



TransHyDE-Projekt LNG2Hydrogen
Partnerspezifisches Vorhabensthema

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I: Kurzbericht

| | |
|--------------------------|---|
| 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. Ablauf des Vorhabens | 6 |
| IV. Wesentliche Ergebnisse..... | 7 |
| Literaturverzeichnis | 12 |

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

Abbildung 1 Existierende Terminals der einzelnen Transportvektoren weltweit 10

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|---|
| <i>Tabelle 1: Hauptkomponenten eines klassischen LNG Terminals</i> | 7 |
| <i>Tabelle 2: Transporteigenschaften der Transportvektoren</i> | 9 |

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Im Rahmen von AP2 wurde eine technologische Bestandsaufnahme von Terminals zum Import von H₂-Transportvektoren durchgeführt. Hierfür wurden die Transportvektoren in Meilenstein 1 einheitlich definiert und ihre Transporteigenschaften (technische Daten) zusammengefasst. Meilenstein 2 erforderte eine Marktübersicht zu den einzelnen Transportvektoren. In Meilenstein 3 wurde eine Bestandsaufnahme der Importterminals und Schiffe durchgeführt. Um abschließend einen Überblick über die Aktivitäten in den Bereichen Betrieb (schiffs- und landseitig), EPC (Engineering-Procurement-Construction), Anlagenbau, Equipment-Hersteller, Werftbetreiber, Lagerung und Transport von LNG, LH₂, NH₃, LOHC, MeOH und DME zu erlangen, wurde eine Stakeholderanalyse durchgeführt aus der sich Aussagen über die Marktreife der Transportvektoren ableiten lassen.

In AP5 wurde eine Identifikation der Normungsbereiche in Bezug auf die LNG-Terminalinfrastrukturen und Terminalinfrastrukturen für die weiteren H₂-Transportvektoren durchgeführt. Die Aufgabenstellung umfasste die Meilensteine Identifikation und Übersicht der Normungsbereiche (Meilenstein 1), die Technologieübertragbarkeit für stationäre (Meilenstein 2) sowie schwimmende (Meilenstein 3) LNG-Terminalinfrastruktur und die Übertragbarkeit der Schiffstechnologie (Meilenstein 4).

II. Vormaliger Stand des Wissens

AP2 stützt sich auf die aktuelle 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". Außerdem orientiert sich die Definition der Transportvektoren an den Angaben aus der Gesamt Vorhabensbeschreibung explizit Kapitel 2 „Stand der Technik; bisherige Arbeiten“.

Die Bearbeitung von AP5 orientierte sich an TransHyDE Norm und an bestehenden Normensammlungen für LNG und Ammoniak.

III. Ablauf des Vorhabens

Für beide APs wurden Kick-Off Veranstaltungen organisiert, in der die Teilnehmer:innen sich einander vorgestellt haben, Ansprechpersonen benannt und ihre Aufgabenbereiche und Zuständigkeiten definiert wurden. Je nach ausstehender Aufgabenstellung wurden in angemessenen Intervallen Jour-Fixe organisiert. Zwischen den JF wurden die Aufgaben bearbeitet und innerhalb der JF die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Der DVGW hat für AP2 Aufschläge von Prosa und Zusammenstellungen erstellt und innerhalb des AP zirkuliert. Jede Ausarbeitung wurde zur Kommentierung freigegeben und die Kommentare in den JF diskutiert und umgesetzt. In AP5 wurde ein Aufschlag der Datenbank, angelehnt an TransHyDE Norm, vom DVGW zur Verfügung gestellt und innerhalb des APs angepasst, gefüllt und diskutiert. Es wurden Experten kontaktiert, um Normungssammlungen von umgesetzten/laufenden Projekten einzuholen. Die Kontaktaufnahme war für LNG und Ammoniak erfolgreich.

Aus beiden APs 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 weitere Bearbeitung aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse wurden im Synthesebericht zusammengefasst und die Kommentare umgesetzt.

IV. Wesentliche Ergebnisse

Das wohl entscheidendste Ergebnis aus AP2, welches in den anderen APs genutzt wurde, ist die Liste der Hauptkomponenten eines LNG Terminals (Tabelle 1). Hierbei wurden die wichtigsten Komponenten eines klassischen LNG Terminals in Deutschland benannt und gelistet und im späteren Verlauf auch auf die Transportvektoren erweitert und mit einer TRL Bewertung für die einzelnen Komponenten bewertet.

Tabelle 1: Hauptkomponenten eines klassischen LNG Terminals

| Index | Hauptkomponenten | Bauteile/Auslegung |
|--|--|---|
| Hauptsächlich landseitige Auslegung | | |
| 1 | Anleger (Berth) | Ladearme; Dalben; Festmacher; (Emergency Shut Down) ESD Schiff-Land Verbindung; Feuerlöscheinrichtungen |
| 2 | Jetty (Steg) | Verbindung zwischen Anleger und Land. Steg mit Rohrbrücke (Flüssig- und Gaspendelleitung, Versorgungsleitungen), alternative Ausführung als Tunnel oder unterirdische Verlegung |
| 3 | Ladearme (Loading arms) | In- und Outboard-Arm; Gegengewicht; Drehbare Gelenke; QCDC- Schnellverschlusskupplung; ERC Notauslösung; Hüllkurvenüberwachung (ESD1, ESD2); ESD Schiff-Schiff & Schiff-Land-Verbindung (Elektrisch, Fibre-Optik, Pneumatisch (immer redundant), mit Überwachung der Anlegelast und Übertragung von kritischen Daten) [1] |
| 4 | Flachbodentank (Land) (Full Containment, ggf. auch Membran) (Flat Bottom Tank) | Äußerer Tank; Dampfsperre/Liner; Perlit-Isolierung; Innerer Tank; Fundamentbeheizung oder Pfahl Fundament; Innentank und Liner aus Spezialstahl (9% Ni, bei Membrantanks Edelstahl); Außentank: vorgespannter Stahlbeton; Bemessungsdichte 500 kg/m ³ (Auslegung gegen Erdbeben) [2] |
| 5 | Membrantank (Schiff, ggf. auch Land) (Containment System / Tank) | Membrane (Edelstahl oder Invar); Isoliersystem; [3] |
| 6 | Tankanschluss (Tank Connection) | Sicherheitsventile; Flüssigkeitsleitung; Dampfleitung; Instrumentierung für Füllstand, Temperatur und Druck; Pumpensäulen [4] |

| | | |
|--|---|--|
| 7 | Niederdruckpumpe (Low pressure pumps) | Fußventil; Tauchmotor; Einbau in Pumpensäule mit Ziehvorrichtung [5] |
| 8 | Hochdruckpumpe (High pressure pumps) | Tauchmotor; Einbau im Pumpenbehälter [6], [7] |
| 9 | BOG-Kompressor (BOG compressor) | Kolbenverdichter oder Turboverdichter; Schmiermittelfreie Zylinder; Kurbel; vertikale oder horizontale Ausführung [6] |
| 10 | Re-condenser | Druckbehälter mit Einbauten [7] |
| 11 | Open Rack-Verdampfer (Land) (Open Rack Vaporizer) | Wärmeübertragungsplatten (Hochleistungs- Wärmeübertragungsrohre aus Aluminiumlegierung) [8] |
| 12 | Tauchflammenverdampfer (land) (Submerged combustion vaporizer) | Brenner; Kamin; Wärmeübertrager (rostfreier Stahl); Wasserbad aus Beton oder Stahl; Gebläse [9] |
| 13 | Indirekter Verdampfer (FSRU) (Vaporizer with intermediate fluid) | Rohrbündel- oder Plattenwärmeübertrager (LNG/Zwischenmedium); Zwischenmedium (Propan oder Wasser/Glykol (WG)); Wärmeübertrager Seewasser/Zwischenmedium; WG Pumpen |
| 14 | LKW-Beladestation (Truck loading station) | LNG Übergabestation, Tankwagen [10] |
| 15 | Rohrleitungen (piping) | Rohre; Ventile; Flansche, Isolierung, Rohrhalter |
| 16 | Instrumentierung (instrumentation) | Manometer, Thermometer, Durchflussmesser, Füllstandmesser, Regelventile |
| 17 | Kontroll- und Steuerungssystem (Control system) | SPS, Bedieneinheiten |
| 18 | Elektrisches System (Electrical system) | Motoren, Starter, Motor Control Center |
| 19 | Sicherheitssystem(Safety system) | Gasdetektion; Branderkennung (Feuermelder und Flammendetektoren); Brandbekämpfung (Wassersprühsystem für Regas-Modul; Export- Sammelleitung; Hydranten; Standstrahlrohre); ESD- Systeme; Ex-Zonen; Fluchtequipment |
| 20 | Fackel (Flare) | Brenner, Deflagrationssicherung, Flammenüberwachung, Rohrleitung, Stahlstruktur, alternativ Bodenfackel |
| Hauptsächlich seeseitige Auslegung – Erweiterung der Komponenten | | |

| | | |
|----|--|---|
| 21 | Sicherheitssysteme FSRU (Safety system) | Kälteschutz des Rumpfes durch Wasser'vorhang' an der Übergabestation; Auffangwannen aus Edelstahl (z.B. unter kompletten Regasifizierungsmodulen) |
| 22 | Schläuche; ESD-Anschluss (Transfer Hoses, ESD connection) | Schläuche mit Drifterkennung; ESD-Absperrventil; Trockenabreißkupplung; ESD Schiff-Schiff & Schiff-Land-Verbindung (Elektrisch, Fibre-Optik, pneumatisch (immer redundant), mit Überwachung der Anlegelast und Übertragung von kritischen Daten) [11] |

Zudem wurde die Vergleichbarkeit der Transportvektoren mithilfe Tabelle 2 gegeben, in der die Transporteigenschaften der einzelnen Transportvektoren gegenübergestellt werden.

Tabelle 2: 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.-% _i) | 100 | 17,8 | 13,0 | 25,1 | 12,6 | 6,2 | n.a. |

Für einen globalen Überblick zu den Terminals kann zudem die grafische Darstellung, erstellt vom Fraunhofer ISE, aus AP2 herangezogen werden (siehe Abbildung 1).

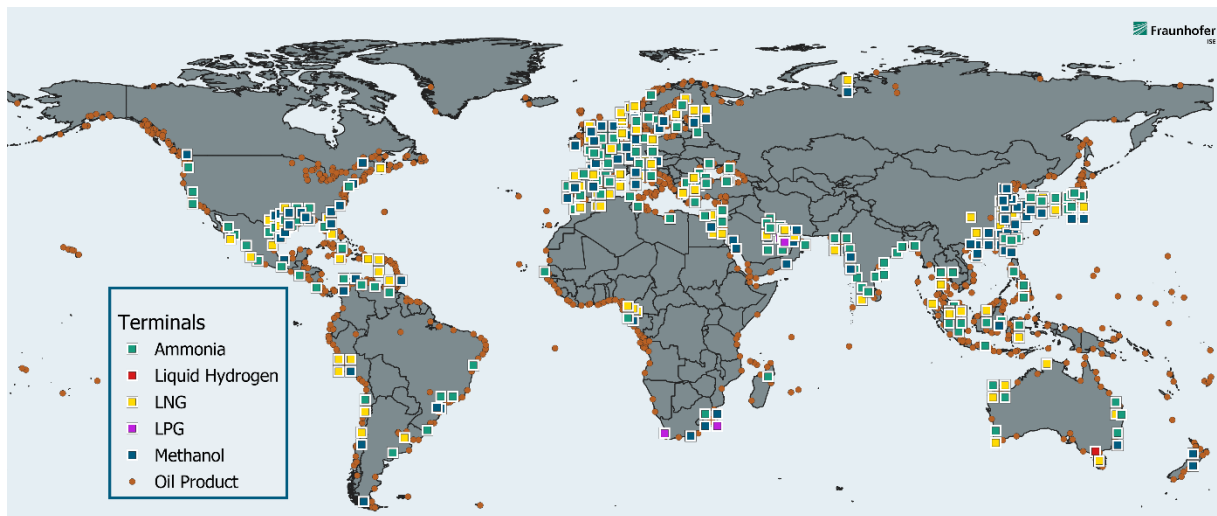


Abbildung 1 Existierende Terminals der einzelnen Transportvektoren weltweit

In AP5 haben sich beim Befüllen der Datenbank die wesentlichen Ergebnisse herauskristallisiert, die sich wie folgt zusammensetzen:

- Die Definition der Übertragbarkeit wurde bei dem Vergleich der Normensammlung von LNG und Ammoniak formuliert. Dabei ist eine Übertragbarkeit gegeben, wenn die LNG Normen auch für das Ammoniak Projekt genutzt werden. Berücksichtigt werden muss, dass für NH₃-Terminals vor allem der Leitfaden PGS-12 herangezogen wird, welcher zukünftig zumindest europäisch ebenfalls zu übertragen ist [12].
- Für SNG ist die LNG-Regelsetzung anwendbar. Für MeOH ist ein eigener Normensatz vorhanden.
- Perlitische Werkstoffe und kryogene Auslegungen können direkt von einer Übertragbarkeit ausgeschlossen werden. Hierbei ist keine Übertragbarkeit für LOHC, DME, MeOH gegeben. Zudem können Flüssiggas Normen nicht ohne Anpassungen auf H₂ angewendet werden, da der Siedepunkt bei -253 °C liegt und der Anwendungsbereich für LNG-Normen im Materialbereich auf -165 °C begrenzt ist [13].
- Schiffe und FSRUs bedienen ein komplett anderes Regime, was das Zusammenführen erschwert und eine gesonderte Recherche erfordert.

Schlussfolgernd aus AP5 weisen gut etablierte Märkte (wie LNG, NH₃) auch in der Regelung einen hohen Reifegrad auf. Für neue Märkte (wie LOHC oder LH₂) oder neue Technologien (z.B. NH₃-Cracker) bestehen umfassende Regelungslücken. Resultierende Handlungsempfehlungen können wie folgt formuliert werden:

- Detaillierte Prüfung, ob für LOHC auf die Ölterminals Normung zurückgegriffen werden kann.
- Prüfung, ob ein NH₃ spezifischer Normensatz notwendig ist.
- Für LH₂ muss ein umfassender eigener Normensatz aufgrund des niedrigen Siedepunkts generiert werden, um eine ausreichende Sicherheit gewährleisten zu können.
- Für die lokalen LNG-Normen kann eine Angleichung alter amerikanischer und anderer lokaler Regelung auf ISO- bzw. EN-Ebene durchgeführt werden.

- Im Hinblick auf das LNG-Beschleunigungsgesetz ist eine Begriffsdefinition für „Readiness“ sinnvoll. Eine Gliederung in mehrere „Readiness-Level“ kann ebenfalls hilfreich sein. Dies kann beispielsweise nach Aufwand für die Umstellung auf andere Transportvektoren definiert werden. (Niedrigstes Level: notwendiger Platzbedarf für eine Umstellung; Höchstes Level: direkte Umstellbarkeit ohne bauliche Veränderungen). Eine Unterscheidung der „Standort-Readiness“ & „Komponenten-Readiness“ sowie weiterer Kategorien kann sinnvoll sein.

Literaturverzeichnis

- [1] MIB ITALIANA S.P.A, „High Pressure Marine Loading Arms“.
- [2] EIA, „ What is Required to Bring LNG to Hong Kong“.
- [3] LNG Industry, „A step towards more sustainable storage system,“ 2020.
- [4] H.-G. Sung, „Design and analysis of above-ground full containment LNG storage tanks“.
- [5] Ebara Elliot Energy, 2024.
- [6] Burckhardt Compression, „Kompressorlösungen für das BOG Management“.
- [7] IGU, 2003.
- [8] Cryonorm, „LNG open-rack-vaporizer“.
- [9] Sumitomo Precision Products Co., Ltd., „LNG vaporizer“.
- [10] „Fos Cavaou LNG truck loading facility springs into operation,“ LNG World News , 2019.
- [11] Trelleborg Westbury Ltd, „Bulk Transfer,“ 2024.
- [12] 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].
- [13] Air Liquide, „Wasserstoff H2,“ [Online]. Available: <https://de.airliquide.com/unsere-gase/wasserstoff>. [Zugriff am 13 11 2024].