

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

Abschlussbericht

PTJ / BMWI

1	22-Mar-2013	Veröffentlichung	JM8	HMK	HMK
Rev.	Date	Subject of revision	Author	Checked	Validated

TABLE OF CONTENTS

1.	Einleitung.....	5
2.	LNG als Kraftstoff für Schiffe	6
3.	Fuel Gas Systeme – Stand der Technik	8
3.1.	Basis Komponenten.....	8
3.2.	Basis Funktionen	9
3.3.	Tank Systeme	10
3.3.1.	Type A und B	10
3.3.2.	Type C, Zylindrisch und Bilobe.....	10
3.3.3.	Vakuum isolierter Type C Tanks mit „Cold Box“	12
3.3.4.	Mobile Tank Container	13
3.3.5.	Vergleich der verschiedenen Tanksystemen und Isolierungen	14
3.4.	Fuel Gas Systeme	15
3.4.1.	Systeme für 4 Takt Dual Fuel Motoren.....	15
3.4.2.	Gegenüberstellung und Einsatz von verschiedenen Fuel Gas Systemen	17
4.	Entwicklung von Codes und Guidelines	18
5.	Gas-Pax.....	19
5.1.	LNG Fuel Gas Supply System für Kreuzfahrtschiff	19
5.1.1.	Basis Konzept	19
5.1.2.	LNG Bunker Tank.....	19
5.1.3.	Fuel Gas Versorgung	20
5.1.4.	FMEA	21
5.2.	LNG Fuel Gas Supply System für Ro-Pax Ferry	22
5.2.1.	Basis Konzept	22
5.2.2.	LNG Bunker Tank.....	22
5.2.3.	Fuel Gas Versorgung	23
5.2.4.	FMEA	24
5.3.	LNG Fuel Gas Supply System für Mega-Yacht	24
5.3.1.	Basis Konzept	24
5.3.2.	LNG Bunker Tank.....	25
5.3.3.	Fuel Gas Versorgung	25
5.3.4.	FMEA	27
6.	Anhang.....	28
6.1.	Anhang 1: Übersicht LNG Tank Typen.....	28
6.2.	Anhang 2: Vergleich Schaum Isolierung – Vakuum Isolierung bei LNG Tanks	29

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

7. Abkürzungsverzeichnis30

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Beispiele für die Zusammensetzung von LNG und BOG aus verschiedenen Vorkommen (Cases). Im Vergleich dazu auch die Zusammensetzung gemäß IGF Code.....	6
Abbildung 2: Übersicht Eigenschaften LNG.....	7
Abbildung 3: Basiskomponenten Fuel Gas System	8
Abbildung 4: Cargo Tank Typ A.....	10
Abbildung 5: Zylindrischer Typ C Tank.....	11
Abbildung 6: Fabrikation eines Bilobe Tanks.....	12
Abbildung 7: Fuel Gas Tanks (mit Fuel Gas System). Die äußeren Tanks wurden der Schiffsform angepasst.	12
Abbildung 8: Vakuum isolierter Tank	13
Abbildung 9: Ein mit Schlüssel gesichertes Handventil	14
Abbildung 10: Fuel Gas System mit Tank-Verdampfer.....	15
Abbildung 11: Vakuum Isolierter Tank mit "Cold Box"	16
Abbildung 12: Fuel Gas System mit in-Tank Pumpe und Buffer Vessel	16
Abbildung 13: CAD 3-D Ansicht LNG Fuel Gas Supply System der Ro-Pax Ferry.....	23
Abbildung 15: CAD 3-D Ansicht des Gas Handling Rooms der Mega-Yacht.....	26

1. Einleitung

Das Projekt GasPax besteht aus den Projektpartnern Meyer Werft, Fr. Lürssen Werft, Flensburger Schiffbaugesellschaft, Germanischen Lloyd und TGE-Marine Gas Engineering. Projektziel ist, es den möglichen Einsatz von verschiedenen Kraftstoffen mit einem Flammpunkt von unter 60°C für Antriebsanlagen und Bordstromerzeugern zu untersuchen.

Dazu sollte an drei exemplarischen Schiffsentwürfen funktionsfähige Gasantriebe mit der dazugehörigen Brennstoffversorgung entwickelt werden.

Ein weiteres wichtiges Projektziel war den derzeitigen Stand der Regelwerke gegen diese Entwürfe zu prüfen, und dabei auch die Anwendbarkeit der Regelwerke zu testen, bzw. für die weitere Entwicklung Hinweise zu geben.

TGE besaß vor GasPax erste Erfahrungen mit LNG Containmentsystemen und LNG Fuelgassystemen auf Gastankern wie zum Beispiel beim MV „Coral Methane“ von der Anthony Veder Gruppe. Somit waren grundsätzlich die Komponenten und Verfahren für Fuelgassysteme bekannt. Jedoch bestand keine Erfahrung mit Passagierschiffen.

TGE hatte zuvor noch nie ein öffentlich gefördertes Entwicklungsvorhaben bearbeitet. Die technische Entwicklung wird normalerweise aus der Projektabwicklung heraus betrieben, es gibt keine F&E-Abteilung.

2. LNG als Kraftstoff für Schiffe

Die Nutzung von LNG als Schiffstreibstoff ist eine seit Jahrzehnten etablierte Technologie auf LNG-Tankern. Die Sicherheitsbilanz für das Be- und Entladen dieser Schiffe, sowie für den Betrieb der Antriebsanlagen mit dem in den Tanks verdampfenden Gas – dem sogenannten boil-off-gas (BOG) – ist hervorragend. Außerdem gibt es inzwischen etwa zehn Jahre Erfahrung mit kleinen LNG-angetriebenen Schiffen wie Fähren und Offshore-Versorgern hauptsächlich in Norwegen.

Aus heutiger Sicht scheint sich LNG als alternativer Schiffstreibstoff durchzusetzen, wobei die Vorteile von LNG in erster Line in dessen Umweltfreundlichkeit liegen. So enthält LNG beispielsweise keinen Schwefel, da dieser bereits während der Reinigung und Verflüssigung entfernt wird. Ebenso entsteht keine Feinstaub-Emissionen (Angesehen von kleinen Mengen durch Lube Oil or Pilot Fuel). Der Hauptbestandteil von LNG ist Methan (CH₄). Hierbei liegt das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff im Idealfall bei 1:4, bei Dieselmotorkraftstoff bei ca. 1:2. Weniger Kohlenstoff im Treibstoff bedeutet somit weniger CO₂ bei dessen Verbrennung.

Unsicherheit bei der Verwendung von LNG als Schiffstreibstoff basiert auf dessen zukünftigen Verfügbarkeit und ungewisse Preisentwicklung. Nach heutigen Wissen sind die weltweit bekannten Gasreserven länger ausreichend als Ölreserven. Hinzu kommen die zukünftig immer schwieriger werdende Versorgung mit HFO, MDO und MGO, und die damit verbundene ungewissen Bunkerpreise. Interessant wird dies, wenn man bedenkt, dass Betriebszeiträume von 30 Jahren für Schiffe keine Seltenheit sind.

LNG ist ein Gasgemisch mit den signifikanten Hauptbestandteilen Methan, Ethan, Propan, Butan und Stickstoff. Für Gewinnung und Verflüssigung von LNG werden bis 25% des Energiegehaltes des Gases benötigt.

Case	Methane	Ethane	Propane	Butane	Nitrogen	Pentane+
	[%mole]					
1 (LNG)	88,4436	8,7027	2,4287	0,0506	0,3542	0,0202
1 (BOG)	89,5223	0,0146	0	0	10,4631	0
2 (LNG)	87,4	8,2	1,9	0,7	1,8	0
2 (BOG)	57,7696	0,0059	0	0	42,2245	0
IGF (LNG)	95,8775	3,0385	0,5024	0,1097	0,472	0,0501
IGF (BOG)	88,1883	0	0	0	11,8117	0
7	97,2	2,3	0,3	0,2	0	0
8	91,0991	5,5106	2,4802	0,88	0,03	0
Min-Max (LNG)	81-99	0,1-14	0-4,2	0-2,5	0-1,8	0-1,6
Min-Max (BOG)	57-100	0-0,03	0	0	0-42,2	0

Abbildung 1: Beispiele für die Zusammensetzung von LNG und BOG aus verschiedenen Vorkommen (Cases). Im Vergleich dazu auch die Zusammensetzung gemäß IGF Code.

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

Je nach Lagerstätte gibt es starke Schwankungen in der Zusammensetzung. Deutliche Unterschiede zwischen LNG- und BOG Zusammensetzung entstehen durch die unterschiedlichen Dichten und Siedepunkte der Komponenten. Somit ist die BOG Zusammensetzung auch vom Tankdruck abhängig.

Temperatur bei Umgebungsdruck	-165 ... -160 °C (siedende Flüssigkeit)
Dichte (flüssig, Umgebungsdruck)	422 ... 488 kg/m ³
Brennwert LNG	45 ... 56 MJ/kg (34 ... 41 MJ/m ³)
Methanzahl LNG	63 ... 99
Brennwert BOG	22 ... 50 MJ/kg (19 ... 34 MJ/m ³)
Methanzahl BOG	75 ... 100

Abbildung 2: Übersicht Eigenschaften LNG

Bedingungen an das LNG für die Verwendung in 4 Takt Dual Fuel Maschinen sind eine Methanzahl > 80 und einen Brennwert > 28 MJ/m³. Bei LNG mit hohem Anteil von Ethan etc. kann die Methanzahl zu niedrig sein. Bei BOG mit hohem Stickstoffanteil kann der Brennwert zu niedrig sein. Beides kann die Leistung der Dual Fuel Maschinen beeinflussen. Diese würden hierauf (automatisch) mit einer Leistungsreduzierung reagieren.

Ursprünglich gab es auch beim GasPax Projekt Konzepte, die auch LPG als Treibstoff vorgesehen haben. Dies scheiterte in erster Line daran, dass keine Motoren im geeigneten Leistungsbereich zur Verfügung stehen. Jetzt gibt es Überlegungen, den IGF-Code in die Richtung weiterer Technologien zu öffnen, so dass man z.B. auch mit LPG Dual Fuel Maschinen betreiben kann. Aktuell zeichnet sich bereits ab, dass die Verwendung von LPG in 2-Takt Maschinen ohne Leistungsreduzierung möglich ist, da diese im Dual Fuel Betrieb nach dem Diesel-Prinzip arbeiten. 4-Takt Maschinen hingegen arbeiten im Dual Fuel Modus nach dem Otto Prinzip. Hier sorgt die geringe Methanzahl von LPG für eine geringere Klopfestigkeit, sodass diese Motoren dann erheblich in der Leistung reduziert werden müssen. Das daraus resultierende verschlechterte Leistungsgewicht (KG : kW) verringert die Wirtschaftlichkeit des Antriebes. Da die im Projekt verwendeten Motoren ausschließlich 4-Takt Maschinen sind, ergibt sich aus dieser Entwicklung kein neuer Aspekt bei der Kraftstoffauswahl.

3. Fuel Gas Systeme – Stand der Technik

3.1. Basis Komponenten

Ein Fuel Gas System besteht im Wesentlichen aus den folgenden Basiskomponenten:

- Bunkeranschluss
- Tank
- Fuel Gas Aufbereitung (Pumpen, Verdampfer)
- Master Gas Fuel Valve (Trennung des Fuel Gas Systems zum Maschineraum)

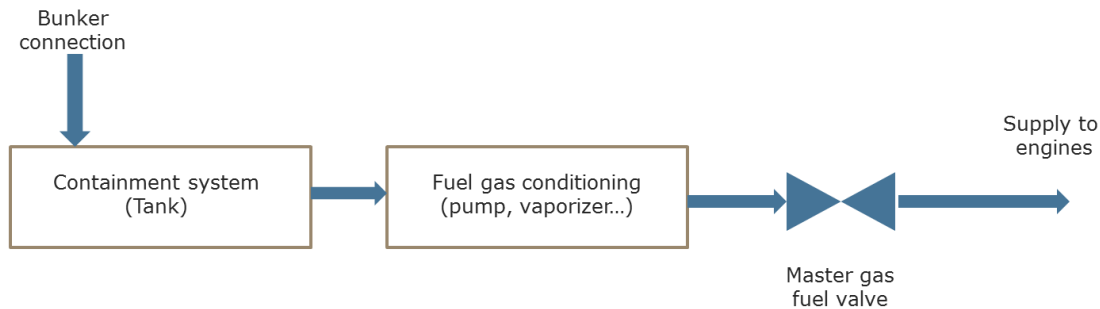


Abbildung 3: Basiskomponenten Fuel Gas System

Zum Betrieb eines Fuel Gas Systems sind weitere Hilfssysteme notwendig:

- Wasser-Glykol Kreislauf: Dieser führt die Motorabwärme dem Verdampfer zu.
- Inertgas System: Hiermit kann in den Anlagenteilen, insbesondere die Bunker-Anschlüssen das NG aus dem System gespült werden. Damit dabei kein zündfähiges Gemisch entsteht, wird hierfür reiner Stickstoff verwendet.
- Belüftung: Räume, in den gasführende Komponenten installiert sind, müssen mit einem dreißigfachen Luftwechsel be- bzw. entlüftet werden.
- Abblase-System: Beim Abblasen der Sicherheitsventile wird das dabei freigesetzte Gas kontrolliert über einen Mast an die Atmosphäre abgeführt.
- Automatisierung & Überwachung: Regelung des Tankdrucks und der LNG bzw. Vapour-Menge für das Fuel Gas System. Überwachung der prozess- und sicherheitsrelevanten Drücke und Temperaturen. System kann eigenständig aufgebaut werden, oder in das Schiffsautomatisierungssystem integriert werden.

3.2. Basis Funktionen

Das Fuel Gas System muss in der Lage sein, folgende Basis-Operationen durchzuführen:

- Vorbereitung des Ladungssystems zum Bunkern
- Bunkern mit Vapour Return
- Bunkern ohne Vapour Return
- Fuel Gas Versorgung des Antriebs, bzw. der Hilfsmaschinen
- Spülen des LNG/NG Rohrleitungssystems, der Fuel Gas Ausrüstung und der Bunker-Anschlüsse mit Stickstoff um Gasfreiheit herzustellen.

Weitere Operationen, die jedoch mit Bordmitteln alleine nicht mehr durchzuführen sind:

Spülen der LNG Tanks mit Stickstoff um Gasfreiheit herzustellen (hierfür sind größere Stickstoffmengen erforderlich, die in der Regel nicht an Bord – in Flaschen – mitgeführt werden).

Abkühlen und Erstbefüllung der LNG Tanks (Hierfür ist von Außenbords eine Versorgung mit flüssigen Stickstoff notwendig, das eingesprüht über die Tank-Sprayleitung, den Tank abkühlt. Danach kann mit den LNG Bunkern begonnen werden).

3.3. Tank Systeme

3.3.1. Type A und B

Grundsätzlich eignen sich auch die selbsttragenden Tanks vom Typ A und Typ B für den Einsatz bei Fuel Gas Systemen. Besonders die nicht zylindrische Bauform machen einen prismatischen Tank für Fuel Gas Systeme vermeintlich interessant, da er theoretisch „in jede Ecke“ gebaut werden kann. Jedoch sorgt der technisch bedingte geringe Auslegungsdruck von $<0,7$ barg dafür, dass entstehendes BOG nicht im Tank gehalten werden kann. Somit muss auch bei abgeschalteter Hauptmaschine eine permanente Abnahme des BOG über z.B. Hilfskessel, Hilfsmaschine oder – im ungünstigsten Fall – durch eine sog. BOG Consumption Unit¹ sichergestellt sein.

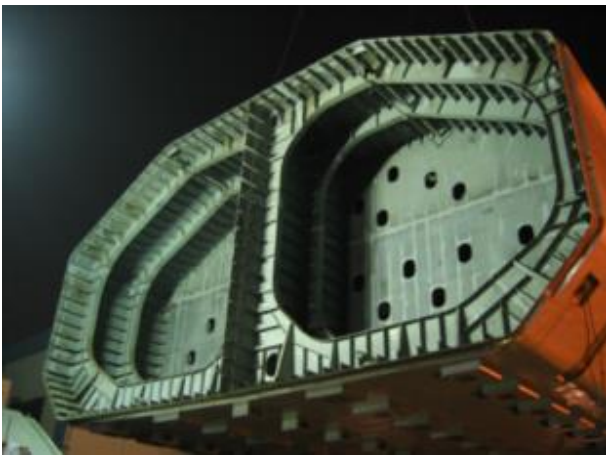


Abbildung 4: Cargo Tank Typ A

Darüber hinaus ist bei einem Typ A Tank eine vollständige, und beim Typ B Tank mindestens eine partielle zweite Barriere notwendig.

3.3.2. Type C, Zylindrisch und Bilobe

Type C Tanks gelten aufgrund ihrer Konstruktion gemäß IGC-Code als eigenständig sicher. Gemäß der im IGC-Code beschriebenen Nachweisverfahren wird davon ausgegangen, dass während der Tanklebensdauer keine Beschädigung auftritt, die den Tank in seiner Sicherheit gefährdet. Hierzu gehören die Analyse der statischen und dynamischen Belastungen in Hinblick auf z.B.:

- Innerer und äußerer Druck
- Mögliche Rissausbreitung
- Membran und Isolierung
- Tankträger (Lager)

¹ Einheit zum Verbrennen des BOG ohne die Energie zu nutzen

**GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen**

Darüber hinaus sind im IGC-Code neben den Nachweisverfahren auch die Anforderungen an Fertigung und die damit verbundenen Testverfahren genau definiert.

Diese Type C Tanks besitzen eine Polyurethan- beziehungsweise Polystyrol-Isolierung. Die Isolierung von LNG Fuel Gas Tanks hat zwei Gründe: Erstens, um den Wärmeeintrag zu reduzieren, damit die Verdampfung nicht zu stark ist. Zweitens, um die umliegenden Schiffsstrukturen vor den tiefen Temperaturen des LNG zu schützen.



Abbildung 5: Zylindrischer Typ C Tank

Ein weiteres wesentliches Konstruktionsmerkmal des Typ C Tanks besteht darin, dass üblicherweise alle Tankanschlüsse an der Oberseite über den Tankdom ausgeführt sind. Somit kann bei einer möglichen Beschädigung dieser Komponenten kein LNG austreten.

Aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften kann beim Typ C Tank auf eine zweite Barriere verzichtet werden.

Eine besondere Form des Type C Tanks ist der so genannte Bilobe Tank. Dieser findet dann Anwendung, wenn aufgrund der zur Verfügung stehenden Breite nur zwei (kleinere) Tanks oder ein Tank (schlechte Platzausnutzung) möglich sind.

Ein Bilobe Tank besteht vom Verständnis her aus zwei Typ C Tanks, nebeneinander liegend, die miteinander verschnitten sind (siehe Abbildung 6: Fabrikation eines Bilobe Tanks).

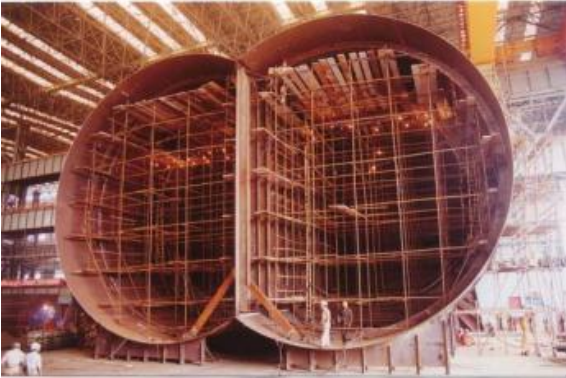
**GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen**

Abbildung 6: Fabrikation eines Bilobe Tanks

Die beiden Tanks sind mit einem Längsschott getrennt. Dieses Schott ist jedoch nicht dafür ausgelegt, den Design Druck vom Tank aufzunehmen. Somit muss in beiden Tankhälften stets der gleiche Druck herrschen. Um dies sicherzustellen, sind beide Tanks in der Gasphase miteinander verbunden.

Trotz der grundsätzlich zylindrischen Form bietet der Type C Bilobe Tank eine gute Möglichkeit den zur Verfügung stehenden Raum optimiert auszunutzen. Darüber hinaus besteht beim Typ C grundsätzlich die Möglichkeit, diesen im begrenzten Umfang der Schiffsform anzupassen.

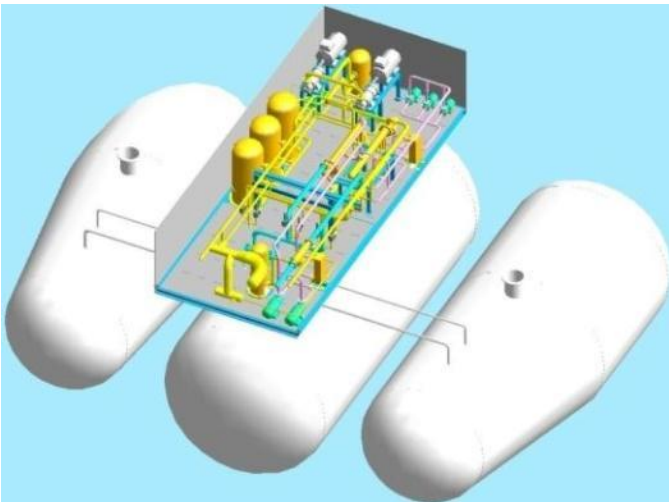


Abbildung 7: Fuel Gas Tanks (mit Fuel Gas System). Die äußeren Tanks wurden der Schiffsform angepasst.

3.3.3. Vakuum isolierter Type C Tanks mit „Cold Box“

Vakuumisolierte Tanks bieten auf Grund ihrer sehr effektiven Isolierung eine sehr hohe Standzeit. Jedoch ist bei vakuum isolierten Type C Tanks es mit technisch einfachen Mitteln nicht möglich, größere Öffnungen in dem Tank vorzusehen. Dies ist bedingt durch die unterschiedliche Temperatúrausdehnung zwischen innerer und äußerer Hülle. Ein Mannloch oder eine Wartungsöffnung für z.B. eine Intankpumpe ist somit nicht darstellbar. Es muss ein Bodenauslass

**GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen**

vorgesehen werden um LNG aus dem Tank entnehmen zu können. Um den Bodenauslass muss dann eine zweite Barriere vorgesehen werden. Technisch realisiert wird dies mit einem Raum um den Bodenauslass, in der dann auch die weitere Fuel Gas Ausrüstung untergebracht ist (siehe auch 3.4.1 Systeme für 4 Takt Dual Fuel Motoren).

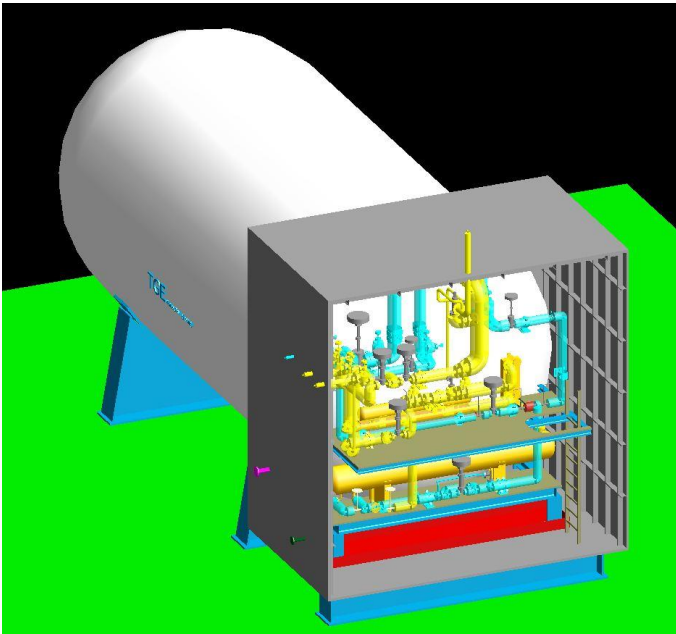


Abbildung 8: Vakuuminisierter Tank

Daraus folgt, dass kein Gas Handling Room mehr vorgesehen werden muss. Dieser Vorteil kann bei kleineren Systemen die höheren Kosten der Vakuuminisierung ausgleichen. Ein Nachteil dieser Isolierung ist, dass ein solcher Tank absolut zylindrisch gefertigt sein muss. Formanpassungen wie beim konventionell isolierten Type C Tank (siehe 3.3.2) sind theoretisch möglich, führen hier zur Erhöhung der Schweißnähte, wodurch die Fertigung unwirtschaftlich wird.

3.3.4. Mobile Tank Container

Mobile Tank Container existieren auf der Basis von standardisierten Containern mit 10, 20 und 40ft. Der große Vorteil dieses Tanksystems besteht darin, dass das Befüllen der Tanks außerhalb des Schiffes vorgenommen werden kann. Der Austausch von Tank Container an Bord kann – abhängig von der Menge – schneller gehen, als ein herkömmlichen Bunkervorgang, und ist einfach z.B. per Straßentrailer (bei Ro-Ro Schiffen) oder Containerbrücke durchzuführen.

Der guten Handhabbarkeit steht jedoch eine schlechte Raumausnutzung gegenüber.

Die technische Betrachtung eines Mobil Tank Containers entspricht einem vakuuminisierten Typ C Tank. Auch hier kann auf einen Bodenauslass nicht verzichtet werden. Somit muss dann austretendes LNG entweder in entsprechenden Edelstahl-Wannen aufgefangen, und/oder über Bord gegeben

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

werden können. Daraus folgt, dass derzeit existierende Konzepte nur Tank Container auf offenem Deck, bzw. über der Wasserlinie vorsehen.

Große technische Herausforderungen bei diesem Konzept stellen die Tankanschlüsse für die LNG und Vapour dar. Diese müssen regelmäßig über flexible Verbindungen sicher verbunden und wieder getrennt werden können.

Bei flexiblen Tank Containern muss außerdem verhindert werden, dass diese aus ihrer Verankerung genommen werden können, solange noch Prozessverbindungen zum Fuel Gas System bestehen und (z.B. ein LNG Schlauch) abreißen könnten. Dies kann man über Schlüssel-Systeme (Key Lock), realisieren die beispielsweise ein Twistlock² erst freigeben, wenn die Prozess-Verbindungen gelöst sind.



Abbildung 9: Ein mit Schlüssel gesichertes Handventil (Quelle: Netherlocks Safety Systems®)

Die Verwendung von standardisierten Containern bietet den Vorteil, dass die Infrastruktur zum Befüllen und Transport bereits existiert und generell auch als unproblematisch eingestuft wird. Dennoch gibt es bis jetzt noch von keiner Klassifizierungsgesellschaft eine Freigabe von einem solchen Tank direkt in ein Fuel Gas System einzuspeisen.

Obwohl schon Fuel Gas Projekte mit mobilen Tank Containern in Planung sind, existiert zurzeit noch keine Freigabe durch eine Klassifikationsgesellschaft.

Zu Beginn des GasPax Projektes wurde für das Projekt „2.LNG Fuel Gas Supply System für Ro-Pax Ferry“ der Flensburger Schiffbaugesellschaft die Verwendung von mobilen Tank Containern untersucht.

3.3.5. Vergleich der verschiedenen Tanksystemen und Isolierungen

Aktuell sind IMO Typ C Tanks, also Druckbehälter, die bevorzugte Lösung. Diese Tanks sind sehr sicher und zuverlässig, und der hohe Auslegungsdruck lässt Druckanstieg durch Verdampfung ebenso zu wie hohe Bunkerraten. Diese Tanks sind einfach zu bauen und zu installieren, benötigen keine Wartung und sind bewährt im vielfachen Einsatz. Der wesentliche Nachteil dieser Tanks liegt in der Form, die

² Twistlock: Verriegelung die einen ISO-Container fest mit dem entsprechenden Trailer verbinden

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

auf Zylinder, Bilobe (Doppelzylinder) und konische Zylinder/Bilobes beschränkt ist. Diese Form führt zusammen mit dem oben genannten Dichtefaktor dazu, dass man den drei- bis vierfachen Raum benötigt, um dieselbe Energiemenge mit LNG zu transportieren wie mit herkömmlichen Treibstoffen.

Schaumisolierung ist die konventionelle Form der Tankisolierung, die für Schiffe ausreicht, die keine längeren Unterbrechungen im Gasverbrauch haben. Der Verbrauch hält dann den Tankdruck gering. Für Schiffe mit längeren Unterbrechungen im Gasverbrauch, die z. B. nur innerhalb der ECA (Emission Control Area) LNG nutzen und sonst Schweröl verbrennen, ist eine effizientere Isolierung nötig. Für kleinere Tanks kann dies durch doppelwandige Ausführung mit Vakuumisolierung erreicht werden, das ist die derzeit in Norwegen bevorzugt genutzte Lösung. Diese Tanks sind in Größe und Form limitiert und haben in der Regel kein Mannloch, deshalb sind Tankbegehungen unmöglich und es kann keine Ausrüstung im Tank montiert werden.

3.4. Fuel Gas Systeme

3.4.1. Systeme für 4 Takt Dual Fuel Motoren

Welches Fuel Gas System verwendet wird, ist abhängig von dem Einsatzzweck des Schiffes und des damit verbundenen Antriebskonzeptes.

Mögliche Fuel Gas Systeme für 4 Takt Dual Fuel Motoren sind im folgenden Teil erklärt.

3.4.1.1. Tankverdampfer zur Erhöhung des Drucks in der Gasphase, zur Förderung des LNG zum Verdampfer bzw. Erhitzer (Konventionell isolierter Type C Tank)

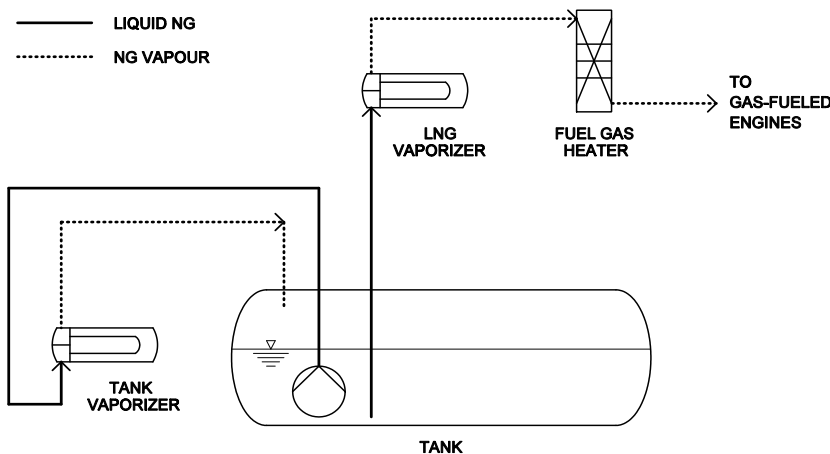


Abbildung 10: Fuel Gas System mit Tank-Verdampfer

Merkmale:

- Notwendiger Tankdruck von 4 – 10barg
- Kleine In-Tank-Pumpe (Kein Bodenauslass notwendig)
- Fuel Gas Ausrüstung muss in separatem Raum untergebracht werden (Belüftet, flexible Anordnung).

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

Prinzipiell kann hier zur Verminderung des Tankdrucks auch BOG direkt zum Verbrauch den Motoren zugeführt werden. Jedoch ist ein Druck in der Gasphase - der leicht oberhalb des Drucks liegt der an der GUV benötigt wird – notwendig, um das Fuel Gas System zu versorgen.

Lastschwankungen können über das Druckpolster der Gasphase kompensiert werden.

3.4.1.2. Tankverdampfer zur Erhöhung des Drucks in der Gasphase, zur Förderung des LNG zum Verdampfer bzw. Erhitzer (Vakuum Isolierter Tank)

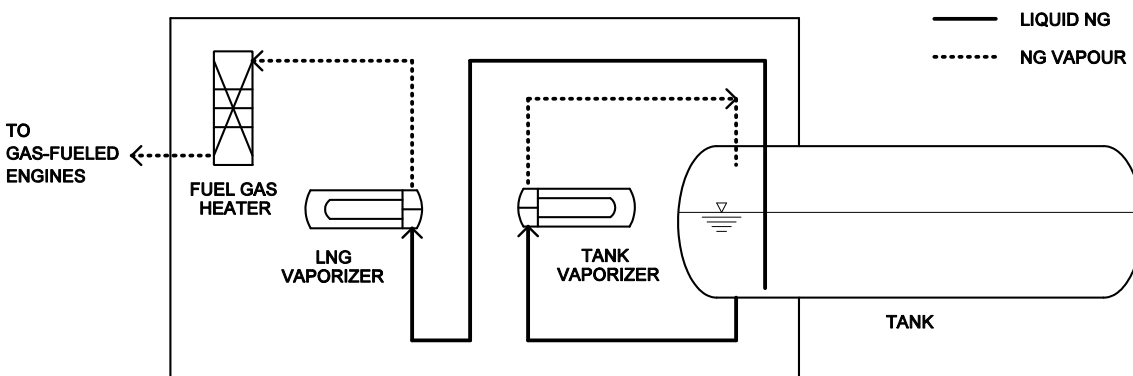


Abbildung 11: Vakuum Isolierter Tank mit "Cold Box"

Gleiches System wie 3.4.1.1 ohne In-Tank-Pumpe, jedoch mit Bodenauslass (Siehe auch 3.3.3).

3.4.1.3. In-Tank-Pumpe mit LNG-Verdampfer und Heizer

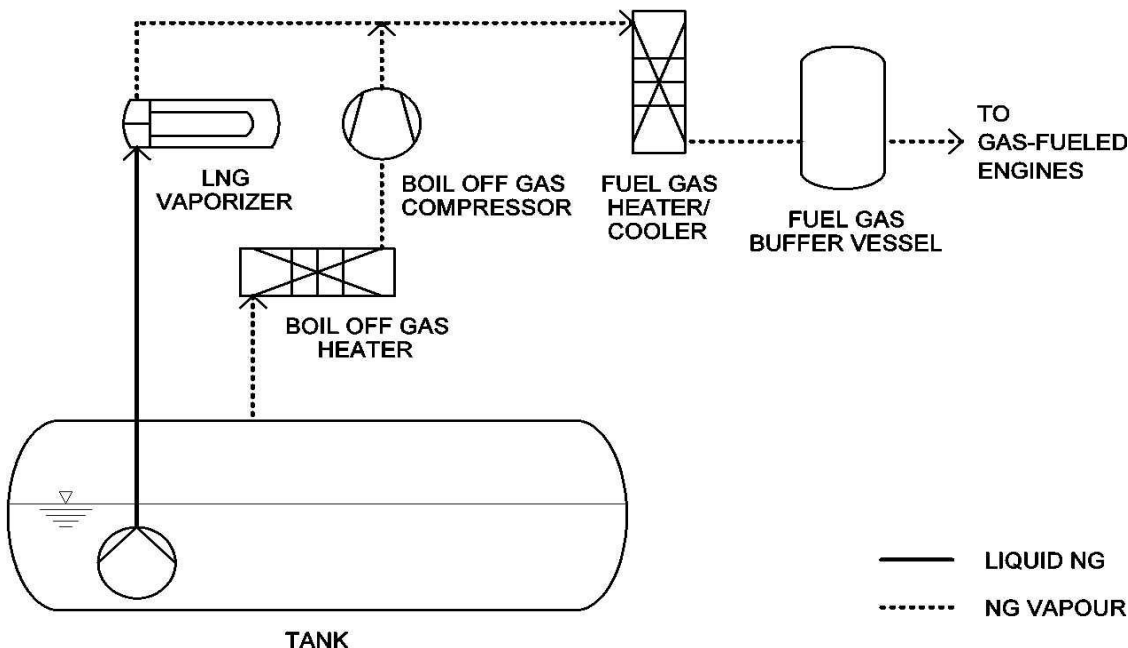


Abbildung 12: Fuel Gas System mit in-Tank Pumpe und Buffer Vessel

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen**Merkmale:**

Niedriger Tank Auslegungsdruck erforderlich (ca. 4 bar)

In-Tank-Pumpe für die komplett benötigte LNG-Menge

Bei diesem System muss aufgrund des geringen Tank-Auslegungsdruckzusätzlich ein BOG Kompressor vorgesehen werden, da der geringe Tankdruck nicht ausreicht um das Gas über den statischen Druck zu den Motoren zu fördern. 4 Tank Dual Fuel Maschinen benötigen einen Gasdruck von etwa 5 barg. Um mögliche Lastschwankungen der Motoren abfangen zu können, muss gegebenenfalls ein Gas-Pufferbehälter vor der GUV vorgesehen werden.

3.4.2. Gegenüberstellung und Einsatz von verschiedenen Fuel Gas Systemen

Abhängig von den Vorgaben des jeweiligen Schiffsentwurfes wie z. B. Tankvolumen, Tankanzahl, Gasverbrauch, Bunkerrate und Anordnung der Systemkomponenten, gibt es somit passende Lösungen für die Lagerung und Aufbereitung des Gases. Generell gilt für große Tanks, dass höhere Auslegungsdrücke erhebliche Mehrkosten durch die erforderlichen Wandstärken verursachen. Deshalb sind Pumpen oder Kompressoren hier die bevorzugte Lösung, um das Gas auf den von der Maschine benötigten Druck zu bringen. Kleinere Tanks dagegen werden in der Regel während des Betriebs auf Versorgungsdruck (6 bis 8 barg) gehalten, um durch einfachere Bedienung und weniger Wartung Betriebskosten zu sparen.

4. Entwicklung von Codes und Guidelines

Aus Norwegen lag ein technischer Standard vor, der erkennbar zu eng für viele Lösungen schien und für die Zielsegmente der Projektpartner offensichtlich nicht passte.

Das Zeitfenster innerhalb des GasPax Projektes zur Entwicklung der Regelwerke sollte genutzt werden, um die erforderlichen Erweiterungen zu erreichen.

Bei allen Fuel Gas System Konzepten der GasPax Partner kommen beispielsweise IMO Type C Tanks mit Polyurethan- beziehungsweise Polystyrol-Isolierung zum Einsatz. Diese waren zu Beginn GasPax Projektes in der IGF-Guideline nicht vorgesehen. Bis dahin wurden bei Fuel Gas Systemen nur Vakuum isolierte Tanks verwendet. Durch die Teilnahme an den BLG Treffen konnten die bewährten IMO Type C Tanks vom IGC-Code in die IGF-Guideline überführt werden.

Die Bandbreite von sicheren, wirtschaftlich interessanten und umweltschonenden Konzepten konnte somit erweitert werden. Darüber hinaus wurde bei einem BLG Treffen das Konzept „LNG Fuel Gas Supply System für Kreuzfahrtschiff“ zusammen mit der Meyer-Werft einem internationalen Publikum vorgestellt.

5. Gas-Pax

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "GasPax" führte TGE die konzeptionelle Planung der Brennstoffversorgung mit LNG für 3 verschiedene Schiffstypen durch. Entsprechend der spezifischen Anforderungen der jeweiligen Schiffstypen ergeben sich unterschiedliche Konzepte. Dabei sind die maßgeblichen Kriterien:

- Antriebskonzept / Redundanzanforderungen
- Leistungsabnahme des Schiffs / Verbrauchsmengen
- Erforderliche Bunkermenge / Reichweite
- Erforderliche Bunkerraten
- Schiffsspezifische Beschränkungen in der räumlichen Anordnung
- Weitestgehende Übereinstimmung mit bestehenden Regelwerken (IGC-Code) und Richtlinien (IGF-Guideline)

Zu allen drei Konzepten ist die Grundlage der Planung ein PFD (Prozess Flow Diagramm - siehe Anhang). Die Randbedingungen, die zur Entwicklung der spezifischen PFDs geführt haben, sind im Folgenden beschrieben.

5.1. LNG Fuel Gas Supply System für Kreuzfahrtschiff

5.1.1. Basis Konzept

Das Schiff hat ein diesel-elektrisches Antriebskonzept mit 4 Dual Fuel Generatoren. Der Antrieb erfolgt über 2 Azipods. Die Maschinen sind auf 2 getrennte Maschinenräume aufgeteilt. Die Redundanz der Brennstoffversorgung wird durch MDO erreicht, so dass keine vollständig redundante Ausführung der Gasversorgung erforderlich ist.

5.1.2. LNG Bunker Tank

Die Planung der Tank-Kapazität beruht darauf, dass eine dreiwöchige Reise ohne zu Bunkern möglich sein muss.

5.1.2.1. Tank Design

Die Tanks sind vorgesehen für eine Installation unter Deck in einem separaten Raum. Zum Einsatz kommen zwei liegende zylindrische Typ C Tanks. Durch den Einsatz von Typ C Tanks, ist gemäß IGC-Code keine zweite Barriere notwendig. Da die Raumhöhe begrenzt ist, werden die Tankdome seitlich am Tank angesetzt.

5.1.2.2. Tank Ausrüstung

Alle Komponenten der Tankausrüstung sind über den Gas Handling Raum zugänglich. Dieser Raum liegt zwischen den beiden Tanks. Hierzu gehören:

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

Hydraulisch betriebene Ventile (Fernbedienung) zum Öffnen und Schließen der Liquid-, Vapour - und Sprayleitung.

Manuelle, (vor Ort) zu betätigte Ventile.

Drucküberwachung, bzw. Alarme.

Tankfüllstandsüberwachung (Radar- oder Mikrowellensensor).

Temperaturüberwachung bzw. Alarme.

Sprayleitung zum Reduzieren des Tankdrucks während des Ladevorganges.

Tank Sicherheitsventile. Da die Bauhöhenbeschränkung eine direkte Installation auf dem Tank nicht möglich macht, werden die Ventile liegend auf einen um 90° abgewinkelten Tankstutzen aufgesetzt.

5.1.2.3. BOG Behandlung

Im Fall von keinem oder sehr geringem LNG Verbrauch wird das Boil Off Gas im Tank gehalten und der Druck ansteigen. Es wird kein Rückverflüssigungssystem installiert. Der Tank Auslegungsdruck und eine limitierte Füllmenge stellen sicher, dass auch längere Stillstandzeiten kein unmittelbares Auslösen der Tank-Sicherheitsventile hervorruft.

Über einen BOG Kompressor kann NG Vapour den Motoren zugeführt werden um den Tankdruck zu senken. Dies kann im Fall von sehr geringem LNG Verbrauch notwendig werden.

Darüber hinaus kann der BOG Kompressor genutzt werden, um beim Bunkern BOG über den BOG-Absorber wieder zu kondensieren. Dazu fördert der BOG-Kompressor BOG zum BOG-Absorber, der beim Bunkern kaltem LNG durchströmt wird. Über einen Injektor wird hier dann das BOG eingedüst, welches gegen das LNG kondensiert.

5.1.3. Fuel Gas Versorgung

5.1.3.1. Systembeschreibung

Gemäß der Vorgabe des Motorenherstellers wird an der GUV ein Gasdruck von 5 barg benötigt. Pro Tank ist dazu je eine LNG Tauchpumpe nötig. Jede der beiden Pumpen kann das gesamte benötigte LNG alleine zum Verdampfer fördern. Die Auslegung der Pumpen ist somit 2x 100%. Der Volumenstrom beträgt maximal 10m³/h bei 180mLC. Gesteuert wird die Fördermenge per Bypass in die Spray- bzw. Bunkerleitung. Hierzu überwacht das Automatisierungssystem die Fördermenge der Pumpe und gleicht diesen mit der benötigten LNG Menge für die Motoren ab. Ein Regelventil im Bypass kontrolliert daraufhin im Bypass die entsprechende Durchflussmenge.

Dem Verdampfer nachgeschaltet ist der Fuel Gas Heater, welcher das NG auf 5°C bis 40°C erhitzt. Dieser Temperaturbereich wird ebenfalls vom Motorenhersteller vorgegeben.

Die zweite Möglichkeit der Gasversorgung ist mit Hilfe von zwei Schraubenkompressoren das BOG aus den Tanks abzusaugen. Ausgelegt sind diese mit 1800kg/h bei 7 barg. In diesem Fall dient der

**GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen**

Fuel Gas Heater als Kühler, um das NG auf den o.a. vorgegebenen Bereich abzukühlen, da sich das Gas durch das Verdichten im Kompressor aufheizt.

Mögliche Lastschwankungen werden mit 10 – 100% pro Generator in 300 Sekunden, und mit 10 – 100% in 900 Sekunden von der Gesamtlast angegeben. Die größten Verbrauchsschwankungen stellen hierbei die Bugstrahlruder dar. Da die Lastschwankungen nur begrenzt von der In-Tank Pumpe bzw. dem BOG-Kompressor abgefangen werden können, wird hinter dem Fuel Gas Heater ein Gasspeicher vorgesehen.

5.1.3.2. Systemkomponenten

Zum Einsatz kommt ein LNG Verdampfer mit einer Leistung von 500kW. Die zufließende LNG Menge wird über ein Kontrollventil geregelt. Führungsgröße für diese Regelung ist der Druck in den Fuel Gas Speicher.

Um das Fuel Gas in den Bereich von +5 bis +40°C (Anforderung Motorenhersteller) zu bringen, kommt ein Plattenwärmetauscher als Fuel Gas Heizer zum Einsatz. Gespeist wird der Wärmetauscher über den Wasser-Glykol Kreis, mit einer Vorlauftemperatur von 35 bis 40°C. Daher kann hiermit das überhitzte Fuel Gas welches über die Kompressoren gefördert wird, auch in den Bereich von +5 bis +40°C herunter gekühlt werden.

Das BOG-Kompressor System entnimmt das BOG aus dem Tank und führt dies den Motoren zu. Da das BOG für den Kompressor wärmer als -40°C sein muss, wird es vorher mit einem Plattenwärmetauscher erwärmt. Gespeist wird der Wärmetauscher über den Wasser-Glykol Kreis, mit einer Vorlauftemperatur von 35 bis 40°C.

5.1.4. FMEA

Durch die FMEA wurden mögliche Fehler identifiziert, die mit einem hohen Risiko bewertet wurden und konstruktiven Einfluss auf das Fuel gas System haben.

Im ersten Fall wird angenommen, das LNG durch fehlerhafte Schraub- bzw. Schweißverbindungen in den GHR austritt. Die Gefahr von Feuer und Strukturschäden durch das tiefkalte LNG kann dann nicht ausgeschlossen werden. Edelstahl-Auffangwannen und Spritz Schutz an und unter den LNG führenden Teilen schützen die Schiffsstruktur vor dem tiefkalten LNG. Dort angebrachte Gasetektoren würden ausgetretenes LNG/NG erkennen und die Zufuhr automatisch unterbrechen (ESD). Die Werft muss den vorgeschriebenen 30-fachen Luftwechsel pro Stunde sicherstellen, um verdampftes LNG aus dem Raum abzuführen.

Ein weiteres Fehlerszenarios bezieht sich darauf, dass LNG aus dem Verdampfer oder Fuel gas Heater in das Wasser Glykol System gelangt. Dies könnte zum Beispiel durch Beschädigungen am LNG Vaporizer und Fuel Gas Heater passieren. Gasetektoren in der Entlüftung des Wasser Glykol Ausgleichsbehälters würden ausgetretenes LNG/NG erkennen und ein ESD auslösen.

Ein weiterer betrachteter Fehler beleuchtet den Fall, dass ein Tanksicherheitsventil blockiert ist. Ein Sicherheitsventil würde z.B. dann auslösen, wenn in der Nähe vom LNG Tank ein Feuer ausbricht und

GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen Flammpunkten auf Passagierschiffen

sich dadurch der Druck im Tank sehr schnell erhöht. Ein zweites Sicherheitsventil pro Tank (2x 50%) stellt eine entsprechende Druckentlastung sicher.

5.2. LNG Fuel Gas Supply System für Ro-Pax Ferry

5.2.1. Basis Konzept

Das Schiff besitzt zwei Dual Fuel Motoren. Die Redundanz der Brennstoffversorgung wird durch MDO erreicht, so dass keine vollständig redundante Ausführung der Gasversorgung erforderlich ist.

5.2.2. LNG Bunker Tank

Die Planung der Tank-Kapazität beruht darauf, dass eine Hin- und Rückreise der Fähre (plus Reserve) ohne zu Bunkern möglich sein muss.

5.2.2.1. Tank Design

Die Tanks sind vorgesehen für eine Installation unter Deck in einem separaten Raum. Zum Einsatz kommt ein Bilobe Typ C Tank. Durch den Einsatz von einem Typ C Tank, ist gemäß IGC-Code keine zweite Barriere notwendig.

5.2.2.2. Tank Ausrüstung

Alle Komponenten der Tankausrüstung sind über den Gas Handling Raum zugänglich. Dieser Raum liegt neben den Tank. Hierzu gehören:

Hydraulisch betriebene Ventile (Fernbedienung) zum Öffnen und Schließen der Liquid-, Vapour - und Sprayleitung.

Manuelle, (vor Ort) zu betätigte Ventile.

Drucküberwachung, bzw. Alarme.

Tankfüllstandsüberwachung (Radar- oder Mikrowellensensor).

Temperaturüberwachung bzw. Alarme.

Sprayleitung zum Reduzieren des Tankdrucks während des Ladevorganges.

Tank Sicherheitsventile.

5.2.2.3. BOG Behandlung

Im Fall von keinem oder sehr geringem LNG Verbrauch wird das Boil Off Gas im Tank gehalten und der Druck ansteigen. Es wird kein Rückverflüssigungssystem installiert. Der Tank Auslegungsdruck und eine limitierte Füllmenge stellen sicher, dass auch längere Stillstandzeiten kein unmittelbares Auslösen der Tank-Sicherheitsventile hervorruft.

Über einen BOG Kompressor kann NG Vapour den Motoren zugeführt werden um den Tankdruck zu senken.

**GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen**

Darüber hinaus kann der BOG Kompressor genutzt werden, um beim Bunkern BOG über den BOG-Absorber wieder zu kondensieren. Dazu fördert der BOG-Kompressor BOG zum BOG-Absorber, der beim Bunkern von kaltem LNG durchströmt wird. Über einen Injektor wird hier dann das BOG eingedüst, welches gegen das LNG kondensiert.

5.2.3. Fuel Gas Versorgung**5.2.3.1. Systembeschreibung**

Gemäß der Vorgabe des Motorenherstellers wird an der Gvu ein Gasdruck von 5 barg benötigt. Pro Tankhälfte ist dazu je eine LNG Tauchpumpe nötig. Jede der beiden Pumpen kann das gesamte benötigte LNG alleine zum Verdampfer fördern. Jedoch ist beim Bilobe Tank auf eine relativ symmetrische Entnahme von LNG zu achten. Die Auslegung der Pumpen ist somit 2x 100%. Gesteuert wird die Fördermenge per Drehzahlregelung der Tauchpumpen. Hierzu überwacht das Automatisierungssystem die Fördermenge der Pumpe und gleicht diesen mit der benötigten LNG Menge für die Motoren ab. Ein Regelventil kontrolliert daraufhin die entsprechende Durchflussmenge.

Dem Verdampfer nachgeschaltet ist der Fuel Gas Heater, welcher das NG auf 5°C bis 40°C erhitzt. Dieser Temperaturbereich wird ebenfalls vom Motorenhersteller vorgegeben.

Die zweite Möglichkeit der Gasversorgung ist mit Hilfe eines Schraubenkompressors das BOG aus den Tanks abzusaugen. In diesem Fall dient der Fuel Gas Heater als Kühler, um das NG auf den o.a. vorgegebenen Bereich abzukühlen, da sich das Gas durch das Verdichten im Kompressor aufheizt.

Da die Lastschwankungen nur begrenzt von der In-Tank Pumpe bzw. dem BOG-Kompressor abgefangen werden können, wird hinter dem Fuel Gas Heater ein Buffer Vessel vorgesehen.

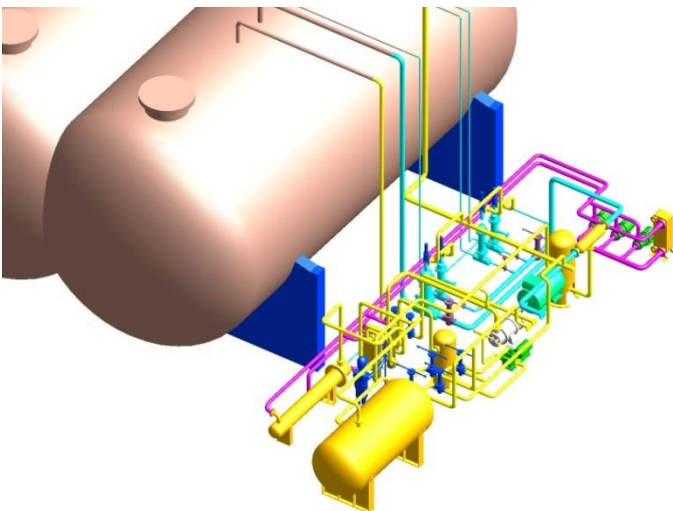


Abbildung 13: CAD 3-D Ansicht LNG Fuel Gas Supply System der Ro-Pax Ferry

5.2.3.2. Systemkomponenten

Zum Einsatz kommt ein LNG Verdampfer. Die zufließende LNG Menge wird über ein Kontrollventil geregelt. Führungsgröße für diese Regelung ist der Druck in den Fuel Gas Buffer Vessels.

Um das Fuel Gas in den Bereich von +5 bis +40°C (Anforderung Motorenhersteller) zu bringen, kommt ein Plattenwärmetauscher als Fuel Gas Heizer zum Einsatz. Gespeist wird der Wärmetauscher über den Wasser-Glykol Kreis, mit einer Vorlauftemperatur von 35 bis 40°C. Daher kann hiermit das überhitzte Fuel Gas welches über die Kompressoren gefördert wird, auch in den Bereich von +5 bis +40°C herunter gekühlt werden.

Das BOG-Kompressor System entnimmt das BOG aus dem Tank und führt dies den Motoren zu. Da das BOG für den Kompressor wärmer als -40°C sein muss, wird es vorher mit einem Plattenwärmetauscher erwärmt. Dieser hat eine Leistung von 150kW. Gespeist wird der Wärmetauscher über den Wasser-Glykol Kreis, mit einer Vorlauftemperatur von 35 bis 40°C.

5.2.4. FMEA

Durch die FMEA wurden mögliche Fehler identifiziert, die mit einem hohen Risiko bewertet wurden und konstruktiven Einfluss auf das Fuel Gas System haben.

Im ersten Fall wird angenommen, das LNG durch fehlerhafte Schraub- bzw. Schweißverbindungen in den GHR austritt. Die Gefahr von Feuer und Strukturschäden durch das tiefkalte LNG kann dann nicht ausgeschlossen werden. Edelstahl-Auffangwannen und Spritzschutz an und unter den LNG führenden Teilen schützen die Schiffsstruktur vor dem tiefkalten LNG. Dort angebrachte Gasdetektoren würden ausgetretenes LNG/NG erkennen und die Zufuhr automatisch unterbrechen (ESD). Die Werft muss den vorgeschriebenen 30-fachen Luftwechsel pro Stunde sicherstellen, um verdampftes LNG aus dem Raum abzuführen.

Weitere Fehler Szenarios bezieht sich darauf, dass LNG aus dem Verdampfer oder Fuel gas Heater in das Wasser Glykol System gelangt. Dies könnte zum Beispiel durch Beschädigungen am LNG Vaporizer und Fuel Gas Heater passieren. Gasdetektoren in der Entlüftung des Wasser Glykol Ausgleichsbehälters würden ausgetretenes LNG/NG erkennen und ein ESD auslösen.

5.3. LNG Fuel Gas Supply System für Mega-Yacht

5.3.1. Basis Konzept

Vorgesehen sind zwei Dual Fuel 4 Takt Hauptmaschinen vom Typ WÄRTSILÄ 12V34DF und 4 Dual Fuel 4 Takt Hilfsmaschinen vom Typ WÄRTSILÄ 6L20DF. Die Redundanz des Antriebes und der Stromversorgung wird sichergestellt durch die Verwendung von MDO. So muss das Fuel Gas System nicht vollständig redundant ausgeführt sein.

5.3.2. LNG Bunker Tank

5.3.2.1. Tank Design

Die Tanks sind vorgesehen für eine Installation unter Deck. Die Besonderheit hier besteht darin, dass die Tanks im Schiff aufrecht stehen. Dies bedeutet besondere Anforderungen an die Tanklagerung, um die entsprechende Wärme-, bzw. Kälteausdehnung handhaben zu können. Das obere Lager muss als Festlager vorgesehen werden, um die Bewegung des Tankdomes im Gas Handling Room so gering wie möglich zu halten.

5.3.2.2. Tank Ausrüstung

Alle Komponenten der Tankausrüstung sind über den Gas Handling Raum zugänglich. Hierzu gehören: Hydraulisch betriebene Ventile (Fernbedienung) zum Öffnen und Schließen der Liquid-, Vapour - und Sprayleitung.

Manuelle, (vor Ort) zu betätigende Ventile.

Tank Sicherheitsventile.

Drucküberwachung, bzw. Alarme.

Tankfüllstandsüberwachung (Radar- oder Mikrowellensensor).

Temperaturüberwachung bzw. Alarme.

Sprayleitung zum Reduzieren des Tankdrucks während des Ladevorganges.

5.3.2.3. BOG Behandlung

Im Fall von keinem oder sehr geringen LNG Verbrauch wird das Boil Off Gas im Tank gehalten und der Druck ansteigen. Es wird kein Rückverflüssigungssystem installiert. Der Tank Auslegungsdruck und eine limitierte Füllmenge stellen sicher, dass auch längere Stillstandzeiten kein unmittelbares Auslösen der Tank-Sicherheitsventile hervorruft. Beim Betrieb der Fuel Gas Anlage wird bei hohem Druck in der Gasphase zuerst das BOG den Motoren zugeführt, und somit der BOG-Druck gesenkt.

5.3.3. Fuel Gas Versorgung

5.3.3.1. Systembeschreibung

Zwei Tank-Verdampfer (einer pro Tank) werden im Tank installiert um den Druck in der Gasphase so weit zu erhöhen, um das LNG über den entsprechenden Druck zum LNG-Verdampfer zu fördern.

Geregelt (Ein-Aus) wird der Heizer über einen Drucksensor am Tankdome. Hierüber wird der an der GVU benötigte Gasdruck von 5 barg gewährleistet.

Liegt zum Beispiel nach dem Bunker-Vorgang bzw. nach längerem Stillstand der Druck in der Gasphase im Tank über dem maximal nötigen Druck zur LNG-Förderung, kann auch direkt Dampf aus dem Tank entnommen und den Motoren zugeführt werden.

**GasPax - Entwicklung von Gassystemen für die Nutzung von Brennstoffen mit niedrigen
Flammpunkten auf Passagierschiffen**

Verdampft wird das LNG im LNG-Verdampfer. Die dafür nötige Wärmeenergie wird dem Motorkühlwasser entnommen und dem Verdampfer über einen Wasser-Glykol-Kreislauf zugeführt. Der Verdampfer ist so hoch ausgelegt, dass er auch in der Lage ist, das Gas auf die an der GUV benötigte Temperatur von +5°C bis +45°C zu erhitzen. Ein Druck-geführtes Regelventil regelt den LNG Volumenstrom zum Verdampfer.

5.3.3.2. Systemkomponenten

Das Fuel Gas System ist ausgelegt für die Installation in einem geschlossenen und belüfteten Raum oberhalb der Bunker Tanks.

Zum Einsatz kommt ein Wärmetauscher als LNG-Verdampfer.

Besonderheit bei diesem Projekt ist, dass die Tankdome der Tanks bis in den Gas Handling Room reichen. Der Vorteil besteht darin, dass nicht alle Tankarmaturen (Füllstand, Drücke und Temperaturen) und Leitungen (Liquide, Vapour, Sprayleitung und Sicherheitsventile) einzeln durch das Deck zwischen Tankraum und Gas Handling Room geführt werden müssen. Auch kann dadurch auf die doppelwandigen Leitungen zwischen den Tanks und den Quick Closing Valves verzichtet werden. Diese sind nun auf dem Tank positioniert. Hier ist jetzt die Frage zu klären, wie die Abdichtung zwischen Tankdom und Deck aussehen muss. Diese Abdichtung muss in der Lage sein, die Temperaturexpansion des Tanks mit aufzunehmen. Dies würde dann besondere Anforderungen an beispielsweise eine A60 Isolierung stellen.

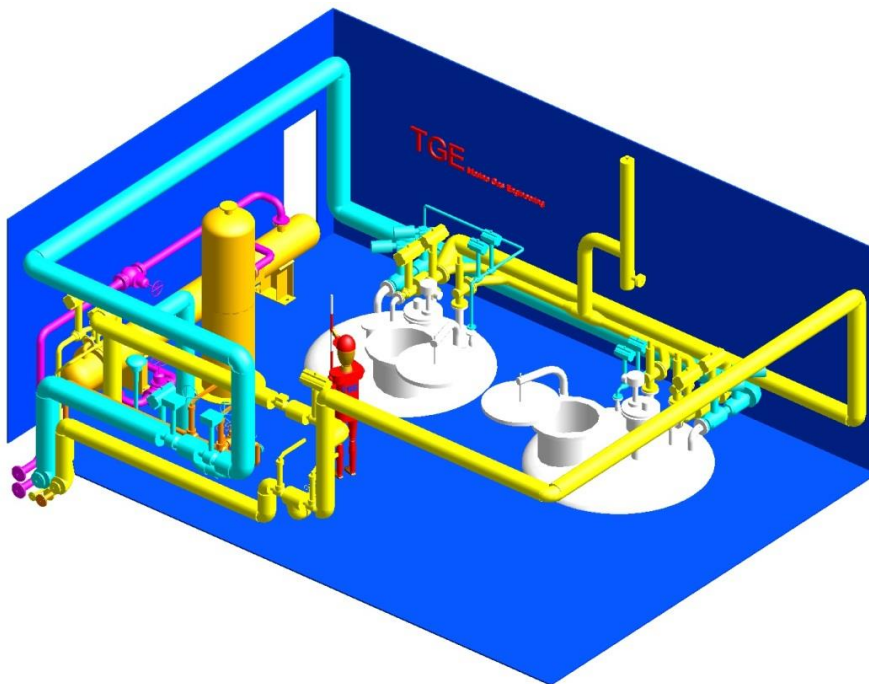


Abbildung 14: CAD 3-D Ansicht des Gas Handling Rooms der Mega-Yacht

5.3.4. FMEA

Durch die FMEA wurden zwei Fehler herausgestellt, die mit einem hohen Risiko bewertet wurden.

Im ersten Fall wird angenommen, dass nicht verdampftes LNG aus dem Verdampfer in das dahinter liegende Fuel Gas System gelangt. Dies könnte durch Ausfall des kompletten Heizsystems passieren. Das Gefahrenpotential besteht darin, dass zum Einem die Komponenten hinter dem Verdampfer nicht für kaltes LNG ausgelegt sind und zum Anderen das LNG zum Motor gelangt.

Zwei redundante Wasser-Glykol Pumpen verringern das Risiko für den Ausfall des Heizsystems. Temperatur und Durchflussüberwachung würden einen Ausfall des Wasser-Glykol Kreislaufs rechtzeitig detektieren. Darüber hinaus wird auch die NG Temperatur nach dem Verdampfer überwacht. Über das Automatisierungssystem kann bei Ansprechen dieser Detektoren ein Abschalten der Fuel Gas Anlage ausgelöst werden.

Als zweites großes Risiko wurde der Austritt von LNG durch fehlerhafte Schraub- bzw. Schweißverbindungen in den GHR identifiziert. Die Gefahr von Feuer und Strukturschäden durch das tiefkalte LNG kann dann nicht ausgeschlossen werden.

Edelstahl-Auffangwannen unter den LNG führenden Teilen schützen die Schiffsstruktur vor dem tiefkalten LNG. Dort angebrachte Temperaursensoren würden ausgetretenes LNG erkennen und die Zufuhr automatisch unterbrechen (ESD). Die Werft muss den vorgeschriebenen 30-fachen Luftwechsel pro Stunde sicherstellen, um verdampftes LNG aus dem Raum abzuführen. Darüber hinaus werden alle Komponenten im GHR explosionsgeschützt ausgeführt.

6. Anhang

6.1. Anhang 1: Übersicht LNG Tank Typen

Tank Type	Design Concept	Max. Design Pressure	Partial Filling	2nd Barrier	Dis-Advantages	Advantages
Membrane	Integrated in hull	< 0.25 barg (max. 0.7 barg)	difficult	full	Very sensitive against pressure variations; Pressure holding necessary; Not 100% gastight	Can be adapted to hull shape
Independent Tanks						
Type A	Prismatic with straight planes, adapted to hull shape	< 0.7 barg	yes	full	Pressure holding necessary; Very voluminous vent system due to low pressure	Can be adapted to hull shape
Type B	Prismatic with straight planes, adapted to hull shape	< 0.7 barg	yes	partly	Pressure holding necessary; Very voluminous vent system due to low pressure	Can be adapted to hull shape
	Spherical (Moss)	as per design		partly	Pressure holding necessary; Space requirements	Very reliable system
	Other shapes	as per design		partly		
Type C	Pressure Vessel Crack Propagation	> 2.0 barg	yes	no	Space requirements; Volume factor 3-4 compared with HFO / MDO	Very solid design; Flexible pressure; Easy installation; No leakages; Little maintenance

6.2. Anhang 2: Vergleich Schaum Isolierung – Vakuum Isolierung bei LNG Tanks

	Foam insulation	Vacuum insulation
size	cylindrical < 10,000 cbm bilobe < 20,000 cbm	< 700 cbm per tank
shape	cylindrical, bilobe, conical	cylindrical
outlet	all connections on top	min. 1 bottom outlet
boil-off rate	low	very low
in-tank equipment	e. g. pumps, heaters	no manhole (usually)
inspection	5 years in-tank	no manhole (usually)

7. Abkürzungsverzeichnis

BOG: Boil Off Gas

BLG: Committee Bulk Liquid and Gases - Sub-Committee des MSC (Maritime Safety Committee) welches mit der Erstellung der IGF-Guideline beauftragt ist.

HAZID: Hazard Identification

LNG: Liquefied Natural Gas

IGC-Code: Internationale Richtlinie für Konstruktion und Ausrüstung von Schiffen, die verflüssigte Gase als Ladung transportieren.

IGF-Guideline: Internationale - Interim - Richtlinie für Konstruktion und Ausrüstung von Schiffen, die Gas oder andere leicht entzündliche Brennstoffe als Kraftstoff verwenden. Später soll hieraus der dann verbindliche IGF-Code entstehen.

GHR: Gas Handling Room. Raum für das eigentliche Fuel Gas System.

ft: (Englische) Fuß, Längenmaß. 1ft. = 30,48cm.

NG: Natural Gas

PFD: Process Flow Diagram

HFO: Heavy Fuel Oil (Schweröl)

MDO/MGO: Marine Diesel Oil beziehungsweise Marine Gas Oil (Dieselkraftstoff)

ESD: Emergency Shut Down. Erkennt das Automatisierungssystem einen Gefahrenumstand, wird die Fuel Gas Anlage automatisch in einen Sicheren Zustand gebracht (z.B. durch schließen der Tank-Ventile usw.)

SOLAS: Safety of Life at Sea (Internationales Übereinkommen zum Schutz des menschlichen Lebens auf See)

IMO: International Maritime Organization, (Internationale Seeschiffahrts-Organisation (UN-Sonderorganisation))