

H₂-Transport- und Speicheroptionen: Normen und technische Regeln

Das Projekt TransHyDE-Norm – Normen für den Transport von Wasserstoff nach und in Deutschland

**Miriam Bäuerle, Thomas Paintner, Dominic Schmolke, Thomas Systermans*,
Werner Kinnen und Thomas Jordan**

Das Leitprojekt TransHyDE, mit einer Laufzeit von April 2021 bis März 2025, bewertet und testet Wasserstoff-Transportlösungen in insgesamt elf Demonstrationsprojekten. Die praktische Erprobung wird durch eine wissenschaftliche Begleitforschung ergänzt, zu der auch das Teilprojekt TransHyDE-Norm zählt. Zur Umsetzung der in TransHyDE behandelten Transportoptionen bedarf es einheitlicher Vorgaben in Form von Normen, Standards und Zertifizierungsprogrammen. Ziel des Vorhabens ist es daher, die Normung, Zertifizierung und Standardisierung von Transport-, Verteil- und Speicheroptionen für Wasserstoff bzw. andere chemische Energieträger ganzheitlich zu untersuchen. So sollen Regelungslücken aufgezeigt und Lösungsansätze entwickelt werden.

Schlagwörter: Normierung, Regelwerke, Wasserstofftransport, Zertifizierung

H₂ Transport and Storage Options: Standards and Technical Regulations The TransHyDE-NORM project – Standards for the transport of hydrogen to and in Germany

The lead project TransHyDE with a duration from April 2021 to March 2025 evaluates and tests hydrogen transport solutions in eleven demonstration projects. The practical testing is complemented by accompanying scientific research, which includes the TransHyDE standard sub-project. To enable the implementation of the transport options dealt with in TransHyDE, uniform specifications in the form of norms, standards and certification programmes are needed. The aim of the project is therefore to holistically investigate the standardisation, certification and standardisation of transport, distribution and storage options for hydrogen and other chemical energy carriers. In this way, regulatory gaps are to be identified and solutions developed.

Keywords: Certification, Hydrogen transport, Regulations, Standardisation

1 Einleitung

Wasserstoff fungiert als vielseitig einsetzbarer Energieträger und nimmt eine entscheidende Rolle im Kontext der Energiewende ein. Bei Herstellung unter Zuhilfenahme erneuerbarer Ressourcen trägt Wasserstoff zur Dekarbonisierung von Industriesektoren, Verkehrswesen sowie Wärmeprozessen bei und bildet somit eine essenzielle Komponente für die Sektorenkopplung. Eine effiziente und sichere Infrastruktur für den Transport von Wasserstoff ist eine unabdingbare Grundlage sowohl für dessen Distribution als auch für seine Anwendung in den genannten Sektoren [1].

¹Miriam Bäuerle, ²Thomas Paintner, ³Dominic Schmolke,

⁴Thomas Systermans (thomas.systermans@dvgw.de),

⁵Werner Kinnen, ⁶Prof. Dr.-Ing. Thomas Jordan

¹Gas- und Wärme-Institut Essen e. V., Hafenstraße 101, 45356 Essen, Deutschland

²Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM) Magazinstraße 15–16, 10179 Berlin, Deutschland

³Inherent Solutions Consult GmbH & Co. KG (ISC) Bemeroder Straße 71, 30559 Hannover, Deutschland

⁴DVGW e.V., Josef-Wirmer-Straße 1–3, 53121 Bonn, Deutschland.

⁵DVGW CERT GmbH, Josef-Wirmer-Straße 1–3, 53123 Bonn, Deutschland.

⁶Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Deutschland.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) initiierte und geförderte Leitprojekt TransHyDE hat als Ziel die praktische Implementierung von Transport-, Verteil- und Speicherlösungen für Wasserstoff sowie andere chemische Energieträger. Dies umfasst spezifische Untersuchungen zu Transport- und Speichermethoden für

- gasförmigen Wasserstoff mittels Pipelines,
- gasförmigen Wasserstoff in Gashochdruckbehältern,
- flüssigen Wasserstoff (LH_2), ebenso wie
- Wasserstoff, der in Ammoniak (NH_3) gebunden ist oder
- Wasserstoff, der in Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) gebunden vorliegt.

Diese unterschiedlichen Ansätze zur Speicherung und zum Transport werden unter dem Begriff „Transportvektoren“ zusammengefasst [1].

Zusätzlich zu den technischen und regulatorischen Anforderungen, die durch Gesetze, Richtlinien und Verordnungen definiert werden, ist die Schaffung von einheitlichen Normen, technischen Richtlinien und Zertifizierungsstandards von zentraler Bedeutung für eine funktionierende Wasserstoffinfrastruktur. Das TransHyDE-Projekt zielt darauf ab, sämtliche genannte Aspekte umfassend zu analysieren, um bestehende Regelungslücken zu identifizieren und Lösungsansätze zu entwickeln [1] (Abb. 1).

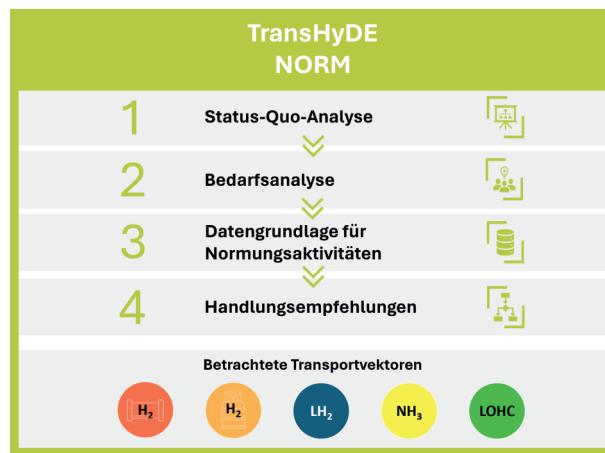


Abbildung 1. Arbeitspakete des TransHyDE-Projekts Norm.

Zunächst wurde der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik festgestellt. Bestehende Normen mit Fokus auf nationaler, daneben aber auch europäischer und internationaler Ebene, technische Vorschriften sowie Anforderungen für Zertifizierungen wurden in diesem Prozess erfasst und in einer Datensammlung dokumentiert.

Nachfolgend werden die erzielten Resultate der durchgeführten Bedarfsanalysen in Bezug auf die genannten Transportvektoren erläutert. Flüssigwasserstoff ist in die hier aufgeführte Auswertung nicht mit eingeflossen. Für die Bedarfsermittlung wurden Interviews mit den beteiligten Projekten innerhalb von TransHyDE absolviert. Zusätzlich fand im April 2023 ein Workshop mit Stakeholdern statt,

um außerdem die Perspektiven externer Interessenvertreter zu berücksichtigen. Diese Arbeiten bauen auf der vorherigen Erfassung bestehender Regelungen und Normen auf, die im Mai 2022 abgeschlossen wurde, jedoch halbjährlich eine umfassende Aktualisierung erfährt.

Die erkannten Lücken in den Regelungen werden zum Zeitpunkt des Abschlusses des TransHyDE-Norm-Projekts (im März 2025) mit den Daten aus der Bestandsanalyse verglichen. Daraufhin werden die Erkenntnisse in eine Roadmap integriert und klare Handlungsempfehlungen für Politik und Interessenvertreter formuliert, die darauf abzielen, die identifizierten Regelsetzungslücken zu schließen.

2 Grundlagen

2.1 Regelsetzung kurz erklärt

Normen sind Dokumente, die Anforderungen an Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren festlegen. Sie dienen der Klarheit über Eigenschaften, erleichtern den Warenverkehr und fördern Exportaktivitäten. In Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung unterstützen sie Rationalisierung und Qualitätssicherung, sorgen für Sicherheit von Menschen und Gütern und verbessern die Qualität in unterschiedlichen Lebensbereichen. Mit einem volkswirtschaftlichen Nutzen von etwa 17 Mrd. Euro jährlich haben Normen einen Einfluss auf verschiedene Aspekte der Gesellschaft [2]. Normen, auch als technische Regeln bezeichnet, werden von Institutionen wie dem Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN) erstellt. Diese Normen können freiwillig angewendet werden, jedoch werden sie bindend, wenn sie Teil von Verträgen werden oder gesetzlich vorgeschrieben sind. Sie fungieren als anerkannte Regeln der Technik und können in Fällen der Haftung ein korrektes Verhalten nachweisen [2]. Der Begriff „Standards“ wird international verwendet, während sich in Deutschland die Begriffe Norm durch DIN und technische Regeln durch den DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) etabliert haben. Zur Unterscheidung kann weitestgehend gesagt werden, dass DIN vor allem Produktnormen veröffentlicht, während der DVGW ein Regelwerk mit dem Fokus auf Installationsanforderungen bereitstellt. Der Übergang zwischen den Bezeichnungen Norm und Regelwerk ist jedoch fließend. Normen und technische Regelwerke sind das Ergebnis von Konsensverfahren aus Industrie und Forschung und fungieren als Erfüllungsgehilfen für Gesetze. Sie unterstützen bei Haftungsfragen und dienen der Selbstverwaltung der Industrie.

Internationale Standardisierung erfolgt durch die Internationale Standardisierungsorganisation (ISO), während die nationale Ebene durch das Deutsche Institut für Normung (DIN) vertreten wird. Auf europäischer Ebene ist das Europäische Komitee für Normung (CEN) tätig, das als kleinster gemeinsamer Nenner der europäischen Standardisierung fungiert. EN-Normen des CEN müssen national übernom-

men werden und ersetzen bestehende nationale Normen. Harmonisierte Normen belegen automatisch die Einhaltung von Vorschriften [3, 4]. Harmonisierte DIN EN-Normen sind EU-verordnungskonform, während harmonisierte DIN-Normen nationalen Gesetzen entsprechen.

Normen unterscheiden sich von der Regulatorik, da technische Regeln generell eine freiwillige Anwendbarkeit aufweisen. Jedoch sind DIN und DVGW als Verfasser von „anerkannten Regeln der Technik“ vom Gesetzgeber in diversen Gesetzestexten zitiert und bieten daher bei Einhaltung 100 %ige Rechtssicherheit. Ein Beispiel dafür ist die Nennung des DVGW als anerkannter Regelsetzer für die Gas- und Wasserbranche im §49 EnWG. Gleches gilt bei einer Harmonisierung von Normen und technischen Regeln. Normen und technische Regeln werden nach definierten Geschäftsordnungen erstellt, wie zum Beispiel die GW 100 beim DVGW und der DIN 820 beim DIN.

2.2 Wasserstoff-Transportvektoren in TransHyDE

2.2.1 Gasförmiger Wasserstoff

Wasserstoff kommt unter atmosphärischen Bedingungen gasförmig vor. Der Transport erfolgt unter bestimmten Druckbedingungen via Leitungen oder Druckbehältern. Diese müssen so beschaffen sein, dass die Materialien den erforderlichen Druck standhalten können und gleichzeitig nicht unter Korrosionsschäden während der Nutzungsdauer leiden [5]. Die bestehende Infrastruktur und bekannte Technologien können für den Transport und die Nutzung von Wasserstoff genutzt werden und um neue wissenschaftliche Erkenntnisse ergänzt werden [6]. Der Transport kann trimodal d. h. über Straßen, Wasserstraßen, und Schienen erfolgen. Ein Vorteil des Wasserstofftransports in seiner gasförmigen Form liegt unter anderem in der einfachen Bereitstellung. Besonders in Hochdruck-Speichersystemen kann Wasserstoff innerhalb weniger Minuten getankt oder umgefüllt werden. Dies ermöglicht eine schnelle Versorgung und macht Wasserstoff als Transportmittel im Straßenverkehrssektor attraktiv [7].

2.2.2 Ammoniak

Ammoniak ist einer der am häufigsten verwendeten Grundstoffe in der chemischen Industrie. Hergestellt wird Ammoniak seit mehr als 100 Jahren über das etablierte Haber-Bosch-Verfahren. Ammoniak wird bereits über Ländergrenzen hinweg umfangreich über den Seeweg transportiert. Auch existieren Onshore-Pipelines mit Längen von wenigen hundert Kilometern zum lokalen Transport von Ammoniak. Im Vergleich zu Flüssigwasserstoff aber auch LNG, ist die Siedetemperatur mit -33°C deutlich höher, sodass die Anforderungen an Speichermaterialien und Isolierungen signifikant geringer ausfallen und auch Boil-off-Verluste reduziert werden [8].

Der Großteil (~80–85 %) des weltweit produzierten Ammoniaks (weltweite Produktion im Jahr 2020: ca. 180 Mio. t) wird zur Herstellung von Düngemitteln eingesetzt [8, 9]. Der für die Produktion von Ammoniak benötigte Wasserstoff wird bisher zu einem Großteil aus Erdgas hergestellt. Grüner Ammoniak, basierend auf grünem Wasserstoff, kann den grauen Ammoniak sukzessive am Markt ersetzen, wenn ausreichend erneuerbare Energien zur Verfügung stehen. Es ist anzunehmen, dass der globale Ammoniakmarkt neben den existierenden Ammoniakmärkten wie z. B. in der Düngmittelindustrie, der chemischen Industrie und in der Kältetechnik in den kommenden Jahrzehnten z. B. infolge der Dekarbonisierung der Schifffahrt und der Industrie im Allgemeinen deutlich wächst. Allein deswegen stellt die Erzeugung von Ammoniak mittels grünen Wasserstoffs eine No-regret-Option für zukünftige defossilierte Energiesysteme dar [10].

2.2.3 LOHC

Flüssige organische Wasserstoffträger (LOHC) eignen sich für den Wasserstofftransport über weite Strecken, beispielsweise per Schiff. Der Transport von Wasserstoff gebunden in LOHC findet bei Atmosphärendruck und Umgebungstemperatur statt, da LOHC bei diesen Bedingungen flüssig ist. Der Umgang mit Wasserstoff gebunden in LOHC ist effizient und vergleichsweise einfach, da weder Kühl- noch Druckbehälter benötigt werden [11]. Speziell durch die besondere Eignung für den Schiffstransport besteht ein großer Bedarf an Infrastruktur in Häfen für die Anlandung und kurzfristige Lagerung von LOHC sowie für eine direkte Dehydrierung vor Ort, um Wasserstoff beispielsweise direkt in ein Pipelinennetz einzuspeisen [6]. Die LOHC-Technologie kann auf vorhandene Infrastruktur zurückgreifen. Für Transport und Lagerung, müssen keine besonderen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, da diese vom Umfang in etwa denen entsprechen, die für Rohöl getroffen werden müssen [6]. Durch die einfache Handhabung ist zudem der Umschlag auf Inlandstransport durch Tanklastwagen oder Binnenschiff ohne größeren Aufwand möglich. LNG-Terminals können zum einen zur Lagerung von beladenem LOHC zur zeitnahen Weiterverwendung und zum anderen zur Lagerung von entladenem LOHC, dass auf ein Schiff zum Transport zu einer Wasserstoffquelle verladen wird, genutzt werden [1].

2.2.4 Farbkodierung

Die Farbkennzeichnung der beschriebenen Transportvektoren wurde in Anlehnung an die europäische Kennzeichnung von Gasflaschen entwickelt. Aufgrund der Tatsache, dass gasförmiger Wasserstoff zu den entzündlichen Gasen zählt, wird er mit der Farbe Rot markiert. Um gasförmigen Wasserstoff in Leitungen von solchem in Gashochdruckbehältern zu unterscheiden, wird die Farbe Rot für Leitungen und Orange für Gashochdruckbehälter verwendet.

Ammoniak fällt unter die Kategorie der giftigen und/oder ätzenden Gase und erhält daher die Farbkennzeichnung Gelb [12]. Für LOHC wurde die Farbe Grün festgelegt. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die generellen Farbkodierungen für verschiedene Substanzen je nach Land unterschiedlich sein können, da die DIN EN-Normen ausschließlich für Mitglieder des Europäischen Komitees für Normung verbindlich sind [3].

3 Regelsetzungsbedarfe für die Wasserstoff Transport- und Speicherinfrastruktur

3.1 Vorgehen

Im Rahmen der internen Bedarfsanalyse für die Technologien und Konzepte, die im Leitprojekt TransHyDE entwickelt wurden, ist ein Interviewleitfaden für die Subprojekte innerhalb von TransHyDE erstellt worden. Dies diente der Entwicklung eines Fragenkatalogs im Hinblick auf die Erstellung, Überarbeitung oder Erweiterung von technischen Regelwerken, Normen und Zertifizierungsmethoden. Das Interview gliederte sich in drei thematische Abschnitte. Im ersten Teil wurden Fragen zu bereits verwendeten Normen und Regelwerken gestellt. Nachfolgend wurden fehlende oder für die Zukunft wichtige Regelsetzungen thematisiert. Im letzten Teil wurden vertiefende Fragen zum Beispiel zu relevanten Stakeholdern gestellt. Darüber hinaus bestand die Möglichkeit für die Interviewpartner, zusätzliche Aspekte anzusprechen, die für ihre jeweiligen Umsetzungs- oder Forschungsprojekte von Bedeutung sind.

Die Fragen bezogen sich inhaltlich auf die Anwendung von Wasserstoff in der Transport- und Speicherinfrastruktur, einschließlich Gashochdruckbehältern, Leitungen, sowie den Trägermedien Ammoniak und LOHC. Das übergeordnete Ziel bestand darin, die notwendige Entwicklung neuer Regelwerke, Normen und Zertifizierungsmethoden systematisch darzustellen, sowohl für bereits in TransHyDE entwickelte Technologien als auch für Speicher-, Transport- und Verteilkonzepte.

Im Anschluss an die interne Bedarfsanalyse erfolgte im April 2023 ein umfangreicher Austausch mit externen Interessenvertretern in Form eines Stakeholder-Workshops. Dieser Workshop hatte zum Ziel, wichtige Interessengruppen zusammenzubringen, um deren Perspektiven und Anliegen in Bezug auf bestehende Regelwerke, Normierungsprozesse sowie identifizierte Lücken zu diskutieren. Vertreter aus Forschung, Industrie, Gewerbe und Behörden wurden nach Berlin eingeladen. Die Auswahl erfolgte durch das Projektionskonsortium dahingehend, dass eine möglichst große Bandbreite von Bereichen abgedeckt wurde. Die besprochenen Konzepte für die Speicherung, den Transport und die Verteilung von gasförmigem Wasserstoff in Leitungen oder Gashochdruckbehältern, gebundenem Wasserstoff in Ammoniak oder LOHC sowie Flüssigwasserstoff wurden

in kleinen Gruppen erörtert. Die erzielten Ergebnisse wurden in die Kategorien

- Anforderungen an den Energieträger,
- Werkstoff/Material,
- Funktion/technische Sicherheit und
- Qualifikation/Betriebssicherheit & organisatorische Voraussetzungen

eingeteilt und auf einen Zeitstrahl aufgetragen. Dieser Zeitstrahl umfasst die Zeiträume

- „läuft bereits“ für aktuell laufende Regelsetzungsprozesse,
- „kurzfristig“ für Anforderungen an Normungsprozesse bis 2025,
- „mittelfristig“ für die Entwicklung von Regelwerken bis 2030 und
- „langfristig“ für die zeitliche Einordnung bis 2045.

3.2 Identifizierte Bedarfe

Das Projekt GET H2 im Rahmen von TransHyDE erarbeitet die Grundlagen für öffentlich zugängliche Wasserstoff-Fernleitungen. In diesem Kontext wird untersucht, welche Techniken zur Wartung von Leitungen geeignet sind und wie bestimmte Werkstoffe bei Kontakt mit Wasserstoff reagieren. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung einer zuverlässigen Qualitäts- und Mengenmessung von Wasserstoff, die entscheidend ist, um Wasserstoff zwischen Erzeugern, Transporteuren und Verbrauchern zu übertragen. Für die geplanten experimentellen wissenschaftlichen Untersuchungen werden Gasleitungen verwendet, die bereits über viele Jahre für den Erdgastransport genutzt wurden [13].

Im Zuge der internen Bedarfsanalyse hat GET H2 einige Lücken in den bestehenden Regelungen identifiziert. Für Gasleitungen zum Transport von gasförmigem Wasserstoff gibt es bereits zahlreiche anwendbare Normen und technische Regeln, insbesondere da einige Normen und technische Regeln für Erdgasleitungen ohne Anpassung auf Leitungen für Wasserstoff übertragen werden können. Allerdings wurden bereits viele dieser Normen und technischen Regeln vom DIN und dem DVGW angepasst oder neu entwickelt.

Aufgrund der langjährigen Erfahrung mit Gasleitungen als Transport- und Speichermöglichkeiten konnten die befragten TransHyDE-Partner sowie externe Interessenvertreter spezifische Anforderungen benennen, die noch nicht in den bestehenden Regelungen berücksichtigt wurden. Ein Beispiel hierfür ist die Anpassung der Gasbeschaffenheit im DVGW Arbeitsblatt G 260, das die Qualitätsanforderungen verschiedener gasförmiger Energieträger in Kategorien von Gasfamilien beschreibt und deren Anwendungsbereiche festlegt. Dieses technische Regelwerk wurde bereits um die fünfte Gasfamilie „Wasserstoff“ erweitert, aber weitere Anpassungen sind aufgrund fortschreitender Forschung und Erfahrungen erforderlich. Externe Stakeholder äuße-

ten ähnliche Bedenken hinsichtlich der Überarbeitung der Wasserstofffreinheitsanforderungen.

Auch im Bereich der technischen Sicherheit wurden einige Lücken identifiziert. Ein Beispiel ist die Erweiterung der DVGW G 501, um ein luftgestütztes Wasserstoffdetektionssystem einzubeziehen.

Sowohl bei der internen als auch bei der externen Befragung wurden vor allem kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Schließung dieser Lücken als erforderlich erachtet. Gleichzeitig wurde festgestellt, dass laufende Arbeiten zur Regelsetzung noch nicht ausreichend sind. Ein Beispiel dafür sind die ergänzenden Anmerkungen zur Kategorie „Werkstoff/Material“ für die DVGW G 409 und DVGW G 464.

Themen wie Planungssicherheit, Schulungsinhalte und Leitfäden für Wasserstofftankstellen wurden in der Bedarfsanalyse als unvollständig oder fehlend identifiziert.

Die Analysen haben gezeigt, dass in Bezug auf Leitungen hauptsächlich Ergänzungen bestehender Regelwerke und Normen erforderlich sind und weniger neue Entwicklungen notwendig sind. Alle Stakeholder waren sich einig, dass die Schließung dieser Lücken bis 2045 (langfristig) nicht schnell genug erfolgt. Die Bedarfe aus der internen Befragung konzentrieren sich oft auf spezifische Regelwerke und Normen, während die externe Analyse eher weitreichendere Themen als unzureichend oder fehlend hervorhebt.

Zum Thema Gashochdruckbehälter wurde das TransHyDE Projekt Mukran interviewt. Dort werden neue sphärische Hochdruck-Wasserstoffspeicher entwickelt sowie die Speicherung und der trimodale Transport von gasförmigem Wasserstoff zur Versorgung von Abnehmern ohne Anbindung an ein H₂-Pipelinetz untersucht. Ziel der Entwicklung ist ein optimaler Kompromiss aus belastungs- und werkstoffgerechter Geometrie sowie geringen Fertigungs- und Betriebskosten, um so einen effizienten Transport mit einem hohen Nutzlastverhältnis zu ermöglichen [1]. Das Projekt ist nach einer Neustrukturierung im Mai 2023 mit neuen Partnern und angepassten inhaltlichem Fokus gestartet.

Das Interview zum Fragebogen wurde Ende 2022 geführt. Dieser Stand zeigt die Literaturrecherche im Rahmen der Entwicklungsarbeiten, um Anforderungen der Behälter für den internationalen trimodalen Transport abzudecken. Bislang wurden häufiger europäische Normen berücksichtigt, während internationale Standards weniger Verwendung fanden. In den bisherigen Projektarbeiten kamen unter anderem die Vorschrift für den Gefahrguttransport (Gefahrgut-Verordnung) sowie die Norm DIN EN 13445 zur Anwendung. Obwohl diese nicht gezielt für Wasserstoff entwickelt wurden, lassen sie sich dennoch auf das Thema anwenden. Eine identifizierte Einschränkung im Zusammenhang mit den geltenden Normen und Richtlinien liegt in ihrer Zugänglichkeit. Oftmals sind diese kostenpflichtig, was bedeutet, dass je nach benötigter Anzahl ein gewisses finanzielles Budget erforderlich ist. Mit der Verknüpfung von Normen und Prüfverfahren steigt der finanzielle Auf-

wand weiter an, da häufig zusätzliche Normen oder Richtlinien, auf die verwiesen wird, separat erworben werden müssen. Eine Lösung für dieses Problem könnte in der Bereitstellung von Norm-Bundles liegen. Auch könnten potenzielle Widersprüche aufgrund von inhaltlichen Überschneidungen auftreten. Dies erfordert einen Vergleich der Normen, was wiederum zu einem erhöhten Arbeitsaufwand führt (Beispiel hier: Europäische ADR und internationale IMDG: Volumenbeschränkung von Wasserstoff und Gruppenverteilungsvolumen unterscheiden sich). Zudem besteht ein Bedarf an einer zeitnahen Aktualisierung der Materialkennwerte in den Normen, besonders im Zuge von technischen Weiterentwicklungen. Dennoch muss diese Aktualisierung zuerst in der praktischen Anwendung validiert werden, was eine sofortige Umsetzung ins Regelwerk verzögern kann. Die Anwendung anerkannter Normen unterliegt Entscheidungen, die von den jeweiligen Zulassungsstellen abhängig sind. Bei der Zulassung von Wasserstoffanlagen, sei es für energetische oder stoffliche Nutzung, besteht keine eindeutige Abgrenzung. Abhängig von der gewählten Zulassungsstelle können verschiedene Konsequenzen auftreten, darunter Unterschiede im Genehmigungsverfahren. Für einige der identifizierten Hindernisse fehlen noch wissenschaftliche Grundlagen, um sie zu überwinden.

Die externe Stakeholder-Befragung zeigte, dass Bedarfe und Lücken sowohl im Bereich „Werkstoff/Material“ als auch in den Bereichen „Funktion/technische Sicherheit“ und „Qualifikation/Betriebssicherheit“ sowie „Anforderungen an den Energieträger“ bestehen. Prüfungen wurden sowohl im Bereich „Werkstoff/Material“ als auch in „Funktion/technische Sicherheit“ häufig genannt. Die gewünschten Erweiterungen und Neuentwicklungen von Normen und Regelwerken sollen größtenteils kurzfristig (bis 2025) umgesetzt werden, während nur wenige in die Kategorien „mittelfristig“ (bis 2030) und „langfristig“ (bis 2045) fallen. Einige der identifizierten Bedarfe betreffen bereits in Überarbeitung befindliche Normen und Regelwerke. Die Angleichung von Regelwerken und Normen wurde wiederholt als wichtiges Thema genannt. Sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene besteht Interesse an einer Vereinheitlichung, um eine bessere Übersicht und Vereinfachung bestehender Vorschriften zu erreichen. Weitere diskutierte Schwerpunkte sind Materialarten und ihre Eigenschaften/Werte, die Sicherheit von Personal und Material sowie spezifische Prüfverfahren und -bedingungen. Insgesamt zeigt sich, dass weniger Neuentwicklungen notwendig sind, sondern vor allem Ergänzungen des bestehenden Rahmens sowie Aktualisierungen gefragt sind.

Ammoniak erfährt in letzter Zeit verstärkt als potenzieller Energie- und Wasserstoffträger an Bedeutung, da es Wasserstoff in chemisch gebundener Form enthält und somit zur Energiespeicherung verwendet werden kann. Das Projekt CAMPFIRE innerhalb von TransHyDE untersucht das Potenzial von Ammoniak als Technologie zur Speicherung von Wasserstoff. Es werden zudem Forschungsbereiche betrachtet, die sich mit der Bindung von Wasserstoff

in Ammoniak für den Transport und die spätere Freisetzung, beispielsweise in Cracker-Anlagen, befassen. Darüber hinaus entwickelt und testet CAMPFIRE Demonstratoren für die zentrale und dezentrale Verwendung von Ammoniak sowie Logistikstrukturen für den Import und die Verteilung von Ammoniak [14].

Der Forschungsverbund AmmoRef untersucht im Rahmen von TransHyDE die technologischen Grundlagen, um umweltfreundlich, wirtschaftlich und sicher Wasserstoff aus Ammoniak im großindustriellen Maßstab zurückzugewinnen. Ein zentraler Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung hochaktiver und kostengünstiger Katalysatoren mit hoher spezifischer Leistung, die ohne Edelmetalle auskommen und stabil arbeiten. Diese Katalysatoren sollen in einen emissionsfreien Prozess mit nachhaltiger Energieversorgung integriert werden [15].

Während der internen Bedarfsanalyse haben CAMPFIRE und AmmoRef festgestellt, dass es Lücken in den bestehenden Vorschriften gibt. Weitere Normungs- und Regelungsbedarfe wurden während des Stakeholder-Workshops in Berlin identifiziert. Im Bereich der Anwendung von Ammoniak als neue Wasserstoffspeichertechnologie gibt es nur wenige spezifische Normen und technische Regeln. Allerdings gibt es aufgrund der vielfältigen Verwendung von Ammoniak in verschiedenen Industriezweigen einen Fundus an Normen und technischen Regeln, die teilweise auf das neue Anwendungsfeld übertragen und erweitert werden können.

Die interne und externe Befragung haben gezeigt, dass es dringend erforderlich ist, regulatorische Lücken in der Kategorie „Anforderungen an den Energieträger“ zu schließen, um die gezielte Entwicklung dieser Technologie zu beschleunigen. Ein Vorschlag der Befragten war, Ammoniak als Energieträger oder Kraftstoff nach den Standards der DIN EN 228 für Ottokraftstoffe, DIN EN 590 für Diesalkraftstoffe, DIN EN 589 für Autogas und DIN EN 17124 für Wasserstoff zu definieren. Dies würde die Festlegung und Überprüfung der Reinheit und Qualität von Ammoniak ermöglichen und eine Spezifikation des Kraftstoffs herbeiführen, die für die Entwicklung neuer Produkte im Zusammenhang mit Ammoniak erforderlich ist.

Im Bereich „Werkstoff/Material“ wurden Bedarfe für Normen und Regeln zur Auswahl und Eignung metallischer Werkstoffe sowie Dichtmaterialien für drucktragende Bauenteile identifiziert. Aufgrund der neuen Anwendungen von Ammoniak besteht die Notwendigkeit, neben der Entwicklung neuer Normen einige bestehende Normen zu ergänzen. Zum Beispiel schließt die DIN EN ISO 5771 bisher Schlauchleitungen mit einem Nenndurchmesser kleiner als DN 15 aus, was nach Meinung der Stakeholder überdacht werden sollte.

Im Bereich „Funktion und technische Sicherheit“ wurden spezifische Regelungsbedarfe identifiziert, die zeigen, dass die Nutzung von Ammoniak als Wasserstoffspeicher-technologie noch in einer frühen konzeptionellen Phase ist. Stakeholder haben darauf hingewiesen, dass Vorgaben für

Ammoniak-Trockenkupplungen und Abreißkupplungen fehlen. Es wurde auch die Frage aufgeworfen, inwieweit die bestehende DIN EN 378 auf Ammoniakanwendungen wie Ammoniak-Motoren oder Cracker übertragen werden kann. Diese Norm zielt unter anderem auf Sicherheitsanforderungen und spezielle Anforderungen an Baugruppen ab.

Schließlich haben die Befragungen im Bereich „Qualifikation/Betriebssicherheit & organisatorische Voraussetzungen“ gezeigt, dass es auch Regelungsbedarfe in Bezug auf Regulatorik und Qualifikation gibt. Stakeholder sehen die Anpassung der Emissionsgesetzgebung für Ammoniak als wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Technologieentwicklung. Es wurden auch fehlende Emissionsgrenzwerte für Lachgas, das bei der Verbrennung von Ammoniak in Ammoniakmotoren entstehen kann, sowie Ammoniak- und Wasserstoffschlupf thematisiert.

Im Gegensatz zum etablierten Transport und der Speicherung von Wasserstoff in Leitungen und Gashochdruckbehältern sind Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) noch nicht als Transportmittel für Wasserstoff weit verbreitet.

Im Rahmen des TransHyDE-Projekts auf Helgoland widmet sich die Forschung und Entwicklung einer exemplarischen Wasserstofftransportverbindung zwischen Helgoland und dem Hafen Hamburg unter Verwendung von LOHC. Konkret wird das thermische Öl Benzyltoluol als Transportmedium eingesetzt. In diesem Szenario dient die deutsche Insel als Standort für die Wasserstoffspeicherung (Hydrierung), während der Hafen Hamburg als Ort für die Wasserstofffreisetzung (Dehydrierung) betrachtet wird. Die Forscher untersuchen auch die Möglichkeit, die während der Hydrierung erzeugte Abwärme zur Beheizung der Insel zu nutzen. Fragen zur Materialverträglichkeit, Sicherheit und zur Klassifizierung und Standardisierung sind ebenfalls wichtige Aspekte in diesem Projekt. Das Hauptziel besteht darin, einen Modellansatz bereitzustellen, der den Aufbau von Wasserstofftransportverbindungen auf LOHC-Basis an ähnlichen Standorten weltweit erleichtert [1].

Die Ergebnisse aus der internen Bedarfsanalyse beziehen sich hauptsächlich auf die Einführung und Verwendung von Benzyltoluol als LOHC. Während des Stakeholder-Workshops wurde kein bestimmtes thermisches Öl oder ein anderes LOHC konkret genannt. Die dort geäußerten Ansichten beziehen sich daher nicht auf einen speziellen LOHC.

Aufgrund des begrenzten Reifegrads der LOHC-Technologie wurden in beiden Bedarfsanalysen insbesondere in der Kategorie „Anforderungen an den Energieträger“ zahlreiche allgemeine Lücken identifiziert. Dazu gehören die Notwendigkeit einer einheitlichen Definition des LOHC-Prozesses, die Integration der LOHC-Begrifflichkeit in bestehende allgemein anwendbare Regelwerke und Normen sowie die Festlegung von thermischen Ölen, insbesondere Benzyltoluol, als Wasserstoffspeicher. Darüber hinaus wurde in der internen Befragung die Forderung nach einer mittelfristigen Implementierbarkeit betont, die sich auf alle vier Kategorien erstreckt (s. Abschn. 3.1). Ein weiterer Bedarf, der die

Erstellung von Regelwerken und Normen mit sich bringt, ist die Harmonisierung auf europäischer und internationale Ebene, um einen reibungslosen internationalen Handel zu ermöglichen.

Intern wurde auch die internationale Zugänglichkeit für alle Stakeholder (Behörden, Genehmigungsstellen, Industrie, Forschung usw.) als wünschenswert erachtet. Externe Stakeholder haben zudem den Sicherheitsaspekt von LOHC im Transport und bei der Speicherung als eine wichtige Lücke identifiziert.

Es ist auch festzustellen, dass der Bedarf an Neuentwicklungen und Ergänzungen im Bereich LOHC sowohl bei internen als auch bei externen Experten in etwa gleich ist. Abschließend zeigt die Analyse, dass kurzfristige Lösungen bis 2025 entscheidend für die Einführung dieser Technologie sind, da es an grundlegenden Ergänzungen und Neuentwicklungen in der Regelsetzung mangelt.

3.3 Quantitative Ergebnisbeschreibung

Abb. 2 präsentiert die quantitative Analyse sowohl der internen als auch der externen Bedarfsanalyse und verknüpft die ermittelten Bedarfe mit den in Abschn. 3.1 eingeführten Zeiträumen. Die Bedarfsanforderungen für Normung und Regelsetzung in Bezug auf alle betrachteten Transportvektoren wurden in vier Kategorien gemäß Abschn. 3.1 unterteilt. Die von den Experten genannten Bedarfe des jeweiligen Transportvektors wurden zunächst den Kategorien zugeordnet. Anschließend wurde die Anzahl der Bedarfe in jeder Kategorie ermittelt und in Form eines Kreises, dessen Radius abhängig von der Anzahl der identifizierten Regelungslücken oder Normungsbedarfe ist, im Diagramm dargestellt.

Um einen direkten Vergleich zwischen der internen und der externen Bedarfsanalyse zu ermöglichen, wurde jeder Zeitraum in zwei Bereiche unterteilt. Auf der linken Seite befindet sich die quantitative Analyse der internen Bedarfsanalyse (IB), während auf der rechten Seite die Ergebnisse der externen Analyse (EB) dargestellt sind.

Hier sind einige Schlüssepunkte, die aus der Abbildung hervorgehen:

- Sowohl interne als auch externe Stakeholder sind der Meinung, dass die meisten identifizierten Regelungslücken für die erfolgreiche Implementierung der betrachteten Transportvektoren kurzfristig geschlossen werden sollten. Kurzfristige Ergänzungen und Neuentwicklungen in den Regelwerken werden insbesondere für die noch nicht als Energieträger etablierten Transportvektoren Ammoniak und LOHC als erforderlich angesehen.
- Für die bereits etablierten Transportvektoren leitungsgebundener Wasserstoff und die Wasserstoffspeicherung in Gashochdruckbehältern sind bereits zahlreiche Normungsprozesse hinsichtlich der Anpassung auf Wasserstoff initiiert. Dies erklärt, dass diese Transportvektoren in der Spalte „läuft bereits“ vertreten sind.

- Die Abbildung verdeutlicht auch, dass die Stakeholder Anpassungen im Bereich „Werkstoff/Material“ für alle Transportvektoren als erforderlich erachten, um deren Implementierung zu ermöglichen.

4 Bewertung und weiteres Vorgehen

Die dargestellten Ergebnisse der beiden Bedarfsanalysen spiegeln einen Ausschnitt der Ansichten nationaler Stakeholder innerhalb und außerhalb des Wasserstoff-Leitprojekts TransHyDE wider.

Besonders im Bereich der „Werkstoff/Material“ wurden sowohl in internen als auch externen Bedarfsanalysen hinsichtlich Gashochdruckbehälter bestehende Normen als ergänzungsbedürftig identifiziert. Die Schwerpunkte der benötigten Ergänzungen stimmen in den internen und externen Analysen größtenteils überein. Vor allem Regelungslücken im Zusammenhang mit kurzfristigen (bis 2025) Anpassungen wurden erkannt. Ähnlich wie bei Gashochdruckbehältern sind auch für Leitungen mittelfristige Lösungen bis spätestens 2030 gemäß den Bewertungen der Stakeholder von entscheidender Bedeutung, um die Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff erfolgreich zu gestalten.

Der Vergleich der beiden Bedarfsanalysen zeigt zudem, dass die externen Stakeholder im Workshop ein breiteres Themenspektrum abgedeckt haben, während die TransHyDE-Partner spezifischere Bedarfe im Zusammenhang mit den jeweiligen Projektthemen identifiziert haben.

Die Kreisflächengröße zeigt die Detailliertheit der Bedarfe des jeweiligen Transportvektors an und lässt Rückschlüsse auf den Technologiereifegrad zu. Daraus lässt sich ebenfalls ein höherer Drang einer Marktabtälerung ableiten. Vor diesem Hintergrund lassen sich die in der Regel größeren Kreisflächen der Transportvektoren Leitung und Gashochdruckbehälter erklären. Entgegen der Annahme, dass hier besonders viele Regelungslücken vorhanden sind, verdeutlichen die Kreisflächen für diese Transportvektoren stattdessen die Existenz einer umfassenden Regelsetzung in Bezug auf andere Gase. Notwendig ist eine Anpassung auf gasförmigen Wasserstoff. Die Untersuchung der Anforderungen, die von den Stakeholdern an das Norm-Projekt herangetragen wurden, verdeutlicht die Divergenzen in der Regelsetzung, die beispielsweise aufgrund des unterschiedlichen Reifegrads verschiedener Transport- und Speicherlösungen entstehen. Während bewährte Technologien, wie Leitungen und Gashochdruckbehälter, größtenteils lediglich ergänzende Anpassungen erfordern, die kurzfristig umsetzbar sind, ergeben sich bei neueren Technologien wie Ammoniak und LOHC als Energieträger, beziehungsweise Wasserstoffspeicher, vollkommen divergente Ansprüche an die Regelsetzung. In diesen Fällen stehen grundlegende Definitionen von Begrifflichkeiten sowie die Beschreibung von Prozessen im Vordergrund.

Trotzdem bieten die Erfahrungen der TransHyDE-Partner, die durch die Vielfalt der Themenfelder im Leitprojekt



Abbildung 2. Auswertung der internen TransHyDE (IB) sowie der externen Stakeholder-Bedarfsanalyse (EB).

gewonnen wurden, wertvolle Einblicke in bestehende Defizite. Insbesondere bei Transportvektoren wie LOHC und Ammoniak werden nach erfolgreicher Implementierung grundlegender Regelsetzungsbedarfe weitere spezifische Lücken auftreten. Für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Regelsetzungsbedarfe ist es von entscheidender Bedeutung,

dass Fachexperten in den entsprechenden Gremien vertreten sind und ihr Wissen teilen.

Im Verlauf der verbleibenden anderthalb Projektjahre wird das Projekt Norm die gesammelten Erkenntnisse zusammenführen und mit der zu Beginn des Projekts erstellten Bestandsdatenbank abgleichen. Die Plausibilität

aller Aussagen aus internen und externen Befragungen wird überprüft. Auf Grundlage dieser Daten werden abschließend klare Handlungsempfehlungen erarbeitet und als Roadmap an politische Entscheidungsträger übergeben. Die Veröffentlichung macht diese Empfehlungen auch relevanten Regelsetzungsinstitutionen und Stakeholdern zugänglich.

Abkürzungsverzeichnis

CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
EN	Europäische Norm
H ₂	Wasserstoff
ISO	International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LH ₂	flüssiger Wasserstoff
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
NH ₃	Ammoniak

Literatur

- [1] www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde
- [2] www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/basiswissen
- [3] <https://iba.online/knowledge/raeume-planen/vorschriften/normungsinstitutionen/> (abgerufen am 25.08.2023)
- [4] www.weka-manager-ce.de/ce-kennzeichnung/harmonisierte-normen-das-muessen-sie-wissen/ (abgerufen am 07.09.2023)
- [5] *Wasserstoff speichern – soviel ist sicher*, Initiative Energien Speichern, Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, 2022.
- [6] www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/wasserstoff-forschung-h2-unia/h2lab/h2-sp/transport/ (abgerufen am: 05.09.2023)
- [7] www.nproxx.com/de/warum-unter-hohem-druck-gespeicherte-gas-besser-ist-als-fluessigwasserstoff/#:~:text=Der%20gr%C3%B6%C3%9Fte%20Vorteil%20eines%20Speichersystems,Fl%C3%BCssigwasserstoff%20noch%20gar%20nicht%20vorliegen (abgerufen am 22.08.2023)
- [8] www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_kurzeinschaetzung_von_ammoniak_als_energietaeger_und_transportmedium_fuer_wasserstoff.pdf (abgerufen am 22.08.2023)
- [9] S. Giddey, S. P. S. Badwal, A. Kulkarni, Review of electrochemical ammonia production, *J. Hydrogen Energy* **2013**, 38, 34.
- [10] A. E. Yüzbaşıoğlu, C. Avşar, A. O. Gezerman, The current situation in the use of ammonia as a sustainable energy source and its industrial potential, *Curr. Res. Green Sustainable Chem.* **2022**, 5, 100307.
- [11] www.heraeus.com/de/hpm/hmp_products_solutions/hydrogensystems/storing_recovery_of_hydrogen/storing_recovery_of_hydrogen.html (abgerufen am 22.08.2023)
- [12] DIN EN 1089-3:2011-10, *Ortsbewegliche Gasflaschen – Gasflaschen-Kennzeichnung (ausgenommen Flüssiggas (LPG)) – Teil 3: Farbcodierung*, Beuth Verlag, Berlin 2011.
- [13] www.dvgw-ebi.de/dvgw-ebi/aktuelles/projekt-get-h2-transhyde-im-bundesbericht-energieforschung-2023?type=98; (abgerufen am 29.08.2023)
- [14] <https://wir-campfire.de/campfire-in-transhyde/> (abgerufen am 31.08.2023)
- [15] www.cec.mpg.de/de/aktuelles/detailansicht/ammoref-reformierung-von-ammoniak (abgerufen am 31.08.2023)