Gashochdruckbehältern,
- flüssigen Wasserstoff (LH₂),
- Wasserstoffderivate wie Ammoniak (NH₃),
- und Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)

zu identifizieren und durch klare Handlungsempfehlungen zu schließen. Hinsichtlich der angestrebten neuen Anwendungsfelder der genannten Transportvektoren in unter anderem Industrie, Verkehr und Wärmemarkt ist aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften die Standardisierung von sicherheitsrelevanten Handlungsabläufen sowie technischen Prozessen und weiteren Aspekten unverzichtbar.

Erfassung der Bestandslage

Im ersten Schritt wurden die derzeit bestehenden Normen, technischen Regelwerke und Zertifizierungsprogramme für die berücksichtigten Transportvektoren in einer Datenbank zusammengestellt. Für komprimierten H₂ wurden dabei Transport- und Speicheroptionen in Gashochdruckbehältern und Leitungen betrachtet. Der Fokus lag auf der nationalen Regelsetzung, wobei auch relevante europäische und internationale Datensätze eingepflegt wurden.

Über die Hälfte der Datensätze ist bereits auf H₂ anwendbar. Dabei ist zu beachten, dass sich die Anteile der H₂-ready Regelwerke und Normen bei den verschiedenen Transportvektoren stark unterscheiden. Ein großer Teil der bestehenden Regelsetzung zu etablierten Transportoptionen wie leitungsgebunden oder in Gashochdruckbehältern sowie in Form von NH₃, sind bereits H₂-ready oder müssen lediglich geringfügig angepasst werden. Im Gegensatz dazu gibt es beispielsweise zu LOHC keine spezifischen Regelwerke und Normen. Bei NH₃ ist zu beachten, dass die bestehende Regelsetzung zumeist für industrielle Anwendungen und die Landwirtschaft gilt und nicht explizit für NH₃ als Energieträger.

Experten im Fokus

In einem nächsten Schritt diente die gezielte Befragung von Stakeholdern aus Industrie, Forschung und Verbänden der Identifizierung von Lücken und Anpassungsbedarfen. Dabei wurden bereits angestoßene H₂-Regelsetzung wie auch der Bedarf an Neuentwicklungen ihrer zeitlichen Notwendigkeit zugeordnet. Für

NH₃ wurden dabei auch die rechtlichen Anpassungsbedarfe aufgenommen.

Synergien nutzen

Im nächsten Schritt werden die erfassten Potenziale zur Regelsetzung zusammengeführt und evaluiert. Die daraus abgeleiteten erforderlichen Schritte für die Weiter- und Neuentwicklungen werden abschließend als Handlungsempfehlungen in einer Roadmap formuliert.

Von der Theorie in die Umsetzung

Im Laufe des Projekts hat sich H₂HohlZug als AP6 im Projekt Norm eingegliedert, mit dem Ziel ein flexibel einsetzbar und kostengünstig experimentelles Verfahren zur mechanischen Prüfung von metallischen Werkstoffen unter Hochdruckwasserstoff zu entwickeln. Dieses Verfahren wird eine entscheidende Rolle für die Bewertung der H₂-Readiness von Werkstoffen der H₂-Infrastruktur spielen.



Abbildung 2: Inhaltliche Übersicht des Arbeitspakets 6 im TransHyDE-Projekt Norm
Quelle: TransHyDE-Projekt Norm

Ansprechpartner

Name:	Thomas Systemans
Institution:	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
E-Mail:	thomas.systemans@dvgw.de
Gesamtfördersumme:	2,5 Mio. Euro

LNG2Hydrogen

Zukunftsfähige Nutzung von LNG-Terminal-Standorten

Prognose: Bedarf und (See-)Handel von Wasserstoff und seinen Derivaten in Europa und weltweit

Der maritimen Seeschifffahrt wird beim globalen Transport von Wasserstoff und seinen Derivaten eine große Relevanz prognostiziert. Es wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2050 mehr als 700 Schiffe für den Seetransport benötigt werden. Aufgrund der hohen Energiedichte von Wasserstoff und seinen Derivaten sind Schiffe in der Lage, große Mengen davon zu transportieren und sind am kompatibelsten mit den bestehenden sowie sich im Aufbau befindenden LNG- Umschlagsterminalinfrastrukturen.

Wie eine Studie von McKinsey (siehe Abbildung 1) zeigt, wird sich der weltweite Bedarf an Wasserstoff im Vergleich zu 2020 bis 2040 fast vervierfachen. In Europa wird knapp eine Verfünffachung des Bedarfs erwartet.

Zukunft des Wasserstoffs: Klimaneutralität und das LNG-Beschleunigungsgesetz

Das am 24. Mai 2022 verabschiedete LNG-Beschleunigungsgesetz zielt darauf ab, den Bau und die Nutzung stationärer LNG-Terminals und zugehöriger Transportinfrastruktur in Deutschland zu beschleunigen.

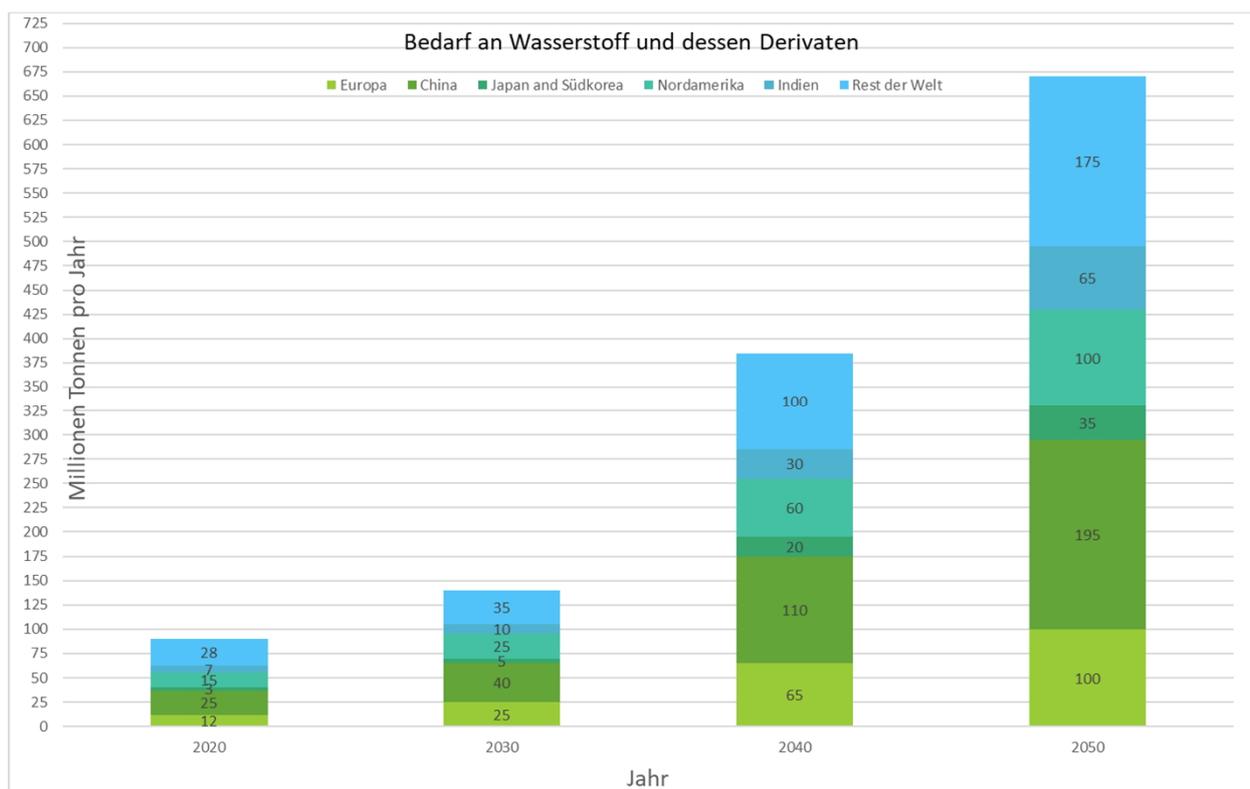


Abbildung 1: Bedarf an Wasserstoff und dessen Derivaten.
Quelle: Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonisation Hydrogen Council, McKinsey & Company

Genehmigungen für solche Terminals erfordern zwei Hauptnachweise: *Erstens*, die Umrüstungsfähigkeit auf Ammoniak-Import bis spätestens 1. Januar 2044, um die Vorbereitung für Grünen Wasserstoff zu gewährleisten, und *zweitens*, dass die Umrüstungskosten nicht mehr als 15 Prozent der ursprünglichen LNG-Terminalbaukosten betragen dürfen. Das Gesetz schreibt außerdem vor, dass bis spätestens 1. Januar 2035 eine Änderungsgenehmigung für die Umrüstung beantragt werden muss. Bis zu diesem Zeitpunkt besteht die Möglichkeit, auch andere Wasserstoffderivate als Ammoniak zu berücksichtigen, was Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an neue Technologien im Wasserstoffsektor gewährleistet.

Das LNG-Beschleunigungsgesetz unterstützt somit die schnelle Transformation der LNG-Infrastruktur in eine nachhaltige Wasserstoffversorgung. Es geht darum, die LNG-Terminals H₂-ready zu machen.

Technologische, logistische, ökonomische und regulatorische Herausforderungen

Im Rahmen des TransHyDE-Projekts LNG2Hydrogen werden die technologischen, logistischen, ökonomischen und regulatorischen Anforderungen betrachtet. Im Hinblick auf die Regulatorik bei der Einführung neuer Terminaltypen für Wasserstoffimporte müssen mehrere Schlüsselaspekte berücksichtigt werden. Dazu gehören die Anpassung der Schiffsverkehrsregelungen auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene, die Regulierung des innerdeutschen Weitertransports sowie das Planungs- und Genehmigungsrecht für Terminals, insbesondere für vielseitig nutzbare Multi-Use-Terminals.

Hinsichtlich Technologie und Logistik bei Wasserstoffderivaten sind die spezifischen Eigenschaften entscheidend. Dies betrifft das Design der Speichertanks, die thermische Isolation und die Auswahl der Strukturmaterialien zur Vermeidung von Schäden. Ebenso wichtig ist die Pumpentechnik, um die Handhabung und Sicherheit zu gewährleisten. In Bezug auf die Logistik spielen die Eigenschaften der Derivate eine zentrale Rolle, angefangen beim Schiffstransport und der Anlandung bis hin zur Lagerung, Prozessierung und Weiterverladung. Die Nutzung von Wärme und Kälte aus den Prozessen rundet die ganzheitliche Betrachtung ab und maximiert den Nutzen der Wasserstoffderivate. Im Bereich der Ökonomie stehen verschiedene Überlegungen im Vordergrund. Hierzu zählen der Zeitplan für die Umrüstung der bestehenden Infrastruktur sowie die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit eines Multi-Purpose-Betriebs. Es ist wichtig zu prüfen, welche Elemente bereits im Vorfeld implementiert werden können, um Kosten und Aufwand zu minimieren.

Die Material- und Umbaukosten, die Verfügbarkeit benötigter Kom-

ponenten sowie die Folgekosten in der gesamten Logistikkette sind wesentliche wirtschaftliche Faktoren. Zudem muss die organisatorische und zeitliche Umsetzung des Übergangs von einem alten Transportmedium zu einem neuen Wasserstoff-Vektor sorgfältig geplant und koordiniert werden. Diese ökonomischen Überlegungen sind von entscheidender Bedeutung für eine effiziente und kostengünstige Umstellung auf nachhaltige Wasserstofflösungen. Die Frage, die sich stellt, ist: Wie erfolgt organisatorisch und zeitlich der Übergang vom alten Transport-Medium zum neuen Wasserstoff-Vektor?

LNG2Hydrogen: Ein Forschungsprojekt als Antwort

Das TransHyDE-Projekt LNG2Hydrogen arbeitet an den Antworten zu den komplexen Fragestellungen einer Terminalumrüstung. Ziel des Projektes ist die Erarbeitung einer Datenbasis und Empfehlung als Entscheidungsbasis für die zukunftsfähige Nutzung von LNG-Terminal-Standorten als logistische Knotenpunkte für Wasserstoff und dessen Derivate (H₂-Transportvektoren).

Das Projekt fungiert als weiterer wichtiger Baustein für die Zielerreichung von TransHyDE, adressiert eine Reihe von Zielen der nationalen Wasserstoffstrategie und leistet damit wesentliche Beiträge zu dessen Umsetzung. Im Rahmen des Projektes werden vor allem folgende Themen bearbeitet: Analyse, Darstellung und Bewertung der heute möglichen technischen Optionen für eine zukunftsfähige Nutzung von LNG-Terminalinfrastrukturen und Ausblick auf notwendige kurzfristige Forschungs- und Innovationsbedarfe – technologieoffene Betrachtung von Synthetic Natural Gas, Flüssigwasserstoff, Methanol, Ammoniak, Liquid Organic Hydrogen Carrier und Dimethylether als alternativen Vektor.

Aktueller Stand des LNG2Hydrogen Projektes

Das TransHyDE-Projekt ist im Juni 2023 gestartet. In einem ersten Schritt wird der Frage nachgegangen, was unter dem Begriff H₂-Readiness zu verstehen ist und geeignete Transportvektoren definiert.

In einem weiteren Schritt werden im Rahmen eines Lastenhefts für zukünftige Terminalkonzepte detaillierte Vorschläge für die Umrüstung von LNG-Terminals sowie die verfahrenstechnische Auslegung der Terminalkonzepte für die verschiedenen Derivate erarbeitet.

Ansprechpartner

Name:	<i>Kai Ruske</i>
Institution:	<i>cruh21 GmbH</i>
E-Mail:	<i>ruske@cruh21.com</i>
Gesamtfördersumme:	3,8 Mio. Euro

Mukran

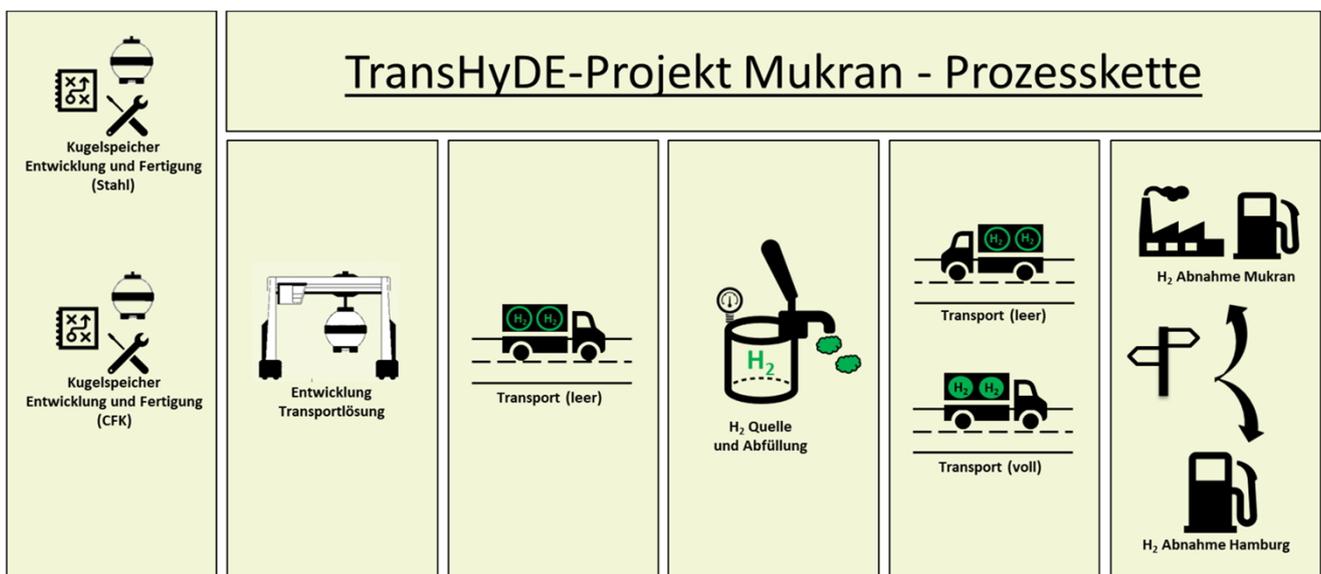
Trimodaler H₂-Transport und Erprobung der gesamten H₂-Wertschöpfungskette mittels innovativer Hochdruck-Kugelspeicher

Das TransHyDE-Projekt Mukran untersucht seit dem Projektstart unterschiedliche Entwicklungsansätze im Bereich Hochdruckwasserstoffspeicherung und dezentraler Wasserstoffverteilung, um somit den Aufbau überregionaler Transportlösungen für den Wasserstoff Markthochlauf zu erleichtern. Ziel des Projektes ist es, die gesamte Prozesskette von der Behälterentwicklung, Prototypenbau bis hin zu einem für den Straßen-, Schienen- und Schiffsverkehr geeigneten, mobilen Speicher im Projekt umzusetzen und zu demonstrieren.

Dazu entwickeln die Projektpartner **Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP** (Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO) und die **Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg BTU** (Fachgebiet Polymerbasierter Leichtbau) zwei Kugelspeichervarianten mit unterschiedlicher Werkstoffzusammensetzung. Im ersten Speicher wird eine Kombination aus einem Stahlinnerer mit einer Außenhaut aus carbonfaserverstärktem

Kunststoff (CFK) entwickelt. Im zweiten Kugelbehälter werden zwei unterschiedliche Stähle verbaut. Dabei sind hochfeste Legierungen, neuartige werkstoffgerechte Fertigungsverfahren sowie regelbasierte Optimierungsstrategien die Innovationstreiber und gewährleisten die Sicherheit bei hohen Betriebsdrücken trotz minimierter Wandstärken. Durch die Materialauswahl erwarten die Partner entscheidende Vorteile: Zum einen eine Kostenersparnis, welche die Kugelspeicher konkurrenzfähig macht, zum anderen eine höhere Langlebigkeit sowie eine verbesserte Recyclingfähigkeit. Um die neuartigen Wasserstoffspeicher mobil zu machen, ist geplant, sie in standardisierte Containerformate einzubauen. Im weiteren Projektverlauf wird neben den Speichern selbst zudem ein Rahmen entwickelt, welcher die Kugelspeicher während des Transports stabil im Container hält.

In Zusammenarbeit mit dem **Fährhafen Sassnitz „Mukran Port“** auf Rügen und dem europäischen Logistikunternehmen **Hamburger**



Übersicht der im TransHyDE-Projekt Mukran untersuchten Transportkette mit Hochdruckspeichern.

Quelle: TransHyDE-Projekt Mukran

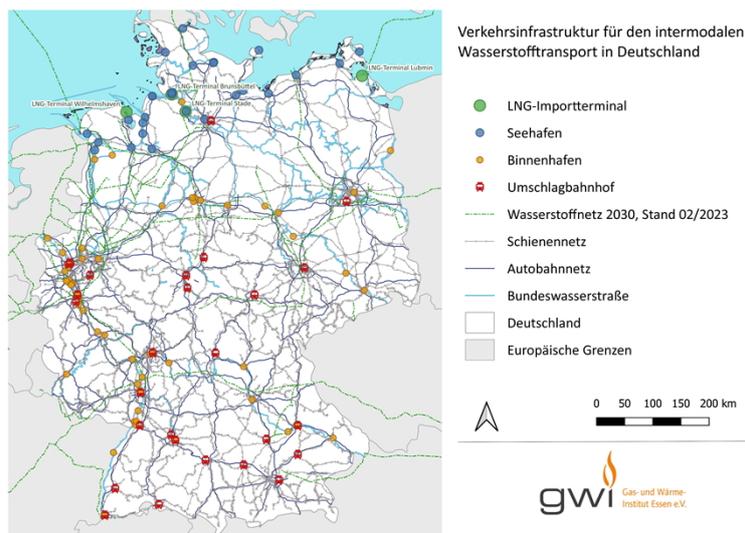


Quelle: Fährfahren Sassnitz GmbH

Hafen und Logistik AG (HHLA) werden die Anforderungen an den Transport sowie die Befüllung und Entnahme des Wasserstoffs erörtert. Hierfür werden aktuell Daten erhoben, welche äußeren Einflüsse beim Transport und bei der Be- und Entladung auf den Container wirken. Diese dienen als Grundlage für die Auslegung der Speicher. Auf den Anlagen der HHLA in Hamburg und dem Port Mukran werden diese Schritte abschließend praktisch erprobt.

Um die Ergebnisse zum Transport von gasförmigem Wasserstoff auch deutschlandweit zu untersuchen, wird am **Gas- und Wärme-Institut Essen (gwi) e.V.** eine umfangreiche Literatur- und Datenrecherche durchgeführt, welche die aktuellen technischen Anforderungen bei Speicherbehältern dokumentiert. Diese Daten sowie eine georeferenzierte Analyse des innerdeutschen, trimodalen Transports mit Schiene, LKW und Binnenschifffahrt sind die Grundlage für einen techno-ökonomischen Vergleich von unterschiedlichen Gashochdruckspeichern in Abhängigkeit von Abnehmer- und Transportstrukturen mit Ausschlussbewertung gegenüber des vorhandenen Pipeline-Transports.

Für die Verbreitung der Ergebnisse und der Suche nach geeigneten Investoren ist der Partner **ruh21** zuständig. Dazu wurde u.a. eine Wissensplattform aufgebaut, um so einen internen Projektaus-



Deutsche Verkehrsinfrastruktur für einen intermodalen Wasserstofftransport.
Quelle: gwi e.V.

tausch von Informationen zwischen Forschung und Industrie sowie optimale Nutzung möglicher Synergien zwischen den Wasserstoff-Leitprojekten zu gewährleisten.

Ansprechpartner

Name:	Janina Senner
Institution:	Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.
E-Mail:	janina.senner@gwi-essen.de
Gesamtfördersumme:	19,9 Mio. Euro

GET H₂

Umstellung von Erdgastransportnetzen auf H₂ und sicherer Betrieb von H₂-Pipelinenetzen

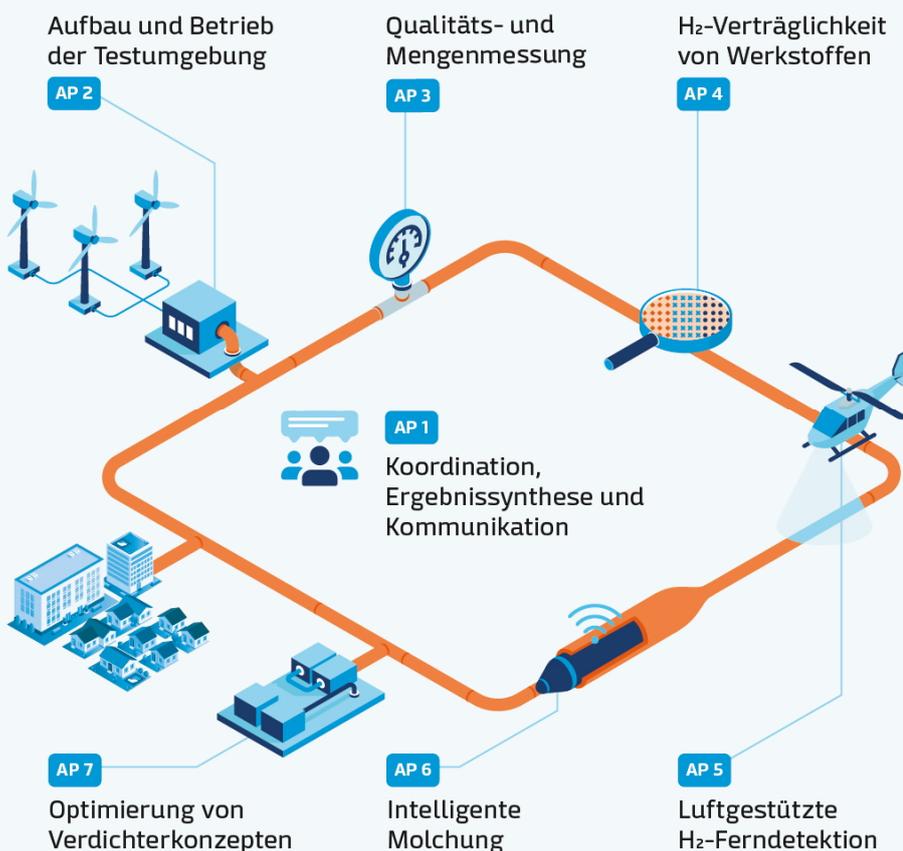
Die vorhandene Erdgastransportinfrastruktur wird ein wesentlicher Bestandteil beim Import und dem innereuropäischen Transport von Wasserstoff sein. Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene liegen umfangreiche Planungen für den Aufbau eines Wasserstofftransportnetzes vor.

Ein Großteil dieses Leitungssystems wird aus umgestellten Erdgas-

netzen bereitgestellt werden, aber auch neue H₂-Netze und Anlagen müssen aufgebaut werden.

Im TransHyDE-Projekt GET H₂ stehen grundlegende technische und operative Fragestellungen im Rahmen von sieben Arbeitspaketen im Fokus, die für den Aufbau und Betrieb einer sicheren und zuverlässigen H₂-Infrastruktur für gasförmigen Wasserstoff essentiell sind.

Dazu wird ein 130 m langer Pipelineloop aufgebaut (AP 2), um messtechnische und betriebliche (AP 3) sowie werkstoffseitige (AP 4) Aspekte für den leitungsgebundenen Wasserstofftransport unter realitätsnahen Randbedingungen zu untersuchen. Mit der Leitungsüberwachung durch H₂-Ferndetektion (AP 5) zur luftgestützten Leckageortung und der intelligenten Molchung (AP 6) werden auch sicherheitstechnische Fragestellungen bearbeitet. Für die Einspeisung, den Transport und die Speicherung von Wasserstoff werden Verdichterkonzepte entwickelt und evaluiert (AP 7).



Das TransHyDE-Projekt GET H₂ schafft praxisrelevante Grundlagen für den sicheren und effizienten Betrieb von Wasserstofftransportnetzen.
Quelle: TransHyDE-Projekt GET H₂

Bisher konnten folgende Ergebnisse und Erkenntnisse erzielt werden

Im Rahmen von AP 2 wurde ein 250 kW Hochtemperatur-Elektrolyseur auf dem Gaskraftwerksgelände in Lingen in Betrieb genommen, der die Versuchspipeline mit Wasserstoff versorgen soll. Deren Aufbau ist fertig gestellt und die Inbetriebnahme erfolgt.



Für H₂ entwickeltes Mikro-GC-System.
Quelle: meterQ GmbH

Für die Gasbeschaffenheitsmessung wurde einerseits in AP 3 ein Mikro-Gaschromatograph (GC)-System entwickelt, der sich bereits im eichamtlichen Zulassungsverfahren befindet. Andererseits wurden am Markt verfügbare Mess- und Analysegeräte beschafft, die in einem speziell konzipierten Labor getestet werden. Darüber hinaus wurde für die adsorptive Entfernung von Verunreinigungen bei sensiblen Abnehmern ein Aufreinigungscontainer aufgebaut.

Zur Identifizierung geeigneter Adsorbentien werden Screeningversuche im Labor durchgeführt. Die hierbei vielversprechendsten Adsorbentien werden dann im Aufreinigungscontainer unter realitätsnahen Bedingungen getestet. Weiterhin werden in AP 3 Turbinenradgaszähler als Vorbereitung für eine eichamtliche Zulassung getestet.

In AP 4 werden Werkstoffe aus Bestands- und Neuanlagen für den Wasserstoffeinsatz getestet. Eine Literaturrecherche ergab, dass die Auswirkungen langjähriger Betriebsbeanspruchung von Rohrleitungen auf deren Wasserstofftauglichkeit nicht umfassend erforscht sind.

Deshalb wird derzeit ein Werkstoffteststand in die Versuchspipeline integriert, mit dem betriebsbelastete Rohrstücke aus Bestandsleitungen mit neu gefertigten verglichen werden können.

Die luftgestützte Überprüfung von Gasleitungen ist ein wichtiger Bestandteil zur Überwachung von Gastransportleitungen. In AP 5 wird ein Laser-Messsystem entwickelt, mit dem Leckagen aus 100 bis 150 m Höhe detektiert und in ein Luftfahrzeug integriert werden kann. Das dafür verwendete Verfahren basiert auf der Raman-Streuung von UV-Strahlung an Wasserstoff.

Für die Leitungsinneninspektion unter Wasserstoffatmosphäre wurde in AP 6 als vorbereitende Maßnahme eine Erdgasbestandsleitung mittels Ultraschallverfahren in Wasser als Koppelmedium auf Korrosion und Risse überprüft.



In Betrieb genommener 250 kW Hochtemperatur-Elektrolyseur.
Quelle: RWE Generation SE

Hierbei wurden keine schwerwiegenden Fehlstellen erkannt. Die Passierbarkeit der Leitung wurde im Rahmen einer sogenannten Nullmolchung durch einen Geometriemolch nachgewiesen. Für die Referenzinspektion unter H₂-Atmosphäre soll ein neu zu entwickelnder Electromagnetic Acoustic Transducer-Molch (EMAT-Molch) zum Einsatz kommen, welcher ohne Koppelmedium in der Lage ist, rissartige Fehlstellen zu detektieren. Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten wurden Strömungssimulationen anhand der gewonnenen realen Leitungsdaten vorgenommen, da das Laufverhalten in Wasserstoff gegenüber Erdgas aufgrund der deutlich geringeren Dichte merklich dynamischer ist. Dies macht eine noch zu optimierende Bau- und Fahrweise notwendig. Darüber hinaus ergaben Materialprüfungen, dass die am Molch verbauten Magnete vor H₂-Atmosphäre geschützt werden müssen.

Um eine H₂-Quelle an das Transportsystem anschließen zu können (AP 7), müssen die Gasqualität und das Druckniveau zusammenpassen. Hierfür wird als Einspeiseeinheit eine Gasdruckregel- und Messanlage (GDRM-Anlage) benötigt, in der der Wasserstoff verdichtet und der Durchfluss gemessen wird. Für diese Aufgabe wurde eine standardisierte und modulare Wasserstoffeinspeiseanlage konzipiert und eine ökonomische Betrachtung durchgeführt. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Konzeptionierung von Verdichteranlagen für den H₂-Transport. Aufbauend auf Netzsimulationen wurden Spezifikationen für Maschinen erstellt und die Produktportfolios sowie die erwarteten Entwicklungen der nächsten Jahre mit Herstellern evaluiert.

Mit den Untersuchungen schaffen die Projektpartner wichtige Grundlagen für den Aufbau und Betrieb von umgestellten und neuen Wasserstoff-Transportleitungen, die in das Regelwerk des Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) und die betriebliche Praxis einfließen werden.

Ansprechpartner

Name:	Dr. Frank Graf und Sonja Rothenbacher
Institution:	DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT
E-Mail:	graf@dvwg-ebi.de und rothenbacher@dvwg-ebi.de
Gesamtfördersumme:	11,6 Mio. Euro

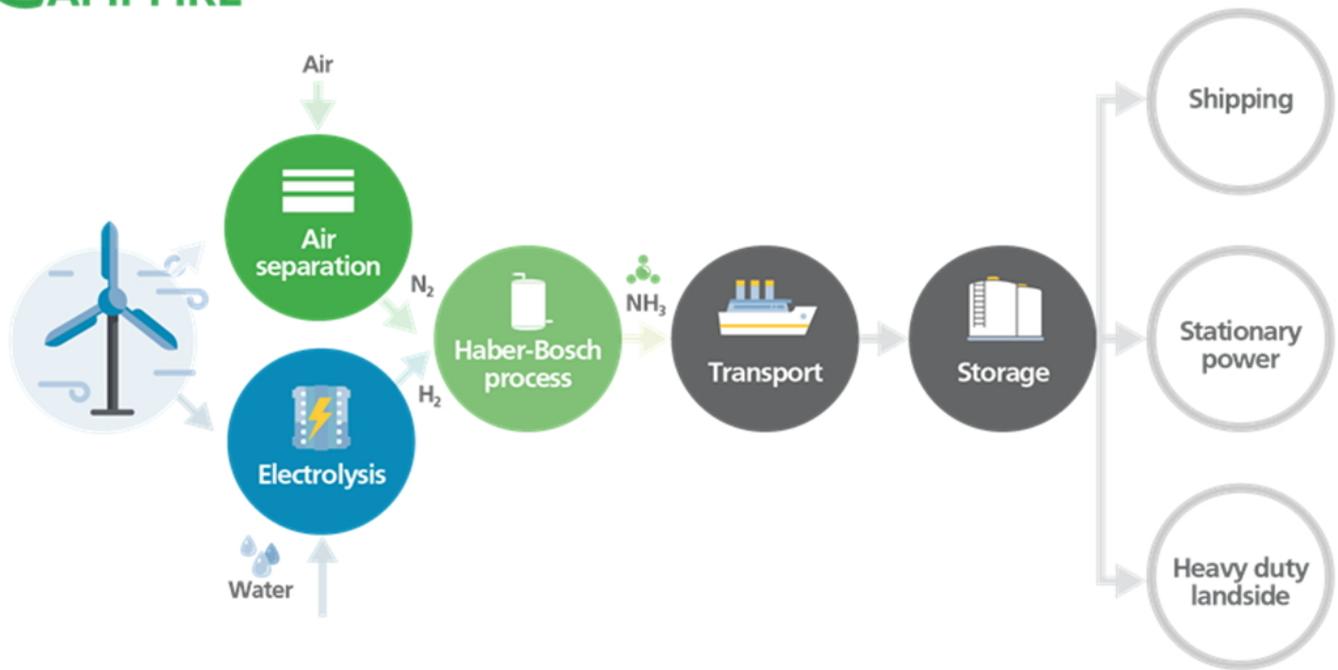
CAMPFIRE

Wasserstoffträger Ammoniak als verlässlicher Energiespeicher und Kraftstoff

Ammoniak ist stickstoff-gebundener Wasserstoff und lässt sich einfach und kostengünstiger speichern und transportieren. Er gilt zunehmend als ein tragender Baustein für das Ausrollen einer Wasserstoff-Wirtschaft. Das Umsetzungsprojekt CAMPFIRE entwickelt im TransHyDE Leitvorhaben Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Grünem Ammoniak. Für den Aufbau von Logistik und Infrastrukturen für die Nutzung von Ammoniak als kohlenstofffreien Wasserstoffträger sind innovative Technologien für die dezentrale Erzeugung von Grünem Ammoniak zur Speicherung von fluktuierender Wind- und Solarenergie erforderlich („Power-to-Ammonia“). Darüber hinaus adressieren die Partner den dringenden Bedarf an neuen Produkten für die flexible Betankung von Ammoniak-betriebenen Schiffen, für die Nutzung von Ammoniak als Kraftstoff in Schiffsmotoren, im landseitigen Schwerlastverkehr, in Arbeitsmaschinen oder zur Versorgung von Blockheizkraftwerken und Strom-Tankstellen („Ammonia-to-Power“). Neue Lösungen werden dabei auch für die Rückwandlung von Ammoniak zu Wasserstoff mittels Ammoniak-Crackern entwickelt. Für jede technische Umsetzung werden eng vernetzt die rechtlichen Rahmenbedingungen und Akzeptanzfragen betrachtet und entwickelt. Angesichts des enormen Bedarfs an neuen technischen Lösungen mit weltweitem Einsatzpotential möchten die Unternehmen des Bündnisses CAMPFIRE, welches sich im Rahmen Förderprogramms „WIR!- Wandel durch Innovation in der Region“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in 2019 gegründete, diese enorme Zukunftschance für die deutsche Wirtschaft nutzen. Die am Standort YARA Rostock vorhandenen infrastrukturellen und versorgungstechnischen Voraussetzungen sind prädestiniert für eine industrielle Technologieentwicklung in relevanten Leistungsgrößen. Testinfrastrukturen und Prüfstände werden durch das CAMPFIRE Open Innovation Lab im Rahmen von TransHyDE in Zusammenarbeit mit dem Poppendorfer Technologiezentrum – Green Ammonia Chem-Park aufgebaut, um zukünftig für Gründungen und junge Unter-

nehmen im Themenfeld Ammoniak und Wasserstoff den entscheidenden Vorsprung im globalen Wettrennen durch ein geeignetes Entwicklungsumfeld zu schaffen.

Im bisherigen Projektverlauf haben die insgesamt 32 Partner des CAMPFIRE Umsetzungsprojektes eine Anzahl von Entwicklungsbedarfen adressiert. Als Schlüsselergebnisse sind die Entwürfe einer Bunkerbarge für den Import und Transport von 1.000 m³ kaltverflüssigtem Ammoniak sowie einer landseitigen Betankungsanlage einschließlich der Auslegung von Schlauch- und Kupplungssystem, des Wärmemanagements, der Sicherheitsbetrachtungen und der Ausbildungsunterlagen zu nennen. Für die dezentrale Erzeugung von Ammoniak entwickelten die Partner erfolgreich das Design einer 200 kW Haber-Bosch-Gesamtanlage auf der Basis von neuartigen Strömungselementen und Katalysatoren für den dynamischen Betrieb in unterschiedlichen Lastbereichen und bereiten derzeit die Beschaffung und den Aufbau der Anlage vor. Cracker-Motor-Hybrid-systeme für Schiffsantriebe (350 kW) und für die stationäre Blockheizkraftwerk-Energieerzeugung (1 MW) auf der Basis von Ammoniak werden entwickelt. Die Projektteams konnten erfolgreich die Brennverfahren für Ammoniak-Wasserstoff-Kraftstoffmischungen an den jeweiligen Einzylindermotoren durchführen und attraktive Wirkungsgrade erzielen. Die Brennverfahren werden derzeit auf die Vollmotoren übertragen und eine Kopplung mit Ammoniak-Crackern vorgenommen. Teil der Arbeiten sind auch die Produktsicherheitsevaluierungen und Materialverträglichkeitsanalyse sowie das Screening von Abgaskatalysatoren. Die Partner erarbeiten ein Infrastruktur- und Logistik-Konzept für Ammoniak und führten dabei energetische Bedarfsprognosen für Verkehrsträger und eine Potenzialanalyse als Überblick über die aktuellen und künftigen Anwendungen von Ammoniak durch. Für den Überblick von Ammoniaktransportkapazitäten für See- und Landtransporte wurde eine interaktive Darstellungsmöglichkeit entwickelt. Für die zukünftige Wasserstoffversorgung aus Ammoniak entwickeln die Partner eine Cracker-



Kerntechnologien und Anwendungsbereiche für das zukünftige Grüne Ammoniak-Energiesystem.
Quelle: CAMPFIRE Bündnis / Makyō Studios

basierte Ammoniak-zu-Wasserstoff-Tankstelle. Im Fokus steht das Feinstreinigungsmodul, das auf der Basis eines neuartigen Siebdruckverfahrens und innovativem Laserschweißprozess für die Dichtungen hergestellt wird. Das erste Modul wurde erfolgreich umgesetzt. Übergreifend wird das Sicherheitskonzept für die Tankstelle entwickelt sowie eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Für den Testbetrieb der neuen Technologien setzen die Partner auf dem Gelände der YARA GmbH & Co KG in Poppendorf derzeit das Design und die Beschaffung von Anlagenkomponenten für den Aufbau von Testfeldern mit Energie- und Medienversorgung und zentralem Steuerungskonzept durch. Dabei stehen die Entwicklung von Sicherheitseinrichtungen und Steuerungskonzepten im Fokus. Eng vernetzt mit den Technologieentwicklungen führt CAMPFIRE die

Beobachtung und Analyse aktueller Rechtsentwicklungen für Ammoniak durch ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung in Bezug auf Lieferketten unter Berücksichtigung von fortlaufend dynamischen Entwicklungen durch. Innerhalb des Projektes wird ein Kommunikationskonzept für Ammoniak entwickelt und verfeinert. So wurden Tiefeninterviews mit Stakeholdern durchgeführt und die Anforderungen an die formelle Öffentlichkeitsbeteiligung in relevanten Planungs- und Genehmigungsverfahren definiert. Im Fokus aller Arbeiten steht die sichere Nutzung von Ammoniak und Untersuchungen zu Regelungslücken und Hemmnissen, die in Bezug auf Sicherheit bestehen, um daraus Gesetzes- und Normvorschläge abzuleiten.

Ansprechpartner

Name:	Dr. Angela Kruth
Institution:	Leibniz Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP) e. V.
E-Mail:	angela.kruth@inp-greifswald.de
Gesamtfördersumme:	30,6 Mio. Euro

Helgoland

H₂-Speicherung und -Transport mit LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers)

Im TransHyDE-Projekt 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.

Innerhalb dieses Forschungsszenarios wird der auf See produzierte Grüne Wasserstoff, sobald er die Insel Helgoland via Pipeline erreicht, in einer Hydrieranlage an LOHC – konkret an das Thermalöl Benzyltoluol (BT) – 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.

Die Schwerpunkte des Projekts im Überblick

Innerhalb der modellierten Transportkette hat jeder Projektpartner eigene Forschungs- und Entwicklungsbereiche. Der Fokus liegt dabei auf der LOHC-BT-Technologie und der technischen Skalierung der Hydrier- und Dehydrieranlagen, auf logistischen Lösungen für den Transport und Umschlag von LOHC-BT, Machbarkeiten und wirtschaftlichen Szenarien sowie auf der Materialforschung für Pipelines und der Entwicklung von Tank- und Wartungskonzepten.

Die LOHC-Technologie: Wasserstoff sicher und effizient verpacken

Das TransHyDE-Projekt Helgoland setzt auf die innovative LOHC-Technologie des Unternehmens Hydrogenious LOHC Technologies GmbH

aus Erlangen. Einen großen Vorteil dieser Technologie stellt dabei die hohe inhärente Sicherheit des verwendeten Trägermaterials dar. Da es schwer entflammbar ist und sich vergleichsweise unkompliziert mit der bereits bestehenden Infrastruktur für flüssige Brennstoffe handhaben lässt, eignet es sich besonders für den Einsatz in Häfen oder in urbanen Umgebungen. Zudem kann LOHC-BT mehrere hundert Male be- und entladen werden und ist anschließend recyclebar.

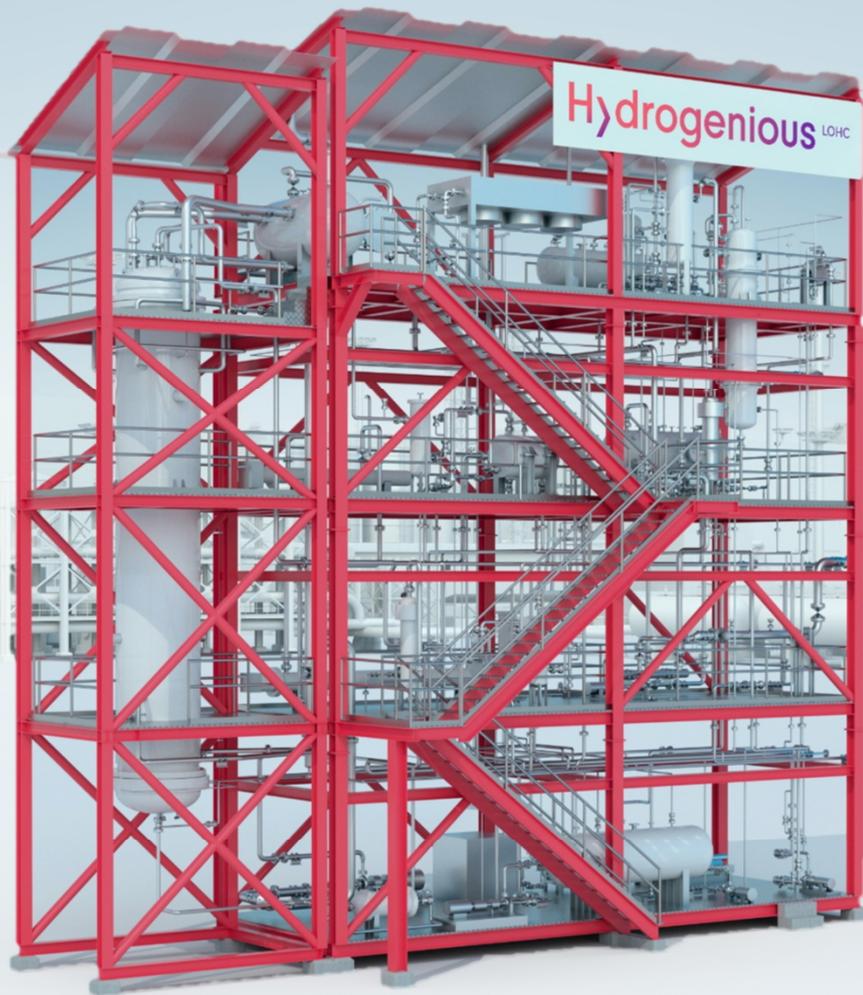
Im Kontext der LOHC-BT-Technologie werden modellhaft diverse Entwicklungsthemen zur Optimierung der Hydrieranlagen untersucht, wie z. B. eine erhöhte Anlagenflexibilität, ein reduzierter Platzbedarf der Anlagen, intelligente Betriebsweisen etc.



*Begutachtung einer LOHC-BT-Probe.
Quelle: Hydrogenious LOHC Technologies*

Machbarkeitsstudien, Business Cases und Betreibermodelle

Mit Machbarkeitsstudien und Analysen wird die Transportkette auf ihr technisches und wirtschaftliches Realisierungspotenzial geprüft. Dazu gehören Studien zum Standort der Anlagen und zur Flächennutzung bzw. -erweiterung innerhalb verschiedener logistischer Varianten für den LOHC-Transport und Umschlag sowie die Nutzung und Integration von Wärme unterschiedlicher Anlagengrößen während des Hydrier- und Dehydrierprozesses. Ebenso Case Studies zur Entscheidungsfindung späterer Betreibermodelle. Hauptakteur für den Bereich „Wasserstoff-Logistik“ ist die Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA). Diese untersucht mögliche Standorte in Hamburg für die Umsetzung eines Wasserstoffimportterminals.



Beispiel für eine Storage Plant.
Quelle: Hydrogenious LOHC Technologies GmbH

Materialforschung, Wartungs- und Tanksysteme

Der Projektpartner Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM fokussiert sich auf den Bereich Materialforschung. Hier werden zusätzliche, innovative Materialkonzepte als mögliche Ergänzung der bestehenden Infrastruktur untersucht.

Dazu gehören:

- Biozidfreie Bewuchsschutzbeschichtungen für Meeresspipelines und Untersuchungen, welche Stoffe von Korrosionsschutzschichten an die Umwelt abgegeben werden.
- Spezielle Barrierebeschichtungen, die Schäden durch Druckwasserstoff in metallischen Werkstoffen reduzieren sollen.

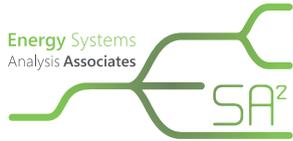
- Stationäre und mobile Tanks für die Speicherung und den Transport von LOHC-BT: z. B. beständige Materialien für den Tankbau sowie Dicht- und Klebstoffe oder ein neues Konzept für LOHC-Tanks, das den Platzbedarf der Tanks halbiert.
- Untersuchungen, ob LOHC-BT ähnlich wie mineralische Kraftstoffe durch Bakterien oder Pilze angegriffen werden kann.
- Methoden zur Überwachung der Tanks: Kontrolle durch Drohnen und kontinuierliche Überwachung durch integrierte faser-optische Sensoren.
- Zustandsüberwachung des LOHC-BT mit inlinefähigen spektroskopischen Methoden.

Ansprechpartner

Name:	Christoph Tewis
Institution:	Tewis Projektmanagement GmbH
E-Mail:	info@te-pm.de
Gesamtfördersumme:	13,8 Mio. Euro

TransHyDE Technologieplattform











Impressum

Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE
Geschäftsstelle Kommunikation und Koordination
E-Mail: koordination@transhyde.de

Webseite:
www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde
LinkedIn: 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