



TransHyDE-Projekt LNG2Hydrogen

Partnerspezifisches Vorhabensthema

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Langfassung

Stand:	27.05.2025
Einreichungsdatum (TIB):	10.07.2025
Partnerin/Partner:	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
Autorin/Autor:	Björn Munko, Thomas Systemans, Alexandra Cox
Fördertitel:	Verbundvorhaben TransHyDE-LNG-Terminals
Förderkennzeichen:	03HY210B
Disclaimer:	<i>Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor/den Autoren.</i>

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
I. Ursprüngliche Aufgabenstellung.....	6
II. Vormaliger Stand des Wissens.....	6
III. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten	8
III.1 AP2.....	8
III.2 AP5.....	9
III.3 Zuarbeit zu AP1 und AP6	10
IV. Wesentliche Ergebnisse.....	10
IV.1 AP2.....	10
IV.2 AP5.....	13
IV.3 Zuarbeit zu AP1 und AP6	14
V. Verwendung der Zuwendung	15
V.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	15
V.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	15
VI. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans ..	16
VII. Fortschritt des Projektumfelds während der Laufzeit	17
VIII. Erfolgte Veröffentlichungen	17
Literaturverzeichnis	18

Abkürzungsverzeichnis

AP(s)	Arbeitspaket(e)
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BT-H	Benzyl Toluene-Hydrogenated
CO₂ (auch Summenformel)	Kohlenstoffdioxid
DME	Dimethylether
EPC	Engineering-Procurement-Construction
ETL	Energietransportleitung
FSRU	Floating Storage and Regasification Unit
GIS	Geoinformationssysteme
H₂-Transportvektor	Transportvektor, Vektor
LH₂	Flüssigwasserstoff
LNG	Liquefied Natural Gas, Flüssigerdgas
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
MeOH	Methanol
NH₃ (auch Summenformel)	Ammoniak
SNG	Synthetisches Erdgas
TRL	Technology Readiness Level, Technologie-Reifegrad
UVPG	Umweltverträglichkeitsprüfung

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1 Varianten der Anordnung bei LNG Terminals (oben Landterminal, unten schwimmendes Terminal)</i>	11
<i>Abbildung 2 Übersicht existierender Terminals weltweit</i>	12

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Transporteigenschaften von Transportvektoren.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabelle 2 Keywords zur Aussortierung nicht relevanter Normen und technischer Regelwerke. Jedes Keyword ist in Groß- und Kleinschreibung berücksichtigt.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 3: TRL Bewertung der Hauptkomponenten eines Terminals für LNG und für die H2-Transportvektoren.</i>	<i>11</i>

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Der DVGW übernimmt die Leitung der Arbeitspakete (APs) 2 und 5 und beteiligt sich darüber hinaus an der wissenschaftlichen Erarbeitung der inhaltlichen Themen in Arbeitspaket (AP)1.3, AP2, AP5 und AP6.1.

In AP1.3 beteiligt sich der DVGW bei der Festlegung eines Kriterienkataloges zur Beurteilung der H₂-Readiness für verschiedene Transportoptionen sowie bei der Bewertung für H₂-Readiness (Betriebskonzept, Personal, Komponenten, Sicherheit für LH₂, compressed H₂, NH₃, MeOH, LOHC, SNG). Das AP2 schafft dabei die Wissens- und Arbeitsgrundlage für alle anderen APs, indem hier zunächst eine Definition von H₂-Transportvektoren im Kontext mit LNG-Terminals gegeben wird und Begrifflichkeiten festgelegt werden. Daraufhin erfolgt die technologische Bestandsaufnahme von Terminals für den Import von SNG, LNG, LH₂, NH₃, LOHC, MeOH und DME mit dem Ziel die wesentlichen Infrastrukturkomponenten herauszustellen.

Ziel von AP5 ist die Zusammenstellung von Normen und Regelwerken, die beim Betrieb mit den jeweiligen Transportvektoren zu berücksichtigen sind (Status Quo). Daraus wird die Zusammenstellung von Handlungsbedarfen für regelgebende Institutionen zur Erarbeitung neuer Normen und Regelwerke bzw. deren Erweiterung abgeleitet.

AP6 umfasst die Untersuchung der rechtlichen Rahmenbedingungen auf nationaler und europäischer Ebene für den Import von Wasserstoff sowie im Verbund untersuchter Derivate über LNG-Terminals. Dabei liegt der Fokus neben dem Planungs- und Genehmigungsrecht auf der energierechtlichen Regulierung. Auf Grundlage der Analyse der bestehenden rechtlichen Hemmnisse und White Spots, werden Vorschläge für die Weiterentwicklung des Rechtsrahmens erarbeitet.

II. Vormaliger Stand des Wissens

In den letzten Jahrzehnten haben LNG-Terminals einen hohen technischen Entwicklungsstand und eine Effizienzverbesserung erfahren. Beispielsweise führte die Kombination des Regasifizierungsaufwandes zur Einspeisung in die Gasnetze mit dem Kältebedarf von Industrieprozessen zu einer höheren Gesamteffizienz. Die Komponenten der Terminalinfrastruktur wurden auf die Eigenschaften des wesentlichen Moleküls Methan (CH₄) detailliert abgestimmt. So z. B. das Design der Zwischenspeichertanks für Flüssiggas und deren thermische Isolation, die Strukturmaterialien, die Pumpen, Kompressoren und Rohrquerschnitte. Es ist evident, dass solche CH₄-optimierten Terminalinfrastrukturen bzw. -komponenten a-priori für andere Energievektoren nur nieder-effizienter geeignet, oder sogar untauglich sein können. Anpassungsbedarfe bestehen hier auf den Feldern:

- Strukturmaterialien (Kompatibilität mit dem jeweiligen Energievektor: Füllgewicht, Rissbildung/Versprödung/Korrosion, Volumen Anpassung)
- Isolationsmaterialien (Temperaturniveau des jeweiligen flüssigen Energievektors)
- Sicherheit (Explosionsschutz, Giftigkeit, Rückhaltevorkahrungen)
- Pumpentechnik für Flüssigkeiten und Gase (Drehzahl, Komprimierungsgrad, Dichte des Energievektors, Kompatibilität, Sicherheit, Leistungsbedarf).

Ein "multi-use-Terminal" – also die Planung und Bau eines Terminals, welches zunächst für LNG genutzt wird und im späteren Verlauf auf einen anderen Wasserstoffträger umgerüstet werden kann, entspricht sicher nicht der technisch höchsteffizienten Realisierung eines LNG-Terminals, eines NH₃-Terminals, oder eines LH₂-Terminals, sondern ist eine nachhaltige und kosteneffiziente Investition, die entscheidend für eine Diversifizierung (und damit zu einer Risikominimierung) und Weiternutzung der bestehenden Assets beiträgt. Für eine technologieoffene Untersuchung sind die nachfolgenden Wasserstofftransportvektoren am vielversprechendsten:

- Ammoniak
- Flüssigwasserstoff
- Methanol
- LOHC
- SNG
- Dimethylether

Im Rahmen einer aktuellen Studie des Fraunhofer ISI (Riemer, M.; Schreiner, F.; Wachsmuth., J. (2022):

“Conversion of LNG Terminals for Liquid Hydrogen or Ammonia. Analysis of Technical Feasibility and Economic Considerations.” wurde der Stand des Wissens für die Umrüstung von LNG-Terminals auf LH₂- oder NH₃-Betrieb anhand von einer Literaturstudie (54 Referenzen) und mit Hilfe von Experteninterviews (16 aus Wissenschaft und Industrie) zusammengetragen. Hierzu wurden technologische, werkstoff- und kostenseitige Daten für die Hauptkomponenten von LNG-Terminals erhoben. Abschließend wurden F&E-Fragen aufgelistet, die für eine detailliertere Bewertung beantwortet werden müssen. Die Studie stellt eine sehr strukturierte Einführung in das Thema dar. Für Experten finden sich allerdings wenig neue Erkenntnisse, da keine neuen Untersuchungen, Berechnungen, verfahrenstechnische Auslegungen oder Materialuntersuchungen durchgeführt wurden. Die im Rahmen des bearbeiteten Projekts durchgeführten Untersuchungen gehen weit über die Inhalte der ISI-Studie hinaus. Einerseits werden mit SNG, MeOH, DME und LOHC weitere Derivate und Speicherträger untersucht. Andererseits verfügen die Arbeiten über einen deutlich höheren Detaillierungsgrad (z. B. eigene verfahrenstechnische Auslegungen (AP3), Materialuntersuchungen (AP4)) und zusätzliche Aspekte (z. B. Normung (AP5), rechtliche und regulatorische Aspekte (AP6)). Weiterhin ist anzumerken, dass der Betrachtungsbereich der Untersuchungen deutlich weiter gesteckt war, da zusätzlich der Schifftransport und der Weitertransport von H₂ oder Derivaten innerhalb von Deutschland (AP7) berücksichtigt wurde. Außerdem werden systemische Fragen (AP8) z.B. zum zukünftigen Bedarf von H₂ und Transportvektoren beantwortet. Abschließend kann festgehalten werden, dass die ISI-Studie als Startpunkt für AP2 verwendet wurde. Es bestanden jedoch keine Einsparpotenziale bei den beantragten Mitteln. Alle Arbeitspakete waren notwendig.

In AP2 wurde dabei eine einheitliche Vergleichbarkeit zwischen den Vektoren eingebracht und die Terminalkomponenten eines klassischen LNG-Terminals zusammengetragen. Auf dieser Basis erarbeitete AP3 ihre Erkenntnisse.

III. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten

III.1 AP2

Für die Bearbeitung der Aufgaben in AP2 fand während des Kick Off Meetings die Vorstellung der teilnehmenden Partner statt und eine Definition der jeweiligen Arbeitsbereiche und Zuständigkeiten. Die Arbeitsbereiche wurden mit dem Zeitplan verknüpft. Durch eine White Spot Analyse wurden weitere notwendige Ansprechpartner/Experten bestimmt (beispielsweise Hydrogenious für LOHC). Die Transportvektoren wurden definiert. Für eine Vergleichbarkeit wurde eine Tabelle mit den technischen Daten beim Transport der einzelnen Vektoren erstellt. Hierzu wurden physikalische und chemische Parameter sowie Betriebsparameter zusammengetragen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Transporteigenschaften der Transportvektoren

	LH ₂	NH ₃	DME	SNG	MeOH	LOHC	CO ₂
Aggregatzustand beim Transport	flüssig						
Druck (bar)	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	7-15
Temperatur (°C)	-253	-34	-25	-162	T _A ²	T _A	-52 bis -30
Dichte (kg/m ³)	71	682	667	423	787	876-988	1163
Spezifischer Energieinhalt LHV (MJ/kg)	119,9	18,6	28,9	50,0	20	7,6 (H ₂)	n.a.
Spezifischer Energieinhalt LHV (kWh/kg)	33,3	5,17	8,03	13,9	5,56	2,1 (H ₂)	n.a.
Wasserstoff-Gehalt (Gew.-%)	100	17,8	13,0	25,1	12,6	6,2	n.a.

Dadurch werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Vektoren deutlich, wodurch eine Vergleichbarkeit ermöglicht wird. Zudem wurde ein klassisches LNG-Terminal analysiert und auf seine Hauptkomponenten reduziert. Die Liste der Hauptkomponenten wurde dann AP übergreifend präsentiert und erläutert und in anderen Arbeitspaketen als Grundlage genutzt beispielsweise in AP3. Neben der technologischen Bestandsaufnahme eines LNG-Terminals, erfolgte zudem eine Marktübersicht und ein Ausblick zu den Transportvektoren. Dabei wurden folgende Marktanteile analysiert: Handels- und Transportrouten, Regasifizierungskapazitäten weltweit, Marktanteile der Produktion und des Verbrauchs, Bedarf innerhalb der EU/Europa, Reedereien und Anlagenbetreiber.

Der DVGW organisierte und koordinierte hierzu den regelmäßigen Austausch der Partner und dokumentierte die Arbeiten. Es wurden Aufschlüsse in Prosa formuliert und der Gruppe zur Kontrolle vorgelegt. So konnte jedes AP Mitglied seine Expertise einbauen. Offene Fragestellungen wurden stets zur Diskussion gestellt und Kommentare umgesetzt.

III.2 AP5

Im Rahmen von AP5 wurde eine Excel-Datenbank erstellt. Hierzu wurde als Basis eine Zusammenfassung genutzter Standards für LNG organisiert. Zudem war es möglich analog eine Sammlung für NH₃ zu erlangen. Für die anderen Transportvektoren wurden Experten angefragt. Allerdings war eine Beschaffung nicht möglich. Hier fehlt ganz klar der Erfahrungswert mit dem Bau der dementsprechenden Terminals. Um jedoch für zukünftige Normensammlungen abgleichen zu können, wurde ein Python Code verfasst, der die Liste der LNG und NH₃ Standards miteinander vergleicht und filtert, welche Standards in beiden Sammlungen vorhanden sind und welche nur für das jeweilige Derivat angewendet werden. Wurde ein Standard in der LNG Liste und in der NH₃ Liste wiedergefunden, wird eine Übertragbarkeit des Standards erwartet.

Im engen Austausch mit dem Verbund TransHyDE-Norm ist die Erarbeitung der Normungsbereiche erfolgt. Hier konnte neben den spezifischen Erarbeitungen auch auf Arbeiten im Verbund Norm (vgl. veröffentlichte Datenbank Verbund Norm [1]) zurückgegriffen werden. Zur Analyse und Vergleich der Normen und Regelwerke wurden diese in einer Tabelle strukturiert. Die Einpflegung der Normen und technischen Regelwerke erfolgte zum einen durch Recherche, zum anderen sind für die Befüllung der Excel-Datenbank eine Übersicht zu den etablierten Standards von einem EPC Contractor, verantwortlich für die Bauphase eines Terminals, für ein LNG Receiving Terminal sowie ein Projektbeispiel für NH₃-Terminals berücksichtigt worden. Auch der Newsletter „LNG Prime Daily Update“ hat viele Einblicke geliefert.

Für eine geeignete Übersicht ist die Excelliste in drei Tabellenblätter, der Kategorien „Stationäre Terminals“, „Schwimmende Terminals“ und „Schiffstechnik“ unterteilt worden. Die LNG- und NH₃-Regelsetzungen wurden durch ein Vergleichstool, welches zunächst bestimmte Standards für einen späteren Vergleich durch Keywords (vgl. Tabelle 2) ausgeschlossen hat, auf identische Datensätze geprüft. Sämtliche Übereinstimmungen wie auch spezifischen Normen sind in die Excel-Datenbank eingeflossen. Normen, die in den Beispiellisten sowohl für LNG als auch für NH₃ vorhanden sind, wurden in der Exceldatenbank als „anwendbar“ und „übertragbar“ (x) für NH₃ gekennzeichnet. Für Transportvektoren, bei denen die eingepflegte Regelsetzung nicht angewendet oder übertragen werden kann, wurde „Nicht übertragbar“ eingetragen (O). Beispielhaft hierfür sind Normen, die sich auf perlitische Materialeigenschaften (z.B. PI 111-77; PI 112) sowie kryogene Auslegungen (z.B. IGC Doc 77/01/E; IGC Doc 93/03/E; IGC Doc 114/03/E) beziehen.

Tabelle 2 Keywords zur Aussortierung nicht relevanter Normen und technischer Regelwerke. Jedes Keyword ist in Groß- und Kleinschreibung berücksichtigt

Keyword	Variation 1	Variation 2	Variation 3	Variation 4
Directive	Directives	-	-	-
Electronic	Electric	Electrical	Electro	Electromagnetic
Light	Lighting	Lightning	-	-
Low voltage	Low-voltage	High voltage	High-voltage	-
Valve	Valves	-	-	-
Keywords				
Concrete	Fire detection	Fire hoses	Health	Graphical symbols
Lubrication	Luminaries	Noise	Symbols	Vocabularies

Durch den Vergleich konnten die aktuelle Anwendbarkeit sowie eine etwaige Übertragbarkeit für Ammoniak bestimmt werden. Äquivalente Normensammlungen für die anderen Transportvektoren konnten nicht identifiziert werden. Dort, wo keine Aussage zu der Anwendbarkeit oder Übertragbarkeit getroffen werden kann, ist eine Kennzeichnung durch ein (-) erfolgt.

Darüber hinaus kann bereits festgestellt werden, dass viele der Normen für gängige verflüssigte Gase nicht auf LH₂ übertragbar sind, da LH₂ einen Siedepunkt von 253°C aufweist. Der Anwendungsbereich für LNG-Normen ist insbesondere im Materialbereich auf -165°C begrenzt. Für LH₂ ist folglich ein eigener Normensatz zu generieren.

Für SNG ist die existierende Regelsetzung für LNG-Terminals übertragbar. Darüber hinaus besteht für Terminals mit MeOH ebenfalls eine umfangreiche Regelsetzung. Für die restlichen in diesem Projekt betrachteten Transportvektoren besteht hingegen Handlungsbedarf hinsichtlich einer zu entwickelnden Regelsetzung.

III.3 Zuarbeit zu AP1 und AP6

Aus den APs 2 und 5 wurden die offenen Punkte und Fragestellungen in AP1 kommuniziert und Entscheidungen aus AP1 zurückgespiegelt. AP-übergreifend wurden vom DVGW die Hauptkomponenten eines LNG Terminals vorgestellt und für eine weitere Bearbeitung aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse wurden im Synthesebericht zusammengefasst und die Kommentare umgesetzt. Darüber hinaus wurde bei der Erstellung des Kriterienkatalogs zur H₂-Readiness mitgearbeitet.

Des Weiteren hat der DVGW Zuarbeit bei den APs 6.1.1 Planungs- und Genehmigungsrecht sowie 6.1.2 Energierechtliche Regulatorik geleistet. Dabei wurde eine beispielhafte Recherche von Planfeststellungsverfahren zu Wilhelmshaven und Brunsbüttel, insbesondere mit der Betrachtung des Vorgehens bei Anbindungsleitungen durchgeführt [2], [3]. Die Erkenntnisse sind in einer Präsentation sowie in der Texterstellung zu AP6 im Synthesebericht eingeflossen.

IV. Wesentliche Ergebnisse

IV.1 AP2

Als H₂-Transportvektoren (kurz Transportvektoren oder Vektoren) werden alle chemischen Verbindungen, in denen molekularer Wasserstoff gebunden ist oder auch molekularer Wasserstoff selbst, bezeichnet. Je nach betrachtetem Vektor sind unterschiedliche Anforderungen an Transport und Speicherung durch die unterschiedlichen physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften notwendig. Betrachtet wurden Flüssigwasserstoff (LH₂), Ammoniak (NH₃), Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC), Methanol (MeOH), Dimethylether (DME) und Synthetisches Erdgas (SNG). Aufgrund der geringen Energiedichte stellt gasförmiger Wasserstoff für den internationalen Schiffstransport keine effiziente Transportart dar und wurde aus diesem Grund in der weiteren Betrachtung als Transportvektor für den Schiffstransport nicht berücksichtigt. Im Kontext von SNG, Methanol und DME wurde noch Kohlenstoffdioxid (CO₂) als notwendige Komponente des Kreislaufs untersucht. Eine umfassendere Definition aller untersuchten Stoffe die unter anderem Einschätzungen für Umweltgefahren, Zündgrenzen, Detonationsgrenzen, GWP und weitere beinhaltet wurden in Tabellen zusammengefasst. Für die Vergleichbarkeit ist Tabelle 1 entscheidend. Diese hilft bei der Einschätzung der einzelnen Vektoren in Bezug auf Transportvolumen, Energiegehalt und Wasserstoffgehalt und kann für eine Abschätzung der benötigten Terminal- und Schiffskapazitäten genutzt werden, um eine definierte Energiemenge zu importieren.

Als weiterer wichtiger Baustein für die Abschätzung der Umrüstung existierender LNG Terminals wurde eine AP übergreifende Analyse der Hauptkomponenten eines LNG-Terminals durchgeführt. AP 2 informierte dabei über die zwei Varianten von LNG-Terminals - Landterminals und schwimmende

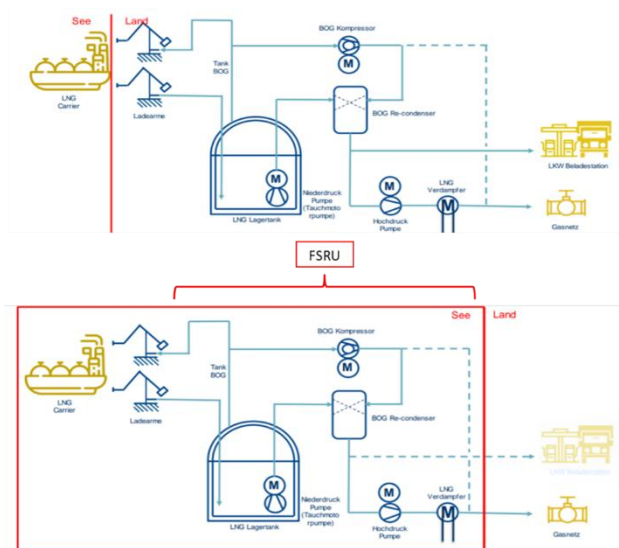


Abbildung 1 Varianten der Anordnung bei LNG Terminals (oben Landterminal, unten schwimmendes Terminal)

Terminals (FSRU – Floating Storage & Regasification Unit). Funktion und Ausstattung der Komponenten sind ähnlich (siehe Abbildung 1), allerdings unterscheidet sich die Ausführung insbesondere beim Tank und bei der Regasifizierungsanlage. Die FSRUs an der deutschen Küste sind an Jetties installiert. Die Hauptkomponenten eines LNG-Terminals wurden in Tabelle 3 zusammengetragen und auf ihr TRL bewertet.

Tabelle 3 TRL Bewertung der Hauptkomponenten eines Terminals für LNG und für die H2-Transportvektoren

Component	Target Parameters	TRL							
		LH2	LNG	LH2	NH3	MeOH	LOHC	DME	SNG
Jetty system, loading arms			TRL9	TRL9	TRL9	TRL9	TRL 8	TRL9	TRL9
Storage tank Sphere	160 000		TRL9	TRL9	TRL9	x	TRL 8		TRL9
Storage tank Flat bottom Design	160 000		TRL9	TRL5	TRL9	TRL9	TRL 8	TRL9	TRL9
Submerged transfer pumps	10 000		TRL9	TRL9	TRL9	TRL9	TRL 8		TRL9
Regasification			TRL9		TRL9	x	x		TRL9
Submerged Evaporizer			TRL9	TRL6		x	x		TRL9
Cold Utilization system	300 MW		TRL9	TRL5		x	X		TRL9
Compressors if required			TRL9	TRL9	TRL9	TRL9	TRL 9	TRL9	TRL9
Boil-Off-Gas management	Some tons per day		TRL9	TRL9	TRL9	x	X	TRL9	TRL9
Road trailer			TRL9	TRL9	TRL9	TRL9	TRL 8	TRL9	TRL9

Ship		TRL9	TRL8	TRL9	TRL9	TRL 8	TRL7	TRL9
Dehydrogenation		X	X	X	X	TRL 7	X	X
Hydrogenation		X	X	X	X	TRL 7	X	X
Steam Reforming	X	X	X			X	TRL9	X
Cracking	X	X	6 bis 7		X	X	X	X

In den meisten Fällen liegt ein TRL 8-9 vor (grüne Markierung). Der Lagertank in Flachbodenausführung, Verdampfer und das Kältesystem für Flüssigwasserstoff bewegt sich derzeit noch in einem TRL 5-6, Ammoniak Cracking hat ein TRL von 6-7 und das TRL von DME Schiffen liegt bei 7. Durch den Fortschritt in der Technik werden die Wertschöpfungsketten der Transportvektoren vervollständigt, was sich auf die Transportoptionen auswirkt.

Des Weiteren wurden für die Transportrouten der H₂-Transportvektoren die Ergebnisse der Schiffsstudie des Fraunhofer ISE hinzugezogen. Der Transport von H₂ mit Schiffen ist verschiedenen Analysen zur Folge ab einer Entfernung zwischen 5.000-10.000 km günstiger im Vergleich zum Transport per Pipeline [4] [5] [6].

Die zukünftigen Transportrouten der Vektoren zwischen den Terminals, werden sich an den bisherigen Transportrouten für fossile Energieträger orientieren. Deshalb wurde zuerst mittels GIS Software basierend auf öffentlich zugänglichen Daten eine Übersicht über bereits existierende Terminals für LH₂, NH₃, LOHC (Ölterminals) und MeOH weltweit erstellt. Die grafische Darstellung zu sehen in Abbildung

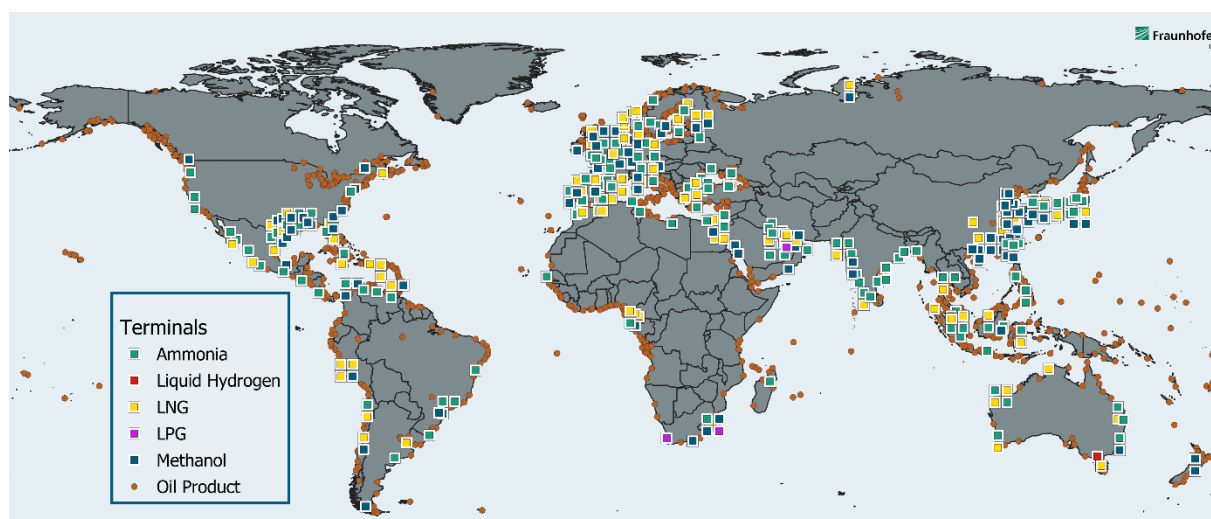


Abbildung 2 Übersicht existierender Terminals weltweit

2, die der Schiffsstudie entspringt, ist wesentlicher Bestandteil der Ergebnisse von AP2. Aus der Studie gehen zudem die technischen Herausforderungen von Transportschiffen hervor. LNG- und SNG-Schiffe setzen mit TRL 9 die Zielmarke.

Für einen Überblick der Aktivitäten in den Bereichen Betrieb (schiffs- und landseitig), EPC (Engineering-Procurement-Construction), Anlagenbau, Equipment-Hersteller, Werftbetreiber und Weitere für die Lagerung und den Transport von LNG, LH₂, NH₃, LOHC, MeOH und DME wurde eine Stakeholderanalyse durchgeführt, aus dessen Analyse Aussagen über die Marktreife der Transportvektoren hervorgehen. Eine große Zahl von identischen oder auch konkurrierenden Stakeholdern über die gesamte Wertschöpfungskette weist auf einen gut ausgebildeten Markt hin, wie dies zum Beispiel bei LNG der Fall ist. Auch der NH₃-Markt ist dementsprechend gut ausgebildet. Hierbei ist aber zu beachten, dass

die gehandelte Menge noch nicht der Zielgröße entspricht, die als Energieträger notwendig wäre [8]. In der Analyse der LH₂ Stakeholder lässt sich erkennen, dass eine größere Zahl an Firmen LH₂ als Zukunftsmarkt definiert, jedoch noch keine konkreten Projekte oder Produkte vorliegen. Die bestehende Öltransportkette wird zwar als Potential für den LOHC Transport definiert, allerdings lassen sich aus diesem Markt noch keine Impulse erkennen.

IV.2 AP5

Die Erstellungen der Normensammlung sowie der Bestandsanalyse wurden auf sehr hoher Bewertungsebene durchgeführt und dienen dazu, eine erste Übersicht zu existierenden Lücken in der Regelung aufzuzeigen (Gap Analyse). Es war nicht möglich, eine inhaltliche Bewertung aller eingepflegten technischen Regelwerke und Normen durchzuführen, um die Übertragbarkeit der LNG-Normen auf die Transportvektoren zu ermitteln, u.a. weil der Inhalt der Normen eingeschränkt zugänglich war und eine detailliertere Analyse die Projektkapazität nicht hergab. Eine detaillierte, auch inhaltliche Bestandsaufnahme der Normen und Regelung der einzelnen Transportvektoren benötigt eine größer angelegte Analyse unter Einbindung der jeweiligen Regelsetzer, Experten und Anwender. Für gasförmigen H₂ wird eine solche Analyse im Projekt Normungsroadmap Wasserstofftechnologien durchgeführt [9]. Daneben sind ebenfalls Recherchen zu gasförmigem H₂ in Leitungen und Gashochdruckbehältern wie auch bedingt für die Transportvektoren NH₃, LH₂ sowie LOHC im TransHyDE Verbund Norm durchgeführt worden. Fokus lag dabei allerdings auf der Zusammenfassung der Regelung für die Transportinfrastruktur und nicht für eine Anwendung auf Terminals [1].

Eine inhaltliche Betrachtung, Bewertung sowie Prüfung auf Anwendbarkeit und Übertragbarkeit von LNG-Normen für andere Transportvektoren sollten ähnlich angelegt werden. Allerdings wäre es hilfreich, die Transportvektoren entsprechend zu priorisieren. Diese Projekthinhalte könnten analog zur Normungsroadmap Wasserstofftechnologien beispielsweise in eine etwaige Normungsroadmap, die sich auf Wasserstoffträger und -derivate fokussiert, einfließen. Bei den Normen, die für den Bau eines NH₃-Terminals eingepflegt wurden, sind einige „Natural Gas“-Normen identifiziert worden (z.B. ISO 16903; ISO 16904). Hier sollte nachgeprüft werden, ob die „Natural Gas“-Normen inhaltlich ohne Einschränkungen für NH₃ verwendet werden können oder ob die aktuelle Anwendbarkeit für NH₃ dem Nichtvorhandensein relevanter Alternativen geschuldet ist. In letzterem Fall sind zeitnah für diese Themenbereiche ammoniakbezogene Normen erforderlich.

Berücksichtigt werden muss außerdem, dass für NH₃-Terminals vor allem der Leitfaden PGS-12 herangezogen wird, welcher zukünftig zumindest europäisch ebenfalls zu übertragen ist [10]. Des Weiteren ist für LH₂ aufgrund des erheblich niedrigeren Siedepunkts von -253 °C ein eigener Normensatz zu erstellen. Die existierende Flüssiggasregelung ist nicht anwendbar bzw. muss angepasst werden (vgl. Kapitel III.2) [11].

Bei der Betrachtung von LOHC gilt es zu prüfen, ob die Normen, die für den Bau der Ölterminals genutzt werden, auch für LOHC anwendbar sind, oder ob neue Standards für Lagerung, Transport und Handling erstellt werden müssen.

Weiterhin ist es notwendig, den Begriff „Readiness“ bezogen auf H₂ wie auch die übrigen Transportvektoren in einer Norm umfassend zu definieren. Sinnvoll ist hier die Gliederung in mehrere „Readiness-Level“. Das „Readiness-Level“ beschreibt den Aufwand, der für eine Umstellung auf einen anderen Transportvektor notwendig ist. So kann z.B. das niedrigste Level nur den notwendigen Platzbedarf für die Umstellung berücksichtigen, während das höchste „Readiness-Level“ einer direkte Umstellbarkeit ohne bauliche Veränderungen entspricht. Ähnliche Regelwerke mit Leitliniencharakter

bestehen in der Schifffahrt für LNG-Antriebssysteme mit einer Umrüstoption auf NH_3 als Treibstoff [12], [13], [14]. Jeder Transportvektor kann in unterschiedlichen Leveln auf seine „Readiness“ bewertet bzw. eingeordnet werden. Aber auch eine Unterscheidung der „Standort-Readiness“ und „Komponenten-Readiness“ sowie weitere Kategorien kann sinnvoll sein.

Zudem wurden bei der LNG-Normensammlung ein großer Teil an (teilweise sehr alten) amerikanischen wie auch weiteren lokal gültigen Standards identifiziert (z.B. CGA V-6:1993; ASTM A962/A962M-01). Dies kann unter anderem daran liegen, dass der LNG-Markt sehr international ausgerichtet ist und auch für europäische Projekte amerikanische Normen herangezogen werden. Eine Untersuchung hinsichtlich analoger internationaler, europäischer oder nationaler Regelung ist in einem nächsten Schritt empfehlenswert, um klären zu können, ob eine Übernahme auf ISO-, EN- oder DIN-Ebene notwendig ist. Eine Angleichung auf ISO- oder EN-Regelungsebene sorgt für einen besseren globalen Zugang, zeigt höhere Repräsentativität des jeweiligen Standards und gibt den Stand der Technik vereinheitlicht wieder.

Generell lässt sich ähnlich wie bei der Marktanalyse folgern, dass in gut etablierten Märkten (LNG, NH_3) auch die Regelung einen hohen Reifegrad hat, während für neue Märkte (LOHC oder LH_2) oder neue Technologien (z.B. NH_3 -Cracker) Lücken in der Regelung bestehen. Auch die notwendige Skalierung der Technologien im Bereich des NH_3 oder LH_2 -Transportes und die damit verbundene Weiterentwicklung oder der Wechsel auf alternative Technologien erfordert eine Anpassung der Normung.

IV.3 Zuarbeit zu AP1 und AP6

Vgl. Kapitel III.3 für weitere Informationen zu AP1 und AP6.

Die Erkenntnisse aus AP1 sind in AP2 und AP5 eingegangen. Ein wesentliches Ergebnis von AP1 ist der Kriterienkatalog „ H_2 -Readiness Terminal“, welcher dem Synthesebericht zu entnehmen ist.

Die Arbeiten in AP6 haben gezeigt, dass die Zulassung des Baus und Betriebes von Hafeninfrasturktur & von LNG-Importanlagen (FSRU & Land Terminal) über Planfeststellungsverfahren & Verfahren nach Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) erfolgt. Die Verfahren werden von den jeweils zuständigen Landesbehörden durchgeführt und regeln rechtsgestaltend alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Antragsteller und dem, der durch den Plan betroffen ist. Die Verfahren haben Konzentrationswirkung & schließen die Genehmigungsanforderungen anderer nachgeschalteter Behörden ein. Die Erfordernis eines Planfeststellungsverfahrens für Anbindungsleitungen ist unter folgenden Aspekten gegeben [15]:

- Die Regelung des § 43 Abs. 1 S. 1 Nr. 6 EnWG fordert für die Errichtung von Gasversorgungsleitungen mit einem Durchmesser von mehr als 300 mm ein Planfeststellungsverfahren, wenn eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen ist.
- Gemäß Ziffer 19.2.3 der Anlage 1 zum Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) hängt die Erforderlichkeit zur Durchführung einer UVP für den Bau von Erdgasleitungen mit 5 bis 40 km Länge und mehr als 300 mm Durchmesser von dem Ergebnis der „allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls“ gem. § 7 Absatz 1 Satz 1 UVPG ab. [15]

Alle Erkenntnisse sind in ausführlicher Form, neben der Erstellung einer Präsentation zur Übersicht eines Planfeststellungsverfahrens zur ETL 180 Brunsbüttel [3], in das Kapitel AP6 des Syntheseberichts integriert worden.

V. Verwendung der Zuwendung

V.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Höhe der Zuwendung für den DVGW setzt sich aus Personalkosten (Position 0812) sowie Inlandsdienstreisen (Position 0846) zusammen. Eine Belegliste mit ausführlicher Darstellung welche Zahlungen wofür verwendet wurden, liegt dem Fördermittelgeber vor.

V.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die geleisteten Arbeiten sind in der Teilvorhabenbeschreibung definiert und zuvor mit den anderen Verbund-Partnern abgestimmt worden, damit keine Doppelarbeiten während der Projektdurchführung entstehen konnten. Die erforderlichen Dienstreisen wurden auf ein Minimum reduziert und die geforderten Arbeiten fristgerecht fertiggestellt, wodurch eine kostengerechte Beendigung des Projekts einhergeht. Die beantragte Zuwendung wurde nicht überzogen, was auf ein effektives und effizientes Projektmanagement zurückzuführen ist.

Der Projektantrag wurde im Rahmen des BMBF-Förderaufrufs „Ideenwettbewerb Wasserstoffrepublik Deutschland“ gestellt, da seitens der EU keine passende Ausschreibung zur Thematik vorlag. Das hier beantragende Konsortium deckt alle Aspekte mit Partnern aus Deutschland ab. Da es sich um ein nationales Konsortium handelt, scheidet eine Förderung durch die EU-Kommission aus. Der DVGW ist ein gemeinnütziger technisch-wissenschaftlicher Verein, der nicht als Produzent oder wirtschaftlicher Endnutzer der Ergebnisse auftritt. Der DVGW verfolgt in dieser Hinsicht keine kommerziellen Interessen, sondern stellt die Ergebnisse im Rahmen des wissenschaftlichen Dialogs der Allgemeinheit in Form einer Verschriftlichung der Erkenntnisse im Synthesebericht zur Verfügung.

Die Vernetzung wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Einrichtungen bei Forschungsprojekten ist ein managementintensiver Prozess, für den entsprechende personelle Ressourcen bereitgestellt werden müssen. Eine zentrale Herausforderung derartiger Forschungsvorhaben besteht für die Partner darin, dass positive externe Effekte generiert werden. Dritte Parteien, die selbst keinen Input in die Forschung geleistet haben, können dementsprechend nicht von der Nutzung der Forschungsergebnisse ausgeschlossen werden. Dieser aus makroökonomischer Perspektive begrüßenswerte Effekt stellt aus betriebswirtschaftlicher Sicht jedoch einen Nachteil für die an der Forschung beteiligten Partner dar, da Ressourcen eingesetzt werden, die nicht unmittelbar zu den kurzfristigen wirtschaftlichen Zielen beitragen. Als gemeinnütziger Verein besitzen wir nicht die erforderlichen finanziellen Ressourcen, um die genannten Umsetzungsrisiken tragen zu können, die mit den Arbeiten in den beantragten AP 1.3, AP 2, AP 5 und AP 6.1 verbunden sind. Folglich ist der DVGW auf die Zuwendung angewiesen.

VI. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans

Deutschland und Europa wird voraussichtlich den Wasserstoffbedarf nicht durch Eigenproduktion decken können, wodurch die Importstrategie zu einer tragenden Säule der Versorgungssicherheit wird. Um weiterhin grüne Moleküle zu fördern wird durch beispielsweise das LNG Beschleunigungsgesetz mit dem Jahr 2043 eine H₂-Readiness gefordert. Hierbei nimmt die Vergleichbarkeit der Derivate eine entscheidende Rolle ein, aber auch die Bestandsaufnahme, der bis dato vorhandenen Technik, Infrastruktur und Regelung ist ein wichtiger Faktor, um die Aufgabe effizient anzugehen. Hierfür ist in AP1 ein Kriterienkatalog für die Beurteilung der H₂-Readiness erstellt worden, welcher als Basis für weiterführende Arbeiten sein kann.

Die Ergebnisse aus AP2 stellen weiterhin eine wichtige Grundlage dar, um einen Überblick über die Derivate zu wahren und ausgehend davon ihre Entwicklung zu verfolgen. Die Terminal Komponenten werden fortführend im Projekt in anderen APs aufgegriffen und bearbeitet.

Die Ergebnisse aus AP 5 zeigen auf, mit welchen Derivaten nicht ausreichend Erfahrungen im Umgang vorhanden sind und deshalb keine Normensammlungen aus umgesetzten bzw. künftigen Projekten bestehen und welche Derivate über Best-Practice Beispiele verfügen. Die unterschiedlichen Erfahrungswerte führen dazu, dass die Vergleichbarkeit auf Normenebene recht schwierig zu gestalten ist. Eine Übertragbarkeit der Normung kann lediglich aus bestehenden Erfahrungswerte geschätzt werden. Diese Erkenntnis kann als Gap-Analyse betrachtet werden und für weitere Forschungsvorhaben genutzt werden, um Wissenslücken zu schließen.

Aufgrund des neuartigen Nutzungskonzepts bestehender LNG-Terminals besteht ein erheblicher Forschungsbedarf im Hinblick auf die regulatorischen Rahmenbedingungen. In AP6 ist ein Überblick über den erforderlichen Anpassungsbedarf geschaffen worden, um zu verhindern, dass nicht sachgerechte, weil nicht auf das neue Nutzungskonzept abgestimmte, rechtliche Vorgaben den notwendigen Transformationsprozess im Bereich LNG behindern oder eine fehlende Regulierung zu einem Investitionshemmnis wird. Abgeleitet davon sind Normen und Regelwerke entscheidend für einen reibungslosen, qualitativ hohen und einen sicheren Betrieb von LNG-Terminals mit Wasserstoff oder dessen Derivate. Dahingehend dient die erstellte Liste bestehender Normen und technischer Regelwerke und das damit verbundene Aufzeigen von Lücken in der Regelung als Beschleuniger für die Realisierung von relevanten Regelungsprojekten. Den zuständigen Regelungs-Gremien kann damit eine Liste zu überarbeitender oder neu entwickelnder Normen und Regelwerke als klare Handlungsempfehlung angereicht werden.

VII. Fortschritt des Projektumfelds während der Laufzeit

Während des Projektes wurde die Ammoniak Studie des Weltenergieerates veröffentlicht [16]. Diese thematisiert Ammoniak als Energieträger für die Energiewende und hat gewisse Parallelen zum TransHyDE LNG2Hydrogen Projekt. Ammoniak wird in der Kurzstudie mit anderen Derivaten verglichen und es wird eine Bestandsaufnahme durchgeführt. Während der Laufzeit der Projekts werden zudem zunehmend Large Scale Projekte zu grünem Ammoniak diskutiert und bekannt gegeben. Es wird umfangreich über Kooperationen und Import in Form von Ammoniak zwischen verschiedenen Ländern gesprochen. Zudem werden Energy Hubs und multi use terminals ausführlich thematisiert.

Auch die Forschung bezüglich der direkten Anwendungen von Ammoniak nimmt Fahrt auf, sodass die Wertschöpfungskette neu gedacht werden muss. Die großen Vorteile, die mit Ammoniak einhergehen, sind das bekannte Handling, die bereits vorhandene Infrastruktur und die Verflüssigungstemperatur, welche mit -33°C deutlich höher liegt als bei Wasserstoff.

VIII. Erfolgte Veröffentlichungen

Im Synthesebericht des Verbunds TransHyDE LNG2Hydrogen erfolgt die Veröffentlichung zu AP2 und AP5. Die voraussichtliche Veröffentlichung findet im 3. Quartal 2025 statt.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt, „TransHyDE: Übersicht der Wasserstoff-Regelungen verfügbar,“ 14 10 2024. [Online]. Available: <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/aktuelles/news/transhyde/uebersicht>. [Zugriff am 26 05 2025].
- [2] Uniper, „Wilhelmshaven LNG Terminal-Anbindungsleitung; Unterlage für Raumordnungsverfahren,“ 2019.
- [3] Gasunie, „Neubau der Energietransportleitung ETL 180 Brunsbüttel-Hetlingen. Erläuterungsbericht; Unterlagen zum Antrag auf 1. Planänderung gemäß § 43 EnWG,“ 15 12 2022. [Online]. Available: <https://planfeststellung.bob-sh.de/file/a132636f-c936-4eec-b54b-03fd97100bf9/a0a375db-bcfb-43d3-9125-d87631c6ba14>. [Zugriff am 2024].
- [4] C. Staudt, C. Hofsäß, B. von Lewinski und F. Mörs, „Kurzstudie zu Transportoptionen von Wasserstoff,“ 2024.
- [5] National Hydrogen Council Germany, „Information Paper: Hydrogen transport,“ 2021.
- [6] O. Cebolla, „Assessment of hydrogen delivery options,“ 2022.
- [7] M. Distel, J. Margutti, J. Obermeier, A. Nuß, I. Baumeister, M. Hritsyshyna, A. Weiß und M. Neubert, „Large-Scale H₂ Storage and Transport with Liquid Organic Hydrogen Carrier Technology: Insights into Current Project Developments and the Future Outlook,“ 2024.
- [8] EE ENERGY ENGINEERS GmbH und der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, „Ammoniak als Energieträger für die Energiewende,“ 2023.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., „Normungsroadmap Wasserstofftechnologien,“ [Online]. Available: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/wasserstoff/normungsroadmap-wasserstoff>. [Zugriff am 26 05 2025].
- [10] K. Rouwenhorst, „Updated PGS-12 code: Preparing for increased ammonia imports to the Netherlands,“ Ammonia Energy Association, 16 08 2024. [Online]. Available: <https://ammoniaenergy.org/articles/updated-pgs-12-code-preparing-for-increased-ammonia-imports-to-the-netherlands/>. [Zugriff am 2024].
- [11] Air Liquide, „Wasserstoff H₂,“ [Online]. Available: <https://de.airliquide.com/unsere-gase/wasserstoff>. [Zugriff am 13 11 2024].
- [12] Bureau Veritas Marine & Offshore, „BUREAU VERITAS PUBLISHES RULES AND GUIDELINES ON AMMONIA,“ 4 05 2021. [Online]. Available: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/newsroom/bureau-veritas-publishes-rules-and-guidelines-ammonia>. [Zugriff am 2024].
- [13] American Bureau of Shipping, „Requirements for Ammonia fueled Vessels,“ 09 2023. [Online]. Available: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/325-requirements-for-ammonia-fueled-vessels_2023/325-ammonia-fueled-vessels-reqts-sep23.pdf. [Zugriff am 2024].
- [14] DNV, „New DNV Fuel Ready and Gas fuelled ammonia class notations provide maximum flexibility to tackle shipping’s carbon curve,“ 2 07 2021. [Online]. Available: <https://www.dnv.com/news/new-dnv-fuel-ready-and-gas-fuelled-ammonia-class-notations-provide-maximum-flexibility-to-tackle-shipping-s-carbon-curve-203646/>. [Zugriff am 2024].

- [15] Praetor Verlagsgesellschaft mbH, „Die LNG-Anbindungsleitung - und ihre Planfeststellung,“ 18.10.2023. [Online]. Available: <https://www.rechtslupe.de/verwaltungsrecht/umweltrecht/die-lng-anbindungsleitung-und-ihre-planfeststellung-3243028>. [Zugriff am 2024].
- [16] World Energy Council, „AMMONIAK als Energieträger für die Energiewende,“ 12.2023. [Online]. Available: https://www.weltenergieerat.de/wp-content/uploads/2024/01/WEC_Ammoniakstudie_2023.pdf. [Zugriff am 2024].