

BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Liquefied Natural Gas (LNG) Kesselwagen

NKa3 - 002114

Zuwendungsempfänger/-in

VTG Deutschland GmbH

Laufzeit des Vorhabens

29.04.2014 bis 30.06.2015

Autor/-en

Jörg Henning

Yvonne Studier

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

06.11.2015

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: 70 441-11/5	Projekt-Nr.: 20268
Titel des Vorhabens: Liquefied Natural Gas (LNG) Kesselwagen	
Autor/-en (Name, Vorname): Henning, Jörg Studier, Yvonne	Vorhabenbeginn: 29.04.2014
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 30.06.2015
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): VTG Deutschland GmbH Nagelsweg 34 20097 Hamburg	Veröffentlichungsdatum: November 2015
	Seitenzahl:
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
<p>Kurzfassung:</p> <p>Das Projekt LNG-Kesselwagen hatte zum Ziel, erstmals in Europa ein Transportmittel zu schaffen, das die Möglichkeit schafft, größere Mengen von Flüssigerdgas umweltfreundlich auf der Schiene zu transportieren. Mit dem LNG-Kesselwagen wird so abseits der Seewege, des Straßenverkehrs und eines entsprechenden Pipelinenetzes die Distribution von LNG innerhalb Europas möglich.</p> <p>Gemeinsam mit den Projektpartnern Chart Ferox und Waggonbau Graaf entwickelte, konstruierte und baute die VTG Deutschland GmbH einen Kesselwagen zum Transport von Flüssigerdgas. Bisher wurde LNG über den Seeweg sowie per LKW und Tankcontainer transportiert. Mit dem LNG-Kesselwagen – der einzigartig in Europa ist – brachte das Projekt ein Transportmittel auf den Markt, der zum Thema Umweltfreundlichkeit doppelt punktet: Das umweltschonende Flüssigerdgas wird somit erstmalig auf der Schiene transportiert.</p>	
Schlagwörter: LNG-Transport, Kesselwagen	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	Veröffentlichung im Internet: http://www.vtg.de/v/s/content/108278/226862;jsessionid=7CC8DC2CB6A686CEFCDCD3CF7B7AF559

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 70 441-11/5	Project-No.: 20268
Report Title: Liquefied Natural Gas (LNG) rail tank car	
Author/Authors (Family Name, First Name): Henning, Jörg Studier, Yvonne	Start of project: 29.04.2014 End of project: 30.06.2015
Performing Organisation (Name, Address): VTG Deutschland GmbH Nagelsweg 34 20097 Hamburg	Publication Date: November 2015
	No. of Pages:
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
<p>Summary:</p> <p>The objective of Project LNG rail tank car is to create a means of transport for the first time in Europe that provides the possibility to transport larger quantities of liquefied natural gas by rail in an environmentally friendly manner. This LNG rail tank car makes the distribution of LNG in Europe possible beyond the sea lanes, road transport networks and corresponding pipeline network currently used. Technically, this had not been possible otherwise previously.</p> <p>In cooperation with its project partners, Chart Ferox and Waggonbau Graaf, VTG Deutschland GmbH has developed, designed and built a rail tank car for transporting liquefied natural gas (LNG). Until now, LNG has always been transported by sea, truck and tank container. The LNG rail tank car—which is unique in Europe—has brought a means of transport onto the market that scores twice when it comes to environmental friendliness: environmentally friendly liquefied natural gas is transported by rail, which is also environmentally friendly.</p>	
Keywords: LNG transport, rail tank car	

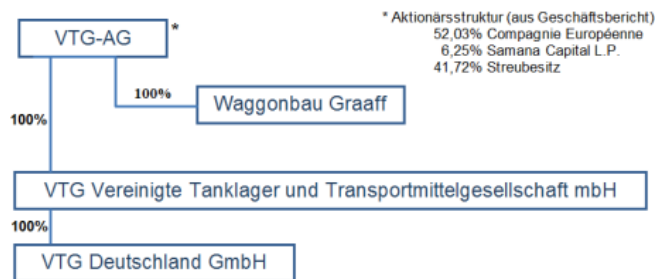
INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	4
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	4
1.2. Ausgangssituation	4
2. Vorhabenumsetzung	5
2.1. Ziel des Vorhabens	5
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	5
2.3. Umsetzung des Vorhabens	9
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	11
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	11
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	11
3.2. Umweltbilanz	12
3.3. Wirtschaftlichkeitsanalyse	13
3.4. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	14
4. Übertragbarkeit	14
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	14
5. Zusammenfassung/ Summary	14
Abkürzungen	18

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Die **VTG Deutschland GmbH** ist ein Unternehmen der Logistik-Branche (Tankcontainer-, Schienenlogistik sowie Waggonvermietung). Mit einer Mitarbeiterzahl von 140 erwirtschaftet die Gesellschaft mit beschränkter Haftung einen Umsatz von rund EUR 225,6 Mio. (Stand 31.12.2014). Die VTG Deutschland GmbH sowie Waggonbau Graaff sind Teil der VTG-Gruppe. Das nachfolgende Organigramm beschreibt die Inhaber- und Beteiligungsverhältnisse:



Unterstützt wurde das Vorhaben durch strategische Partnerschaften mit Waggonbau Graaff (Mitglied der VTG-Gruppe) und Chart Ferox a.s. (Děčín/ Tschechien).

Seit 1914 baut die **Waggonbau Graaff GmbH** Eisenbahngüterwagen. Als Spezialist für den Bau von Chemiekesselwagen entwickelt und produziert sie, basierend auf den jeweiligen Anforderungen, Kesselwagen nach höchstem Qualitätsanspruch. Die Entwicklung und das Design des Fahrgestells und des kompletten Kesselwagens (exklusive des doppelwandigen Tanks) wurden von der Waggonbau Graaff GmbH, Elze, Deutschland, Mitglied der VTG Gruppe, übernommen und durchgeführt. Bei der Waggonbau Graaff GmbH sind 175 Mitarbeiter beschäftigt und erwirtschafteten einen Umsatz von 41,6 Mio. EUR (Stand: 31.12.2014).

Chart Ferox erstellt cryogene Behältnisse, stationäre Tanks und ISO-Tankcontainer. Das Unternehmen beschäftigt insgesamt 605 Mitarbeiter und erwirtschaftete einen Umsatz in Höhe von 6,94 Mio. EUR (Stand: 31.12.2014)

1.2. Ausgangssituation

Ein europaweiter Transport von LNG war im Schienengüterverkehr bis zur Entwicklung des LNG-Kesselwagens nur mit Tankcontainern möglich. In Deutschland und Europa gab es keine Eisenbahn-Kesselwagen für den Transport von LNG. Es bestanden lediglich Transportmöglichkeiten für LNG per Schiff, LKW und Tankcontainer.

Durch die Realisierung des Kesselwagens ist eine moderne, umweltschonende, sichere und wirtschaftliche Transportmöglichkeit für einen effizienten, sauberen, sicheren, verfügbaren und vergleichsweise preiswerten Kraftstoff entstanden. Die neuartige Transportlösung ermöglicht somit eine Symbiose aus der Umweltverträglichkeit des Schienengüterverkehrs und den

nachhaltigen Eigenschaften von LNG als Kraftstoff und Energieträger der Zukunft. Die landseitige Verteilung von LNG wird im Rahmen der traditionellen Large Scale LNG/NG Supply Chain nicht wettbewerbsfähig sein können (-> Erdgas per Pipeline). Die Chancen für den LNG-Kesselwagen werden daher im Bereich des Small/Mid Scale LNG gesehen, insbesondere in Regionen mit schlecht ausgebautem Pipelinesystem und fehlendem Seeanschluss.

Da Druckgastanks von Kesselwagen umfangreiche Voraussetzungen hinsichtlich EU- und länderspezifischer Zulassungsvorgaben erfüllen müssen, die durch VTG in vollem Umfang erstmalig adressiert wurden, war eine Zulassungs- und Inbetriebnahmegenehmigung und die Einordnung der Emissionsbegrenzungen nach bestehendem Recht noch Neuland für die entsprechenden Zulassungsbehörden und den Antragsteller.

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war die erstmalige Realisierung eines Kesselwagens für den schienengebundenen Transports von LNG (auf – 162° C verflüssigtes Erdgas). Die neuartige Transportlösung bietet eine aussichtsreiche Verknüpfung der Vorteile durch die Umweltverträglichkeit des Schienengüterverkehrs und die nachhaltigen Eigenschaften von LNG als Kraftstoff und Energieträger der Zukunft. Durch die innovative Konstruktion und die hohen Sicherheitseigenschaften wurden im Rahmen des Projekts Umweltschutzwirkungen, wie geringer Kraftstoffverbrauch sowie geringe Lärm- und Schadstoffemissionen im Vergleich zu alternativen Transportmodi, erreicht. Die neuen Kesselwagen sind mit einer lärmarmen K-Sohle (Komposit-Bremsklotzsohle) ausgestattet, die eine Reduzierung von 10db im Vergleich zu den alten bestehenden Flotten mit Grauguss-Bremsklotzsohlen ermöglicht.

Die LNG-Distributionsinfrastruktur ist sehr straßenlastig. Durch den Einsatz des Kesselwagens kann das Fernstraßennetz stärker als bisher entlastet werden, denn zwei Eisenbahn-Kesselwagen ersetzen 3 LKW. Je nach Relation wird ein Kundenvorteil für den Nutzer generiert gegenüber dem Transport per Trailer und ISO-Container. Das nachfolgende Szenario eines neuen Zugverkehrs zum Transport von LNG zwischen Leuna und Bukarest, mit dem 6 x im Monat tiefkalt verflüssigtes LNG transportiert werden soll, zeigt die entsprechenden Möglichkeiten auf: Der Zug transportiert 2 Kesselwagen à 42 t Ladung. Monatlich werden somit 504 t LNG transportiert. Um dieses Volumen auf der Straße zu transportieren, müssten alternativ 17 LKW fahren, denn ein LKW kann pro Fahrt auf der 1.650 km langen Strecke maximal 30 t Ladung aufnehmen. Jeden Monat werden somit 831.600 tkm Fracht von der Straße auf die Schiene verlagert. Im Jahr ergibt sich somit ein Verlagerungsvolumen von 9,98 Mio. tkm.

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das Vorhaben umfasste den Bau von zwei Eisenbahn-Kesselwagen für den Transport von LNG. Jeder Kesselwagen ist mit einem vakuumisolierten Tank für LNG mit zusätzlicher Mehrlagensuperisolation (MLSI) ausgestattet und besteht aus

- einem Außenbehälter,
- einem Innenbehälter,
- einem Vakuum inklusive Mehrlagensuperisolation (MLSI) zwischen Außen- und Innenbehälter,
- einer Trägerkonstruktion, welche den Außen- und Innenbehälter verbindet,
- einer Vielzahl von Versteifungsringen am Außentank sowie
- einem Untergestell inklusive der Drehgestelle.

Das Besondere am Tank ist seine Doppelwandigkeit mit einem Vakuum zwischen Innen- und Außenbehälter, wobei der Zwischenraum zusätzlich mit einer Mehrlagensuperisolation versehen ist, wodurch der Wärmeeintrag in den Innenbehälter stark minimiert ist, was für die erforderliche Energieeffizienz und Sicherheit beim Transport von -162°C -kaltem LNG sorgt. Der Kesselwagen hat eine Länge über Puffer von $\approx 24,5$ Metern. Weitere Details zu den Abmessungen des Kesselwagens sind in der nachfolgenden Abbildung zu finden. Die Abmessungen berücksichtigen in vollem Umfang die in Europa vorliegenden länderspezifischen Bedingungen hinsichtlich Spurweite (z.B. Vorbereitung für Umspurbarkeit auf das spanische Breitspurnetz und Lichtraumprofil), maximaler Achslast und die erforderlichen Voraussetzungen bezüglich der Zulassungsvorgaben für Druckgastanks von Schienenfahrzeugen.

Abbildung 1:
Dimensionierung des LNG-Kesselwagens

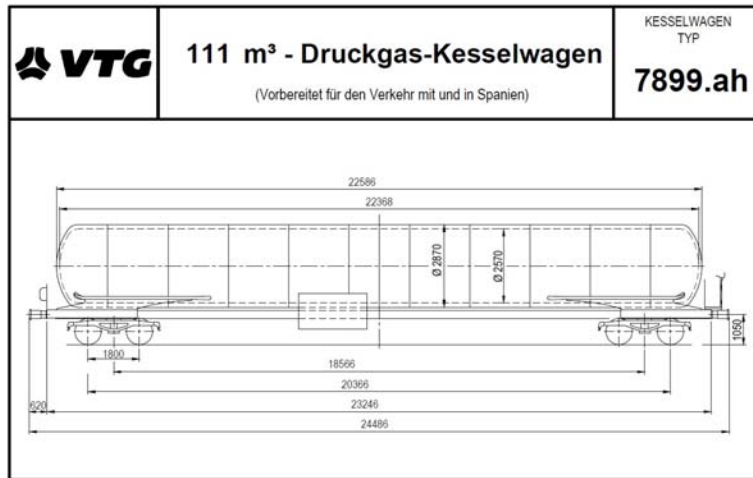


Tabelle 1:
Technische Daten LNG-Kesselwagen

Eigenschaft	Einheit
Ladegut:	Liquefied Natural Gas (LNG)
Eigengewicht:	ca. 46 t
max. Zuladung:	42 t bis 44 t
Achslast:	22,5 t pro Achse (25,0 t-Radsatz)
Temperaturbereich:	T1 (gem. TSI WAG) -25°C/+40°C
Erstes Baujahr:	2015
Bremsen:	KE-GP-A-(K)-12"
min. Kurvenradius:	75 m
RIV - Profil:	G1
Crashpuffer:	400 kJ
Sonderausstattung:	Vorbereitet für Spanienverkehre
Fahrgestell:	Y 25 Ls1-K

Die für diese Art Kesselwagen neuartige Bauart mit einer speziellen Aufhängungs- und Lagerungstechnologie des Innentanks im Außentank erhöht die Transportsicherheit und das Ladevolumen im Vergleich zu einem ISO-Cryocontainer.

Die Kesselwagen weisen folgende weitere technische Merkmale auf:

- Doppelwandigkeit des Tanks mit einem Vakuum zwischen Innen- und Außenbehälter (Zwischenvakuum gemäß Thermosflaschenprinzip):

Das zu transportierende Gut LNG erfordert aufgrund seiner speziellen cryogenen Eigenschaften umfangreiche technische Voraussetzungen, um eine sichere und wirtschaftliche Transportmöglichkeit auf der Schiene zu gewährleisten. Denn LNG ist tiefkalt verflüssigtes Erdgas. Erdgas wird flüssig und drucklos, sobald es auf den Siedepunkt von -162°C heruntergekühlt wird. Durch die Verflüssigung des Erdgases verringert sich das Volumen um das 600-fache und ermöglicht somit einen effizienten Transport. Um LNG effizient über lange Strecken transportieren zu können, muss gewährleistet sein, dass der Temperaturanstieg von LNG so gering wie möglich gehalten wird. Um dieses sicherzustellen, wurden cryogene Tanks bisher vornehmlich als ISO-Container für den Schiffstransport entwickelt, die diesen Anforderungen gerecht werden.

Der innere Behälter besteht aus einem nichtrostenden austenitischen Chrom-Nickelstahl (Werkstoff 1.4301), der eine gute Korrosionsbeständigkeit und Schweißbarkeit vorweist. Der äußere Tank ist aus Normalstahl (Werkstoff P355NL2) gefertigt.

Tabelle 2: Technische Daten Tank

Tankeigenschaften	Größe
Kapazität	ca. 111 m ³
Berechnungsdruck (RID)	10,4 bar
Prüfüberdruck	10,4 bar
Max. Betriebsüberdruck	-1 / +7,0 bar (je geringer der Druck, desto größer die Ladung)
Auslegungstemperatur	-196 / +50 °C
Isolierung	Vakuum + Mehrlagensuperisolation

- Mehrlagensuperisolation

Zwischen dem Innen- und dem Außenbehälter befindet sich zusätzlich zu dem Vakuum eine Mehrlagensuperisolation (MLSI), um den erforderlichen Wärmedämmeffekt zu gewährleisten. Diese Mehrlagensuperisolation weist eine Dicke von wenigen Millimetern auf. Gemäß der Technologie der Mehrlagensuperisolation sind bei der beschriebenen Transportvorrichtung Thermalisolationmaterialien außen um den Innenbehälter herumgewickelt. Die Mehrlagensuperisolation (Füllstoff Aluminium und metallisierten Einzellagen aus Polyester- und Polyimid-Folien) wird auch in der Raumfahrt verwendet und schützt Satelliten sowie deren Instrumente und Geräte gegen die extremen Temperaturunterschiede im Weltall. Diese Technologie kommt hier zum Einsatz, um LNG bei konstanter Temperatur über eine längere Zeit zu transportieren und einen geringen Energieaustausch mit der Umgebung (Wärmestrahlung wird absorbiert) sicherzustellen.

- Aufhängungs- und Lagerungstechnologie des Tanks

Innen- und Außentank sind durch eine spezielle Aufhängungs- und Lagerungstechnologie miteinander verbunden. Diese spezielle Lagerung des inneren Tanks schützt vor dynamischen Erschütterungen, die während des Transports per Schiene auftreten, und erhöht somit die Transportsicherheit. Tatsächlich nimmt die Stützkonstruktion zwischen dem Innenbehälter und der Außenhülle nicht nur die Last der Flüssigkeit, das Gewicht des Tanks und die durch Stoßbewegungen verursachten Kräfte auf, sondern reduziert darüber hinaus auch den verursachten Wärmeeintrag.

- Achslast

Die Achsen, mit denen die LNG-Kesselwagen ausgerüstet sind, sind so konstruiert, dass sie 25 t tragen. Dies ist Teil der Sicherheitsphilosophie für diese LNG-Kesselwagen und der VTG.

- Einrichtungen zur Befüllung und Entleerung

Ein Pluspunkt von LNG ist seine leichte Betankbarkeit. Jedoch sind aufgrund der speziellen cryogenen Eigenschaften von LNG umfangreiche Maßnahmen und Anlagen notwendig, um eine sichere Befüllung und Entleerung des Kesselwagens zu gewährleisten.

Tabelle 3: Einrichtungen zur Befüllung und Entleerung, weitere Armaturen

Flüssigphase:	Hauptventil DN 80 für Be- und Entladung
	Absperrventile DN 80 (2x, beidseitig) für Be- und Entladung mit Anschluss DN 80 (blindgeflanscht)
Gasphase:	Absperrventile DN 50 (2x, beidseitig) mit Anschluss DN 50 (blindgeflanscht)
	Entlüftungsventil DN 50
Des weiteren:	Sicherheitsventile, Ansprechdruck 7 bar, 2 x 2 Ventile
	Beladebegrenzung: DN 10
	Füllstandanzeige durch Druckausgleich zwischen flüssiger und gasförmiger Phase: 2x DN 10
	Druckmessgerät: 2x DN 10

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Initial für das Vorhaben war die Erkenntnis, dass bisher noch keine Möglichkeit für den Transport von LNG mittels Kesselwagen auf der Schiene bestand, wodurch ein Glied in möglichen Logistikketten für die Distribution von LNG speziell auf dem Landwege und in größeren Mengen („rollende Pipeline“) fehlte.

Um diesen Mangel zu beheben, wurden erste Konzepte für LNG-Kesselwagen untersucht. Des Weiteren wurde nach möglichen Lieferanten für solche Kesselwagen und deren Hauptkomponenten geforscht. Daraus entstanden ist die Partnerschaft mit Chart Ferox, die mit einer Absichtserklärung zu Entwicklung und – sofern möglich – Herstellung von LNG-Kesselwagen im August 2012 fixiert wurde.

Nachgelagert wurde gemeinsam mit Chart Ferox und der Waggonbau Graaff GmbH die grundsätzliche Realisierbarkeit von LNG-Kesselwagen untersucht und positiv bewertet.

Dies war der Auslöser, das Vorhaben zur Entwicklung, Konstruktion und Herstellung von zwei Prototypen anzugehen. Der Projektantrag zur Förderung des Vorhabens erfolgte am 20. November 2013.

Nach der Bewilligung des vorzeitigen Maßnahmenbeginns zum 29.04.2014 wurden die ersten Schritte zum Produktionsstart der Tanks bei Chart Ferox angestoßen. Die Bestellung an Chart Ferox zum Bau der Tanks erfolgte am 15.05.2014.

Nächster Schritt war die Bestellung vom 22.07.2014 an die Waggonbau Graaff GmbH für die Herstellung und Lieferung der Untergestelle für die beiden Prototypen und die Montage der LNG-Tanks auf den Untergestellen inkl. Vervollständigung zu LNG-Kesselwagen.

Basierend auf den Bestellungen an Chart Ferox und Waggonbau Graaff GmbH begannen dort jeweils die Vorarbeiten in den Bereichen Entwicklung und Konstruktion, Arbeitsvorbereitung

und Einkauf

- zur Beschaffung der erforderlichen Materialien,
- für die Vorbereitung der Fertigung der Tanks und Untergestelle.

und nachfolgend dann die eigentliche Fertigung dieser Hauptkomponenten.

Am 09.10.2014 wurde der erste LNG-Tank aus dem Werk von Chart Ferox in Decin/Tschechien per Bahn nach Elze transportiert. Hier traf der Tank am 15.10.2014 im Werk von Waggonbau Graaff ein. Unmittelbar danach wurden die ersten Schritte zur Komplettierung des ersten LNG-Kesselwagens unternommen.

Nach der Komplettierung zum ersten Kesselwagen ist dieser – nunmehr auf eigenen Rädern - wieder nach Tschechien versendet worden, wo er am 06.11.2015 eintraf, um sogleich mit den notwendigen Tests für die späteren Genehmigungen und Zulassungen zu beginnen.

Währenddessen wurde der zweite Wagen in Elze komplettiert, da für die erforderlichen Lärmtests beide Wagen erforderlich waren. Dieser zweite LNG-Kesselwagen ist nach seiner Komplettierung am 07.12.2014 ebenfalls nach Tschechien gesandt worden.

Nachdem die Lärmtests erfolgreich am 19.12.2014 abgeschlossen worden waren, ging dieser zweite LNG-Kesselwagen zurück nach Elze, um für den Einsatz auf der Messe „transport logistic“ vorbereitet zu werden. Der andere Wagen verblieb in Tschechien, mit ihm wurden die noch fehlenden restlichen Prüfungen und Tests durchgeführt.

Die Baumusterprüfung für den Tank der LNG-Kesselwagen wurde am 28.01.2015 am zweiten LNG-Kesselwagen bei Waggonbau Graaff in Elze erfolgreich durchgeführt.

Nachdem bis Anfang März 2015 sämtliche Tests und Prüfungen mit den beiden Prototypen durchgeführt waren, wurde am 17.03.2015 die Baumusterzulassung für den LNG-Tank erteilt und am 18.03.2015 die TSI-Zulassung für den - kompletten - LNG-Kesselwagen. Damit konnte Ende März 2015 die entsprechende Dokumentation und der Antrag auf Serienzulassung und Inbetriebnahme-Genehmigung beim Eisenbahn-Bundesamt gestellt werden. Mitte April 2015 am 13.04.2015 wurde die Serienzulassung für die LNG-Kesselwagen vom Eisenbahn-Bundesamt erteilt, inkl. Inbetriebnahme-Genehmigung. Das Aktenzeichen des entsprechenden Bescheids ist 3130-31tka/121-3131#004-001, die EIN-Nummer ist DE 53 2015 3002.

Einer der zwei LNG-Kesselwagen (Wagennummer 3780 7912 002-8, Tank-Nr. 60500) wurde Anfang Mai 2015 erstmals der Öffentlichkeit auf der Messe „transport logistic“ in München vorgestellt.

Der zweite Wagen verblieb nach Abschluss der restlichen Prüfungen und Tests in Tschechien und ging noch einmal zum Hersteller des Tanks Chart Ferox nach Decin. Dort erfolgten noch einige Überprüfungen im Nachgang zu den eisenbahntechnischen Prüfungen und Tests sowie Nacharbeiten (z. B. Abrüstung von Messequipment). Am 25.06.2015 traf dieser LNG-Kesselwagen dann wieder in Elze ein, zur Durchführung der Restarbeiten und für das Finish.

Nachdem auch die Arbeiten an diesem Kesselwagen (Wagennummer 3780 7912 001-0, Tank-Nr. 60499) durchgeführt und abgeschlossen wurden, sind beide LNG-Kesselwagen betriebs- und einsatzbereit.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Für den freizügigen Einsatz der LNG-Kesselwagen im europäischen Eisenbahnnetz (Trans European Network – TEN gemäß Interoperabilitätsrichtlinie 2008/57/EG) mussten diese insbesondere nach folgenden Bestimmungen durch eine Benannte Stelle (Notified Body – NoBo) zertifiziert werden:

- TSI WAG Verordnung (EU) Nr. 321/2013, geändert durch Verordnung (EU) Nr. 1236/2013
- TSI NOI Verordnung (EU) Nr. 1304/2014
- TPED Richtlinie 2010/35/EU, in Verbindung mit RID 2015

Auf Basis der dafür erhaltenen Zertifikate und unter Berücksichtigung einiger weiterer nationaler Vorgaben

- Verordnung über die Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems - Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung - TEIV
- Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

war es dann erforderlich, eine Serienzulassung inkl. Genehmigung zur Inbetriebnahme für die LNG-Kesselwagen beim Eisenbahn-Bundesamt zu erlangen. Diese wurde erteilt, mit dem Aktenzeichen des entsprechenden Bescheids 3130-31tka/121-3131#004-001, EIN-Nummer DE 53 2015 3002.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben wurde erfolgreich und innerhalb des Projektzeitplans realisiert, 2 Prototypen wurden hergestellt, damit stehen 2 betriebs- und einsatzbereite LNG-Kesselwagen zur Verfügung.

Des Weiteren kam es im Juli 2014 zu einer Produktionsverzögerung bei Chart Ferox von anfänglich zwei, später drei Wochen, die trotz „Durcharbeiten“ in den Werksferien nicht aufgeholt werden konnte. Es wurden unmittelbar Maßnahmen eingeleitet, wie die Produktionsverzögerung in der nächsten Bauphase bei Waggonbau Graaff im Zuge der Montage der Tanks auf Untergestell inklusive der Drehgestelle wieder aufgefangen werden konnten. Hauptsächlich wurde dafür die Durchlaufzeit bei Waggonbau Graaff eingekürzt, indem ein strafferer Produktionsdurchlauf organisiert wurde.

Dadurch konnte das Projekt trotz der zwischenzeitlichen Verzögerung gemäß des Arbeits- und Zeitplans erfolgreich und fristgerecht durchgeführt werden, sodass zum Projektende beide LNG-Kesselwagen rechtzeitig fertiggestellt wurden.

3.2. Umweltbilanz

Wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, ist der Transport von LNG in Europa bisher straßenlastig. Das nachfolgende Szenario eines neuen Zugverkehrs zum Transport von LNG zwischen Leuna und Bukarest, mit dem sechsmal im Monat tiefkalt verflüssigtes LNG transportiert werden soll, zeigt das entsprechende Transportvermeidungsniveau auf:

Der Zug transportiert 2 Kesselwagen à 42 t Ladung. Monatlich werden somit 504 t LNG transportiert. Um dieses Volumen auf der Straße zu transportieren, müssten alternativ 17 LKW fahren, denn ein LKW kann pro Fahrt auf der 1650 km langen Strecke maximal 30 t Ladung aufnehmen. Jeden Monat werden somit 831.600 tkm Fracht von der Straße auf die Schiene verlagert. Im Jahr ergibt sich somit ein Verlagerungsvolumen von 9,98 Mio. tkm.

3.3. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Der nachstehende Vergleich zeigt auf, dass der Transport von LNG per Schiene kostengünstiger ist als der Transport per LKW für die hinterlegte Relation Swinoujscie – Elk.

Scenario #2	PGNIG - year 2025		Exchange rate PLN/EUR:	0,232	
Origin		Swinoujscie			
Destination		Elk			
Roundtrip	km	1350			
Working program	weeks/year	52			
		Average	Summer	Winter	
Consumption	tons/month	1.939	970	2.908	
	tons/year	23.268	11.640	34.896	
	MWh/year	356.758	178.471	535.045	
Type of mobile equipment		Road tanker	Road tanker	RTC	RTC
Type of shipment			Rental	Unit shipment	Train shipment
Capital cost requirement (per unit)					
Equipment cost		300.000 €		N/A	N/A
Capital life basis		15			
Annual depreciation cost		20.000 €			
Annual maintenance and inspection cost		10.000 €			
Daily rental cost - mobile unit	€/day		180 €	200 €	200 €
Daily rental cost - container rail chassis	€/day				
Total annual rental cost	€/year		65.700 €	73.000 €	73.000 €
Total annual equipment cost per unit		30.000 €	65.700 €	73.000 €	73.000 €
Payload					
Gross Volume	m3	52,5	52,5	105,9	105,9
Filling		85%	85%	86%	86%
LNG density	kg/m3	454	454	454	454
Payload	kg	20260	20260	41348	41348
Filling frequency					
Average	units/month	96	96	47	47
Summer	units/month	48	48	24	24
Winter	units/month	144	144	71	71
Loading charge at the source		550	550	625	625
Roundtrip days	days	5	5	10	8
Loading at source	days/unit or days/train	0,5	0,5	1	1
Transit time both ways	days/unit or days/train	4	6	8	6
Unloading at destination	days/unit or days/train	0,5	0,5	1	1
No. of unit roundtrips per month		6,2	6,2	3,1	3,9
No. of units based on					
Summer period - Road Tankers	units	8	8		
Winter period - Road Tankers	units	24	24		
Summer period - ISO's	units				
Winter period - ISO's	units				
Summer period - RTC's	units			8	6
Winter period - RTC's	units			23	18
Transport cost					
Train					
Train size	no. of railcars	N/A	N/A	N/A	18
Cost of return trip per train					27.600 €
Number of trains per winter period	no. of trains				24
Monthly gas supply - winter period	tons/month				2977
Number of trains per summer period	no. of trains				8
Monthly gas supply - summer period	tons/month				992
Number of trains per year	no. of trains				32
Gas volume transported	tons/year			23320	23816
Transport cost per one delivery	€/delivery			1.311 €	N/A
No. of RTC's or ISO's transported	units/year			564	576
Transport cost per year	€/year	- €	- €	739.404 €	883.200 €
Road tankers					
Transport cost	€/km	1,5	1,5	N/A	N/A
No. of shipments per winter period	No. of shipments	861	861		
Monthly gas supply - winter period	tons/month	2907	2907		
No. of shipments per summer period	No. of shipments	287	287		
Monthly gas supply - summer period	tons/month	969	969		
No. of road tanker shipments	units/year	1148	1148		
Gas volume transported	tons/year	23258	23258		
Transport cost per year	€/year	2.324.700 €	2.324.700 €	- €	- €
Total					
Transport cost per year	€/year	2.324.700 €	2.324.700 €	739.404 €	883.200 €
Gas volume per year	tons/year	23258	23258	23320	23816
Transport cost per ton	€/ton	100,0 €	100,0 €	31,7 €	37,1 €
Annual transport cost summary					
Equipment cost		720.000 €	1.576.800 €	1.679.000 €	1.314.000 €
Loading charges		631.400 €	631.400 €	352.500 €	360.000 €
Transport cost		2.324.700 €	2.324.700 €	739.404 €	883.200 €
Total transport cost		3.676.100 €	4.532.900 €	2.770.904 €	2.557.200 €
Transport cost	€/ton	158,0 €	194,8 €	119,1 €	109,9 €
	€/MWh	10,3 €	12,7 €	7,8 €	7,2 €
Minimum annual transport cost		3.216.140 €	4.222.940 €	2.729.254 €	2.253.100 €
Maximum annual transport cost		3.951.080 €	4.687.880 €	3.207.152 €	2.666.100 €

Comments	
Assumptions for the minimum annual transport cost:	
Road tanker	4 calendar days for a complete round trip including loading and unloading 1.3 EUR/km transport cost
RTC (Rail Tank Car)	Rental 190 EUR/day Loading charge at the source - 550 EUR Cost of railcar group transport - 1311 EUR (5700 PLN) Cost of full train transport - 23.5 EUR/ton
Assumptions for the maximum annual transport cost:	
Road tanker	7 calendar days for a complete round trip including loading and unloading 1.6 EUR/km transport cost
RTC (Rail Tank Car)	Rental 210 EUR/day Loading charge at the source - 700 EUR Cost of railcar group transport - 45 EUR/ton Cost of full train transport - 34.5 EUR/ton

3.4. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Ein Transport von tiefkaltem LNG auf der Schiene per Kesselwagen war bis zum jetzigen Projekt nicht möglich. Anhand dieses Projekts wurde somit erstmalig der schienengebundene Transport von LNG anhand der Konstruktion der beiden Kesselwagen realisiert.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Im ersten Quartal 2016 soll ein Praxistest auf der Strecke vom niederländischen Rotterdam ins italienische Verona durchgeführt werden.

5. Zusammenfassung/ Summary

– Einleitung

Gemeinsam mit den Projektpartnern Chart Ferox und Waggonbau Graaf entwickelte, konstruierte und baute die VTG Deutschland GmbH einen Kesselwagen zum Transport von Flüssigerdgas. Bisher wurde LNG über den Seeweg sowie per LKW und Tankcontainer transportiert. Mit dem LNG-Kesselwagen – der einzigartig in Europa ist – brachte das Projekt ein Transportmittel auf den Markt, der zum Thema Umweltfreundlichkeit doppelt punktet: Das umweltschonende Flüssigerdgas wird auf der umweltfreundlichen Schiene transportiert.

– Vorhabenumsetzung

Das Projekt LNG-Kesselwagen hatte zum Ziel, erstmals in Europa ein Transportmittel zu schaffen, das die Möglichkeit schafft, größere Mengen von Flüssigerdgas umweltfreundlich auf der Schiene zu transportieren. Mit diesem LNG-Kesselwagen wird

so abseits der Seewege, des Straßentransports und eines entsprechenden Pipelinenetzes die Distribution von LNG innerhalb Europas möglich. Technisch war dies bisher nicht anders möglich.

Mithilfe der folgenden technischen Merkmale des LNG-Kesselwagens wurde eine Lösung für das Vorhaben gefunden: ein Außenbehälter, ein Innenbehälter, ein Vakuum inklusive einer Mehrlagensuperisolation zwischen Außen- und Innenbehälter, eine Trägerkonstruktion, die den Außen- und Innenbehälter verbindet sowie das Untergestell mit den Drehgestellen. Hier folgt man dem Prinzip der Thermoskanne, mit dem man das tiefkalte Flüssigerdgas (-162°C) entsprechend lange kalt und somit flüssig hält.

Das Besondere an dem LNG-Kesselwagen ist die Doppelwandigkeit mit dem Vakuum zwischen Außen- und Innenbehälter. Der Zwischenraum ist zusätzlich mit einer Mehrlagensuperisolation versehen, so dass kein Wärmeeintritt stattfindet und so für die erforderliche Energieeffizienz gesorgt wird.

– **Ergebnisse**

Insgesamt ist das Projekt trotz zeitlicher Verzögerungen während der Produktionsphase und einem zusätzlichen Designloop während der Konstruktionsentwicklung innerhalb der vorgegebenen Projektzeit erfolgreich abgeschlossen worden. Alle Tests und Messungen mit dem LNG-Kesselwagen sind gelungen, so dass im April 2014 die Inbetriebnahme-Genehmigung des Eisenbahn-Bundesamtes erstellt wurde. Diese ist europaweit gültig und auf eine Serienproduktion ausgelegt.

Wie bereits erwähnt, ist der Transport von Flüssigerdgas auf der Schiene gleich doppelt umweltfreundlich, denn die Symbiose aus dem umweltschonenden LNG und des umweltfreundlichen Verkehrsträgers Schiene bringt eine Umweltverträglichkeit mit sich, die weder die Straße noch der Seeweg bieten können.

Besonders auf langen Strecken ist die Nutzung des LNG-Kesselwagens im Vergleich zum LKW oder dem Tankcontainer effizienter. Nicht nur, dass mehr Produkt transportiert werden kann, auch im Kostenvergleich schneidet der LNG-Kesselwagen besser ab.

– **Ausblick**

Im ersten Quartal des Jahres 2016 ist ein Praxistest für die Strecke von Rotterdam nach Verona geplant.

– **Introduction**

In cooperation with its project partners, Chart Ferox and Waggonbau Graaf, VTG Deutschland GmbH has developed, designed and built a rail tank car for transporting liquefied natural gas (LNG). Until now, LNG has always been transported by sea, truck and tank container. The LNG rail tank car—which is unique in Europe—has brought a means of transport onto the market that scores twice when it comes to environmental friendliness: environmentally friendly liquefied natural gas is transported by rail, which is also environmentally friendly.

– **Project implementation**

The objective of Project LNG rail tank car is to create a means of transport for the first time in Europe that provides the possibility to transport larger quantities of liquefied natural gas by rail in an environmentally friendly manner. This LNG rail tank car makes the distribution of LNG in Europe possible beyond the sea lanes, road transport networks and corresponding pipeline network currently used. Technically, this had not been possible otherwise previously.

A solution for the project was found with the aid of the following LNG rail tank car technical features: an outer vessel, an inner vessel, a vacuum, including multi-layer super insulation between the outer and inner vessel and a support structure, which connects the outer and inner vessels and the undercarriage to the bogies. The thermos flask principle finds application here that is used to maintain the cryogenic LNG (-162° C) long enough at a temperature cold enough to keep it liquid.

The special feature of the LNG rail tank car are its double walls featuring a vacuum between the outer and inner vessel. The gap also has multi-layer super insulation to stop heat entering and so to provide the required energy efficiency.

– **Project results**

Overall, the project has been completed successfully within the specified project period, despite some time delays during the production phase and an additional design loop during construction development. All tests and measurements on the LNG rail tank car have been performed successfully, so that approval by the Federal Railway Authority to start operations could be issued in April 2014. This applies throughout Europe and also covers mass production.

As already mentioned, transporting liquefied natural gas by rail provides twice the environmental friendliness, because, in tandem, the symbiosis of environmentally friendly LNG and environmentally friendly rail transport delivers an environmental impact that neither road nor sea can offer.

Using the LNG rail tank car, compared to truck or tank container, is more efficient, especially over long distances. This is not only because more product can be transported, but because the LNG rail tank car performs better when the costs are compared.

– **Prospects**

A practice run is planned on the route from Rotterdam to Verona in the first quarter of 2016.

Abkürzungen

°C	Celsius
EIN	Europäische Identifikationsnummer
ISO	International Organisation for Standardization
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
LNG	Liquefied Natural Gas
m	Meter
m ³	Kubikmeter
MLSI	Mehrlagensuperisolation
NG	Natural Gas
t	Tonne
TEIV	Transeuropäische Eisenbahn Interoperabilitätsverordnung
TEN	Transeuropean Network
tkm	Tonnen-Kilometer