



Das TEN-T-Programm der Europäischen Union zur
Unterstützung des

Rahmenplans Flüssigerdgas für Rhein - Main - Donau

*Nachgeordnete Maßnahme 2.4 Technische
Erkenntnisse, Sicherheit und
Risikobewertung*

*Ergebnis 2.4.4
Studie zu Not- und Unfall-Einsätzen
(Havenbedrijf Rotterdam N.V.)*



Dieses Projekt wird von der Europäischen
Union / DG MOVE / TEN-T mitfinanziert



Projekt umgesetzt von
LNG Masterplan Consortium



D 2.4.4 Studie zu Not- und Unfall-Einsätzen

Version: 1.0
Datum: April 2015
Status: Abschließend

Allein der Verfasser ist für diese Druckschrift verantwortlich. Die Europäische Union haftet für keine mögliche Verwendung der darin erhaltenen Angaben.



Co-financed by the European Union
Trans-European Transport Network (TEN-T)

Dokumentenhistorie

Version	Datum	Freigegeben
Endgültig und genehmigt	Dezember 2014	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
Endgültige und genehmigte Partner	Februar 2015	Hafen Antwerpen Germanischer Lloyd SE Hafen Mannheim Hafen Straßburg Hafen der Schweiz

Autoren

Organisation	Beitrag von
Falck Risc & Vereinigte Feuerwehr Rotterdam	Dr. Niall Ramsden Roger Roue CEng Brian Mo-Ajok MSc Gert-Jan Langerak Steve Watkins Ronald Peeters BSc

Einführung

Die Studie zu Not- und Unfälleinsätzen wurde nach der Ausschreibung an das Konsortium aus Falck Risc und der Vereinigten Feuerwehr (Gezamenlijke Brandweer) vergeben. Das endgültige Ergebnis wurde von den jeweiligen Berechtigten und dem/den Auftragnehmer/n im Dezember 2014 genehmigt.

VORWORT

Der LNG-Rahmenplan ist darauf ausgerichtet, LNG als Treibstoff und Ladung im Binnenflugverkehr zu fördern. Er formuliert und gibt die erforderlichen (Sicherheits-)Regelungen für die Nutzung und den Transport von LNG vor.

Der LNG-Rahmenplan wird durch einen Zuschuss von 40 Millionen Euro der Europäischen Kommission durch das TEN-T-Programm unterstützt und wird durch ein Konsortium aus 33 Unternehmen und Organisationen aus dem öffentlichen und privaten Bereich aus zwölf europäischen Mitgliedsstaaten umgesetzt. Das Projekt wird von der Pro Danube Management GmbH und der Hafenbehörde Rotterdam umgesetzt.

Der Rahmenplan umfasst auch die Konstruktion und der Piloteinsatz von mehreren LNG-Bunkerschiffen, LNG-betriebenen Schubschiffen, einem Containerschiff und Tankern. Das Containerschiff Eiger Nordwand der Danser Group und der mit LNG betriebene Tanker Sirocco of Chemgas sind bereits in Betrieb.

Die Rhine Port Group, die aus der Hafenbehörde Rotterdam zusammen mit dem Hafen Antwerpen, dem Hafen Mannheim, dem Hafen Straßburg und dem Hafen der Schweiz besteht, baten das beratende Konsortium aus Falck und der Vereinigten Feuerwehr Rotterdam, Richtlinien und Empfehlungen für Notfalleinsatz-Organisationen bereitzustellen.

Die Zielgruppe sind die Binnenschifffahrt und Not- und Unfalleinsatzgruppen, die in diesem Bereich tätig sind. Die Studie gibt einen Überblick über die Kenntnisse zu Not- und Unfall-Einsätzen und den neu entwickelten Richtlinien für LNG-Unfalleinsätze im Rheingebiet.

Dieses Dokument ist das Endergebnis einer halbjährigen Untersuchung durch das Projektteam.

Ein erster Dank geht an das Projektmanagement des Hafens Rotterdam für sein fortgesetztes Engagement und die ordnungsgemäße Koordination. Weiterer Dank geht an die genannten Kontaktpersonen der Hafenbehörden der Rhine Port Group, die sich die Zeit genommen und Arbeit gemacht hat, den Fragebogen zurückzusenden. Ohne ihre Hilfe hätte das Projektteam nicht beschreiben können, wie LNG, die Einsatzbereitschaft für auf (unvorhergesehene) Szenarien und der Notfalleinsatz in den Häfen im Rheingebiet bisher umgesetzt sind.

Im Namen der Rhine Port Group legen wir Ihnen dieses Dokument vor. Wir sind sicher, dass Sie durch die Lektüre neue Kenntnisse und Erkenntnisse über LNG-Not- und Unfall-Einsätze entlang des Rheingebiets gewinnen.

Es wird über Folgendes informiert:

- den aktuellen Stand der Notfalleinsätze entlang des Rheingebiets,
- die aktuellen Entwicklungen bei den Not- und Unfall-Richtlinien,
- die Entwicklung von Hilfsmitteln für Betreiber und Hafenbehörden zum Management zuverlässiger Szenarien aufgrund menschlichen oder technischen Versagens.

Mit besten Grüßen,

Robbert van der Veen

Director
Falck RISC

Jan Waals

Director
Vereinigten Feuerwehr Rotterdam

Rotterdam, Dezember 2014.

Inhalt

1. Einführung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziele und Zweck	2
1.3 Umfang	2

TEIL 1

2. Bestehende Technik	6
2.1 Schiffe mit LNG als Treibstoff	6
2.2 Kleine LNG-Schiffe	21
2.3 Bunkern von LNG	27
3. Bestehende Szenarien	30
3.1 Freisetzung von LNG	30
3.2 Szenarien für LNG in kleinen Mengen im Binnenschiffsverkehr	34
3.3 Betriebsbereitschaft: Übersicht über die Häfen	45
3.4 Bestehende Notfalleinsatz-Ausbildung und -schulung	48
3.5 Lücken	48
3.6 Matrix	49

TEIL 2

4. Notfallbereitschaft	52
4.1 Umfang	52
4.2 Gewünschte Ergebnisse	52
4.3 Fahrplan	52
4.4 Richtlinien für Unfallbereitschaft	56
4.5 Bekämpfung von LNG-Bränden	61
4.6 Kühlen	64
4.7 Wasser-Nebelwände	65
4.8 Erste Hilfe	66

5. Richtlinien für Ausbildung und Schulung für Unfalleinsätze im Zusammenhang mit LNG.....	67
5.1 Einführung	67
5.2 Szenarien	67
5.3 Modellierung der Folgen	70
5.4 Planung des Notfalleinsatzes.....	78
5.5 Ausbildung und Schulung	88
5.6 Ergänzung der basis-matrix	92
5.7 Schulung für verschiedene Einsatzstellen	92
5.8 Bereichsübergreifende Übungen	93
6. Empfehlungen.....	94
6.1 Umgebung.....	94
6.2 Personen.....	94
6.3 Messgeräte.....	95
6.4 Ausreichende Wasserkapazität	95
6.5 Hilfsmittel für die Bereitschaft	95
TEIL 3	
7. Ratschläge und strategischer Ansatz zur Weitergabe der Kenntnisse	98
7.1. Einführung	98
7.2. Möglichkeiten der Weitergabe	98
7.3. Betroffene Parteien/Stellen.....	98
ANHÄNGE:	
1. Literatur	
2.0 Index der szenarienspezifischen Not- und Unfall-Einsatzpläne	
2.1A Notfallplan Fallbeispiel SCEN-1	
2.1B Unfall-Einsatzplan SCEN-1	
2.2A Notfallplan Fallbeispiel SCEN-2	
2.2B Unfall-Einsatzplan SCEN-2	
2.3A Notfallplan Fallbeispiel SCEN-3	
2.3B Unfall-Einsatzplan SCEN-3	
2.4A Notfallplan Fallbeispiel SCEN-4	
2.4B Unfall-Einsatzplan SCEN-4	
3. Übersicht der Beteiligten	
4. Übersicht der Projektteilnehmer	

LISTE DER ABKÜRZUNGEN

ADN	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways - Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf Binnenwasserstraßen
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - Gasexplosion einer expandierenden siedenden Flüssigkeit
BOG	Boil Off Gas - Verdampfungsverlust
CNG	Compressed Natural Gas - Komprimiertes Erdgas
CVCE	Confined Vapour Cloud Explosion - Begrenzte Dampfwellenexplosion
DF	Dual Fuel - Zweistoff
ESD	Emergency Shut Down - Notabschaltung
EPA	Environmental Protection Agency - US-Umweltschutzbehörde
FCP	Forward Control Point - Vordere Leitstelle
GVU	Gas Valve Unit - Gasventileinheit
IGC code	The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk - Internationale Sicherheitsvorschrift für Bau und Ausrüstung von Schiffen zur Beförderung verflüssigter Gase als Massengut
IMO	International Maritime organisation - Internationale Seeschiffahrtsorganisation
LFL	Lower Flammable Limit - Untere Explosionsgrenze
LNG	Liquefied Natural Gas - Verflüssigtes Erdgas
LPG	Liquefied Petroleum Gas - Flüssiggas
MLI	Multi-Layer Insulation - Mehrlagiges Wärmedämmmaterial
MDO	Marine Diesel OIL - Marinedieselöl
MSDS	Material Safety Data Sheet - Sicherheitsdatenblatt
PBU	Pressure Build-up Unit - Druckaufbaueinheit
PPE	Personal Protective Equipment - Persönliche Schutzausrüstung PSA
PPM	Parts Per Million - ppm
RPT	Rapid Phase Transition - Schneller Phasenübergang
UVCE	Unconfined Vapour Cloud Explosion - Unbegrenzte Dampfwellenexplosion
UFL	Upper Flammable Limit - Obere Explosionsgrenze
UN	United Nations - Vereinte Nationen UNO

LISTE DER ABBILDUNGEN

- Abbildung 1: Gebiete des LNG-Rahmenplans für Rhein/Maas - Main - Donau
 Abbildung 2: Übersicht herkömmlicher und dieselelektrischer Antriebssysteme
 Abbildung 3: Aufbau eines LNG-dieselelektrischen Antriebssystems
 Abbildung 4: LNG-/elektrisch angetriebener Tanker
 Abbildung 5: Antrieb in Reihenanordnung
 Abbildung 6: Antrieb in Parallelanordnung
 Abbildung 7: Studienmodell der Solarstrom-Fähre Tonbo von Eco Marine Power
 Abbildung 8: IMO-Klassifikation von LNG-Schiffen
 Abbildung 9: Eiger-Norwand-LNG-Tank unter Deck
 Abbildung 10: Diagramm Tankanordnung.
 Abbildung 11: Grundbestandteile eines LNG-Treibstoffsystems
 Abbildung 12: LNG-Tank der Klasse C, vakuumisoliert mit integrierter Cold Box.
 Abbildung 13: Aufbau der Cold Box
 Abbildung 14: GVU mit horizontaler und vertikaler Einhausung
 Abbildung 15: Offene GVU
 Abbildung 16: Typischer Aufbau eines gassicheren Maschinenraums
 Abbildung 17: Typischer Aufbau eines ESD-geschützten Maschinenraums
 Abbildung 18: Die drei Stufen explosionsgefährdeter Bereiche
 Abbildung 19: Studien für LNG-Transportschiffe
 Abbildung 20: Beispiel eines zweiflügeligen LNG-Vorratstanks
 Abbildung 21: LNG-Tanker von VEKA-Deen
 Abbildung 22: Endgültiger Entwurf des kombinierten Argos-LNG-Bunkerschiffs
 Abbildung 23: Typische Auslegung eines GTT-Mark-III-Membran-Sicherheitssystems
 Abbildung 24: Typisches Druckreduzierventil mit Steuerventil
 Abbildung 25: Typische Anordnung von Ladungspumpen für einen LNG-Membranladungstank
 Abbildung 26: Erstes LNG-Bunkern des Schiffs Eiger-Norwand
 Abbildung 27: LNG-Treibstofftank-Container
 Abbildung 28: Logistiksystem LNG-Treibstofftank-Container
 Abbildung 29: Ereignisbaum für die Freisetzung von LNG bei nahezu Umgebungsdruck
 Abbildung 30: Ereignisbaum für die Freisetzung von LNG bei höherem Druck
 Abbildung 31: Mögliche Brandszenarien, wenn LNG auf Wasser austritt
 Abbildung 32: Übersicht der möglichen Szenarien
 Abbildung 33: Ereignisbaum für Schiffsunfälle
 Abbildung 34: Schaden nach einer Kollision auf der Elbe (Deutschland)
 Abbildung 35: Kaltriss der Decksplatte
 Abbildung 36: Ereignisbaum für Bauteile des Treibstoffsystems
 Abbildung 37: Ereignisbaum für andere Brände als unter Beteiligung von LNG
 Abbildung 38: Mind-Map zur Visualisierung von Projektschritten
 Abbildung 39: Systematischer Ansatz zur Festlegung der erforderlichen Ausbildungs- und Schulungskomponenten
 Abbildung 40: Austreten auf Wasser
 Abbildung 41: Mögliche Brandszenarien, wenn LNG auf Wasser austritt
 Abbildung 42: Ablauf des Szenarios
 Abbildung 43: Verdunstungsraten
 Abbildung 44: Zusammenfassung der Brandbekämpfungsstrategie
 Abbildung 45: Wasserschild, Form flacher Fächer
 Abbildung 46: Löschboote am Rhein
 Abbildung 47: Siebenstufiger Aufbau der Ausbildungs- und Schulungserfordernisse
 Abbildung 48: Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung Szenario 1
 Abbildung 49: Pumpen vom Tankwagen zum Schiff
 Abbildung 50: Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung Szenario 2
 Abbildung 51: Argos-Binnen-Bunkerschiff
 Abbildung 52: Bilder von Unfällen, bei denen Container über Bord auf ein tieferliegendes Schiff fielen
 Abbildung 53: Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung Szenario 3
 Abbildung 54: Greenstream-Schiff
 Abbildung 55: Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung - Seitenansicht - Szenario 4
 Abbildung 56: Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung - Draufsicht - Szenario 4
 Abbildung 57: LNG-Rahmenplan für Rhein - Main – Donau

LISTE DER TABELLEN

Tabelle 1:	Unterschied bei der Verringerung der Luftemissionen zwischen LNG-, Diesel- und Zweistoff-Motoren
Tabelle 2:	Durch eine gasdichte Trennschicht von den Zonen getrennte Räume
Tabelle 3:	Repräsentative Freisetzungsraten für LNG bei Schiffsunfällen mit LNG-Schiffen und warmem LNG
Tabelle 5:	Beispiele für Umpumpraten und Schlauchdurchmesser
Tabelle 6:	Freisetzung von LNG nach Ausfall des Be- oder Entladeschlauchs oder -arms beim Be-/Entladen eines Tankwagens
Tabelle 7:	Maximale Größe des Lachenbrands auf der Ladung bei direkter oder verzögerter Entzündung des versehentlich freigesetzten LNG (keine Eingrenzung, -160 °C) auf Land
Tabelle 8:	Freisetzung von LNG nach Ausfall des Be- oder Entladeschlauchs oder -arms beim Be-/Entladen eines Schiffs
Tabelle 9:	Freisetzung von LNG nach Ausfall eines Gasrückführungsschlauchs oder -arms beim Be-/Entladen eines Schiffs
Tabelle 10:	Maximale Größe des Lachenbrands bei Freisetzung auf Wasser bei direkter oder verzögerter Entzündung
Tabelle 11:	Matrix Szenario und Auswirkung. Erstellt anhand von Experteneinschätzung
Tabelle 12:	Verhältnis Flüssigkeits-/Gas-Äquivalent bei Umgebungsdruck
Tabelle 13:	Verdunstungsrate auf Wasser
Tabelle 14:	Vergleich der Abbrandgeschwindigkeiten für verschiedene Brenn-/Treibstoffe
Tabelle 15:	Abbrandgeschwindigkeiten von LNG auf Wasser
Tabelle 16:	Realistische Szenario-Analyse im Hinblick auf Not- und Unfall-Einsätze
Tabelle 17:	Realistische Analyse des Szenarios zum Unfalleinsatz
Tabelle 18:	Meteorologische Daten
Tabelle 19:	PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 1
Tabelle 20:	PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 2
Tabelle 21:	PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 3
Tabelle 22:	PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 4
Tabelle 23:	Bestandteile der Schulung
Tabelle 24:	Schulungserfordernisse für die Schulung von Einsatzkräften für Not- und Unfall-Einsätze

1. EINFÜHRUNG

1.1 MOTIVATION

Die Hafenbehörde von Rotterdam (Hafenbehörde) hat im Rahmen des LNG-Rahmenplans für Rhein - Main - Donau zusamm

en mit dem Hafen Antwerpen, dem Hafen Mannheim, dem Hafen Straßburg und dem Hafen der Schweiz (Rhine Port Group) eine Studie zu Not- und Unfall-Einsätzen im Hinblick auf LNG auf Binnenwasserstraßen in Auftrag gegeben.



Abbildung 1: Gebiete des LNG-Rahmenplans für Rhein/Maas - Main - Donau

Der LNG-Rahmenplan soll eine Plattform für die Zusammenarbeit zwischen Behörden und Betroffenen aus der Industrie sein, um die Schaffung eines vereinheitlichten europäischen rechtlichen Rahmens für LNG als Treibstoff und Ladung in der Binnenschifffahrt zu erleichtern und die Einführung von LNG als Treibstoff und Ladung in der Binnenschifffahrt zu fördern.

Er liefert die technischen Konzepte für neue und nachgerüstete Schiffe, die mit LNG betrieben werden und LNG als Ladung führen, sowie eine große Anzahl von Piloteinsätzen von Schiffen und Terminals. Er entwickelt auch eine umfassende Strategie sowie einen detaillierten Fahrplan für die Einführung von LNG gemäß den Zielen und Aktivitäten der EU-Transport-/Energie-/Umweltpolitik.

Der LNG-Rahmenplan betrachtet die Binnenschifffahrt nicht nur als Pioniermarkt für LNG als Treibstoff, sondern auch als Unterstützung, LNG kostengünstig von den Seehäfen zu den Kunden (Brennstoff + Energie) in den großen Industriegebieten an den Binnenwasserstraßen zu bringen. Dies fördert eine weitreichende Entwicklung von LNG als Treibstoff und Energiequelle.

LNG gilt als wichtige Chance für die Binnenschifffahrt, ist aber sicherlich keine Abhilfe für alle strukturellen und wirtschaftlichen Probleme des Transports auf Binnenschiffen (Binnenschifffahrt).

Alle Arbeiten basieren auf einem realistischen und integrierten europäischen Ansatz. Eine der Vorstellungen des LNG-Rahmenplans besteht darin, dass die Binnenhäfen der Achse Rhein-Main-Donau die Haupt-Verteilerstellen für LNG werden.

Binnenterminals sollen als Nebenstellen für Binnengebiete dienen, so dass LNG zu anderen Pioniermärkten kommt wie dem öffentlichen (Nahverkehrs-)Sektor und dem Schwertransportsektor (Busse, Müllwagen, städtische Logistik) und dem Energiesektor kommt.

1.2 ZIELE UND ZWECK

Das Ziel der Studie besteht darin, die bestehenden Kenntnisse zum Transport von LNG und dem Einsatz von mit Schiffen mit LNG-Antrieb auf Wasserstraßen zu untersuchen und die möglichen Szenarien des Austritts von LNG zu bestimmen, mit denen es ein Unfall-Einsatzteam zu tun bekommen könnte.

Ein Unfalleinsatz wird als der von den Behörden vor Ort, z. B. Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste und Hafen-/Flussbehörden, erforderliche Einsatz definiert, um mit Situationen umzugehen, die sich über die Möglichkeiten des ersten Einsatzteams wie der Schiffsbesatzung, der Betreiber hinaus entwickelt haben.

Die aus der Studie gewonnenen Erkenntnisse dienen dazu, eine stärkere Sensibilisierung für den Umgang mit solchen Vorfällen zu entwickeln, Empfehlungen für die Ressourcen für einen Einsatz zu geben und Richtlinien für die Schulung zum Unfalleinsatz zu erstellen.

1.3 UMFANG

1.3.1 ALLGEMEINES

Die Studie gibt einen allgemeinen Überblick über die möglichen Unfälle beim Umgang mit LNG in der Binnenschifffahrt und ihre Bewältigung. Die Studie stellt Folgendes in den Mittelpunkt:

- Entwicklung von Szenarien für Austritt, Emission und Eskalation für LNG in kleinen Mengen
- Entwicklung von Szenarien zum Unfalleinsatz für LNG in kleinen Mengen
- Entwicklung von Richtlinien für Einsatzbereitschaft
- Entwicklung von Richtlinien zur Ausbildung und Schulung für Unfalleinsätze im Zusammenhang mit LNG
- Verbreitung des Wissens und Beratung im Notfall

Vieles ist bereits bekannt, insbesondere zum Schiffstransport von LNG; das bezieht sich jedoch hauptsächlich auf die Seeschifffahrt mit großen Transportvolumina - diese Studie legt jedoch die Betonung auf die "kleinen Mengen", was sich in den geringeren Mengen und Beschränkungen der Binnenschifffahrt widerspiegelt.

1.3.2 ERGEBNIS

Die Studie umfasst 3 Phasen.

TEIL 1: *Überblick über das bestehende Wissen zu Unfalleinsätzen, Schulung und Ausbildung im Hinblick auf LNG im Rheingebiet.*

Dies geschieht in Form einer Schreibtischstudie, und die Ergebnisse sind wie folgt:

- Übersicht über das bestehende Wissen und die bestehenden Richtlinien für Unfalleinsätze für LNG im kleinen Rahmen im Rheingebiet für Binnenschifffahrt,
- Übersicht über die bestehenden Emissions- und Eskalationsszenarien für LNG als Treibstoff und LNG als Ladung in kleinen Mengen im Rheingebiet für Binnenschifffahrt,
- Szenarien für Notfall- und Unfalleinsätze für LNG im kleinen Rahmen im Rheingebiet für die Binnenschifffahrt. Die Szenarien müssen alle möglichen Unfälle mit einem Schiff mit LNG als Treibstoff und einem Schiff mit LNG als Ladung umfassen.
- Unfälle und Notfälle sind in einer Matrix zeilen- und spaltenweise sortiert aufzuführen, die die Typen von Schiffen mit LNG als Treibstoff und von Schiffen mit LNG als Ladung angeben.
- Übersicht mit Feststellung von Lücken bei den für Notfalleinsätze für LNG in kleinen Mengen erforderlichen Einsatzgeräten im Rheingebiet für Binnenschifffahrt.

TEIL 2: *Entwicklung von Richtlinien für Einsatzbereitschaft und für Ausbildung und Schulung zu Unfalleinsätzen für LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt.*

Die Ergebnisse sind wie folgt:

- Entwicklung von Richtlinien für die Unfallbereitschaft für LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt. Diese Richtlinien werden in eine erweiterte Fassung der Matrix aus Teil 1 eingebracht.
- Entwicklung von Richtlinien für Ausbildung und Schulung für Unfalleinsätzen für LNG im kleinen Rahmen in der Binnenschifffahrt. Wenn Schulung erforderlich ist, beschreiben diese Richtlinien die Anforderungen an die Schulungen für jedes der Szenarios.

TEIL 3: *Ratschläge und strategischer Ansatz, wie die Beteiligten, die die Erkenntnisse aus Teil 1 und 2 kennen müssen, über diese Erkenntnisse informiert werden.*

Das gewünschte Ergebnis ist eine zusätzliche Spalte, die die verschiedenen Möglichkeiten zur Veröffentlichung oder Kommunikation der Einzelheiten für die Betroffenen beschreibt.

Diese Ergebnisse werden in diesem Abschlussdokument zusammengefasst: "Richtlinien und Empfehlungen für Notfalleinsatz-Organisationen".

TEIL 1

ÜBERSICHT ÜBER DIE BESTEHENDEN KENNTNISSE

SCHULUNGEN UND AUSBILDUNG ZU LNG- UNFALLEINSÄTZEN IM RHEINGEBIET

2 BESTEHENDE TECHNIK

2.1 SCHIFFE MIT LNG ALS TREIBSTOFF

2.1.1 LNG ALS TREIBSTOFF

2.1.1.1 EINFÜHRUNG

Seit Jahrzehnten ist verflüssigtes Erdgas für den Antrieb von LNG-Schiffen eine übliche Technik. Die Sicherheitsstatistik für das Be- und Entladen solcher Schiffe und die Verwendung des Verdampfungsverlusts für den Antrieb ist sehr gut. In den letzten Jahren wurden in Norwegen viele Erfahrungen mit dieser Technik gemacht, wo kleine Schiffe mit LNG-Antrieb versehen wurden, z. B. Fähren und Offshore-Versorgungsschiffe.

Verflüssigtes Erdgas kommt auch als Treibstoff für Binnenschiffe zum Einsatz. Nach den ADN-Vorschriften ist das Tankschiff "MTS Argonon" das erste Binnenschiff, das verflüssigtes Erdgas (LNG) als Treibstoff für das Antriebssystem verwenden darf, vorausgesetzt, dass das Schiff alle ADN-Vorschriften mit der folgenden Ausnahme erfüllt:

Sowohl Marinedieselloil als auch LNG werden im Antriebssystem des Schiffes eingesetzt. Der Flammpunkt von LNG liegt allerdings unter 55 °C, wie in den ADN-Vorschriften vorgegeben ist. Eine Gefahrenbeurteilung (HAZID - hazard identification) wurde vom LLOYD's Register durchgeführt, um die Sicherheit des Systems zu ermitteln und die erforderlichen Maßnahmen einzuleiten, um ein ähnliches Sicherheitsniveau wie für Dieselschiffe zu erreichen.

2.1.1.2 LNG IM VERGLEICH ZU MDO ALS TREIBSTOFF

Verflüssigtes Erdgas ist eine Mischung verschiedener Kohlenwasserstoffe mit einem hohen Prozentsatz an Methan (üblicherweise über 91%). Seine tatsächliche Zusammensetzung ist variabel und hängt von der Zusammensetzung des ursprünglichen Erdgases und dem Verflüssigungsprozess ab.

Die Zusammensetzung des LNG verändert sich möglicherweise im Laufe der Zeit ("Alterung"). Alterung die die Tendenz der leichteren Bestandteile des LNG-Gemischs, eher als die schweren Bestandteile zu verdunsten. Mit anderen Worten, Methan ist der erste Bestandteil, der verdunstet, wobei die schwereren Bestandteile zurückbleiben.

Es gibt zwei wesentliche Gründe, um LNG als Treibstoff für Schiffsantriebe in Betracht zu ziehen. Der erste hängt mit den Gesetzen zur Luftverschmutzung zusammen, der zweite ist die künftige Verfügbarkeit und Preisunsicherheit von flüssigen Treibstoffen. LNG unterscheidet sich stark vom herkömmlichen MDO, und diese Unterschiede sind bei der Überlegung, Schiffe mit LNG zu betreiben, zu berücksichtigen:

- LNG wird bei einer sehr niedrigen Temperatur gelagert (ca. -162 °C).
- Jeder Kontakt mit Kohlenstoffstahl führt zu Sprödbrüchen.
- Bei Hautkontakt entstehen schwere Verbrennungen.
- LNG ist eine ständig siedende Flüssigkeit.
- Das LNG wird dadurch stabil gehalten, dass bei der Ladung ständig Gas verdampft.
- Beim Umladen entsteht übermäßiger Verdampfung, der zu beherrschen ist.
- Leicht entzündlich.
- Gefahrenbereiche sind festzustellen und zu klassifizieren.

- LNG hat ca. 50% der Energiedichte von MDO, und daher ist für dieselbe Reichweite die doppelte Bunkerkapazität erforderlich.
- LNG ist ein sauberer Brennstoff, und seine Einführung hat im Hinblick auf geringere Verschmutzung auf Binnenwasserstraßen große Vorteile. Tabelle 1 (nachstehend) zeigt die Verringerung an Emissionen eines Gasantriebs im Vergleich zu einem herkömmlichen MDO-Motor.

Nr.	Eigenschaften	MDO-Motor	LNG-Motor	Zweistoff-Motor
1	Thermischer Wirkungsgrad	38%	50%	Betriebsart Gas: 47% Betriebsart Diesel: 38%
2	CO ₂ -Ausstoß	NEIN	25 - 30%	Betriebsart Gas: 30% Betriebsart Diesel: NEIN
3	NO _x -Ausstoß	NEIN	85%	Betriebsart Gas: 85% Betriebsart Diesel: NEIN
4	SO _x -Ausstoß	NEIN	100%	Betriebsart Gas: 100% Betriebsart Diesel: NEIN
5	Verringerung des Partikelaustrittes	NEIN	100%	Betriebsart Gas: 47% Betriebsart Diesel: NEIN
6	Treibstoffflexibilität	NEIN	NEIN	JA

Tabelle 1: Unterschied bei der Verringerung der Luftemissionen zwischen LNG-, Diesel- und Zweistoff-Motoren

2.1.1.3 ZWEISTOFF-SYSTEM

Zweistoff-Schiffe, auch als Hybridantrieb bezeichnet, sind Schiffe mit Motoren, die mit zwei Treibstoffen laufen: ein Verbrennungsmotor mit einem Treibstoff, z. B. Diesel, und einem anderen Treibstoff, z. B. Erdgas (CNG).

Die beiden Treibstoffe werden in separaten Tanks gelagert, und der Motor läuft entweder jeweils mit nur einem Treibstoff oder beide Treibstoffe werden gleichzeitig verwendet. Zweistoff-Schiffe können manuell oder automatisch von Diesel zum anderen Treibstoff umschalten.

Die Konstruktion von LNG-Bunkertanks kann der Normalausführung entsprechen, die normalerweise für die Ladungstanks von NLG-Tankern verwendet wird.

2.1.2 LNG-ZWEISTOFF-MOTORTECHNIK

Ein Zweistoff-Dieselmotor kann entweder in der "Betriebsart Gas" oder der "Betriebsart Diesel" oder in beiden Betriebsarten gleichzeitig betrieben werden.

Betriebsart Gas:

Der Motor läuft mit einem Treibstoffgemisch aus 80 - 95% Erdgas und 5 - 20% MDO. Der Motor kann bei Alarm und/oder einem Notfall automatisch und sofort auf Dieselbetrieb umschalten. Im Betrieb kann der Motor auf Anforderung auf Dieselbetrieb und beliebige Last umgestellt werden.

Betriebsart Diesel:

Der Motor läuft mit 100% MDO und wird wie ein herkömmlicher Dieselmotor betrieben. Im Betrieb kann der Motor auf Gasbetrieb und jede Last von weniger als 80% Leistung umgestellt werden. Die MDO-Kraftstoffeinspritzung des Motors ist immer in Betrieb.

2.1.3 DAS ANTRIEBSSYSTEM

Mechanische Antriebssysteme bestehen im Allgemeinen aus einem Elektro- oder Verbrennungsmotor, der eine Schraube antreibt. Zusätzlich zu herkömmlichen starren und einstellbaren Schrauben gibt es viele Versionen, z. B. gegenläufige Schrauben und Kort-Düsen.

Die meisten Schiffe haben nur eine Schraube, aber größere Binnenschiffe können bis zu zwei Schrauben haben, die zum Manövrieren im Hafen mit Querstrahlrudern ergänzt sind.

Die Schraube ist über eine Schraubenwelle mit dem Hauptmotor verbunden. Bei Motoren für mittlere und hohe Geschwindigkeiten sitzt dazwischen ein Untersetzungsgetriebe. Moderne Schiffe verfügen manchmal über einen Hybrid-Antriebsstrang, bei dem die Schraube von einem Elektromotor angetrieben wird, der wiederum durch die Schiffsgeneratoren gespeist wird.

Es gibt verschiedene Typen von Treibstoff-Antrieben für Schiffe:

Herkömmlicher Direktantrieb durch Gas (Verdampfungsgas oder verdampftes LNG) oder Zweistoff-Motor

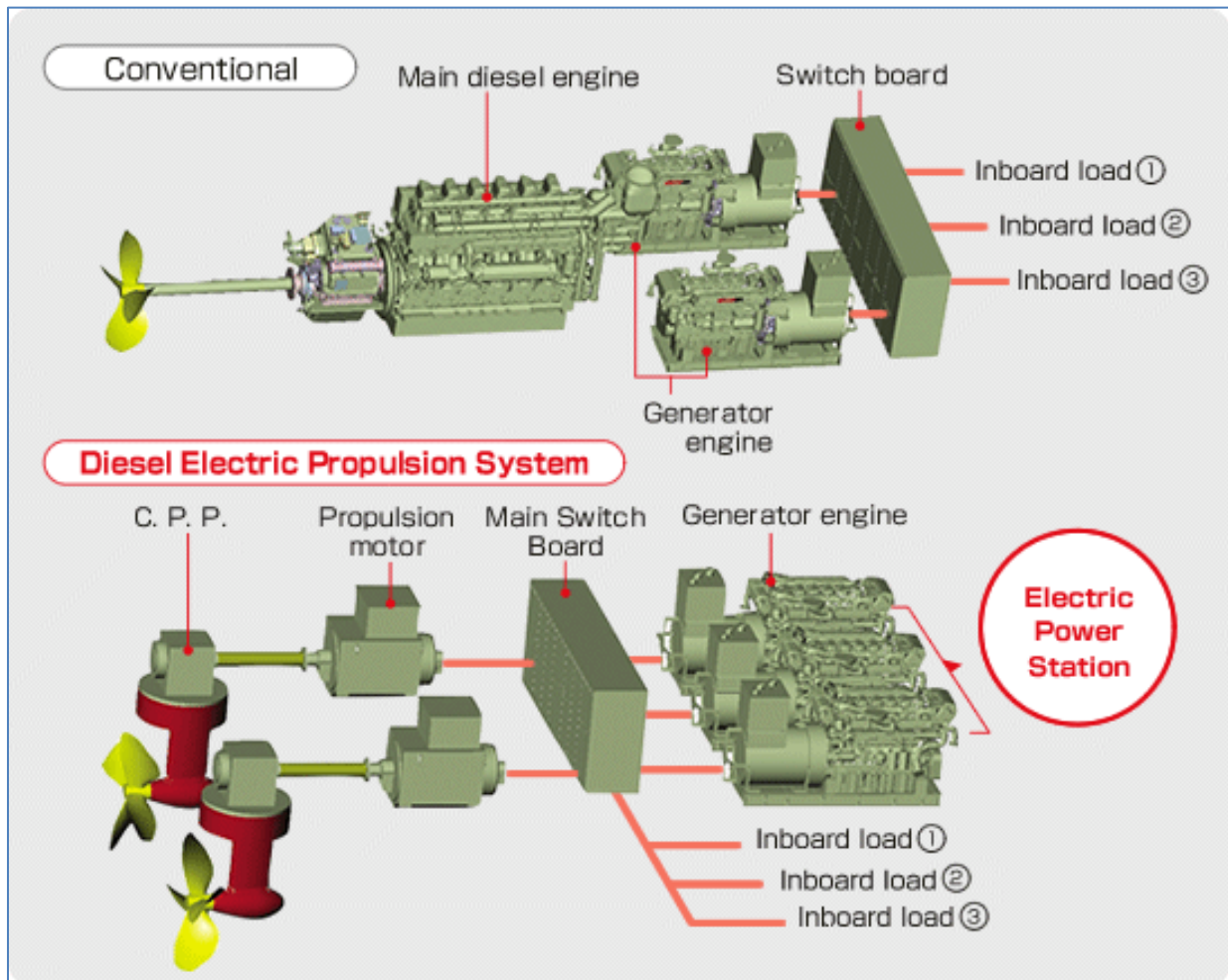


Abbildung 2 Übersicht herkömmlicher und dieselelektrischer Antriebssysteme

Indirekter Gas- oder Zweistoff-/Elektroantrieb mit Stromgenerator und Elektroantrieb (Hybrid).

Es gibt drei Hybrid-Auslegungen (mit vielen Variationen), Verbrennungsmotor/Elektro, Hybrid in Reihe und Hybrid parallel.

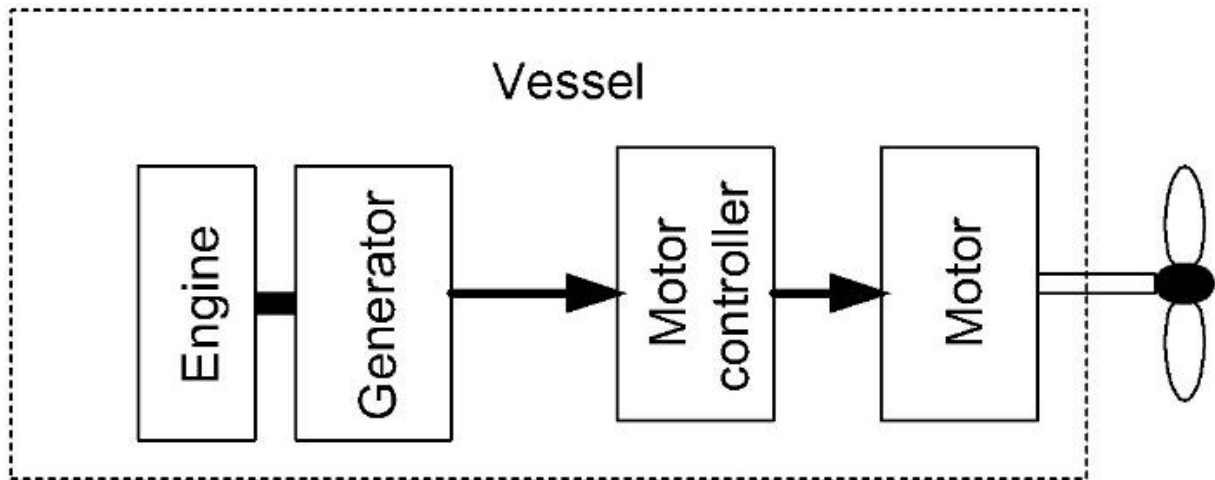
LNG-Diesel/Elektro

Abbildung 3 Aufbau eines LNG-dieselelektrischen Antriebssystems

Der Verbrennungsmotor (Gas, Diesel oder Zweistoff) ist direkt mit einem Stromgenerator verbunden. Ab hier wird die Leistung des Systems über eine Motorsteuerung und einen Elektromotor elektrisch auf die Schraubenwelle übertragen.

In diesem System können mehrere Generatoren und mehrere Elektromotoren mit einem gemeinsamen Strombus verbunden sein. Er wird zum Beispiel in dieselelektrischen Zügen und dem Binnenschiff "Greenstream" mit LNG/Elektro-Antrieb eingesetzt. Nach der engen Definition handelt es sich nicht um einen Hybridantrieb, da keine Speicherung der Elektroenergie stattfindet.



Abbildung 4 Tanker mit LNG-/Elektroantrieb. Quelle: Shell

Hybridantrieb in Serie

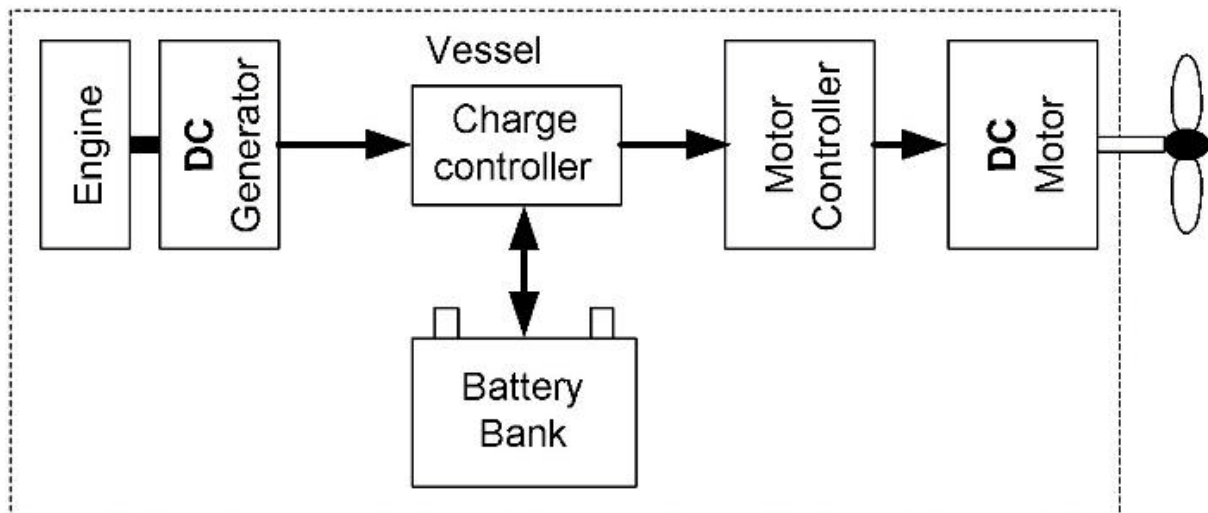


Abbildung 5 Antrieb in Reihenordnung

Der Hybridantrieb in Reihe ist dem LNG-/dieselelektrischen Antrieb darin ähnlich, dass die mechanische Verbindung zwischen Motor und Schraubenwelle unterbrochen ist. Jedoch wird auch ein Batteriespeicher an den gemeinsamen Strombus angeschlossen. In diesem System kann ein Betreiber den Motor abstellen und die Energie im Batteriespeicher nutzen.

Bei großen Batterien kann das Schiff lange elektrisch angetrieben werden (auch die Elektrogeräte an Bord können angetrieben werden), ohne dass der Generator benötigt wird.

Hybrid parallel

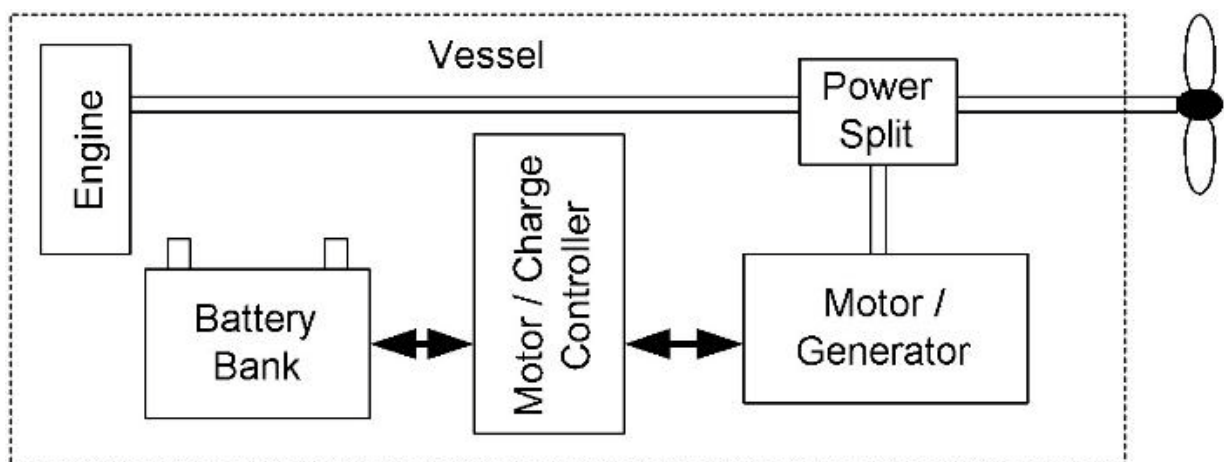


Abbildung 6 Antrieb in Parallelanordnung

Bei einem Hybridantrieb in Parallelanordnung wird die mechanische Verbindung zwischen Motor und Schraubenwelle nicht getrennt. Wie der Name besagt, wirkt der Elektromotor auf die Antriebswelle parallel zum Motor.

Die Leistungsverzweigung ist eine mechanische Vorrichtung, die die Übertragung der Leistung zwischen ihren Anschlüssen ermöglicht. Der Betreiber kann die Schraube direkt vom Motor oder vom Elektromotor oder von beiden antreiben lassen.

Der Betreiber kann auch die Schraube trennen, damit der Generator unabhängig arbeitet. Während der Rückspeisung wird der Motor abgetrennt.



Abbildung 7 Studienmodell der Solarstrom-Fähre Tonbo von Eco Marine Power

2.1.4 LNG-TREIBSTOFFLAGERUNG

LNG-Treibstoff wird in eigenständigen LNG-Treibstofftanks gelagert. Das Fassungsvermögen der Tanks hängt von der Reichweite, Funktion und Art des Schiffs ab. Das erwartete Volumen des LNG-Treibstofftanks liegt zwischen 40 und 160 m³ für Binnen-Transportschiffe. Die LNG-Treibstofftanks befinden sich auf Deck oder unter Deck.

Die Konstruktion der LNG-Treibstofftanks für ein Zweistoff-Schiff, bei dem es sich nicht um einen Gastanker handelt, kann denselben Standard-Spezifikationen folgen wie denen, die normalerweise für die Treibstofftanks von LNG-Hochseetankern gelten. Diese Systeme sind in der nachstehenden Tabelle "IMO-Klassifikation von LNG-Schiffen" angeführt.

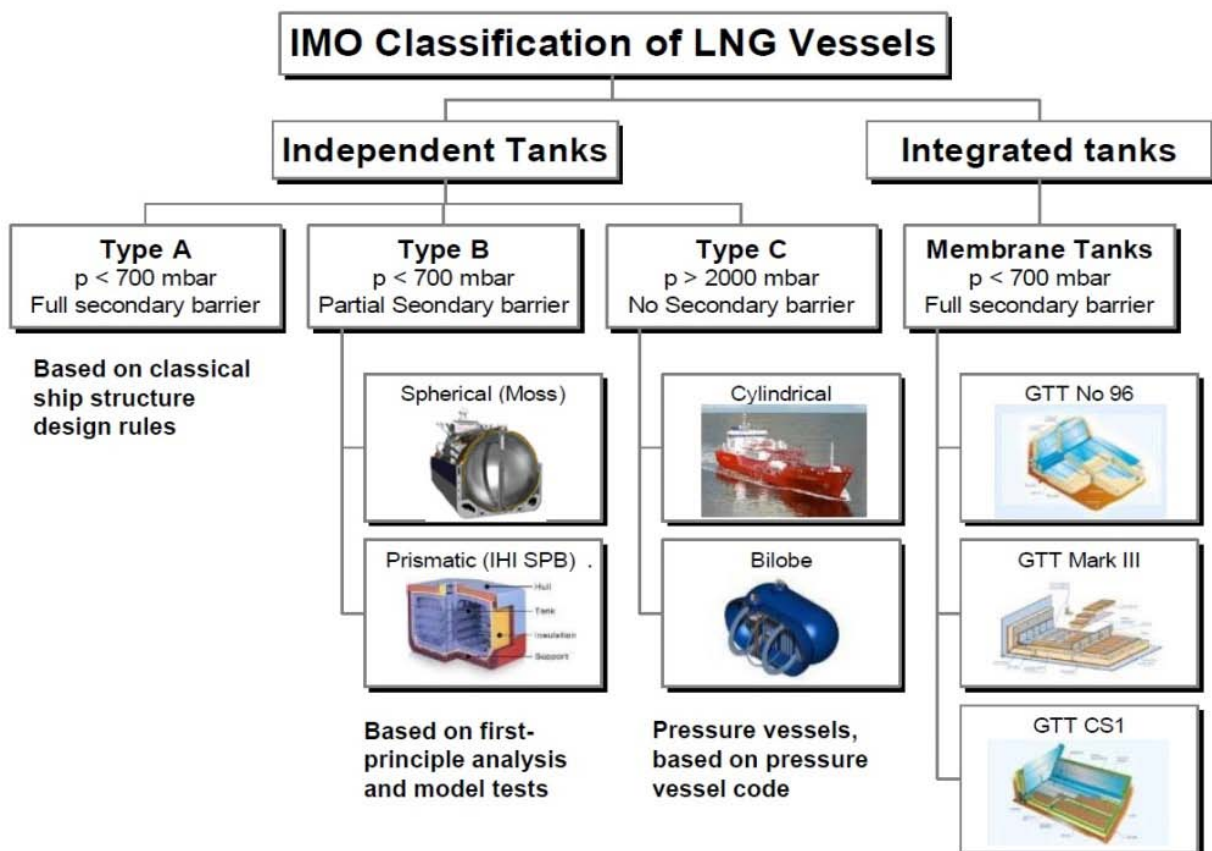


Abbildung 8 IMO-Klassifikation von LNG-Schiffen

Gemäß den aktuellen IMO-Richtlinien sind die LNG-Treibstofftanks aus den "Eigenständigen Typen A, B oder C" auszuwählen. Die LNG-Treibstofftanks sind unter Einhaltung der Anforderungen an Typ C ausgelegt. Tanks von Typ C haben mehrere Vorteile, z. B.:

- Der IGC-Code erfordert keine sekundären Barrieren für dieses Rückhaltesystem.
- Kleine und mittelgroße Tanks können für Vakuumisolierung ausgelegt werden, was Isoliermaterial spart und die Isolierwirkung wird verstärkt.
- Einfache Installation, da der Tank von nur zwei genau geformten Sätteln getragen wird.
- Möglichkeit, die Tanks für hohen Druck auszulegen, was zum Beherrschen des Verdunstungsverlusts und im Betrieb vorteilhaft ist.
- Geeignet zum Aufbau auf dem offenen Deck.

Der druckbeaufschlagte Treibstoff-Lagertank ist zylindrisch mit gewölbten Endflächen. Der Tank wird nach dem IMO-IGC-Code ausgelegt, der "Internationalen Sicherheitsvorschrift für Bau und Ausrüstung von Schiffen zur Beförderung verflüssigter Gase als Massengut" und der EN 13458-2 "Kryo-Behälter. Ortsfeste vakuum-isolierte Behälter."

LNG-Vakuumtanks werden mit Perlit/Vakuum isoliert. Der Tank besteht aus einem inneren Edelstahlbehälter, der für den Innendruck ausgelegt ist, und einem Außenbehälter, der als sekundäre Barriere wirkt. Der äußere Behälter kann aus Edelstahl oder Kohlenstoffstahl bestehen.

- Typische Tankauslegung: doppelwandig, Typ C
- Fassungsvermögen von 40 - 750 m³
- Austenitstahl oder 9%-Nickelstahl
- Äußerer Tank: Funktion als sekundäre Barriere
- Perlit-/Vakuumisolierung oder optimale mehrlagige Dämmschicht (MLI)/Vakuum
- Klasse des unteren Rohranschlusses akzeptiert
- Tankanschluss direkt angeschlossen

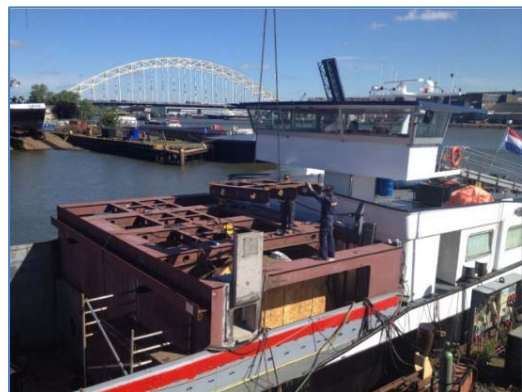
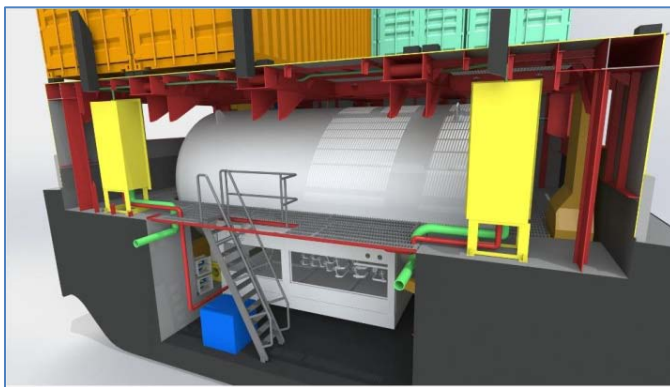


Abbildung 9 Eiger-Norwand-LNG-Tank unter Deck Quelle: Danser

2.1.5 ANFORDERUNGEN AN SPEICHERTANKS

2.1.5.1 ANFORDERUNGEN ZUR ANBRINGUNG EINES LNG-TREIBSTOFFTANKS (KLASSE C)

Anhand den IGC-Codes (Dokument BLG 15/Inf.2):

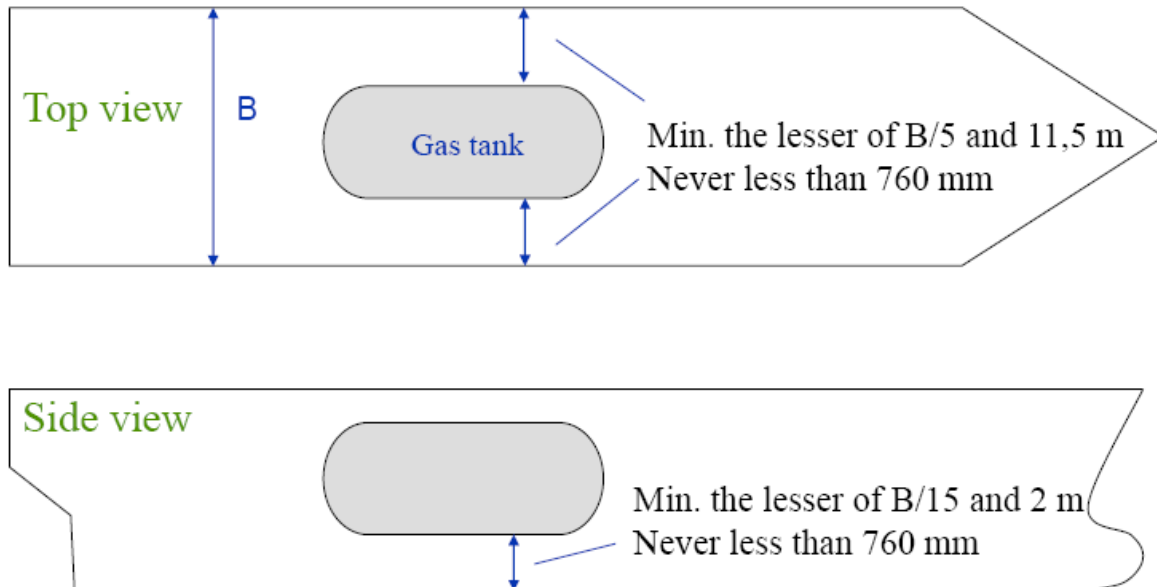


Abbildung 10 Diagramm Tankanordnung. Quelle: DNV GL

2.1.5.2 ANFORDERUNGEN AN GASLAGERTANKS AUF DECK:

Anforderungen:

- Platzierung $B/5$ von Seitenwand.
- Auf anderen als Fahrgastschiffen können Tanks näher angebracht werden, je nach Tankvolumen, von 0,8 bis 2,0 m, aber nicht näher als 760 mm.
- Tropfschalen aus rostfreiem Stahl für Tanks mit niedrigsitzenden Anschlüssen und Wärmedämmung der Hülle
- A-60-Abdichtung gegenüber Wohnbereichen, Betriebsbereichen, Laderäumen, Maschinenräumen und Leitständen.

2.1.5.3 ANFORDERUNGEN AN GASLAGERTANKS IN GESCHLOSSENEN RÄUMEN:

Anforderungen:

- 10 bar: maximal zulässiger Betriebsdruck für LNG-Tanks in geschlossenen Räumen.
- Angebracht niedriger als $B/5$ oder 11,5 m von der Seitenverkleidung.
- Angebracht niedriger als $B/15$ oder 2 m vom Boden.
- Auf anderen als Fahrgastschiffen können Tanks näher angebracht werden, je nach Tankvolumen, von 0,8 bis 2,0 m, aber nicht näher als 760 mm.

Treibstoff-Rückhaltesysteme, die eine vollständige oder teilweise sekundäre Barriere bilden, sind von der See durch eine Doppelhülle getrennt werden.

2.1.6 LNG-TREIBSTOFFSYSTEM

2.1.6.1 TYPISCHE LNG-TREIBSTOFFAUSLEGUNG

Die typischen Bestandteile eines LNG-Treibstoffsystems entsprechen denen eines Treibstoffsystems für Hochseeschiffe mit LNG-Antrieb. Diese Bauteile sind:

- Bunkerverbindung
- LNG-Rückhaltesystem (Tank)
- Aufbereitungssysteme für Brenngas
- Haupt-Gasventil
- Erdgas-Verbrennungsmotor

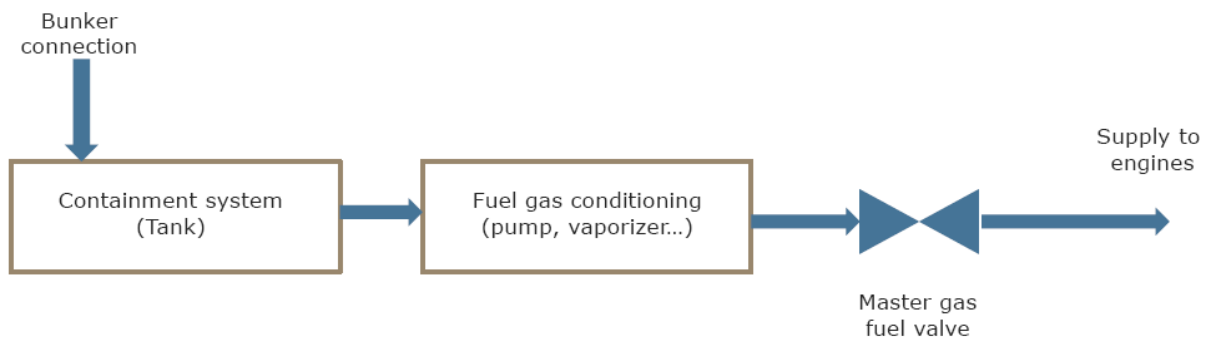


Abbildung 11 Grundbestandteile eines LNG-Treibstoffsystems



Abbildung 12 LNG-Tank Klasse C, vakuum-isoliert mit integrierter Cold Box Quelle: Wärtsilä

2.1.6.2. DIE LNG-COLD BOX

Eine Cold Box besteht aus einem Gehäuse aus Kohlenstoffstahl, normalerweise rechteckig, in dem Wärmetauscher, Rohrleitungen, sonstige kryotechnische Ausstattung und Isoliermaterial in einer Inertgas-Atmosphäre befestigt und aufgenommen werden.

Es gibt den LNG-Treibstofftank in eigenständigen und integrierten Versionen. In der Fachliteratur werden verschiedene Bezeichnungen dafür angegeben, die im Wesentlichen dieselben Teile der Anlage beschreiben, z. B. Cold Box, Tankraum, Prozessmodul.

Bei der integrierten Konstruktion der "Cold Box" wird eine Sperre aus korrosionsbeständigem Stahl an die Außenhaut des Tanks geschweißt. Die Konstruktion enthält das Prozessmodul und alle Rohrdurchführungen zum Tank.

Im unwahrscheinlichen Fall des Austretens von LNG wirkt die Cold Box als Barriere, die Beschädigungen der außenliegenden Kammern und erleichtert die schnelle Entlüftung des verdunsteten Gases.

Tankraum und Entlüftungsanlage müssen nach Versicherungsklasse A-60/A-0 brandgeschützt sein, je nach Sicherheitsstufe des angrenzenden Raums. In manchen Cold Boxes kann mit Stickstoff eine Inertgas-Atmosphäre hergestellt werden.

2.1.6.3 EINHEIT ZUM DRUCKAUFBAU (PBU) UND PRODUKTVERDUNSTER

Die Cold Box (auf der Abbildung in Form eines Tankraums) für das LNG-Treibstoffsystem umfasst eine Einheit zum Aufbau des Mindestdrucks (PBU) und den Produktverdampfer.

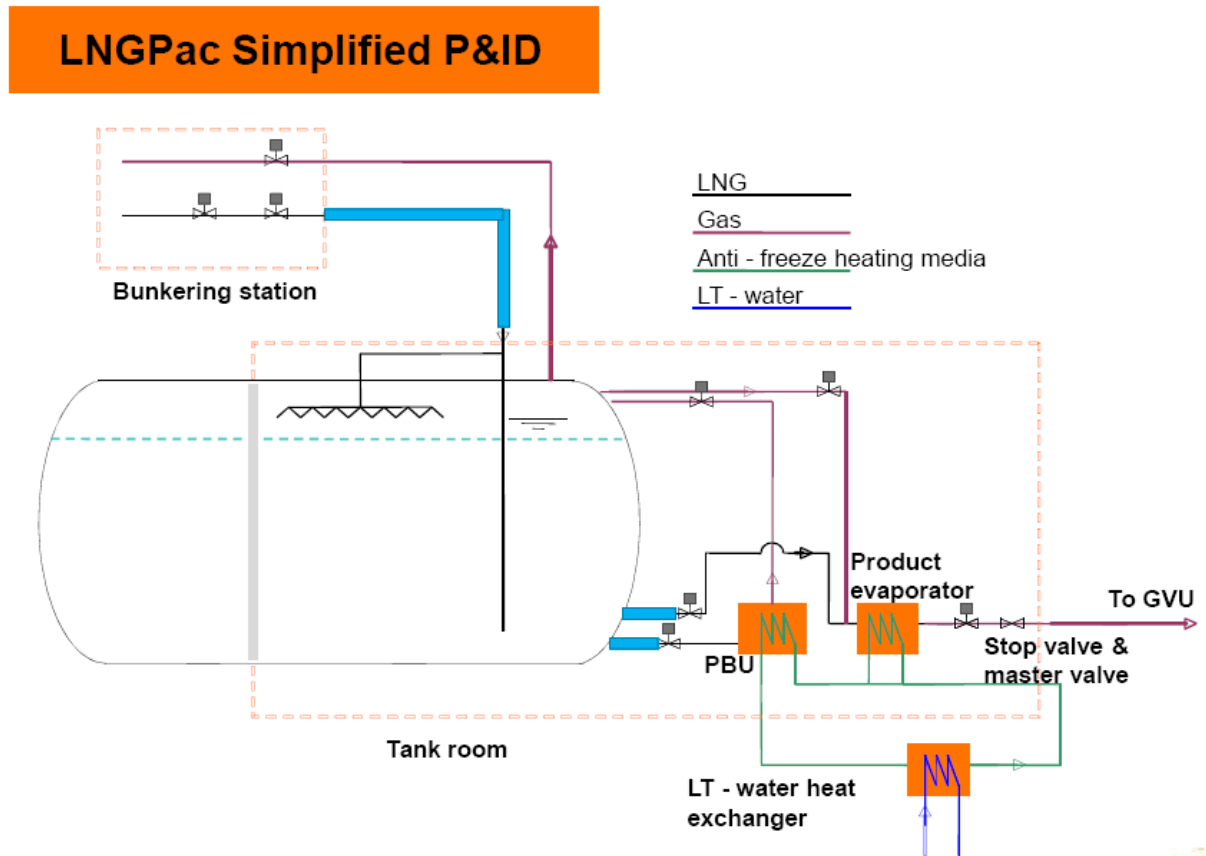


Abbildung 13 Aufbau der Cold Box

Die Cold Box (Tankraum) enthält alle Anschlüsse und Ventile zwischen dem Tank, der *Einheit zum Druckaufbau (PBU)* und den *Produktverdampfer* sowie die eigentlichen Verdampfer.

Die PBU besteht aus einem isolierten Rohr, einem Verdampfer, Ventilen, einem einwandigen Rohr und Sensoren. Die PBU nach dem Bunkern von LNG im Tank Druck aufbauen und im Normalbetrieb den erforderlichen Druck (ca. 5 bar(g)) im Tank aufrecht erhalten.

Das Aufrechterhalten des richtigen Drucks im Tank stellt sicher, dass die Zweistoff-Motoren zu jeder Zeit die maximale Leistung (maximale Dauerleistung MCR) erreichen. Da das LNG-System nicht über eine Kryo-Pumpe oder einen Kompressor verfügt, wird der erforderliche Gaszufuhrdruck zu Motor durch Einstellen des richtigen Lagerdrucks im LNG-Tank erreicht.

Der Fluss des LNG zum PBU-Verdampfer erfolgt durch die Differenz des hydrostatischen Drucks zwischen Decke und Boden des Tanks, wobei LNG vom Boden des Tanks zum Verdampfer geleitet wird.

Das verdampfte Gas wird dann oben in den Tank zurückgeleitet. Der natürliche Umlauf durch die PBU setzt sich fort, bis der erforderliche Druck im Tank erreicht ist.

Der *Produktverdampfer*-Kreislauf besteht aus einem isolierten Rohr, einem Verdampfer, Ventilen, einem einwandigen Rohr und Sensoren. Der Produktverdampfer dient dazu, das LNG zu Gas zu verdampfen und es auf mindestens 0 °C entsprechend den Motorspezifikationen zu erwärmen. Das Gas wird dann der Gasventileinheit (GVU) vor den Motoren zugeführt.

Sowohl die PBU als auch der Produktverdampfer werden mit einem Wasser-/Glykol-Gemisch erwärmt, das zu einem externen Kühler zurück läuft. Hier wird das Gemisch durch die Abwärme des Kühlwasserkreislaufs des Motors erwärmt.

2.1.6.4 GASVENTILEINHEIT (GVU)

Die Gasventileinheit (GVU) ist ein Modul zwischen dem LNG-Lagersystem und dem Zweistoff-Motor:

- zum Regeln des Basis-Gasdrucks
- für die Sicherheitstrennung des Gassystems und gegebenenfalls Herstellen einer Inertgas-Atmosphäre



Abbildung 14: GVU mit horizontaler und vertikaler Einhausung



Abbildung 15: Offene GVU.
Quelle: Wärtsilä

2.1.7 MOTORRAUMSICHERHEIT BEI SCHIFFEN MIT LNG-ANTRIEB

2.1.7.1 EINFÜHRUNG

Die Vorläufigen IMO-Richtlinien lassen zwei alternative Versionen von Maschinenräumen zu: gassichere Maschinenräume und ESD-geschützte Maschinenräume (Notabschaltung). (siehe Abschnitt 2.6 der IMO-Resolution MSC.285(86)). Dieselben Konstruktionsprinzipien können auch in der Binnenschifffahrt Verwendung finden.

Gassichere Maschinenräume: Gestaltung in Maschinenräumen, die unter allen Bedingungen als gassicher gelten - unter normalen wie abweichenden Bedingungen -, d. h. inhärent gassicher.

ESD-geschützte Maschinenräume: Gestaltung in Maschinenräumen, die unter normalen Bedingungen als nicht gefährlich gelten, wo aber unter bestimmten abweichenden Bedingungen die Möglichkeit von Gefahren besteht.

Bei abweichenden Bedingungen im Zusammenhang mit Gefahren durch Gas muss automatisch eine Notabschaltung (ESD) von nicht sicheren Anlagen (Zündquellen) und Maschinen erfolgen, wobei die anderen Anlagen oder Maschinen, die unter diesen Bedingungen in Betrieb sind oder betätigt werden, als sicher zertifiziert sein müssen.

2.1.7.2 GASSICHERE MASCHINENRÄUME

Alle Gasversorgungsleitungen innerhalb des Maschinenraums sind mit einer gasdichten Einhausung zu umgeben, d. h. doppelwandige Rohre oder Kanäle. Für den Fall eines Lecks in einer Gasversorgungsleitung, bei dem die Gaszufuhr abgeschaltet werden muss, muss eine zweite eigenständige Treibstoffversorgung vorgesehen sein.

Alternativ können bei Anlagen mit mehreren Motoren eigenständige und separate Gasversorgungssysteme für jeden Motor oder jede Motorengruppe akzeptiert werden.

Gasversorgungsleitungen, die durch geschlossene Räume führen, müssen mit einem Doppelrohr oder -kanal umschlossen sein. Das Doppelrohr oder der Doppelkanal müssen folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Die Gasleitung muss ein doppelwandiges Leitungssystem sein, bei dem der gasförmige Treibstoff im inneren Rohr geführt wird. Der Raum zwischen den konzentrischen Rohrleitungen ist mit Inertgas mit einem Druck zu befüllen, der höher als der Druck des gasförmigen Treibstoffs ist. Angemessene Alarmvorrichtungen sind vorzusehen, die einen Druckverlust des Inertgases zwischen den Rohren anzeigen,
- oder
- Die Gasversorgungsleitungen sind in einem belüfteten Rohr oder Kanal zu verlegen. Der Luftraum zwischen der Gasversorgungsleitung und der Wand des äußeren Rohrs oder Kanals muss mit einer mechanischen Druckkontroll-Belüftung versehen sein, die mindestens 30 Mal pro Stunde die Luft austauschen kann.

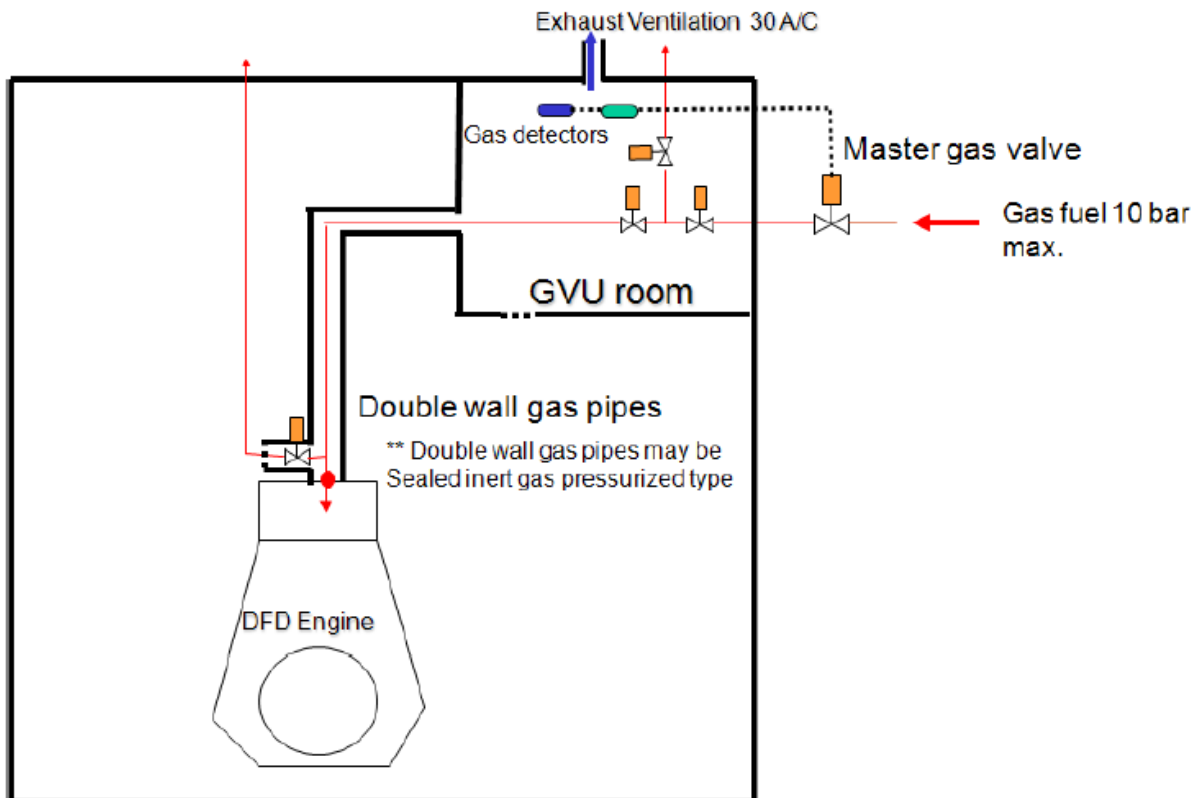


Abbildung 16 Typischer Aufbau eines gassicheren Maschinenraums. Quelle: ABS

2.1.7.3 ESD-GESCHÜTZTE MASCHINENRÄUME

Gasversorgungsleitungen in Maschinenräumen können unter den folgenden Umständen auch ohne gasdichte Außenhülle akzeptiert werden:

- Motoren zum Erzeugen von Antriebskraft und Strom sind in zwei oder mehr Maschinenräumen unterzubringen.
- In den Räumen für die Gasmaschinen, den Tank und die Ventile sollte nur das erforderliche Minimum solcher Anlagen untergebracht sein.
- Der Druck in Gasversorgungsleitungen in Maschinenräumen muss unter 10 bar(g) liegen.
- Ein Gaswarnsystem zur automatischen Abschaltung der Gaszufuhr.

ESD-geschützte Maschinenräume müssen mit einer Entlüftung versehen sein, die mindestens 30 Mal pro Stunde die Luft austauschen kann. Das Entlüftungssystem muss gute Luftzirkulation in allen Räumen sicherstellen, insbesondere sicherstellen, dass eventuelle Bildungen von Gastaschen im Raum erkannt werden.

Alternativ Gestaltung, wo die Maschinenräume mit mindestens 15maligem Luftaustausch pro Stunde bei Normalbetrieb entlüftet werden. Das wird akzeptiert, vorausgesetzt, der Luftaustausch wird automatisch auf 30 Mal pro Stunde erhöht, wenn Gas im Maschinenraum entdeckt wird.

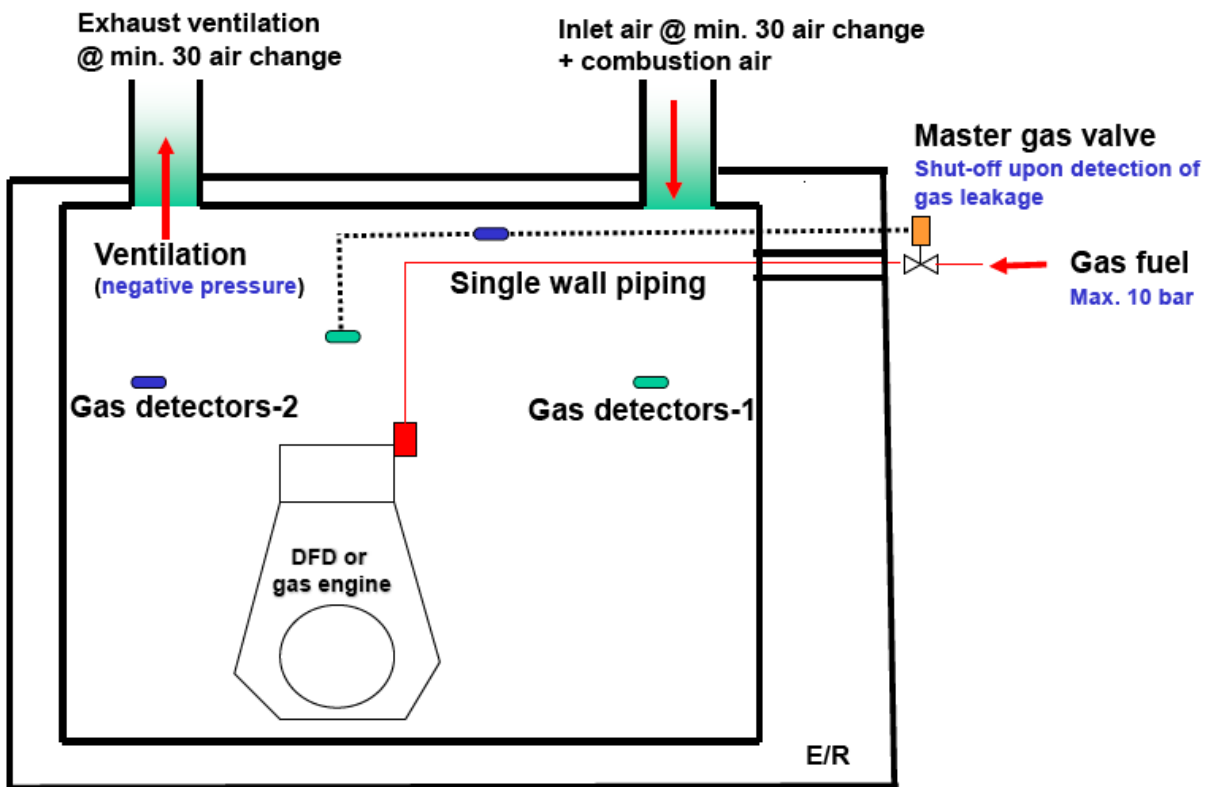


Abbildung 17 Typischer Aufbau eines ESD-geschützten Maschinenraums. Quelle: ABS

2.1.8 GEFAHRENBEREICHE

Gefahren bestehen aufgrund des Vorliegens von Gas, Dämpfen oder Nebeln von entzündlichen Stoffen. Die europäische Richtlinie 1999/92/EG sieht eine Klassifizierung in drei Zonen (siehe Tabelle 2) wie folgt vor:

Zone 0

Bereiche, in denen explosionsfähige Atmosphäre ständig oder über längere Zeiträume vorhanden ist. In diesem Bereich müssen Antriebsaggregate mit doppelter Isolierung installiert werden.

Zone 1

Bereiche, in denen sich im Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann. Explosionsgeschützte Motoren oder Motoren mit zusätzlichem Schutz können in diesem Bereich installiert werden (für letztere gelten die Standard-Beschränkungen).

Zone 2

Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt. Explosionsgeschützte Motoren oder Motoren mit zusätzlichem Schutz sowie nicht funkenerzeugende Motoren können in diesem Bereich installiert werden.

	Mit Freisetzungsquelle ¹		Ohne Freisetzungsquelle	
	Mit Entlüftung ²	Ohne Entlüftung	Mit Entlüftung ²	Ohne Entlüftung
Zone 0	<p>Zone 1</p> <p>z. B. Ladungspumpraum</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.1)</p>	<p>Zone 0</p> <p>z. B. Fangdämme mit Laderohrflanschen</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.4)</p>	<p>Zone 2</p> <p>z. B. Ballastpumpraum neben den Ladungstanks</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.7)</p>	<p>Zone 1</p> <p>z. B. Fangdamm, Leerraum</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.10)</p>
Zone 1	<p>Zone 2</p> <p>z. B. Räume mit Laderohrflanschen</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.2)</p>	<p>Zone 1</p> <p>z. B. Räume mit Laderohrflanschen</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.5)</p>	<p>Nicht gefährliche Bereiche</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.8)</p>	<p>Nicht gefährliche Bereiche</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.11)</p>
Zone 2	<p>Zone 2</p> <p>z. B. Räume mit Laderohrflanschen</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.3)</p>	<p>Zone 1</p> <p>z. B. Räume mit Laderohrflanschen</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.6)</p>	<p>Nicht gefährliche Bereiche</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.9)</p>	<p>Nicht gefährliche Bereiche</p> <p>(siehe Anhang A, Satz A.12)</p>
<p>¹im Folgenden Beispiele für Freisetzungsquellen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entlüftungs- und andere Öffnungen von Ladungstanks, Schmutzwassertanks und Laderohrleitungen - Dichtungen von Ladepumpen, Ladekompressoren und Prozessanlagen - Dichtungen von Ventilen und Flanschen sowie anderer Verbindungen und Anschlussstücken - <p>²Wenn die Bereichsklassifizierung eines Raums von seiner Entlüftung abhängt, muss die Gestaltung so sein, dass keine Unterbrechungen der Entlüftungen über längere Zeiträume erwartet werden und dass sich keine Ansammlung Gas oder Dampf in der Nähe einer Freisetzungsstelle oder in der Nähe von Elektroanlagen vorliegt</p>				

Tabelle 2 - Durch eine gasdichte Trennschicht von den Zonen getrennte Räume (Gefahrenbereiche entsprechend IEC 60092-502-1999)

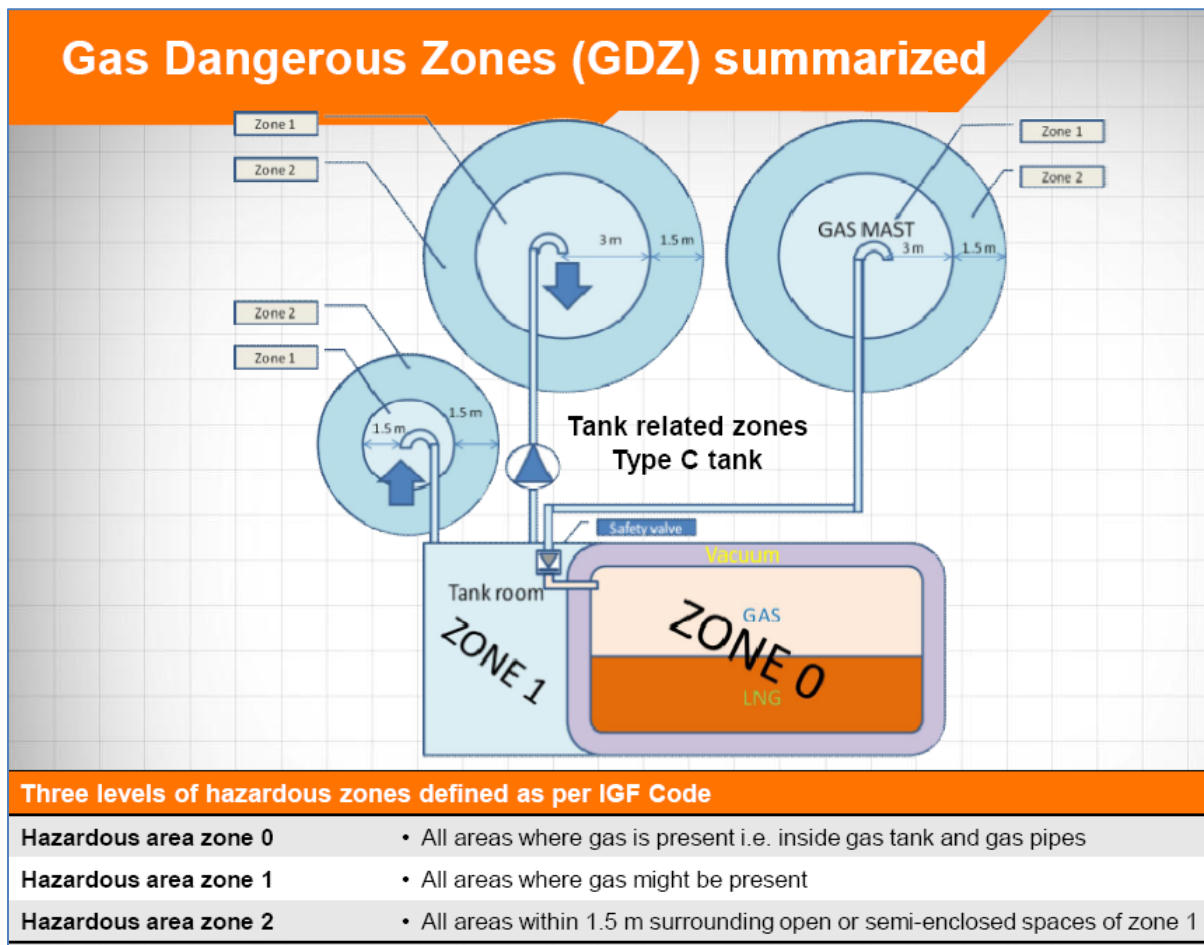


Abbildung 18 Die drei Stufen explosionsgefährdeter Bereiche. Quelle: Wärtsilä

2.2 KLEINE LNG-SCHIFFE

2.2.1 EINFÜHRUNG

Obwohl weltweit eine etablierte Infrastruktur für LNG besteht, erfüllt sie bisher die Anforderungen an LNG-Bunkern nicht.

Es besteht eine erhebliche Lücke zwischen den großen LNG-Terminals, die von den großen Tankern angelaufen werden (140.000 m³ und mehr), um Millionen Tonnen Erdgas an die Erdgasnetze zu liefern, und den kleinen Anlagen für LNG als Bunkertreibstoff.

Um diese Lücke zu schließen, brauchen wir kleine LNG-Tanker, die groß genug sind, um zum Beladen an den großen Terminals anzulegen, die aber klein genug sind, um die Bunker-Infrastruktur zu bedienen.

Die ersten Entwicklungen erfolgten 2004, wobei die "Pioneer Knudsen" mit 1.100 m³ und später des Schiffs "Coral Methane", einem Schiff mit 7.500 m³, eines kombinierten Frachters für LNG/Ethylen/LPG, konstruiert von TGE und in Betrieb sei 2009 für die Anthony Veder Group/NL. Letzteres Schiff hat mehrere LGN-Ladungen an großen europäischen Importterminals wie Zeebrugge geladen. Ein Schiff der nächsten Generation, die "Coral Energy", wurde 2012 von der deutschen Meyer Werft gebaut: ein LNG-Tanker mit 15.600 m³ für die Anthony Veder Group mit einem Gassystem von TGE.

Beide Schiffe verfügen über Zweistoff-Antriebssysteme zur Steuerung des Tankdrucks und Verringerung von Emissionen. Dasselbe Unternehmen baute 2013/14 die "Coral Anthelia", ein 6.500 m³-Tankschiff kombiniert für LNG/Ethylen/LPG. Diese kleinen LNG-Tanker sind von der Größe her nicht für die Binnenwasserstraßen ausgelegt; jedoch gelten diese Schiffe als Vorläufer der LNG-Tanker für die Binnenschifffahrt.



Abbildung 19 Studien für LNG-Transportschiffe. Quelle: VEKA

2.2.2 LNG-LAGERUNG AUF BINNENTANKERN FÜR LNG

2.2.2.1 ALLGEMEINES

Es wird davon ausgegangen, dass alle gemäß der IMO-Klasse verwendeten Typen von LNG-Tankern auch in der Binnenschifffahrt Verwendung finden. Der große Unterschied liegt in der Größe. Die Größe des Binnenschiffs ist durch die Größe der Wasserstraße beschränkt. Das erwartete Maximalvolumen (Ladung) für einen LNG-Binntanker beträgt 3,000 m³ LNG-Gesamtvolumen anhand der Entwicklung der LNG-Binntanker im Sommer 2014.

Anhand von IMO-Tanks der Klasse C sind LNG-Tanker von 40.000 m³ oder mehr möglich; es wurden Maximalvolumina von 10.000 m³ für zylindrische oder 20.000 m³ für zweiflügelige Tanks untersucht.

Die größten Vorteile dieses sehr zuverlässigen Tanktyps sind die Flexibilität beim Druckmanagement (BOG) und die Tatsache, dass keine zweite Barriere erforderlich ist.

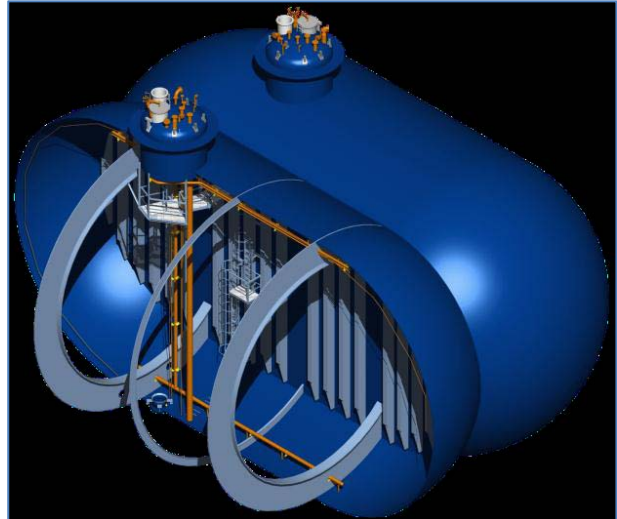


Abbildung 20 Beispiel eines zweiflügeligen LNG- Vorratstanks

Bei der Entwicklung von LNG-Binnentankern 2014 scheinen Tanks des Typs C die häufigste Version zu sein. Zum Beispiel verfügt der LNG-Binnentanker nach der Konstruktion der Veka-Deen Group über drei Tanks des Typs C, jeder mit einem Fassungsvermögen von 750 m³. Eine ähnliche Konstruktion mit drei Tanks, jeweils mit 1.000 m³, ist ebenfalls in der Konstruktionsphase.



Abbildung 21 LNG-Tanker von VEKA-Deen. Quelle: Veka

Jedoch verwendet das neu gebaute kombinierte Argos-LNG-Bunkerschiff ein Mark III Membran-Containment-System für ca. 1.870 m³ LNG-Kapazität in beiden Abteilungen, wiederum mehr als die Hälfte des Fassungsvermögens eines ursprünglichen Entwurfs mit vier Tanks des Typs C.

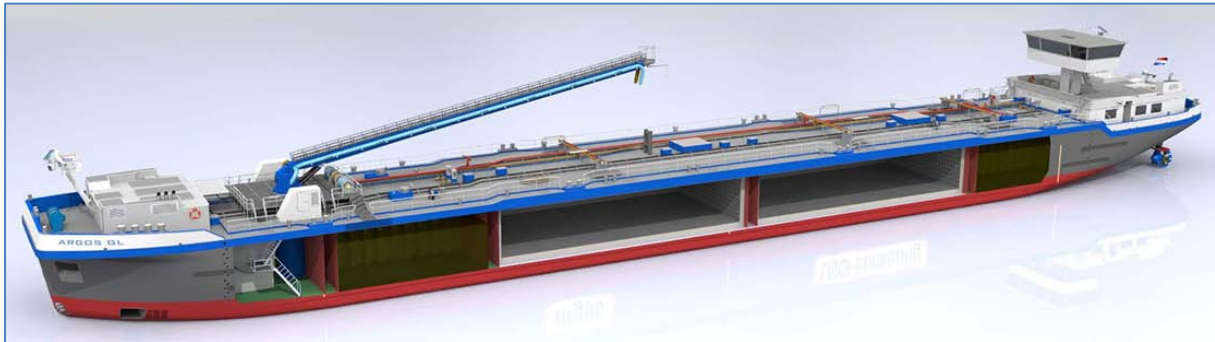


Abbildung 22 Endgültiger Entwurf des kombinierten Argos-LNG-Bunkerschiffs. Quelle: Argos

2.2.2.2

MAXIMALE GRÖÖE DER LNG-LAGERUNG

Die Verwendung eines GTT-Mark-III-Membran-Containment-Systems erfordert weniger Raum als die damaligen Tanks des Typs C. Anhand einer typischen Binnenschiff-Tankgröße (Länge 110 m, mit 11,40 m, Tiefgang 3,50 m und Ladekapazität 3.000 t), kann das Maximalvolumen von LNG, das von einem Binnenschiff transportiert werden darf, mehr als 4.000 m³ betragen.

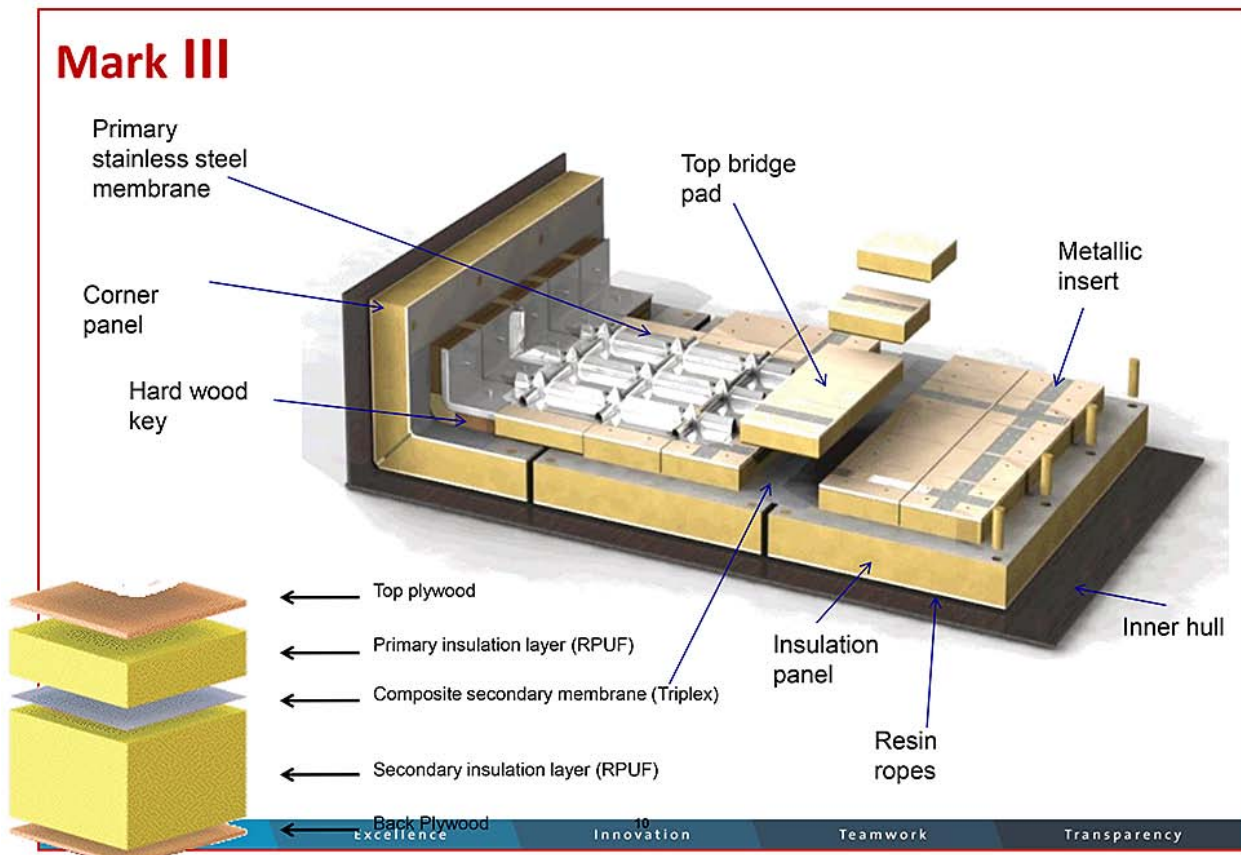


Abbildung 23 Typische Auslegung eines GTT-Mark-III-Membran-Containment-Systems Quelle: HHP Insight

2.2.3 SCHIFFSSYSTEME

2.2.3.1 LADELEITUNGEN UND -VENTILE

Gastanker sind mit Flüssigkeits- und Dampfverteilern versehen. Sie sind mit den Flüssigkeits- und Dampfverteilern oder -rohrleitungen verbunden, wobei Abzweigungen in jeden Ladungstank führen. Die Beladeleitung für Flüssigkeit wird durch den Tankdom zur Decke und zum Boden jedes Ladungstanks zum Vorkühlen des Tanks geleitet; die Dampfverbindung geht von der Decke jedes Ladungstanks ab.

Ladeleitungen dürfen auf Gastankern nicht unterhalb der Decksebene verlaufen; daher müssen alle Rohrverbindungen durch die Ladungstankdome gehen, die durch das Hauptdeck ragen.

Auf den Tankdomen sind auch Dampfdruckreduzierventile montiert; sie sind über ein Entlüftungssammelrohr mit dem Entlüftungssteigrohr verbunden. Die Entlüftungssteigrohre sind in einer sicheren Höhe und in sicherer Entfernung von Wohnbereichen und anderen gassicheren Bereichen gemäß den geltenden Vorschriften zu Gas angebracht.

2.2.3.2 LADEVENTILE

Absperrventile für Ladungstanks sind gemäß den geltenden Vorschriften für Gas vorzusehen. Wenn Ladungstanks eine MARVS (maximale zulässige Einstellung für Druckreduzierventile)-Einstellung von mehr als 0,7 barg haben (Tanks des Typs "C" laut IGC-Code), sind die Flüssigkeits- und Dampfanschlüsse auf dem Tankdom (mit Ausnahme der Anschlüsse der Druckentlastungsventile) mit einer doppelten Ventilanordnung zu versehen.

Sie besteht aus einem manuellen Ventil und einem ferngesteuerten Absperrventil, in Reihe angeordnet.

2.2.3.3 NOTABSCHALTUNGS(ESD)-SYSTEME

An verschiedenen Stellen auf dem Tanker sind Pneumatikventile oder elektrische Drucktaster angebracht. Bei Betätigung schließen diese Regelvorrichtungen ferngesteuerte Ventile und stoppen die Ladepumpen. So entsteht eine Notabschaltvorrichtung für die Ladung. Solche Notabschaltungs(ESD)-Systeme müssen auch bei Ausfall der Energie für die Elektrosteuerung oder die Ventil-Stellantriebe automatisch ansprechen. Die Befüllventile für einzelne Tanks müssen bei Ansprechen eines Überfüllsensors im jeweiligen Tank ansprechen. ESD-Ventile können entweder pneumatisch oder hydraulisch sein, sie müssen aber auf jeden Fall ausfallsicher sein; mit anderen Worten, sie müssen bei Ausfall der Betätigungskraft automatisch schließen.

Eine äußerst wichtige Überlegung, insbesondere beim Beladen, ist die Möglichkeit, dass beim Ansprechen des ESD-Systems des Tankers ein Druckstoß entsteht. Die Situation ist an jedem Terminal anders und hängt von der Beladungsgeschwindigkeit, der Länge der Rohrleitung des Terminals, der Ventilschließgeschwindigkeit und dem Ventilverhalten ab. Das Phänomen der Entstehung eines Druckstoßes ist komplex, und die Auswirkungen können extrem sein. So können Schläuche und Anschlussstücke der unbeweglichen Arme reißen oder brechen.

2.2.3.4 DRUCKREDUZIERVENTILE FÜR LADUNGSTANKS UND ROHRLEITUNGEN

Die bewährten Praktiken fordern, dass an jedem Ladungstank mindestens zwei gleich leistungsfähige Druckreduzierventile angebracht sind; dazu kommt ein System, das verhindert, dass beide Ventile gleichzeitig schließen. Beide Ventile müssen im Betrieb offen sein. Normalerweise werden federgespannte oder hilfsgesteuerte Ventile eingebaut.

Hilfsgesteuerte Ventile können an Tanks aller Typen verwendet werden, federgespannte werden normalerweise nur an Drucktanks des Typs "C" eingesetzt.

Die Verwendung von hilfsgesteuerten Ventilen an vollständig gekühlten Tanks stellt genaue Funktion bei den vorherrschenden Niederdruckbedingungen sicher; bei Tanks des Typs "C" können verschiedene Entlastungseinstellungen mit nur einem Ventil vorgenommen werden. Dies geschieht durch Austausch der Hilfsfeder.

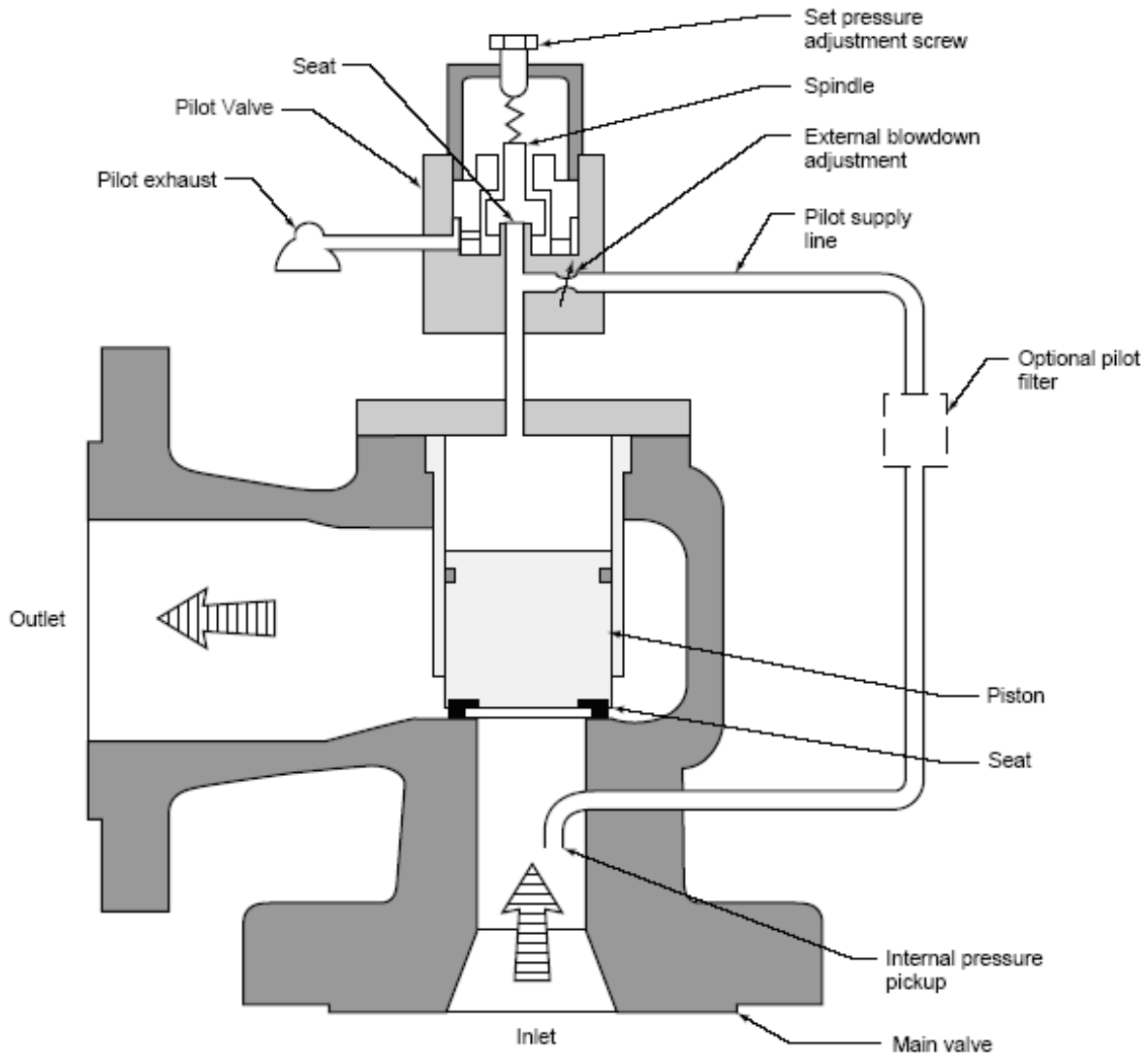


Abbildung 24 zeigt ein typisches hilfsgesteuertes Druckentlastungsventil.

Andere Arten von Steuerventilen können den eingestellten Druck justieren und Druck ablassen.

2.2.3.5 LADEPUMPEN

Ladungspumpen auf LNG-Tankern sind meist Kreiselpumpen, entweder Tiefbrunnenpumpen oder Tauchpumpen. Sie können eigenständig oder parallel betrieben werden. Einige Tanker, die vollständig druckbelastet sind, entladen ihre Ladung, indem sie mit Dampf Druck in den Tanks aufbauen, und Verstärkerpumpen werden für schnelleres Umpumpen der Ladung eingebaut.

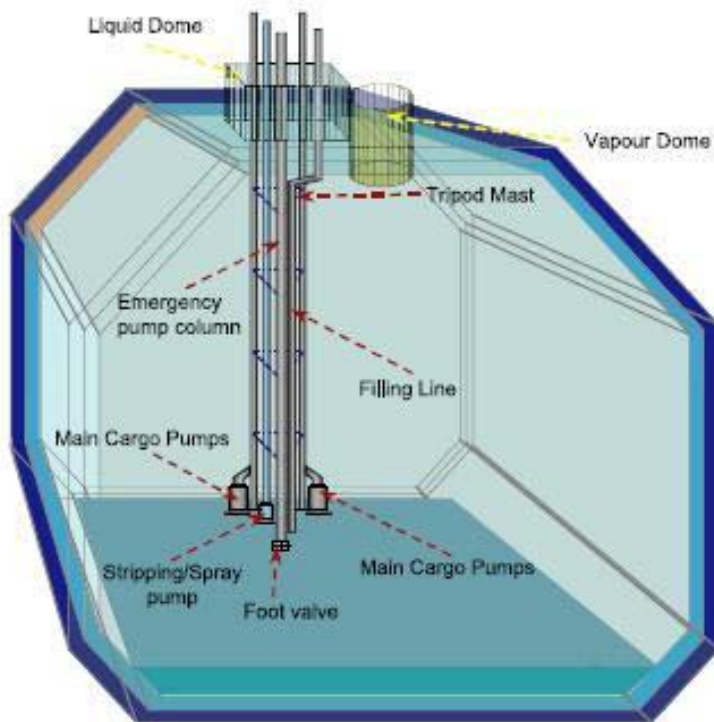


Abbildung 25 Typische Anordnung von Ladungspumpen für einen LNG-Membranladungstank

2.2.3.6 INERTGAS- UND STICKSTOFFSYSTEME

LNG-Tanker setzen Inertgas zu folgenden Zwecken ein:

- Allgemeines Spülen/Entleeren des Ladungstanks.
- Erkennen von Lecks in Isolierbereichen auf LNG-Schiffen.
- LNG-Antrieb, Spülen von Treibstoffleitungen usw.

Am häufigsten wird zum Erzeugen von Stickstoff auf Tankern ein Prozess der Luftzerlegung eingesetzt. Dieses System zerlegt Luft dadurch in ihre verschiedenen gasförmigen Bestandteile, dass es Druckluft über Membranen aus Hohlfasern leitet.

Die Membranen teilen die Luft in zwei Ströme - einer besteht im Wesentlichen aus Stickstoff, der andere enthält Sauerstoff, Kohlendioxid und einige Spurengase. Dieses System kann Stickstoff mit ca. 95 bis 99,8% Reinheit erzeugen.

2.3 BUNKERN VON LNG

2.3.1 DEFINITION VON LNG-BUNKERN

Bunkern von LNG ist das Umladen kleinerer Mengen von LNG auf Schiffe, die für den Antrieb durch Gas- oder Zweistoff-Motoren LNG benötigen. LNG-Bunkern erfolgt im Normalfall in Häfen oder an anderen geschützten Orten.

Bunkern darf nicht genauso wie das kommerzielle Umladen großer Mengen Ladung zwischen LNG-Frachtern (Tankern) betrachtet werden. Dieses Umladen im großen Maßstab fällt unter andere Vorschriften und Standards.

2.3.2 SZENARIEN BEIM BUNKERN VON LNG

Tankwagen auf Schiff (Truck-to-Ship - TTS):

Mikro-Bunkern, Entladeeinheit ist ein Tankwagen mit einer Größe von ca. $< 100 \text{ m}^3$.

Schiff zu Schiff (Ship-to-Ship transfer - STS):

Entladeeinheit ist ein Bunkerschiff oder Bunker-Binnenschiff mit einer Größe von $< 10.000 \text{ m}^3$.

Terminal (Rohrleitung) zu Schiff (Terminal (Pipeline)-to-Ship - PTS):

Ein Nebenterminal dient als Entladeeinheit, die Versorgungsmenge beträgt $100 - 10.000 \text{ m}^3$.

PTS und TTS sind die aktuell häufigsten Szenarien beim Bunkern, und beide gelten als Landversorgung.

Dazu wird mit einem kältefesten Zwei-Zoll-Schlauch eine Verbindung zwischen dem LNG-Versorger und dem Empfänger hergestellt. Die Leitungen werden zum Entfernen von Sauerstoff und Feuchtigkeit mit Stickstoff vorgespült. Dann werden die Rohre und Verbindungsstücke mit LNG vorgekühlt. Erst wenn das Rohr kalt genug ist, wird das reine LNG gepumpt. Das Pumpen erfolgt entweder durch Erhöhung des Dampfdruck im LNG-Tank oder mit einer speziellen kryogenen LNG-Pumpe. Der Ladedruck beträgt ca. 7 bar.

Die wichtigsten Schritte beim Bunkern sind.

- Anfängliches Vorkühlen
- Anschluss des Bunkerschlauchs
- Aufbau der Schutzgasatmosphäre im Verbindungssystem
- Prüfen der Funktionsfähigkeit des ESD-Systems
- Spülen des Verbindungssystems
- Füllen
- Entleeren der Flüssigkeitsleitung
- Aufbau einer Schutzgasatmosphäre in der Flüssigkeitsleitung



Abbildung 26

Erstes LNG-Bunkern des Schiffs Eiger-Norwand. Quelle: Danser

2.3.3 MOBILE LNG-TREIBSTOFFTANKS

Eine andere Möglichkeit besteht in einem auswechselbaren LNG-Treibstofftank (Container) anstelle eines festen LNG-Treibstofftanks. Der leere Tank wird an einem Containerterminal mit einem Kran einfach gegen einen vollen Container ausgetauscht.

In Zusatzdokumentation wird dieses System als "LNG-Treibstoffzelle" bezeichnet. Es handelt sich um einen Containertank des Typs C nach ISO mit derselben Sicherheitsqualifikation wie der vorgeschriebene Treibstofftank.



Abbildung 27 LNG-Container-Treibstofftank.
Quelle: Marine Services LNG.

Es wird das folgende Marineservice-LNG-Brenngas-System verwendet:

MARINESERVICE- LNG-BRENNGAS-SYSTEM

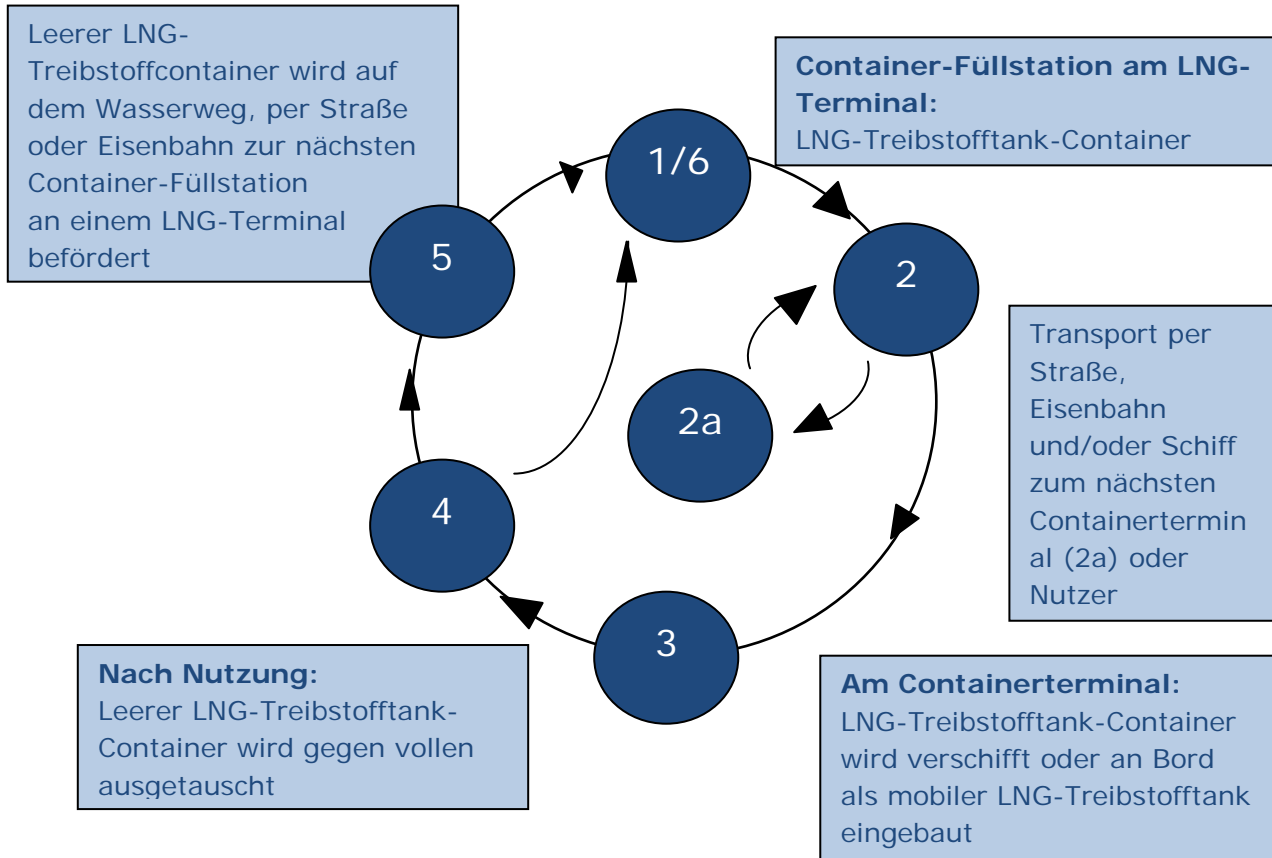


Abbildung 28 Logistiksystem LNG-Treibstofftank-Container

3. BESTEHENDE SZENARIEN

3.1 FREISETZUNG VON LNG

3.1.1 ALLGEMEINES

Zunächst ist es wichtig, das generelle Verhalten von LNG zu verstehen, bevor dieses Wissen auf die Umgebung der Binnenschifffahrt angewandt wird.

Zu dieser Frage führten zuverlässige Quellen mehrere Untersuchungen mit Tests und Praxisdemonstrationen durchgeführt.

Generell zeigen sich zwei Verhaltensmuster für LNG, nämlich LNG, das unter Umgebungsdruck gelagert ist, und LNG, das bei höherem Druck/Temperatur gelagert ist.

Der wichtigste Unterschied liegt darin, dass bei LNG, das bei höheren Drücken gelagert wird, ein Strahlbrand entstehen kann, und unter bestimmten Umständen bei einem katastrophalen Ausfall des Sicherheitsbehälters könnte eine BLEVE entstehen, wie in den nachstehenden Abbildungen 29 und 30 gezeigt.

Der nachstehende Ereignisbaum zeigt die möglichen Ereignisse beim Ausfall der Eingrenzung von LNG, das bei Umgebungsdruck und höherem Druck gelagert wird.

Event tree for a release of LNG at near-atmospheric pressure

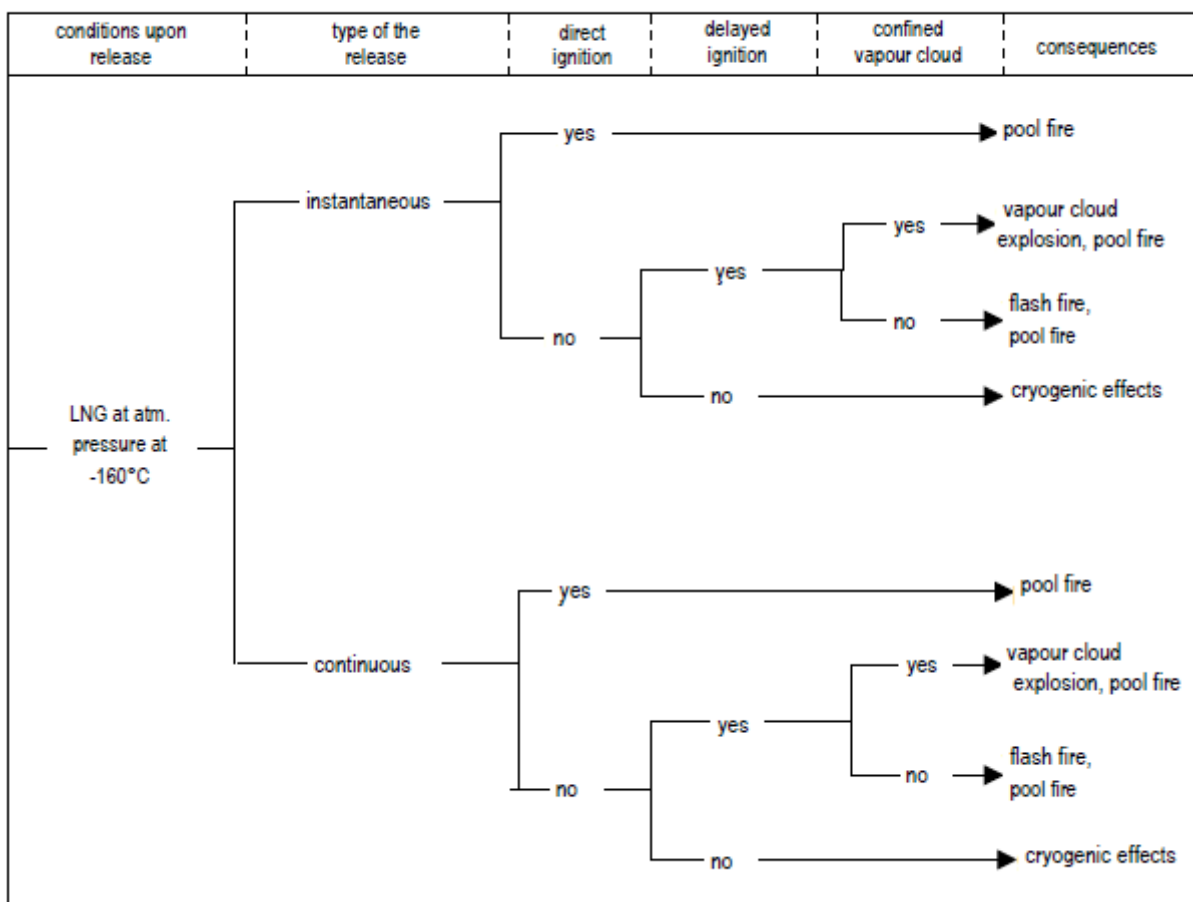


Abbildung 29 Ereignisbaum für die Freisetzung von LNG bei nahezu Umgebungsdruck

Event tree for a release of LNG at increased pressure

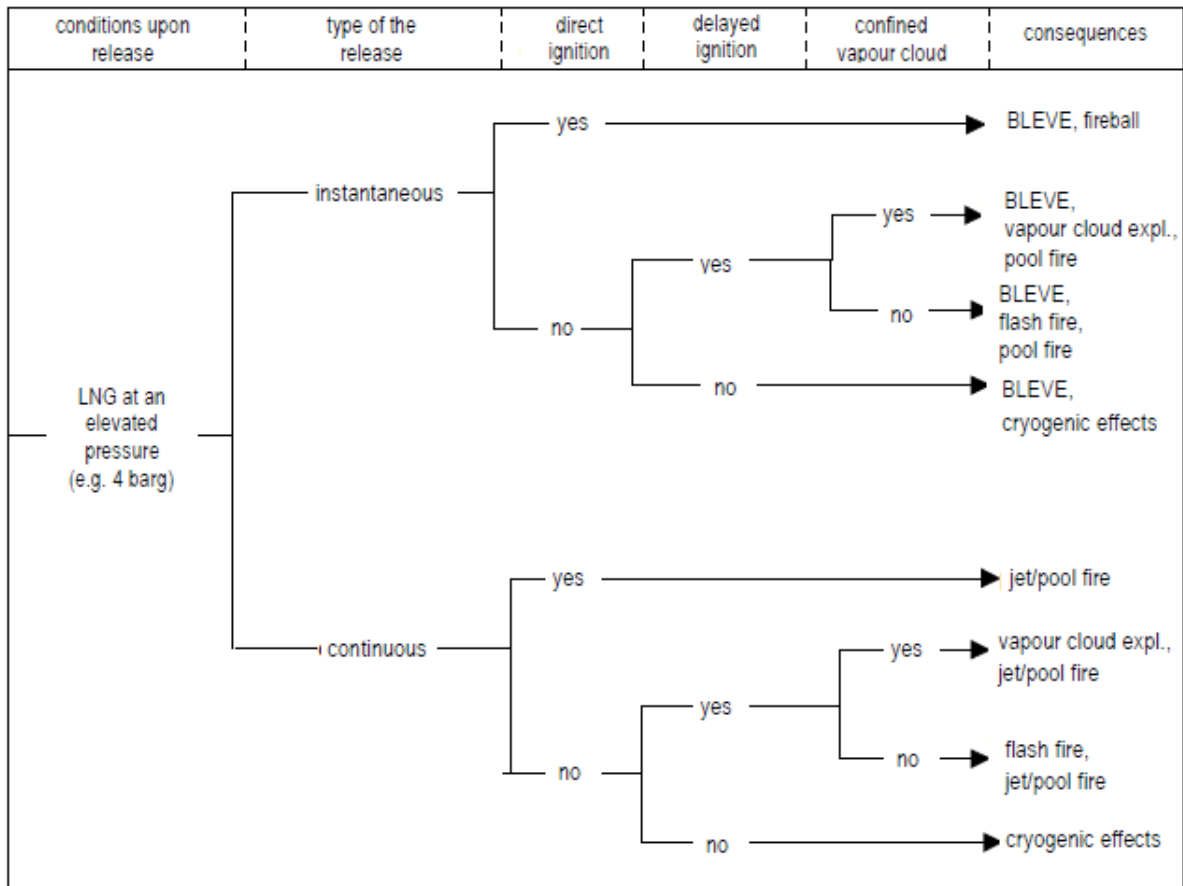


Abbildung 30 Ereignisbaum für die Freisetzung von LNG bei höherem Druck

3.1 FREISETZUNG VON DAMPF

Dampffreisetzung ist ein Ereignis, bei dem LNG bei oder nahe am Umgebungsdruck kurzfristig oder dauernd austritt und eine Lache bildet, die anfangs wegen der Wärmewirkung des Landes oder Wassers schnell verdunstet.

Bei Dampffreisetzung aus einem Tank mit Umgebungsdruck würde sich eine Lache bilden, und die Freisetzungsgeschwindigkeit hängt von der freigesetzten Menge ab. Freisetzung aus Tanks mit höherem Druck oder höherer Temperatur laufen in zwei Phasen ab: 17% ist eine Druckfreisetzung (Aerosol), die verbleibende Menge bildet eine Lache.

3.1.3 LACHENBRÄNDE

Bei direkter Entzündung des Gasdampfs über der LNG-Lache brennt das LNG mit verschiedener Geschwindigkeit ab, je nachdem, ob sich die Lache auf Land oder auf Wasser gebildet hat.

Die Wärmeintensität ist erheblich höher als bei anderen Brennstoffen, weil sich im Verbrennungsprozess kein Ruß niederschlägt, insbesondere am Ausgangspunkt der Entstehung des Lachenbrands, wodurch sich das Feuer aufgrund der Wärmestrahlung aus der Flammensäule auf angrenzende Materialien/Anlagen ausbreiten kann.

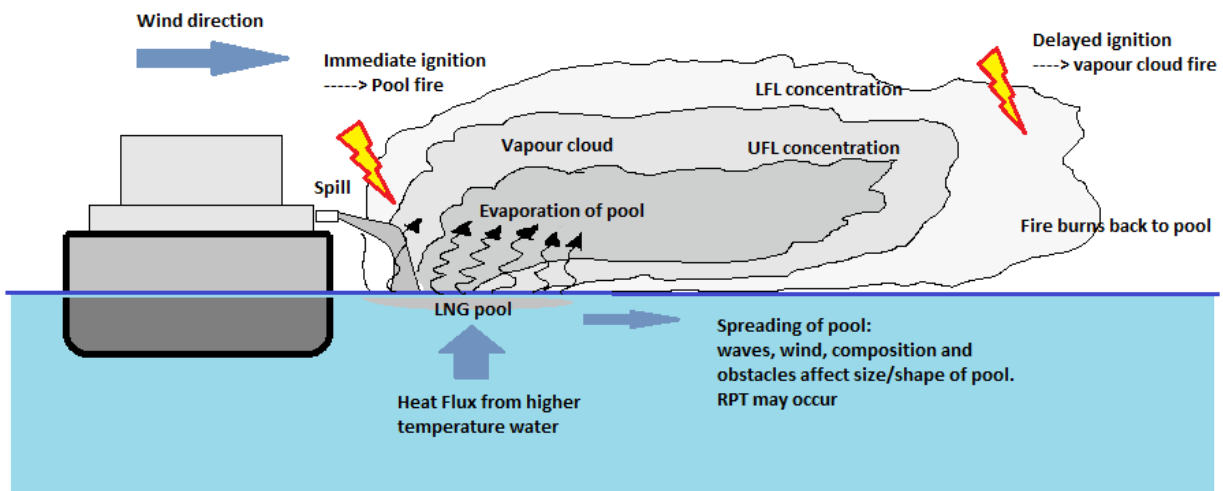


Abbildung 31 Mögliche Brandszenarien, wenn LNG auf Wasser austritt. Quelle: Luketa, Hanlin (2006).

3.1.4 RÜCKSCHLAGSBRÄNDE

Ein Rückschlagsbrand entsteht, wenn Dämpfe aus einer kurzfristigen oder dauernden Freisetzung mit dem Wind zu einer Zündquelle treiben und sich entzünden.

Wenn der Teil der Dampfwolke zwischen der unteren Explosionsgrenze (LFL) und der oberen Explosionsgrenze (UFL) auf eine Zündquelle trifft, bewegen sich die Flammen (breiten sich aus) durch die Wolke, wenn auch mit relativ geringen Geschwindigkeiten von 10 - 12 m/s, vorausgesetzt, die Dampfwolke ist nicht eingedämmt oder befindet sich in einer Umgebung mit hoher Hindernisdichte.

Ein solcher Brand wird als Rückschlagsbrand bezeichnet, weil die Entzündung zur Quelle zurückschlägt (Lache oder punktförmige Freisetzungsquelle).

3.1.5 STRAHLBRÄNDE

Ein Strahlbrand entsteht, wenn ein Gas oder eine Flüssigkeit unter Druck eine Dampfwolke bilden, die sich entzündet. Wenn sich die Dampfwolke entzündet, breiten sich Flammen zur Quelle zurück aus, aber es entsteht ein Strahlbrand vom Punkt der Freisetzung unter Druck. Die Wärmeintensität ist mit $> 300 \text{ kW/m}^2$ sehr hoch.

Ein Strahlbrand kann dramatische Auswirkungen auf Anlagen wie Tanks und Rohrleitungen haben, wenn die Flamme auf Anlagen trifft, die nicht wirksam isoliert sind. Ungeschützter Stahl fällt schnell aus, und die Situation eskaliert weiter.

LNG-Drucktanks mit nur einer Hülle sind durch Strahlbrände stark gefährdet; der Ausfall der Hülle würde den verdampfenden Stoff schnell freisetzen und einen Feuerball (BLEVE) verursachen.

3.1.6 EXPLOSION VON DAMPFWOLKEN

Bei Freisetzung von LNG, wie bereits dargestellt, bildet sich schnell eine brennbare Dampfwolke. Wenn die Entzündung verzögert erfolgt und sich die Wolke in einem umhüllten Raum oder einem Raum mit hoher Hindernisdichte befindet, wird die resultierende Flammenausbreitung so viel schneller, dass Überdruck und Sprengschäden entstehen.

3.1.7 BLEVE

Ein BLEVE tritt bei einem katastrophalen Ausfall eines LNG-Tanks unter erhöhtem Druck auf, oft in Folge von Flammenberührung (Strahlbrand) oder mechanischer Stoßbelastung der Hülle des Tankmantels. Der resultierende Druckabfall und die Entzündung der riesigen Dampffreisetzung bewirken eine Gasexplosion einer expandierenden siedenden Flüssigkeit (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - BLEVE), die sich oft als Feuerball und nachfolgender Sprengschaden manifestiert.

Bei Tanks unter höherem Druck und einwandiger Ausführung ist eine BLEVE wahrscheinlicher.

3.1.8 SCHNELLER PHASENÜBERGANG - RAPID PHASE TRANSITION RPT

Beim Freisetzen von LNG auf Wasser kann neben den vorstehend beschriebenen Unfällen ein so genannter schneller Phasenübergang (Rapid Phase Transition RPT) auftreten.

Ein RPT ist eine physikalische Explosion, die infolge des heftigen Siedens von kryogenem LNG durch intensiven Kontakt mit warmem Wasser entsteht. Da der Überdruck durch RPT auf die unmittelbare Umgebung der Freisetzung beschränkt bleibt, wird dieses Unfallszenario bei der Bestimmung des externen Risikos für Menschen normalerweise nicht betrachtet.

Tests haben gezeigt, dass dieses Phänomen auftreten könnte, wenn die Wassertemperatur hoch ist (12 - 17 °C, je nach Intensität der Vermischung) und im Kryo-Gemisch ein geringer Anteil an Methan vorliegt.

Aktuelle Vorkommnisse zeigten, dass RPT auch auftreten kann, wenn warmes Gas in ein Rohr mit LNG eingebracht wird.

3.1.9 ANDERE GEFAHREN

3.1.9.1 ERSTICKEN

Ersticken oder Asphyxie ist ein Zustand eines ernsten Mangels der Sauerstoffversorgung des Körpers, der bei gestörter Atmung eintritt. Ein Beispiel von Asphyxie ist Erdrosseln. Asphyxie bewirkt allgemeine Hypoxie, die sich in erster Linie auf das Gewebe und die Organe auswirkt.

Viele Umstände können Asphyxie bewirken, und alle sind dadurch gekennzeichnet, dass das Individuum nicht in der Lage ist, durch Atmen über einen längeren Zeitraum ausreichend Sauerstoff aufzunehmen. Asphyxie kann zu Koma oder Tod führen.

Methan wirkt auch ersticken und kann in einem geschlossenen Raum Sauerstoff verdrängen. Asphyxie kann entstehen, wenn die Sauerstoffkonzentration auf unter 16% durch Verdrängung sinkt, da die meisten Menschen eine Verminderung von 21% auf 16% ohne Nebenwirkungen ertragen können. Die Methankonzentration, bei der das Erstickungsrisiko erheblich wird, ist wesentlich höher als die Konzentration von 5 - 15% in einem brennbaren oder explosiven Gemisch.

Methan-Abgas kann in die Wohnbereiche eindringen, so dass die Besatzung des Schiffs einer erheblichen Methankonzentration ausgesetzt wird. Auf manchen Schiffen sind in den Aufenthaltsbereichen spezielle Rückgewinnungssysteme unterhalb der Ebene des Hauptdecks installiert, die dieses Gas aktiv aufnehmen und vom Bereich weggleiten.

3.1.9.2 KRYO-EFFEKTE

LNG-Lagertanks sind so ausgelegt, dass verhindert wird, dass LNG mit der inneren und äußeren Hülle in Berührung kommt, aber man kann Unfälle annehmen, bei denen LNG in Berührung mit den Hüllen käme. Es ist möglich, dass die Freisetzung von flüssigem LNG an der inneren Hülle Bereiche der Hüllkonstruktion, die nicht für Kryo-Temperaturen ausgelegt sind, niedrigen Temperaturen aussetzt.

Die internationalen Regeln zur Schiffskonstruktion fordern, dass Bereiche, wo der Inhalt der Ladungstanks austreten könnte, für den Kontakt mit Kryo-LNG ausgelegt sind.

Eine Lloyds-Studie (2001) enthält kurze Beschreibungen von 10 LNG-Austritten bei LNG-Frachtern zwischen 1965 und 1989. Bei sieben dieser zehn Austritte entstanden Sprödbrüche der Decks- oder Tankabdeckungen, bei einigen war das Schiff wegen dringender Reparaturen mehrere Wochen nicht in Betrieb. Anhand des Orts der Schäden (z. B. Decks- oder Tankabdeckung) ist anzunehmen, dass diese Freisetzungen aus den Rohrsystemen für das Umpumpen des LNG erfolgten.

Moderne Schiffe müssen auch die aktuellen Schiffskonstruktionsregeln einhalten, und in Bereichen, wo man davon ausgehen kann, dass austretendes LNG mit Abdeckungen oder Innenkonstruktionen in Berührung kommt, wird Stahl verwendet, der für niedrige Temperaturen geeignet ist.

3.2 SZENARIEN FÜR LNG IN KLEINEN MENGEN IM BINNENSCHIFFSVERKEHR

3.2.1 EINFÜHRUNG

Diese Studie zeigt die möglichen Szenarien, bei denen LNG freigesetzt werden kann, mit oder ohne resultierenden Brand. Die Studie berechnet jedoch nicht die Wahrscheinlichkeit solcher Vorkommnisse. Die Folgen wurden dargestellt und kategorisiert, damit eine Einsatzstrategie für jede Folge eines Szenarios vereinheitlicht werden kann. Die nachstehende Abbildung 32 stellt die verschiedenen Szenarien, die zu einem Versagen der Umhüllung führen können, und die generischen Möglichkeiten des Austritts dar. Alle Szenarien werden einzeln detailliert durchgesprochen.

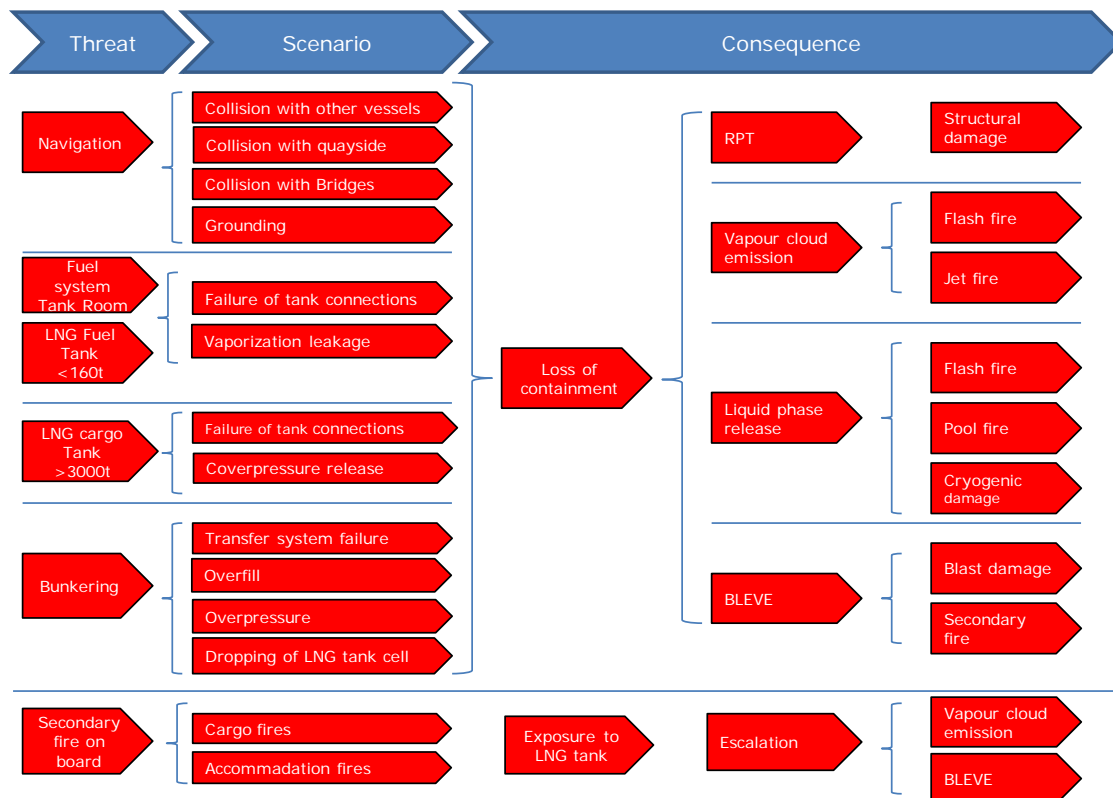


Abbildung 32 Übersicht über die möglichen Szenarien

3.2.2 POTENTIELLE GEFAHREN

Zu den potentiellen Gefahren durch das absichtliche oder versehentliche Austreten großer Mengen LNG gehört die Wärmestrahlung des Brandes einer Dampfwolke (auch als Rückschlagsbrand bezeichnet) und Lachenfeuer.

Die LNG-Fachleute [1] stimmen generell im Hinblick auf die folgenden Aspekte der potentiellen Gefahren von LNG-Bränden und -Explosionen überein:

- Dämpfe nicht entzündeter LNG-Austritte brauchen nicht weit in erschlossene Gebiete einzudringen, bis sie durch eine Zündquelle entzündet werden und die Flamme zur Austrittsquelle zurückschlägt.
- Wenn eine verzögerte Entzündung der Dampfwolke erfolgt und diese Wolke nicht begrenzt ist und viel Methan enthält, brennt das LNG in Form eines Dampfwolkenbrandes.
- Eine Dampfwolke, die über Gewerbe- und/oder Wohngebiete zieht, wird beim Treiben im Wind schnell auf eine Zündquelle stoßen, und der resultierende Dampfwolkenbrand breitet sich zur Austrittsquelle zurück aus.
- Der Dampfquellenbrand breite sich zur Austrittsquelle zurück aus und bewirkt an der Quelle einen Lachenbrand, wenn es sich um eine andauernde Freisetzung handelt und die Freisetzungsdauer länger ist als die Zeit, bis die Wolke auf eine Zündquelle trifft.
- Wenn die Dampfwolke begrenzt ist, kann die Flamme schneller werden und eine Explosion auslösen. Die Größe der Explosion und der Explosionsschaden hängen von verschiedenen Faktoren ab, u. a. der Menge der Dämpfe oberhalb der unteren Explosionsgrenze, dem Vorliegen von Hindernissen und dem Grad der Begrenzung, der Zusammensetzung der Dampfwolke und der Stärke der Zündquelle.
- Bei sofortiger Entzündung entsteht ein Lachenbrand. Die Ausbreitung der Lache (Durchmesser) und die Flammenhöhe hängen von mehreren Faktoren ab, u. a. der Fließgeschwindigkeit des LNG, der Oberfläche, auf der es austritt (Wasser oder Land), der Geometrie der Austrittsfläche, der Rauheit der Austrittsfläche, der Zusammensetzung des freigesetzten Stoffes, der Freisetzungstemperatur, der Windgeschwindigkeit in der Umgebung, der Umgebungstemperatur und der relativen Feuchtigkeit der Umgebung.
- Wenn die Flüssigkeitslache nicht begrenzt ist und viel LNG vorliegt, brennt das Feuer weiter, bis der Lachenbrand allen Brennstoff aufgebraucht hat. Es ist nicht praktisch und sogar unmöglich, große LNG-Lachenbrände aufgrund großer LNG-Austritte zu löschen, wenn nicht der LNG-Zustrom zur Lache gestoppt werden kann.
- Der Bereich der maximalen Gefahr eines Dampfwolkenbrandes durch große LNG-Austritte wird normalerweise durch Berechnung einer Ausbreitungsentfernung mit dem Wind bis zur unteren Explosionsgrenze (LFL) und einer Seitenwind-Ausbreitungsentfernung bis zu 1/2 LFL bei geringer Windgeschwindigkeit und stabilen Wetterbedingungen abgeschätzt. Wenn die Wolke über bewohntes Gebiet treibt, ist es unwahrscheinlich, dass dieser Maximalbereich der Brandgefahr erreicht wird. Wie unter vorstehendem Punkt 3 dargestellt, trifft die Wolke schnell auf eine Zündquelle, und die Flamme schlägt zur Austrittsquelle zurück, lange bevor der maximale Gefahrenbereich erreicht ist.
- Nur die Personen, die sich innerhalb der Explosionsgrenzen der Dampfwolke im Freien aufhalten, werden wohl verletzt, und zwar aufgrund der kurzfristigen Exposition gegenüber sehr hohen Wärmestrahlungsströmen des Dampfwolkenbrandes, direktem Flammenkontakt, Sekundärbrand ihrer Kleidung und Einatmen heißer Verbrennungsprodukte.
- Es wird angenommen, dass Personen, die sich zur Zeit des Rückschlagsbrands im Schiff aufhalten, unverletzt bleiben; wenn aber ein Lachenbrand entsteht, können die Personen im Schiff die brennende Konstruktion nicht ohne Verletzungen durch direkte thermische Belastung verlassen. Ein Rückschlagsbrand setzt die Wohnbereiche des Schiffs von außen in Brand und schneidet die Rettungswege ab.

3.2.3 SCHIFFSUNFÄLLE

3.2.3.1 EINFÜHRUNG

Obwohl international in Häfen bereits viele Schiffsunfälle vorkamen (17 bei 80.000 LNG-Tanker-Transporten), wurde bisher nicht von einem unkontrollierten Ausfall der Schutzhülle des LNG berichtet.

Als Ergebnis dieser Unfälle/Zusammenstöße kann die LNG-Schutzhülle verformt werden und nachfolgend LNG aus dem LNG-Treibstofftank oder dem LNG-Ladungstank in die Umgebung freigesetzt werden.

Bei folgenden Vorfällen besteht ein erhöhtes Risiko, dass die Schutzhülle versagt:

- Zusammenstoß mit anderen Schiffen
- Zusammenstoß mit Landungsstegen
- Zusammenstoß mit Brücken
- Versehentliches Auflaufen des Schiffs

3.2.3.2 ZUSAMMENSTOß MIT EINEM ANDEREN SCHIFF

Die nachstehend aufgeführten Szenarien werden mit einem Ausfall der Schutzhülle von LNG-Treibstofftanks und LNG-Ladungstanks in Zusammenhang gebracht. Die Freisetzungsmengen bei einem Treibstofftank sind maximal 160 m³, bei einem Ladungstank bis zu 1.000 m³ pro Abteilung (1.870 m³ bei einem Membrantank).

Die kinetische Energie und Platzierung des Tanks haben Einfluss auf die freigesetzte Menge und die Abfolge der Ereignisse. Ein 90°-Zusammenstoß eines Schiffs mit einem anderen ist in einem Hafengebiet ein wahrscheinliches Szenario, während auf einem Fluss bei einem Zusammenstoß eher Bug und Heck zusammenstoßen, was geringere Stoßkräfte bewirkt. Wie in diesem Bericht bereits dargestellt, wenn die Treibstofftanks von Tanker und Schiff gemäß den IMO-Standards konstruiert sind, müssen mindestens 780 mm Abstand zur Trennung zwischen der Bootshaut und der Tankeinheit liegen.

Anhand früherer Studien wurden drei Freisetzungsszenarien bei Zusammenstößen festgelegt. Diese können dem Fluxys Report entnommen werden, um die Möglichkeiten der Folgen/Eskalation festzulegen. Lücken in der Schutzhülle wurden für Löcher mit einem Durchmesser von 1.000 mm, 150 mm und 75 mm definiert, um die Freisetzungsraten und Größe des entstehenden Lachenfeuers abzuschätzen.

Die Schiffbauer stimmen darin überein, dass das maximale Fassungsvermögen eines Tanks auf Binnenwasserstraßen bei ca. 800 m³ liegt; daher kann aus der nachstehenden Tabelle ein direkter Zusammenhang zwischen den geschätzten Freisetzungsmengen und den vorstehenden Lochgrößen hergestellt werden.

Schiffskapazität	Loch (Ø = 75 mm)			Loch (Ø = 150 mm)			Loch (Ø = 1.000 mm)		
	Rate	Dauer	Freigesetzte Masse	Rate	Dauer	Freigesetzte Masse	Rate	Dauer	Freigesetzte Masse
	[kg/s]	[s]	[t]	[kg/s]	[s]	[t]	[kg/s]	[s]	[t]
800 m ³	48,3	1.800	86,7	193,3	1,032	198,2	8,592	24	213,1

Tabelle 3 Repräsentative Freisetzungsraten für LNG bei Schiffsunfällen mit LNG-Schiffen und warmem LNG (-138 °C, 4 barg), Quelle: Fluxys

Ein Zusammenstoß mit Beschädigung des LNG-Tanks kann zur Freisetzung von Flüssigkeit in den Trennbereich zwischen Tank und Bootshaut führen; bei einer starken Beschädigung ist eine Freisetzung direkt ins Wasser möglich.

Es besteht die Möglichkeit, dass der Kryo-Austritt die Konstruktion des Schiffes in Mitleidenschaft zieht und sich aufgrund des Sprödebruchs der Schiffskonstruktion das Ausmaß des Vorfalls ausweitet. Da dies möglich ist, gibt es Konstruktionen und physische Vorrichtungen, die aufgrund von Kryo-Effekten die Eskalation beschränken (z. B. Tankabtrennung, Wassereintritt, Interaktion mit dem anderen am Zusammenstoß beteiligten Schiff).

Auch die Stelle der Beschädigung kann Einfluss auf die Freisetzung haben. Eine Beschädigung der Schutzhülle oberhalb der Wasserlinie würde ein Austreten eines Teils des Tankinhalts (69%) bedeuten).

Das ausgetretene LNG auf dem Wasser erwärmt sich, wodurch mehr LNG verdunstet. Eine nicht eingedämmte Lache kann in der Nähe des Auslaufs 100 mm tief sein und wird zu den Rändern hin dünner, wo sie noch 1 mm tief ist. Die Ausbreitung des LNG auf dem Wasser wird durch Wind und die Auswirkung der Strömung im Fluss beeinflusst.

Die Größe der Lache stabilisiert sich, wenn der Ausfluss aus der Freisetzung der Verdunstungsrate der Lachen an den Außenrändern entspricht. Der Durchmesser der freigesetzten Lache vor einer verzögerten Entzündung wurde ebenfalls geschätzt. Sie ist aus der nachstehenden Tabelle zu ersehen. Dabei sind die 800 m³ als häufigste Größe zugrunde gelegt.

Schiffstyp	800 m ³
Loch (Ø = 75 mm)	9,2 m
Loch (Ø = 150 mm)	18,3 m
Loch (Ø = 1,000 mm)	115,7 m

Tabelle 4 Berechnete Durchmesser des Lachenbrands, die nach einer Freisetzung von kaltem LNG infolge eines Schiffsunfalls und verzögerter Entzündung auftreten können

Eine Beschädigung der Schutzhülle unterhalb der Wasserlinie sähe anders aus, da der Ausfluss durch den Gegendruck des Wasser gegen das LNG eingedämmt wird. Allerdings wären im Gegensatz zum Szenario oberhalb der Wasserlinie 100% der Ladung verloren.

Wassereintritt in den Tank ist unwahrscheinlich, aber es würde sich erhöhter Dampfdruck aufbauen, wodurch das Sicherheits-Druckentlastungsventil anspricht. Ein anderes Problem ist die plötzliche Reaktion von LNG im Wasser (RPT), wodurch möglicherweise die Konstruktion beschädigt wird.

Wenn die Gasfreisetzung und LFL eine Zündquelle erreicht, würde ein Rückschlagsbrand entstehen, wobei die Ränder innerhalb von Sekunden abbrennen und sich eine Flammenfront mit ca. 10 m/s zur Hauptlache zurückbewegt. Die Lache brennt ab.

Auch Einwirkungen aus der Umgebung sind zu berücksichtigen. Die möglichen Folgen einer verzögerten Entzündung in Gebieten mit vielen Hindernissen wie städtischen Gebieten und stark bewaldeten Küsten könnten der Aufbau eines Überdrucks und entsprechenden Sprengschaden sein.

Ähnlich könnten kleinere Freisetzungen in die umgrenzten Bereiche zwischen Tank und Bootshaut eine Dampfwolkenexplosion nach sich ziehen, wenn sich Gas aufbaut und sich das Gas verzögert entzündet.

Das nachstehende Diagramm zeigt die möglichen Szenarien und Folgen bei Schiffsunfällen.

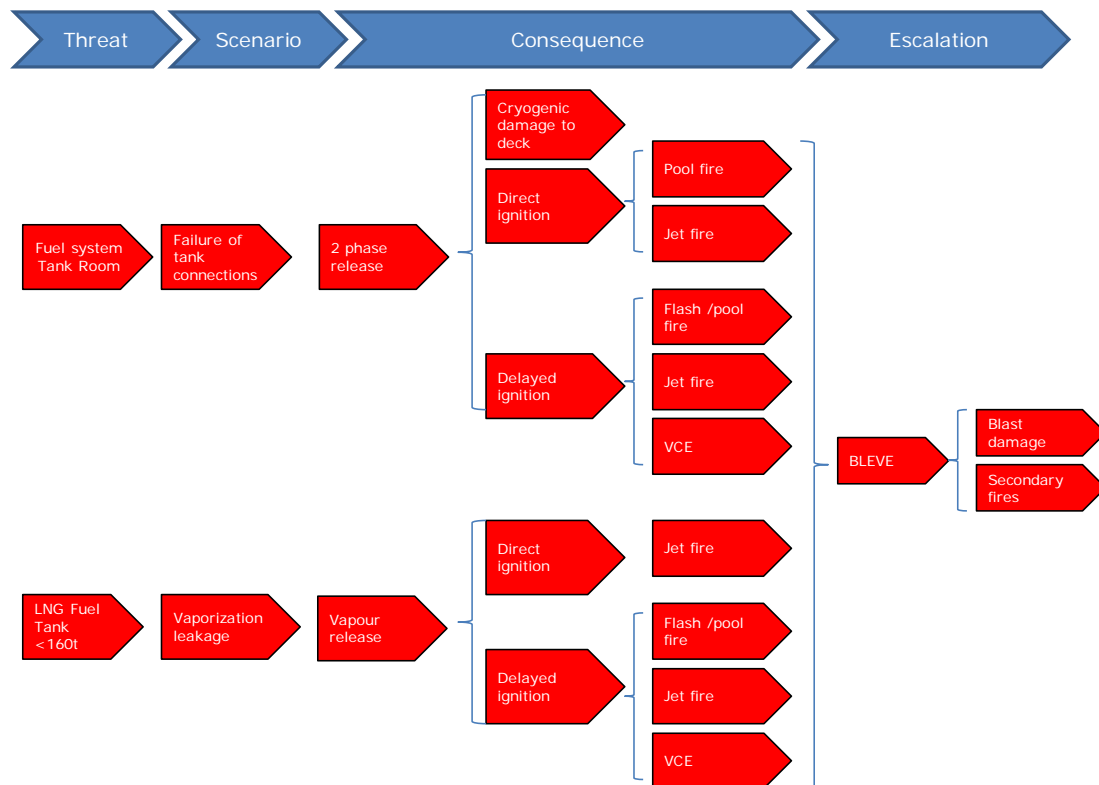


Abbildung 33 Ereignisbaum für Schiffsunfälle

3.2.3.3 ZUSAMMENSTOß MIT DEM KAI

Ein Zusammenstoß mit dem Liegeplatz beim Manövrieren ist ein wahrscheinlicher Schiffsunfall, aber aufgrund der geringen Geschwindigkeiten beim Manövrieren ist die Freisetzung von LNG unwahrscheinlich.

Ein Unfall mit einem LNG-Schiff am Liegeplatz, auf das ein anderes Schiff auffährt, ist wahrscheinlich ein realistischeres Szenario.

Bei einem solchen Vorfall kann die Schutzhülle beschädigt werden und z. B. LNG beim Bunkern freigesetzt werden oder die Schutzhülle des Tanks direkt beschädigt werden.

3.2.3.4 ZUSAMMENSTOß MIT EINER BRÜCKE

Die LNG-Lagertanks auf Deck sind nicht vor Beschädigungen von außen geschützt, daher kann man realistischerweise Beschädigungen des Tanks und möglicherweise die Freisetzung von LNG oder Gasdampf erwarten, wenn das Schiff mit einer Brücke zusammenstößt. Die Folgen wären Lachen-, Rückschlags- und Strahlbrand, je nach dem Druck im Tank.



Abbildung 34 Schaden nach einer Kollision auf der Elbe (Deutschland)

3.2.3.5 AUFLAUFEN

Wenn ein Schiff aufläuft, ist das meistens kein direktes Problem für die Sicherheit der Besatzung und der Anwohner. Dies hängt von der Beschädigung des Laderaums oder Treibstofftanks und der Möglichkeit von Austreten von Gefahrstoffen in Wasser oder Luft ab.

Bei einem Schiff mit LNG-Antrieb muss LNG-Treibstoff an Bord gelagert werden. Wenn sich der LNG-Treibstofftank auf Deck befindet, wird der Tank bei einem Auflaufen nicht beschädigt.

Wenn sich der LNG-Treibstofftank unter Deck befindet, besteht ein geringes Risiko, dass der Tank beschädigt wird, wenn die Wirkung des Auflaufens auf die Bootshülle mehr als 0,8 m beträgt. Wenn der LNG-Treibstofftank beschädigt wird und LNG austritt, kommt das LNG direkt in Kontakt mit Wasser, und dies könnte zur RPT und der Entwicklung einer Gas-/Dampf Wolke auf der Wasserfläche kommen. Die plausibelste Beschädigung sind kleine Risse im verformten Metallgehäuse des LNG-Treibstofftanks.

Wenn die Vakuumisolierung des LNG-Treibstofftanks beschädigt wird und die innere Metallhülle des Tanks intakt ist, erwärmt sich das LNG durch die Umgebungstemperatur der Luft oder des Wassers (wenn die Bootshaut undicht ist). Der Druckverlust des LNG durch Verdunstung steigt, und das Sicherheitsventil öffnet sich. Der LNG-Tank läßt über das Not-Druckentlastungsventil auf dem LNG-Treibstofftank lange (je nach Menge des LNG) Druck ab.

3.2.4 UNFÄLLE MIT TREIBSTOFFEINRICHTUNGEN (SCHIFFE MIT LNG-ANTRIEB)

Konstruktion und Sicherheitsvorkehrungen für Lagertanks und Treibstoffsysteme an Bord minimieren die Wahrscheinlichkeit eines Vorfalls/Unfalls; jedoch wurde eine ganze Reihe von Szenarien festgestellt, bei denen die Schutzhülle beschädigt wird, was die bekannten Folgen hat. Diese Szenarien sind:

- Ausfall der Tankanschlüsse
- Ausfall des Gassystems, z. B. des Verdampfers im Tankraum
- Freisetzen von Dampf im Maschinenraum

Die Freisetzung von Flüssigkeit oder der Ausfall eines Tank-/Rohranschlusses können eine ganze Reihe von Folgen haben. Erstens kann der Kryo-Effekt der Flüssigkeit das Deck und Konstruktionsbeile beschädigen, wenn diese Bauteile nicht vor extrem niedrigen Temperaturen geschützt sind. Das nachstehende Foto zeigt den Schaden an Deckplatten aufgrund eines LNG-Lecks.



Abbildung 35 Kaltriss der Decksplatte. Quelle: DNV GL.

Die generischen Vorkommnisse für die Freisetzung von Dampfgas und ihre Folgen können hier angewandt werden, insbesondere die Freisetzung einer Flüssigkeit, die eine entzündliche Lache bildet, die sich zu einem Lachenbrand entwickeln könnte, oder verzögerte Entzündung, die zu einem Rückschlagsbrand oder einer Dampfwellenexplosion in eingeschränkten Bereichen bewirkt.

Die Freisetzung von Druck aus Tanks würde Strahlbrand und mögliche Lachenbrände nach sich ziehen. Wenn die Flammen auf den unter Druck stehenden Tank treffen, wobei ein katastrophaler Ausfall des Tanks entsteht, wäre eine BLEVE das Ergebnis.

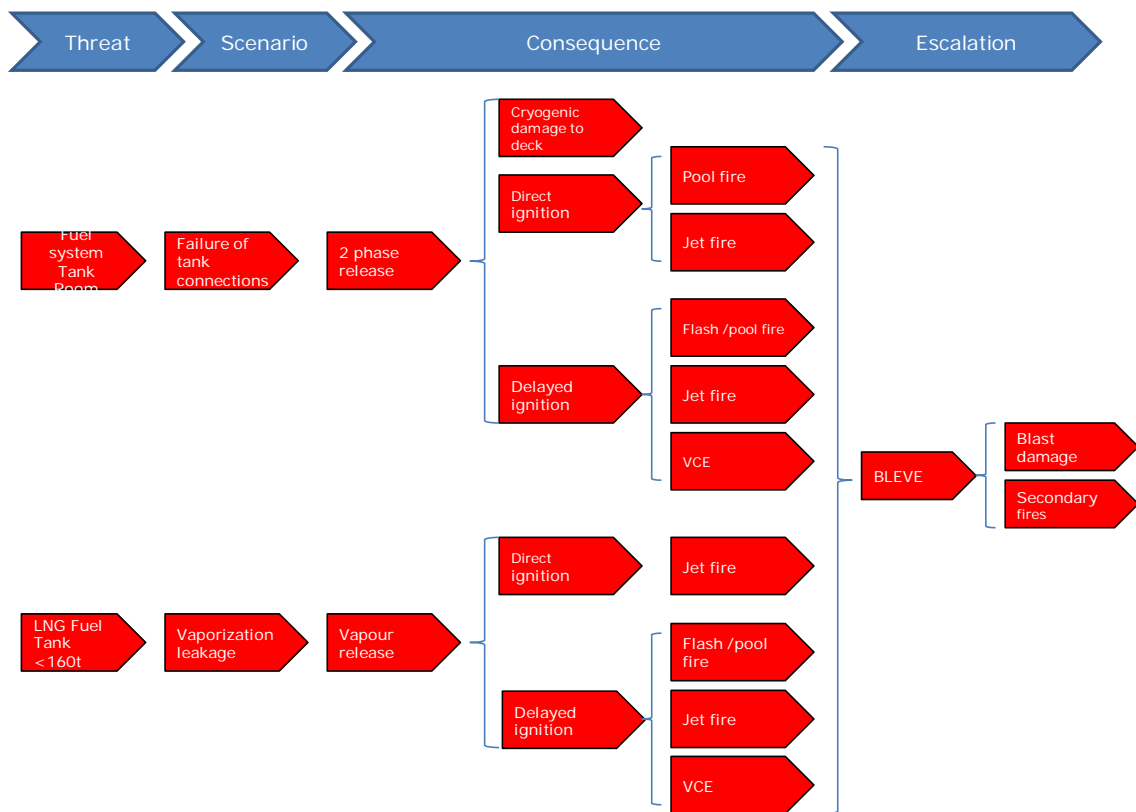


Abbildung 36 Ereignisbaum für Bauteile des Treibstoffsystems

3.2.5 SZENARIO FÜR UNFÄLLE MIT LADUNGSTANKS

Die Szenarien im Hinblick auf das Schutzsystem eines Ladungstanks ähneln den vorstehend beschriebenen für das Treibstofftankensystem, nur die Freisetzungsmengen sind größer (bis zu 1000 m³).

Zusätzlich zu Szenarien des Austritts einer Flüssigkeit aus dem Tank könnten Situationen entstehen, bei denen das Gassystem auf diesen Tanks zum Sieden kommt. Diese Szenarien umfassen die Freisetzung von Dampf in die Atmosphäre aus Abzugsrohren, wenn der Druck im Tank die Betriebsgrenzen übersteigt. Ein glaubhaftes Szenario könnte die einfache Entzündung des Dampfes aus einem Rohr sein, z. B. der Einschlag eines Blitzes in das Entlüftungrohr des Schiffs.

3.2.6 SZENARIO IM ZUSAMMENHANG MIT DEM BUNKERN

3.2.6.1 EINFÜHRUNG

Dieser Bericht behandelt vorrangig das Umpumpen von Schiff zu Schiff und von Tankwagen zu Schiff; aber auch das Umpumpen von einem größeren Terminal zum Schiff kann darunter fallen. Obwohl die Mengen des umgepumpten Produkts unterschiedlich sind, wären die Szenarien doch ähnlich.

Ein anderes besprochenes Verfahren neben dem Umpumpen des Produkts durch flexible Schläuche ist die Beladung einer Tankzelle - eines Containers, der auf das Schiffsdeck geladen wird und dann an das Treibstoffsystem des Schiffs angeschlossen wird.

Die wesentlichen festgestellten Szenarien sind:

- Ausfall des Umpumpsystems (Schlauch, Arme und Anschlüsse)
- Überfüllen des Bunkertanks
- Zu hoher Druckaufbau im Bunkertank
- Abstürzen einer Tankzelle beim Umsetzen durch den Kran

Die nachstehende Tabelle zeigt die erwarteten Mengen und Schlauchgrößen für verschiedene Bunkerabläufe.

Arten des Bunkerns	Fassungsvermögen des Bunkers (Empfänger)	Umpumpgeschwindigkeit	Durchmesser des Schlauchs oder Arms
Tankwagen zu Schiff	$\leq 160 \text{ m}^3$	$100 \text{ m}^3/\text{h}$	$\leq 3''$
Schiff zu Schiff	$\leq 3.000 \text{ m}^3$	$1.000 \text{ m}^3/\text{h}$	$\leq 6''$
Terminal zu Schiff	$\leq 4.000 \text{ m}^3$	$3.000 \text{ m}^3/\text{h}$	$\leq 10''$

Tabelle 5 Beispiele für Umpumpraten und Schlauchdurchmesser. Quelle: Fluxys

Eine Schlauchleitung kann beim Bunkern bersten oder dauernd lecken, bis die automatische/manuelle Notabschaltung aktiviert wird. Die freigesetzte Menge hängt von der Größe der Schläuche ab. Zuerst ein Umpumpen vom Tankwagen mit einer 3"-Leitung, dann eine höhere Umpumprate von Schiff zu Schiff, wo Gasrückführungsschläuche zum Einsatz kommen. Die entsprechenden Lachen wurden in den vorstehenden Tabellen abgeschätzt.

3.2.6.2 FREISETZUNGEN BEIM BUNKERN VOM TANKWAGEN ZUM SCHIFF

Die folgenden Freisetzungen vom Tankwagen zum Schiff können zum Einsatz kommen:

Typ des (Ent-)Ladeschlauchs oder -arms	Bedingungen: -160 °C, 5 barg		Bedingungen: -138 °C, 9 barg	
	Reißen	Leck	Reißen	Leck
3" LNG (50 m ³ /h)	8,9 kg/s	0,56 kg/s	8,0 kg/s	0,72 kg/s
3" LNG (100 m ³ /h)	17,7kg/s	0,56 kg/s	16,0 kg/s	0,72 kg/s

Tabelle 6 Freisetzung von LNG nach Ausfall des Be- oder Entladeschlauchs oder -arms beim Be-/Entladen eines Tankwagens. Quelle: Fluxys

Die folgenden Lachendurchmesser können herangezogen werden:

Installation	Art des Ausfalls	Direkte Entzündung	Verzögerte Entzündung
3"-Schlauch oder - Arm (50 m ³ /h)	Reißen	149 m ² (Ø = 138 m)	1.089 m ² (Ø = 138 m)
	Leck	10 m ² (Ø = 138 m)	34 m ² (Ø = 138 m)
3"-Schlauch oder - Arm (100 m ³ /h)	Reißen	84 m ² (Ø = 138 m)	542 m ² (Ø = 138 m)
	Leck	10 m ² (Ø = 138 m)	34 m ² (Ø = 138 m)
(Ent-)Ladepumpe	Leck	10 m ² (Ø = 138 m)	34 m ² (Ø = 138 m)

Tabelle 7 Maximale Größe des Lachenbrands auf der Ladung bei direkter oder verzögerter Entzündung des versehentlich freigesetzten LNG (keine Sicherheitshülle, -160 °C) auf Land. Quelle: Fluxys

3.2.6.3 FREISETZUNGEN BEIM BUNKERN SCHIFF ZU SCHIFF TERMINAL ZU SCHIFF

Die folgenden Freisetzungen beim Bunkern Schiff zu Schiff / Terminal zu Schiff können für den Entladeschlauch oder -arm hinzugezogen werden:

Typ des (Ent-)Ladeschlauchs oder -arms	Bedingungen: -160 °C, 5 barg		Bedingungen: -138°C, 9 barg	
	Reißen	Leck	Reißen	Leck
4" LNG	35,42 kg/s	1,0 kg/s	32,1 kg/s	1,3 kg/s
6" LNG	88,55 kg/s	2,3 kg/s	80,2 kg/s	2,9 kg/s
8" LNG	177,1 kg/s	4,0 kg/s	160,4 kg/s	5,1 kg/s
10" LNG	265,6 kg/s	6,3 kg/s	240,6 kg/s	8,0 kg/s
12" LNG	354,2 kg/s	9,0 kg/s	320,8 kg/s	11,5 kg/s
14" LNG	531,3 kg/s	12,3 kg/s	481,3 kg/s	15,6 kg/s

Tabelle 8 Freisetzung von LNG nach Ausfall des Be- oder Entladeschlauchs oder -arms beim Be-/Entladen eines Schiffs. Quelle: Fluxys

Die nachstehenden Freisetzungen beim Bunker Schiff zu Schiff / Terminal zu Schiff können für den Gasrückführungsschlauch oder -arm herangezogen werden.

Typ des (Ent-)Ladeschlauchs oder -arms	Bedingungen: -160 °C, 5 barg		Bedingungen: -138°C, 9 barg	
	Reißen	Leck	Reißen	Leck
4"-Dampfrückführung	0,7 kg/s	0,007 kg/s	4,2 kg/s	0,04 kg/s
6"-Dampfrückführung	1,3 kg/s	0,01 kg/s	7,5 kg/s	0,08 kg/s
8"-Dampfrückführung	2,8 kg/s	0,03 kg/s	16,9 kg/s	0,17 kg/s
10"- Dampfrückführung	3,9 kg/s	0,04 kg/s	23,0 kg/s	0,23 kg/s
12"- Dampfrückführung	5,0 kg/s	0,05 kg/s	30,1 kg/s	0,30 kg/s
14"- Dampfrückführung	7,8 kg/s	0,08 kg/s	47,0 kg/s	0,47 kg/s

Tabelle 9 Freisetzung von LNG nach Ausfall eines Gasrückführungsschlauchs oder -arms beim Be-/Entladen eines Schiffs. Quelle: Fluxys

Die folgenden Lachendurchmesser können herangezogen werden:

Typ des (Ent-)Ladeschlauchs oder -arms	Direkte Entzündung		Verzögerte Entzündung	
	Reißen	Leck	Reißen	Leck
4"-LNG	127 m ² (Ø = 12,7m)	13,5 m ² (Ø = 12,7m)	201 m ² (Ø = 12,7m)	5,7 m ² (Ø = 12,7m)
6"-LNG	314 m ² (Ø = 12,7m)	8,0 m ² (Ø = 12,7m)	507 m ² (Ø = 12,7m)	12,6 m ² (Ø = 12,7m)
8"-LNG	629 m ² (Ø = 12,7m)	14,5 m ² (Ø = 12,7m)	1,012 m ² (Ø = 12,7m)	22,9 m ² (Ø = 12,7m)
10"-LNG	940 m ² (Ø = 12,7m)	22,1 m ² (Ø = 12,7m)	1,514 m ² (Ø = 12,7m)	35,3 m ² (Ø = 12,7m)
12"-LNG	1,257 m ² (Ø = 12,7m)	32,2 m ² (Ø = 12,7m)	2,019 m ² (Ø = 12,7m)	51,5 m ² (Ø = 12,7m)
14"-LNG	1,886 m ² (Ø = 12,7m)	44,2 m ² (Ø = 12,7m)	3,039 m ² (Ø = 12,7m)	69,4 m ² (Ø = 12,7m)

Tabelle 10 Maximale Größe des Lachenbrands bei Freisetzung auf Wasser bei direkter oder verzögerter Entzündung. Quelle: Fluxys

Die vorgenannten Mengen basieren auf der Annahme, dass ein Notabschaltsystem (automatisches oder manuelles System) innerhalb von 120 Sekunden anspricht.

Szenarien, wo sich das Schiff - egal, ob Empfängerschiff oder Bunkerschiff - versehentlich von der Vertäuung losreißt und die Nottrennkupplung nicht funktioniert, können die vorstehenden Freisetzungsraten angesetzt werden.

Lecks der Schlauchleitungen oder -arme bewirken eine Lache, aus der sich eine Dampf Wolke entwickelt, die sich direkt oder verzögert entzünden können. Die Folgen wurden in den vorstehenden Ereignisbäumen für Lachenbrände bereits dargestellt.

Kryo-Schäden an den Deckplatten des Schiffs sind ebenfalls zu berücksichtigen, auch wenn eine Eskalation hier unwahrscheinlich ist.

3.2.7 ÜBERFÜLLEN

Maßnahmen zum Verhindern von Überfüllen müssen dieses spezifische Szenarien ausschalten, können aber als mögliches Szenario nicht vollkommen außer acht gelassen werden. Wenn ein Tank zu sehr befüllt wird, dann steigt der Dampfdruck im Tank an, wodurch das Druckentlastungsventil über das Entlüftungsrohr über Deck aktiviert wird.

3.2.8 ÜBERDRUCK IM BUNKERTANK

Während des Bunkerns kann Überschwappen aufgrund der hohen Überpumpgeschwindigkeiten auch zu Erwärmen des LNG führen und den Druck im Tank soweit erhöhen, bis das Druckentlastungsventil anspricht. Die Freisetzung in die Atmosphäre sollte kein Problem sein, sofern sich keine Zündquelle in der Nähe des Entlüftungsauslasses befindet, z. B. zu große Nähe an den Zündquellen des bunkernden Schiffes.

3.2.9 LNG-TREIBSTOFFZELLE

LNG-Tankcontainer könnten zur Versorgung mit Treibstoff zum Antrieb der Schiffsmotoren oder als Teil des Ladung auf das Schiff geladen werden. Auf jeden Fall besteht die Gefahr, dass der Tank beim Umladen mit einem Kran herunterfällt. Die Folgen beim Herunterfallen eines Containers wären ähnlich dem Szenario bei einer Lache oder einer Druckfreisetzung, mit oder ohne Brand, und wenn ein katastrophaler Ausfall einer Schutzhülle auftritt, könnte auch eine BLEVE auftreten.

3.2.10 SEKUNDÄRE BRÄNDE AN BORD OHNE BETIEILIGUNG VON LNG

Ein Brand an Bord, unabhängig davon, ob er von der Ladung (außer LNG), den Wohnbereichen oder sogar anderen Vorfällen in der Umgebung herrührt, könnte sich auf das an Bord gelagerte LNG auswirken. Realistische Vorkommnisse wären z. B. die Exposition des Tanks oder von Zusatzausstattung gegenüber hohen Temperaturen, die ihrerseits die ursprünglichen Phasen zu einer Dampffreisetzung und in Extremsituationen zu einem Totalausfall des Schutzhüllensystems führen könnten oder zu einer möglichen BLEVE.

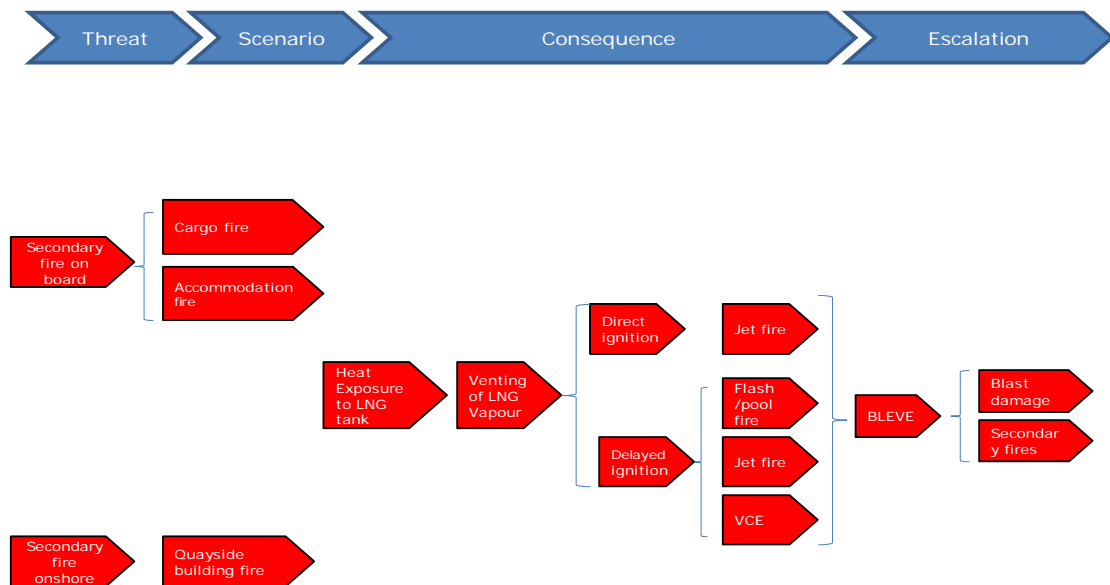


Abbildung 37 Ereignisbaum für andere Brände als unter Beteiligung von LNG.

3.3 BETRIEBSBEREITSCHAFT: ÜBERSICHT ÜBER DIE HÄFEN

Die Häfen an Rhein-Main-Donau, die an der Studie beteiligt waren, erhielten einen Fragebogen von der Projektgruppe. Die Informationen, die diese fünf Häfen entlang des Rheingebiets Falck übersandten, wurden dazu verwendet, zu beschreiben, wie LNG, die Einsatzbereitschaft bei (unvorhergesehenen) Szenarien und die Notfalleinsätze bisher umgesetzt wurden.

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der teilnehmenden Häfen in alphabetischer Reihenfolge vorgestellt.

3.3.1 HAFEN ANTWERPEN

Der Hafen Antwerpen beauftragte Rotterdam einen unabhängigen Dritten mit einer Risikostudie, um einen Eindruck von Bedeutung und Auswirkungen von LNG zu bekommen, nicht nur für die Binnenschifffahrt, sondern auch im größeren Maßstab (wichtige Terminals mit seefähigen Schiffen).

Die Studie zeigte den Umfang der LNG-Risiken für Antwerpen. Sechs Risiken wurden anhand der Beschädigung der Schutzhülle aufgrund folgender Situationen festgestellt:

- Lagerung in kleinen Mengen
- Beladung des Schiffs im Inland
- Bunkern
- Zusammenstöße zwischen zwei Schiffen

Es wurden Maßnahmen zur Verringerung der festgestellten Risiken ergriffen. Sie basieren auf Studien und Erfahrung, z. T. auf dem gesunden Menschenverstand und Kenntnissen im Unternehmen oder andernorts.

Einige der Maßnahmen können als gesetzliche Richtlinien gelten.

In Antwerpen sind Arbeitsanweisungen für LNG eingeführt. Die Informationen für diese Anweisungen stammen aus privaten sowie öffentlichen Quellen.

Der Hafen stellte fest, dass kein/e ausreichendes/n Notfallteam/s für Notfalleinsätze eingerichtet sind. Die (regulären) Notfalleinsatzteams sind nicht ausreichend groß (oder nur teilweise groß genug) und nicht ausreichend sachkundig, um mögliche LNG-Szenarien zu beherrschen. Aber gleichzeitig stellte die Person, die den Fragebogen ausfüllte, fest, dass Mitarbeiter ausreichend geschult waren, um bei üblichen Vorfällen einen effektiven Notfalleinsatz sicherzustellen.

Es gibt keine Angaben zur Leitung bei den verschiedenen Szenarien, und es sind keine Notfallpläne erstellt. Die Anforderungen der Szenarien sind nicht in Notfallplänen vorgesehen. Auch entsprechen die jetzigen Anlagen des Lösch- (Feuerlösch-) Systems (z. B. Pulver- und Schaumlöscher) nicht den Mindestanforderungen der guten Industriepraxis. Nur teilweise ist eine mobile Feuerlöschrüstung verfügbar.

Nur zum Teil bestehen umfassende Anlagen für den Fall einer Notabschaltung.

Der Einsatzleiter ist im Krisenmanagement geschult. Der Leiter hat direkte Verbindung zu anderen zuständigen Behörden und anderen Behörden im Einflussbereich von LNG in kleinen Mengen. Letztendlich bestehen gute Kontakte mit (unabhängigen) Medien, um die Öffentlichkeit bei einem LNG-Notfall zu informieren.

Zuständig für LNG sind die Umweltschutzagentur (EPA), die Hafenbehörde und die Lösch- und Rettungsdienste, wobei beiden letzteren eine Schlüsselrolle zukommt.

3.3.2. HAFEN MANNHEIM

In Mannheim liegen keine Untersuchungsergebnisse über die Einsatzbereitschaft für LNG-Unfälle vor. Der Hafen hat teilweise Verfahren zum Beherrschen einiger LNG-Szenarien erstellt.

Das Notfallteam zum Einsatz in Notfällen ist teilweise geschult. Das Team ist für das Beherrschen von LNG-Notfällen nur annähernd groß genug und wenig kompetent.

Es liegen keine Angaben zu Leitlinien für die Szenarien vor.

Das bestehende Feuerlöschsystem (Pulver und Schaum), und die verfügbaren Kapazitäten und Merkmale entsprechen den geltenden Mindestanforderungen der Branche.

Der EPA komme eine Schlüsselrolle bei den Richtlinien im Hinblick auf LNG zu.

Neben der EPA spielen die Hafenbehörde und die Feuerwehren im Hinblick auf LNG nur eine untergeordnete Rolle.

Keine dieser Parteien spielt eine wesentliche Rolle beim Beherrschen von LNG-Szenarien.

Der Einsatzleiter ist im Krisenmanagement, für reguläre Notfalleinsätze geschult. Der Leiter steht im direkten Kontakt mit (anderen) Behörden.

3.3.3. HAFEN ROTTERDAM

Ähnlich wie Antwerpen beauftragte Rotterdam einen unabhängigen Dritten mit einer Risikostudie, um einen Eindruck von Bedeutung und Auswirkungen von LNG zu bekommen, nicht nur für die Binnenschifffahrt, sondern auch im größeren Maßstab.

Die Bewertung zeigte den Umfang der LNG-Risiken auf: verschiedene Risiken wurden festgestellt, z. B. LKW- und Eisenbahnverladung, Tankstellen und LNG in größerem Umfang.

Es wurden Maßnahmen zur Verringerung der festgestellten Risiken ergriffen. Sie basieren auf Studien und Erfahrung.

Es bestehen grundlegende Richtlinien für Szenarien, auf die die Mitarbeiter in den Terminals und auf den Schiffen zurückgreifen können, sie beziehen sich aber auf das Beherrschen kleiner Vorfälle, z. B. Brand auf der Brücke oder im Maschinenraum. Es gibt allerdings keine Vorgaben für das Vorgehen der Besatzung, wenn ein Vorfall/Unfall nicht eingedämmt werden kann.

Einige der Maßnahmen können als gesetzliche Richtlinien gelten. Die vorliegenden Arbeitsanweisungen sind für Notfälle nicht ausreichend. Die Informationen für diese Anweisungen stammen aus der Zusammenarbeit von privaten und öffentlichen Stellen.

Der Hafen gab an, für Notfälle ein teilweise ausreichende/s Notfall-Einsatzteam/s zu haben (in Rotterdam wird der Einsatz von einer Partnerschaft zwischen dem öffentlichen Sektor und der Privatwirtschaft organisiert). Die (regulären) Notfalleinsatzteams sind nur teilweise ausreichend groß und auch nur zum Teil ausreichend sachkundig, um mögliche LNG-Szenarien zu beherrschen.

Es gibt Angaben zur Leitung bei den verschiedenen Szenarien, und es sind Notfallpläne erstellt. Dennoch entsprechen die jetzigen Pulverlöschanlagen nicht den geltenden Mindestanforderungen der Branche. Andererseits sind mobile Feuerlöschanlagen vollständig vorhanden.

Umfassende Szenarien für den Fall einer Notabschaltung liegen vor.

Der Einsatzleiter ist im Krisenmanagement geschult. Der Leiter hat direkte Verbindung zu anderen zuständigen Behörden und anderen Behörden im Einflussbereich von LNG in kleinen Mengen. Auf in Rotterdam bestehen gute Kontakte mit (unabhängigen) Medien, um die Öffentlichkeit bei einem LNG-Notfall zu informieren.

Zuständig für LNG sind die Umweltschutzbehörde, die Hafenbehörde und die Lösch- und Rettungsdienste (in einer so genannten Sicherheitsregion integriert), die mit Ausnahme der letzteren beiden eine wesentliche Rolle spielen. Anmerkung: die Feuerwehr (Abteilung, die für die Umsetzung des Einsatzes zuständig ist) war nicht in die Vorplanung einbezogen.

3.3.4. HAFEN STRABBURG

Der Hafen gab an, dass keine Risikobewertungen für LNG-Unfälle erstellt wurden und keine Unfall- oder Notfallpläne für den Fall eines LOC bestehen.

3.3.5. HAFEN DER SCHWEIZ (BASEL)

Die Situation entspricht der im Hafen Straßburg.

3.4 BESTEHENDE NOTFALLEINSATZ-AUSBILDUNG UND -SCHULUNG

Es gibt noch keine standardisierten Pläne für die Ausbildung und Schulungen für den Notfalleinsatz im Zusammenhang mit LNG in der Binnenschifffahrt.

Dennoch sind spezielle Ausbildungen und Schulungen für die Sensibilisierung der Notfall-Einsatzorganisationen bereits entwickelt und werden von manchen Ausbildungsstätten verwendet.

Diese Institute verwenden eigene Pläne für Ausbildung und Schulung zur Sensibilisierung im Zusammenhang mit LNG. Die Lehrziele und -methoden sind unterschiedlich.

3.5 LÜCKEN

Infolge dieser Schreibtischstudie (Teil 1 dieses Dokuments) wurden die folgenden Lücken festgestellt:

Planung

- Es gibt keine spezifische maßgeschneiderte Vorbereitung und Bereitschaft im Hinblick auf LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt.

Mitarbeiter.

- Es gibt keine spezifischen maßgeschneiderten Pläne für Ausbildung und Schulungen im Hinblick auf LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt.

Ausrüstung

- Es gibt keine spezifischen maßgeschneiderten Einsatzgeräte im Hinblick auf LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt.

Es ist hervorzuheben, dass sich diese festgestellten Lücken auf die professionellen Einsatzorganisationen wie Feuerwehr, Polizei und Rettungsdienste, Hafen- und Flussbehörden beziehen. Es handelt sich nicht um festgestellte Lücken im Hinblick auf die Besatzung, Decksoffiziere, Ingenieure auf Schiffen oder Mitarbeiter an Land.

3.6 MATRIX

Aus dieser Schreibtischstudie zum vorliegenden Wissen zum LNG-Notfalleinsatz wird die nachstehende Grundsatzmatrix abgeleitet.

Erläuterungen vorab:

- Zeilen : 5 Typen von LNG-Schiffen (anhand der bestehenden Technik)
- Spalten : 11 Ereigniskategorien (die im Rheingebiet auftreten können)
- Zellen : 7 verschiedene Auswirkungen (A bis G) als mögliches Ergebnis (und Ausgangspunkt für Teil 2)

Unfälle und Notfälle				Vorfälle:										
				1. Zusammenstoß mit einem anderen Schiff	2. Zusammenstoß mit dem Kai	3. Zusammenstoß mit Brücken	4. Auflaufen	5. Ausfall der Tankanschlüsse	6. Verdampfung und Austritt	7. Freisetzung von Überdruck	8. Ausfall des Umpumpsystems	9. Überfüllen	10. Herabfallen der LNG-Tankzelle	11. Sekundärbrand (z. B. Brand der Ladung)
Typen:	Schiffe mit LNG als Treibstoff	Treibstofftank(s) an Deck	Ortsfest			B,C D,E		B,C E	B,C	C	B,C D,E			F,G
			Ortsveränderlich			B,C D,E		B,C E	B,C	C	B,C		B,C D,E F,G	F,G
	Treibstofftank(s) unter Deck		A,B C,D E			A	B,C D,E	B,C	C	B,C D,E				
	LNG-Tanker/-Bunkerschiffe	Tank(s) Typ C	A,B C,D E			A	B,C D,E	B,C	C	B,C D,E				
		Membrantanks	A,B C,D E	B		A	B,C D,E	B,C	C	B,C D,E				

Tabelle 11 Matrix Szenario und Auswirkung (nach Experteneinschätzung)

Erläuterung der Auswirkungen:

- A. RPT – Schaden an der Konstruktion Schaden
- B. Dampfwellenfreisetzung - Rückschlagsbrand
- C. Dampfwellenfreisetzung - Strahlbrand Sekundärbrand(brände)
- D. Freisetzung von Flüssigkeit - Lachenbrand
- E. Freisetzung von Flüssigkeit - Kryo-
- F. BLEVE - Sprengschaden
- G. BLEVE – Dominoeffekt/(mehr)

Diese Matrix ist die Grundlage für die nächste Phase der Schreibtischstudie, die Entwicklung von Leitlinien für die Notfallbereitschaft im Hinblick auf LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt.

Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf der Wahrscheinlichkeit der Ereignisse und der Visualisierung der Auswirkungen für jeden Schiffstyp.

TEIL 2

**ENTWICKLUNG VON
LEITLINIEN FÜR**

**AUSBILDUNG IN DER
NOTFALLBEREITSCHAFT
UND SCHULUNG ZUM
NOTFALLEINSATZ**

**FÜR LNG IN GERINGEN
MENGEN IN DER
BINNENSCHIFFFAHRT**

4 NOTFALLBEREITSCHAFT

4.1 UMFANG

Dieser zweite Teil der Studie stellt den "Rat an" und die "Leitlinien für" alle Beteiligten in den Mittelpunkt, die wissen müssen, in welchen Bereichen Verbesserungen erforderlich sind.

4.2 GEWÜNSCHTE ERGEBNISSE

Dieser Teil 2 des Dokuments umfasst eine Ergänzung der Matrix aus dem ersten Teil, mit Ratschlägen und Empfehlungen für die festgestellten Lücken und Punkte, die in der Matrix im ersten Teil angesprochen wurden.

Dieser Teil umfasst auch:

- die Entwicklung von Richtlinien für die Unfallbereitschaft für LNG in kleinen Mengen in der Binnenschifffahrt. Diese Richtlinien werden als Ergänzung der Matrix in Teil 1 eingebracht.
- Entwicklung von Richtlinien für Ausbildung und Schulung für Unfalleinsätzen für LNG im kleinen Rahmen in der Binnenschifffahrt.

Wenn Schulung erforderlich ist, beschreiben diese Richtlinien die Anforderungen an die Schulungen für jedes der Szenarios.

4.3 FAHRPLAN

4.3.1 DIE WICHTIGSTEN THEMEN

In Phase 2 sind die wichtigsten Themen "Notfallbereitschaft" und "Ausbildung und Schulung". Ausgangspunkt ist die Grundmatrix aus Abschnitt 3.6.

4.3.2 POSITION

Notfallbereitschaft basiert auf wahrscheinlichen Notfallszenarien und führt zur Feststellung der erforderlichen Punkte in Ausbildung und Schulung zu diesem Zweck (auswirkungsorientierter Ansatz).

4.3.3 MIND-MAP

Die nachstehende Mind-Map (Diagramm) dient dem Projektteam zur Visualisierung der Schritte (Nummer 1 bis 4) und zum Organisieren der weiteren Untersuchung von nachgeordneten Themen und zugehörigen Schlüsselbegriffen.

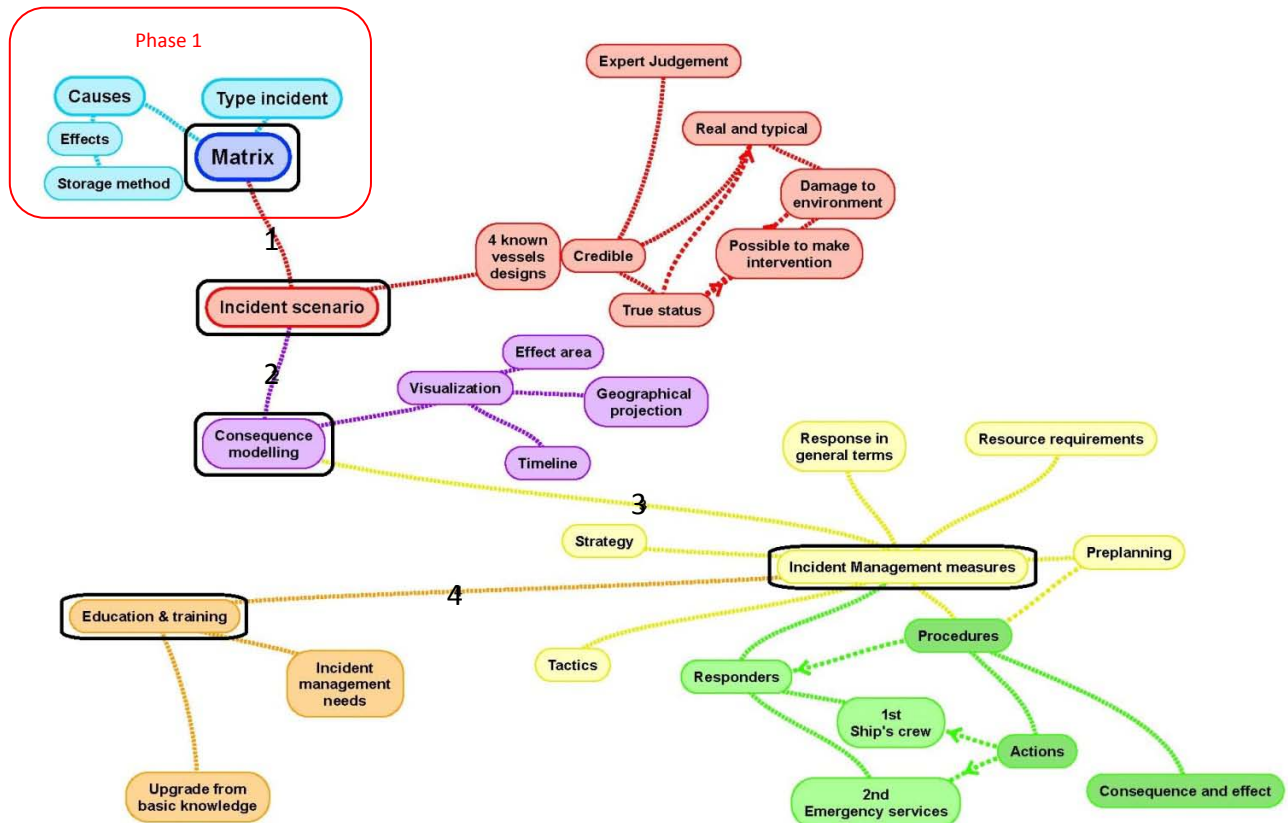


Abbildung 38 Mind-Map zur Visualisierung von Projektschritten

4.3.3.1 NACHGEORDNETE THEMEN

Im Rahmen dieses Projekts wurden die nachstehenden nachgeordneten Themen in chronologischer Reihenfolge untersucht, analysiert und weiter ausgearbeitet.

1. Technische Beschreibungen

TECHNIK: Grundlage ist die Methode der Schreibtischstudie bestehender

- Systemtechnik LNG-Schiffe,
- vorliegender präventiver Sicherheitsmaßnahmen und
- geographischer Merkmale im Rheingebiet

(siehe Teil 1).

2. Wesentliche Szenarien zu Austreten, Emission und Eskalation

VEREINFACHEN: Der Überblick über die wesentlichen Szenarien zu Austreten, Emission und Eskalation basiert auf der Analyse und Vereinfachung des vorliegenden Wissens (siehe Teil 1).

3. Wahrscheinliche Szenarien von Notfall- und Unfalleinsätzen

FILTERN: Alle wesentlichen Szenarien zu Austreten, Emission und Eskalation werden durch Beantwortung der drei nachstehenden Fragen gefiltert (dieser Ansatz ist von der Methode der Seveso-Richtlinie abgeleitet).

1. Das Szenario ist realistisch und typisch.
2. Das Szenario kann erheblichen Schaden an Sachanlagen oder für Personen in der Umgebung bedeuten.
3. Ein Eingreifen beim Szenario hat klare Auswirkungen, um eine Eskalation zu verhindern.

Nur die Szenarien, auf die diese drei Kriterien zutreffen, werden (nach Experteneinschätzung) als wahrscheinliche Szenarien für einen Notfall- und Unfalleinsatz ausgewählt. Intensität der Quelle und Auswirkungen sind wichtige Parameter.

Unwahrscheinliche Katastrophenszenarien (z. B. Flugzeugabsturz auf ein Schiff) oder Szenarien, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens praktisch gleich Null ist, werden nicht berücksichtigt.

4. Modellierung der Folgen

BESCHREIBEN: Ausgewählte wahrscheinliche Szenarien werden für jeden Typ (Technik und Folge) in umgekehrter Reihenfolge sortiert.

Ein repräsentatives Szenario pro Typ (Vorbereitung wahrscheinlich) wird beschrieben und mit einem Brand-/Ausbreitungsplan visualisiert. Vier verschiedene Szenarienpläne werden erarbeitet.

5. Planung des Notfalleinsatzes

Anhand dieser Brand-/Ausbreitungspläne werden vier szenarienspezifische Notfall-Einsatzpläne (scenario specific emergency response plans - SSERPs) erarbeitet. In jedem Plan ist folgendes festgelegt:

- Strategie des Unfalleinsatzes
- Abriss der Maßnahmen/Aufgaben der Unfalleinsatzkräfte
- Die "vorzuhaltende Kapazität" (Notfalleinsatzrüstung/Ressourcen)
- Überlegungen zu vereinheitlichter Leitung

6. Ausbildung und Schulung

FESTSTELLEN: Anhand des Abrisses der Aufgaben für die Einsatzkräfte (Primär- und Sekundäreinsatzkräfte) werden die erforderlichen Punkte für die LNG-Schulung festgelegt.

Diese Punkte der Schulung sollen die professionelle Kompetenz der Einsatzorganisationen im Rheingebiet beim Umgang mit und Einsatz bei Unfällen, die im Zusammenhang mit LNG in der Binnenschifffahrt auftreten können.

4.3.3.2 ABLAUFPLAN

Die einzelnen Schritte können im nachstehenden Ablaufplan visualisiert. Die Farben der Zellen entsprechen denen der vorstehenden Mind-Map.

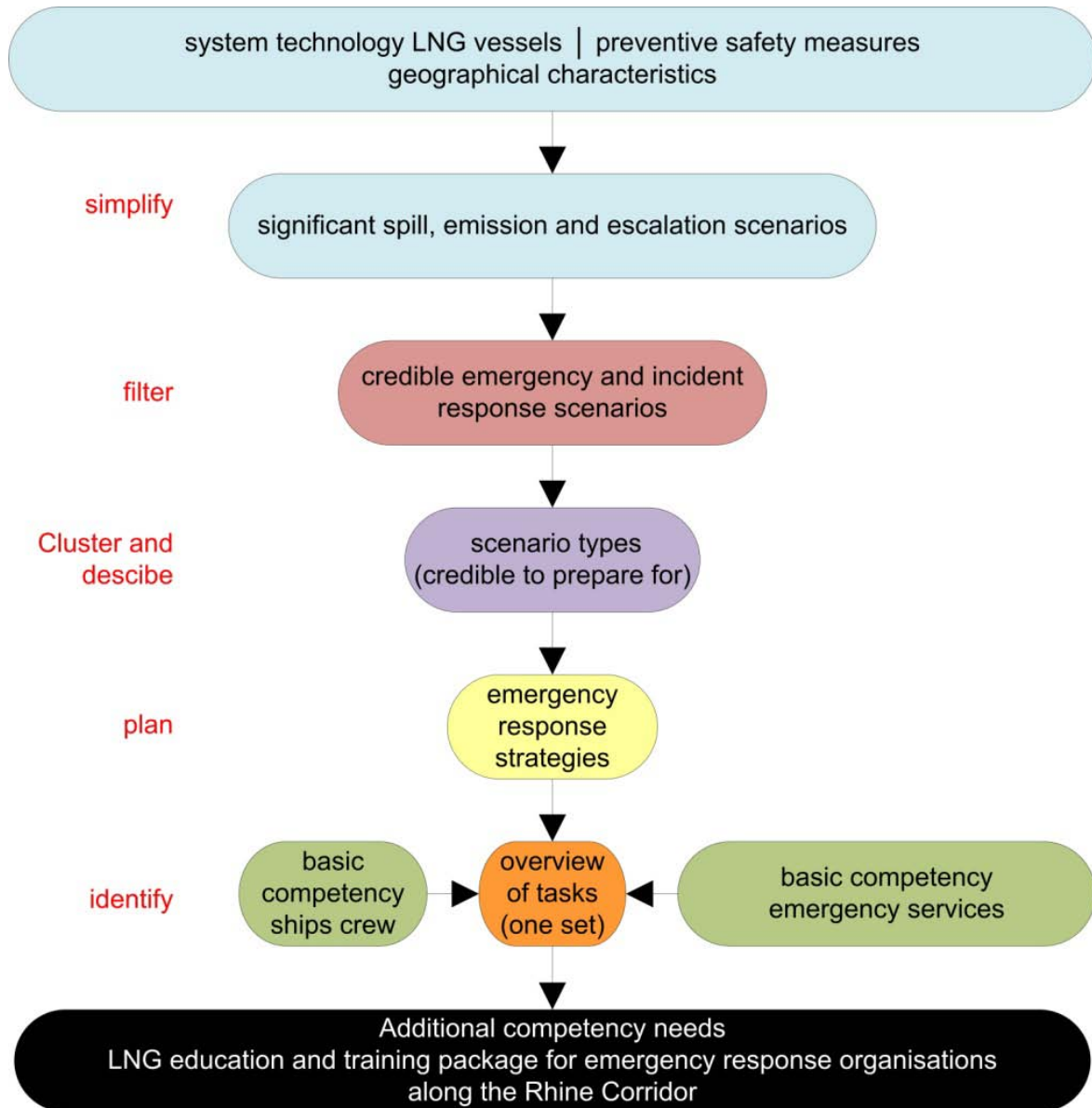


Abbildung 39 Systematischer Ansatz zur Festlegung der erforderlichen Punkte in Ausbildung und Schulung

4.4 RICHTLINIEN FÜR UNFALLBEREITSCHAFT

4.4.1 EINFÜHRUNG

Bei der Vorbereitung auf LNG-Unfälle müssen auf den verschiedenen Ebenen innerhalb der Notfalleinsatzorganisation Entscheidungen getroffen werden, damit der Unfall wirksam beherrscht werden kann. Das Management des Notfalleinsatzes ist ein Schlüsselement der Bereitschaft für den Notfalleinsatz. Wir unterscheiden drei Entscheidungsebenen innerhalb des Notfalleinsatzes:

- Strategische Entscheidungen
- Taktische Entscheidungen
- Technische Entscheidungen

Die Form des Unfallmanagements wird in diesem Dokument nicht weiter besprochen, weil es nicht unter den Umfang dieses Projekts fällt. Damit die Verantwortlichen fundierte Entscheidungen treffen können, machen wir eine ganze Reihe von Vorschlägen zur Unterstützung. Es werden nur die spezifischen Strategien, Taktiken und Techniken für Unfälle im Zusammenhang mit LNG auf Binnenwasserstraßen dargestellt. Wir gehen davon aus, dass die Notfalleinsatzkräfte über das allgemeine Wissen zu Schifffahrtsunfällen mit Gefahrstoffen auf Binnenwasserstraßen verfügen.

4.4.2 KENNTNIS UND VERSTEHEN VON LNG-UNFÄLLEN AUF BINNENWASSERSTRASSEN

Die Strategien beschreiben das Verhalten bei Unfällen, deren Auswirkung auf ein oder mehrere Unfallszenarien zutreffen kann:

- LNG-Dampfwolke
- LNG-Lache
- Schneller Phasenübergang (RPT)
- Brand (Lachenbrand außerhalb und innerhalb einer Schutzhülle/Strahlbrand/BLEVE)

Zum Beherrschen von LNG-Austritten auf Wasser brauchen die Notfalleinsatzkräfte bestimmte allgemeine Informationen für eine optimale Entscheidungsfindung.

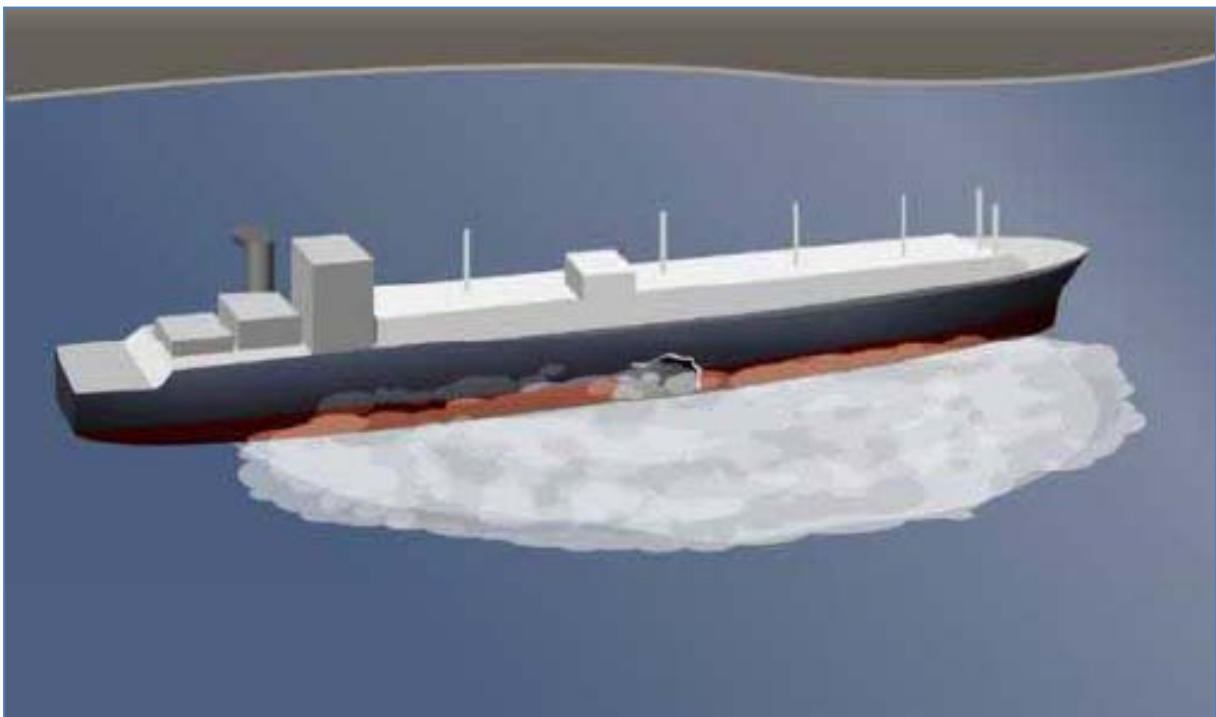


Abbildung 40 Austritt auf Wasser [2]

Die Dauer des Flüssigkeitsaustritts, die Freisetzungsrate, die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Verdunstungsgeschwindigkeit sind wichtige Faktoren zur Abschätzung des sicheren Trennabstands für die Verbreitung (brennbarer) Dämpfe und der Strahlung von Lachenbränden.

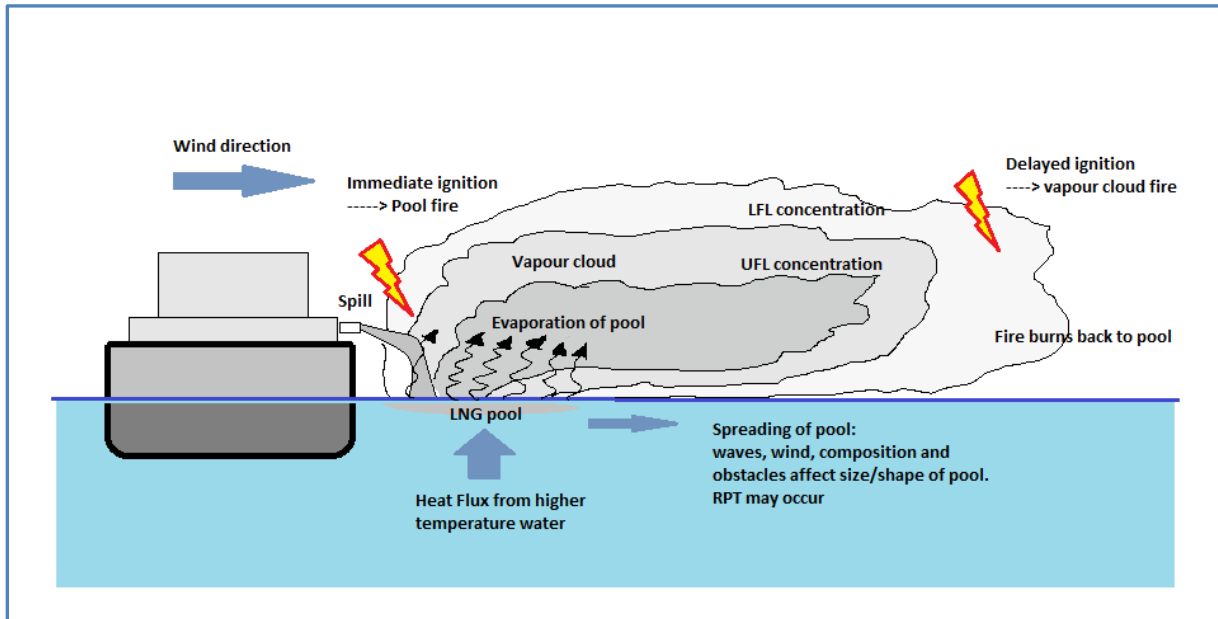


Abbildung 41 Mögliche Brandszenarien, wenn LNG auf Wasser austritt [2]

Auch ist es wichtig, die Dynamik der zeitabhängigen Ereignisse zu kennen, die nacheinander innerhalb des Unfalls vor Ort ablaufen:

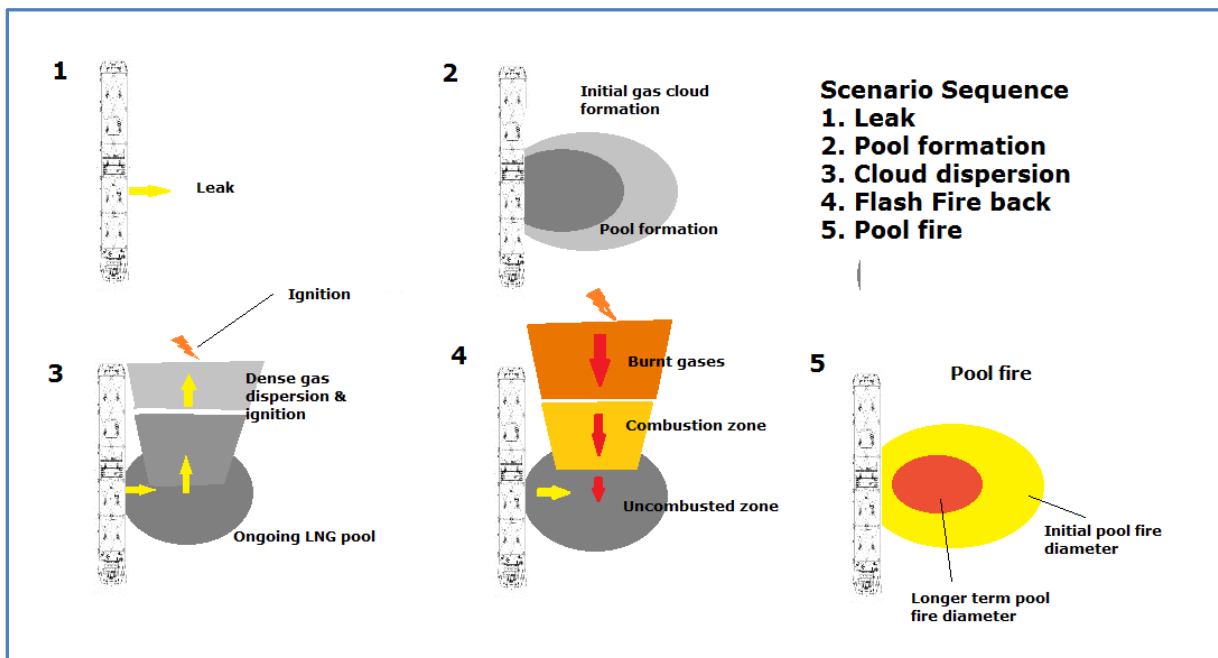


Abbildung 42 Ablauf des Szenarios [4]

4.4.3 AUSBREITUNG VON LNG

LNG ist eine Flüssigkeit (flüssiges Erdgas) mit mindestens 82% Methan. Jedoch liegt der Methangehalt oft bei ca. 91% (Benchmark) oder noch höher. Der Siedepunkt von LNG liegt bei ca. -162 °C bei Umgebungsdruck (1 bar).

Wenn die Flüssigkeit (-162 °C) bei einem LNG-Unfall austritt, hängt die Ausbreitungsrate (Flüssigkeits-/Gas-Äquivalent) von der Umgebungstemperatur ab.

Flüssigkeits- (beim Siedepunkt)/Gas-Äquivalent bei Umgebungsdruck (1 bar)	
Umgebungstemperatur (°C)	Äquivalent (mol/mol)
0	589
15	621
25	643

Tabelle 12 Verhältnis Flüssigkeits-/Gas-Äquivalent bei Umgebungsdruck

4.4.4 VERDUNSTUNG VON LNG

4.4.4.1 PARAMETER FÜR DIE VERDUNSTUNGSGESCHWINDIGKEIT

Die Verdunstung von LNG kann je nach den nachstehenden Faktoren sehr unterschiedlich ablaufen:

- Intensität von Turbulenzen
- Dicke der Flüssigkeitsschicht
- Wasser- und Lufttemperatur und
- Windgeschwindigkeit.

Alle diese Parameter bewirken unterschiedliche Verdunstungsgeschwindigkeiten des LNG. Die nachstehende Abbildung zeigt Feldversuche.

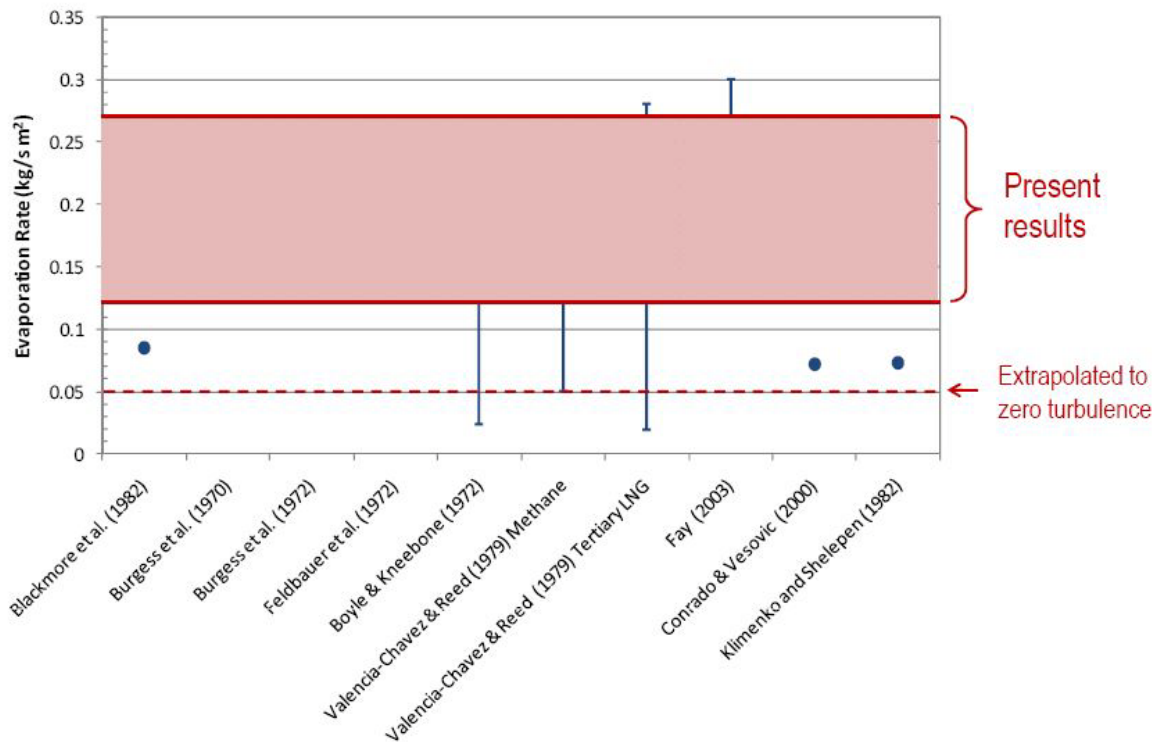


Abbildung 43 Verdunstungsraten [2]

4.4.4.2 VERDUNSTUNGSRATEN FÜR DEN NOTFALLEINSATZ

Nach einer Untersuchung von Feldversuchen [5] zu Verdunstungsraten und die Situation in der Binnenschifffahrt (flaches Wasser) wurden die nachstehenden Verdunstungs- und Regressionsraten für LNG-Austritte auf Wasser bestätigt.

LNG-Verdunstungsrate n* (LNG-Lache auf Wasser)	Dichte kg/m ³	Verdunstungsrate*		Regressionsrate* mm/Minute
		kg/m ² /s	m ³ /m ² /min	
LNG	430 - 470	0,16	15	20

Tabelle 13 Verdunstungsrate auf Wasser

*) Alle Zahlen sind gerundet, Durchschnitt bei verschiedenen Feldversuchen und Verdunstungszeiten

4.4.4.3 BEHERRSCHEN DER LNG-DAMPFWOLKE DURCH WASSERSPRÜHEN

Ein LNG-Leck wird als Austritt einer Flüssigkeit bei einer Temperatur von -170 °C bis -107 °C gesehen. Die Freisetzungsraten sind proportional zum Dampfdruck und der Lochgröße (Durchmesser).

Wenn LNG in Wasser austritt, liegt die Verdunstungsrate bei ca. 15 m³/m²/min. Dies ist ein Anhaltswert.

Verdunstungsrate von LNG auf Wasser ca. 15 m³/m²/min

Der kalte LNG-Dampf ist anfangs schwerer als Luft und kann eine sichtbare kondensierte Wasserwolke bilden, wenn die Feuchtigkeit > 55% beträgt.

Die sichtbaren Grenzen der kondensierten Wolke in horizontaler Ebene kann 100% des LFL von Methan gleichgesetzt werden. Die Länge der Gaswolke hängt von Faktoren wie Temperatur, Windrichtung und Verdunstungsrate des LNG ab.

Die Explosionsgrenzen einer Gaswolke können mit einem geeigneten Gasdetektor festgestellt werden. Es ist ein spezieller Gasdetektor erforderlich, da nicht alle Standardgeräte schnelle und genaue Anzeigen liefern.

Das Ausmaß der Freisetzung einer LNG-Dampfwolke über Wasser ist oft durch Deiche beschränkt und/oder von geographischen/baulichen Gegebenheiten beeinflusst. Je nach Höhe der Deiche und Freisetzungsraten kann das LNG überlaufen und sich über die Grenzen der Wasserstraßen hinaus ausbreiten.

Unter anderen Umständen könnte die LNG-Dampfwolke durch hohe Ufer, Gebäude und Berghänge eingegrenzt werden; dadurch wird die Wolke kanalisiert. In solchen Situationen sind Computerprogramme zum Modellieren des Umfangs der Wolke unwirksam.

Die Wanderung einer LNG-Dampfwolke wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- die Erwärmung des kalten LNG-Dampfs, so dass das Methan leichter als Luft wird und infolgedessen in die Atmosphäre aufsteigt. Dies kann durch Wassersprühen aus einem Wasserwerfer oder Wasserschleier beschleunigt werden. ANMERKUNG: Methangas ist nicht wasserlöslich!
- Die Verwendung eines Wasserschleiers, wodurch eine kleine Dampfwolke zurückgehalten oder eingegrenzt werden kann.

- Auf Bodenhöhe kann durch sachgemäßen Einsatz von Wassersprühern eine Verminderung der Gas-/Dampfkonzentration um ca. mindestens 18% und höchstens 65% erreicht werden.

Bei einer Standard-Sprühkonfiguration nach unten tritt eine Verringerung des Methan-Massenanteils um 65% bei der geringsten Windgeschwindigkeit von 1 m/s, aber bei der höchsten betrachteten Verdunstung ein.

Bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s liegt die Verminderung nur bei 18%, und die höchste Temperatur der Wolke an der Schicht beträgt 2 °C bei der geringsten Windgeschwindigkeit.

Verringerung des Auswirkungsbereichs von 18% bis 65% durch Sprühen von Wasser

Eine Dampf Wolke darf nicht in geschlossene Räume, in Schiffe oder Gebäude, eindringen, da bei Entzündung des Dampfes eine begrenzte Dampf Wolkenexplosion (confined vapour cloud explosion - CVCE) und nachfolgend Sekundärbrände entstünden.

Dieses Phänomen ist auch als "Gastaschenbildung" bekannt. Mit den folgenden Präventivmaßnahmen können Personenschäden vermieden werden:

- Wenn die Gefahr besteht, dass die Gas-/Dampf Wolke eine Bedrohung für Binnenschiffe oder nahe liegende Gebäude darstellt, ist es die erste Priorität, alle Schiffe aus dem Gefahrenbereich zu entfernen oder die Besatzung zu evakuieren.
- Bewohner oder Beschäftigte in Gebäuden an der Wasserstraße sind zu evakuieren. Es ist im äußersten Maße empfehlenswert, die Anweisung zu geben, dass Belüftungssysteme im Risikogebiet abzuschalten sind.
- Zündquellen sind zu isolieren oder zu entfernen.

4.4.4.4 BEHERRSCHEN DER DAMPFAUSBREITUNG DURCH SCHAUM

Die Dampfausbreitung aus einer eingegrenzten LNG-Lache kann durch Aufbringen von Fertigschaum mit hoher Expansionsrate auf die Oberfläche der LNG-Lache unterdrückt werden. Diese Taktik kann aber nur auf eingegrenzten LNG-Lachenausstritten in Betracht gezogen werden; jedoch kann bei richtiger Anwendung die Konzentration des Dampfes über der Lache sogar um 50% verringert werden [6].

Anmerkung: Das Aufbringen von Schaum kann sich aufgrund der Gesamtverdunstung zu Beginn der Schaumaufbringung zunächst negativ auf die Bemühungen zur Kontrolle des LNG-Dampfes auswirken. Dies geschieht infolge des anfänglichen schnellen Temperaturrückgangs im Dampf, danach folgt übermäßige Verdunstung.

Daher ist genau darauf zu achten, dass kein frisches Wasser in das LNG gelangt, bevor der Schaum aufgebracht wird.

Expansionsschaum ist wirksam zur Verringerung der Methankonzentration in Windrichtung; es ergeben sich geringere LFL- und 1/2-LFL-Abstände.

Aus Erfahrung ist bekannt, dass die wirksame Mindestdicke der Schaumschicht bei 0,64 m liegt.

Folgendes ist zum sachgemäßen Aufbringen von Hochexpansions-Schaum erforderlich:

- Konzentrat von Hochexpansions-Schaum für Kryo-Flüssigkeiten
- Schaumrüstung mit Expansionsrate von 500 : 1
- Schaumaufbringungsrate von mindestens 10 l/m² (Schaumaufbringungsrate für LNG beim Schaumanbieter erfragen)

Freisetzungen von flüssigem LNG an Bord eines Schiffs können aufgrund der Eigenschaften von Kryo-LNG schwerwiegende Auswirkungen auf die Beschaffenheit der Schiffskonstruktion haben.

Um die Konstruktion zu schützen, wird häufig Wasser zum Aufbau eines Wasserfilms auf die Bauteile aufgebracht, die möglicherweise mit dem freigesetzten flüssigen LNG in Berührung kommen. LNG schwimmt auf Wasser, und daher wird ein kleines Leck nicht nur über Bord gespült, sondern die Flüssigkeit verdunstet auch schnell.

4.4.4.5 KONTROLLE DES SCHNELLEN PHASENÜBERGANGS (RPT)

Je nach Menge kann beim Einlaufen von flüssigem LNG in Wasser ein RPT entstehen. Dies kann auch geschehen, wenn Wasser in eine LNG-Lache eingeleitet wird. Dies ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

Die vorsichtige Verwendung von Sprühwasser durch Profis könnte als akzeptable Taktik zur Beschleunigung der Verdunstung des flüssigen LNG gelten. Diese Technik wird als "Bewegung" bezeichnet.

4.5 BEKÄMPFUNG VON LNG-BRÄNDEN

Wenn bei einer LNG-Dampf Wolke im Freien verzögerte Entzündung auftritt, führt das nicht zu einer nicht begrenzten Dampf Wolkenexplosion (unconfined vapour cloud explosion - UVCE).

Das Dampfgemisch verbrennt nicht explosiv, sondern gleichmäßig entlang der Flammenfront zurück zur Freisetzungsquelle.

Je nach der Freisetzungsquelle entsteht entweder ein Lachenbrand, ein Strahlbrand oder ein Zwei-Phasen-Freisetzungsbrand.

Wenn sich jedoch eine LNG-Freisetzung in einem begrenzten Raum entzündet, kann leicht eine begrenzte Dampf Wolkenexplosion (CVCE) entstehen.

4.5.1 ABBRANDDAUER

Zur Voraussage der Abbranddauer von LNG-Bränden sind folgende Parameter erforderlich:

- Volumen des LNG in Kubikmetern oder Masse in Kilogramm
- Oberfläche des Feuers in Quadratmetern
- Eingegrenzter Lachenbrand oder nicht eingegrenzter Lachenbrand

Die nachstehende Tabelle stellt die Abbrandraten von LNG und anderen herkömmlichen Brennstoffen gegenüber.

Gegenüberstellung der Abbrandraten verschiedener Brennstoffe (eingegrenzter Brand auf einem Schiff oder an Land)

	Abbrandrate		Dichte kg/m ³	Wärme MJ/kg	Strahlung KW/m ²
	mm/Minute	kg/m ² /s			
LNG*	14	0,11	430 - 470	50,2	220
LPG	13	0,13	585	43,4	140
Benzin	5	0,055	740	-	-
Kerosin	3	0,06	790	-	-
Heizöl	2	0,05	900	-	-

Tabelle 14 Gegenüberstellung der Abbrandraten verschiedener Brenn-/Treibstoffe

*) Durchschnitt aus mehreren Testergebnissen

Für nicht begrenzte Lachenbrände auf Wasser gelten andere Abbrandraten, die von denen der vorstehenden Tabelle für Brände in begrenzten Umgebungen an Land gelten.

In der nachstehenden Tabelle sind die Werte aus den Sandia-Berichten (2004 [7] und 2008 [8]) und dem Bericht "Large LNG Fire Thermal Radiation – Modelling Issues & Hazard Criteria Revisited" von Phani K. Raj [9] extrapoliert.

	Abbrandrate		Dichte kg/m ³	Wärme MJ/kg	Strahlung KW/m ²
	mm/Minute	kg/m ² /s			
LNG (D = < 100 m)	18	0,135	430 - 470	50,2	220
LNG (große Lache)	21	0,15	430 - 470	50,2	280

Tabelle 15 Abbrandraten von LNG auf Wasser

*) alle Zahlen geben den Durchschnitt verschiedener Testergebnisse wider

4.5.2 BEKÄMPFUNG EINES NICHT BEGRENZTEN LNG-LACHENBRANDS

Ein LNG-Lachenbrand auf Wasser kann nicht gelöscht werden, und der Notfalleinsatz ist defensiv zu führen, um die Auswirkungen des Vorfalls zu kontrollieren. Die Prioräten sind dabei wie folgt:

- Eskalation verhindern
- Brand begrenzen
- Brand kontrollieren

Die Wärmestromdichte aus einer LNG-Lache auf Wasser ist zum Beispiel nach dem Austritt aus einer LNG-Abteilung aus einem LNG-Transporttanker bei verzögerter Entzündung am höchsten.

Die Lache ist extrem groß, aber die Abbranddauer ist sehr kurz. In diesem Fall helfen ortsfeste Brandschutzsysteme und passive wärmebeständige Beschichtung als Teil der Konstruktionspezifikation, eine weitere Eskalation zu verhindern.

Das anfängliche Feuer wäre wahrscheinlich vor Ankunft der ersten Einsatzkräfte bereits abgebrannt.

Wenn es noch brennt, verhindert die hohe Wärmestrahlung, dass die Einsatzkräfte an das Schiff in eine Position herankommen, von der aus Wasserwerfer eines Löschboots es erreichen und Wirkung erzielen können. Auch an eine BLEVE ist zu denken, wenn die anderen exponierten LNG-Tanks nicht ausreichend gekühlt werden.

Bei kleineren LNG-Lachenbränden konzentrieren sich die Notfalleinsatzkräfte auf das Kühlen der übrigen LNG-Tankabteilungen und der Schiffskonstruktion. Die Kühlung kann durch eine Annäherung gegen den Wind aufgebracht werden, z. B. durch ein Löschboot, dessen Wasserstrahler direkt auf die Länge des Schiffs gerichtet sind.

Auch wenn das Eintreten von Sprühwasser in die Lache nicht verhindert werden kann, soll doch keine voller Wasserstrahl auf die LNG-Lache gerichtet werden.

4.5.3 BEKÄMPFUNG EINES BEGRENZTEN LNG-LACHENBRANDS

Ein begrenzter LNG-Lachenbrand entsteht, wenn der Stoff nicht abfließen kann und eingegrenzt ist (z. B. in einem Tankwall, bei kleinen Bränden von < 10 m² Fläche). Zum aktiven Löschen ist an Trockenlöschmittel der Klasse BC zu denken. Bei einem Brand mit mehr als 10 m² Fläche wird eine defensive Strategie angeraten.

Das Löschen eines LNG-Lachenbrands mit Schaum ist nicht möglich, obwohl Hochexpansions-Schaum die Intensität des Feuers und die abstrahlende Wärme herabsetzen kann. Dazu ist aber eine "gründliche Bedeckung" mit Schaum erforderlich. Anmerkung: Während der ersten Aufbringung von Schaum nimmt das Feuer an Intensität zu, bevor eine Verminderung erkennbar wird. Es wird Schaum mit einem Expansionsverhältnis von 500 : 1 und einer Aufbringungsrate von 10 l/m²/min empfohlen.

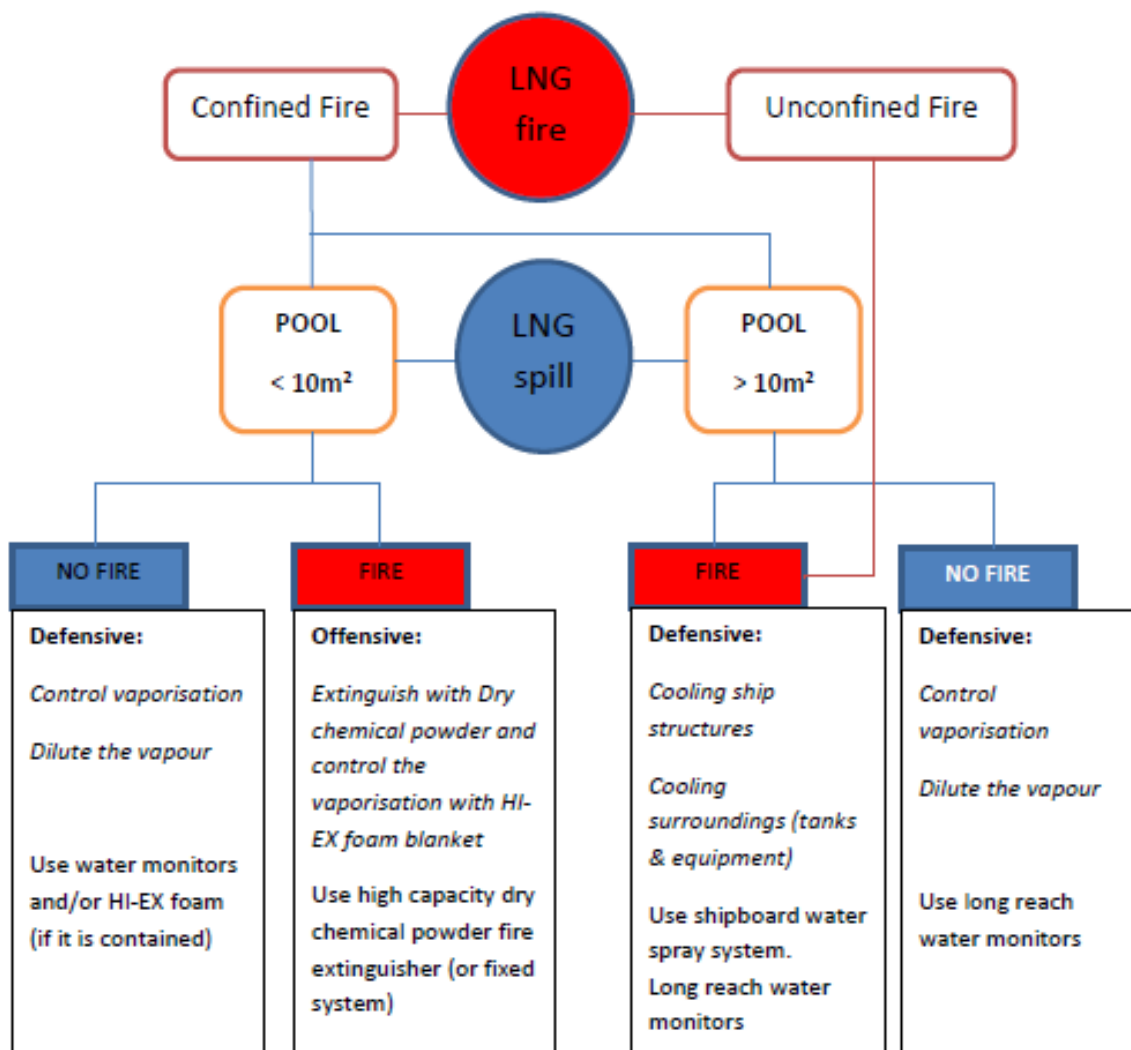


Abbildung 44 Zusammenfassung der Brandbekämpfungsstrategie

4.5.4 BEKÄMPFUNG VON STRAHLBRÄNDEN

Bei einem Gasfeuer gibt es zwei Prioritäten:

- Den LNG-(Gas-)Fluss durch eine Notabschaltung unterbrechen
- Sicherstellen, dass alle anderen Tanks, Rohrleitungen und die Schiffskonstruktion durch Besprühen mit Wasser gekühlt werden (unabhängig davon, ob es sich um einen Druckbrand, einen Strahlbrand oder einen Lachenbrand handelt).

Es wird empfohlen, mit einer Wärmebildkamera zu prüfen, ob ein Kühleffekt erreicht wird. Die Kühlstrategie an die Erfordernisse anpassen.

4.5.5 BLEVE

Eine Gasexplosion einer expandierenden siedenden Flüssigkeit (BLEVE) ist eine Explosion aufgrund des Brechens/Reißens eines Behälters mit einer Flüssigkeit unter Druck oberhalb ihres Siedepunkts bei Umgebungsdruck.

Eine BLEVE an einem Membrantank des Typs A oder B ist nicht möglich, bei einem Tank der Klasse C kann eine BLEVE aber nicht ausgeschlossen werden. Eine BLEVE dürfte sich bei kurzfristiger Expansion eines Tanks der Klasse C nicht entwickeln, wenn das Isoliermaterial nicht beschädigt ist und das Vakuum erhalten bleibt.

Eine Beschädigung der Isolierung und extreme Temperaturen könnten zum Ausfall des Tankmantels und einer BLEVE führen. Daher hat das Kühlen der anderen LNG-Tanks zum Verhindern einer Eskalation und der Gefahr einer BLEVE höchste Priorität.

4.6 KÜHLEN

4.6.1 STRATEGIE

Bei Industrieunfällen ist eine defensive Strategie empfehlenswert, und diese Strategie gilt auch für Schiffsunfälle.

Wenn das erste Löschen nicht gelingt, ist das Risiko einer Eskalation sehr hoch, weil in den Tanks und Leitungen große Mengen Brennstoff/Treibstoff vorhanden sind. Das Risiko steigt, wenn die vorgenannten Stoffe der hohen Temperatur des Feuers ausgesetzt werden. Daher besteht in den meisten Fällen das erste Eingreifen darin, die Tanks, Leitungen, Anlagen und Konstruktion des Schiffs zu kühlen, bevor ein Löschen des Brandes versucht wird.

Es gibt Situationen, in denen der Brand nicht gelöscht werden kann und es daher empfehlenswert ist, das Feuer abbrennen zu lassen. LNG sollte man unter kontrollierten Bedingungen allein abbrennen lassen. Während des kontrollierten Abbrennens wird die Umgebung gekühlt.

4.6.2 KAPAZITÄTEN

Als Anhaltspunkt für die zur Kühlung erforderliche Wassermenge kann Leitlinie IP-19 (Energy Institute, früher Institute of Petroleum) "Model code of safe practice: Fire precautions at refineries and bulk storage terminals" herangezogen werden. Nach dieser Vorschrift sind mindestens 10 l/m²/min Kühlwasser zum Schutz der Bootshülle vor den Flammen zu verwenden.

In Standard 46CFR154 (Safety standards for self-propelled vessels carrying bulk liquefied gases - Sicherheitsstandards für selbstfahrende Schiffe mit verflüssigten Gasen in größeren Mengen) sind die Auslegungskriterien für Wassersprühsysteme festgelegt:

1. 10 l/m²/min über jede waagerechte Fläche und
2. 4 l/m²/min gegen senkrechte Flächen einschließlich des ablaufenden Wasser.

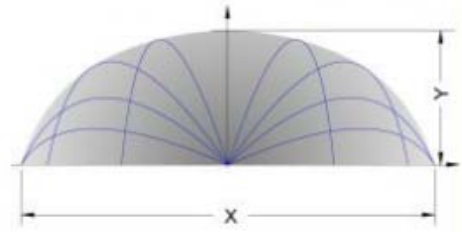


Abbildung 45 Wasser-Nebelwand, Form: flacher Fächer

In der Praxis hängt die Reichweite und die Höhe der Wasserschleier von den Wasserwerfern und/oder Wasser-Nebelwänden und ihrem optimalen Betriebsdruck ab.

4.7 WASSER-NEBELWÄNDE

4.7.1 KONTROLLE VON WÄRMEEXPOSITION UND GAS-/DAMPFWOLKE

Die nachstehenden Löschboote, die im Rheingebiet im Einsatz sind, sind mit Wasserwerfern ausreichender Kapazität und Reichweite bestückt, um die Wärmeexposition und die Verminderung der Gas-/Dampfkonzentration zu kontrollieren.



Abbildung 46 Löschboote am Rhein

4.7.2 LÖSCHBOOT-KAPAZITÄTEN

Es gib verschiedene Arten von Löschbooten:

- FIFI 1 : Wasserkapazität 2.400 m³/Stunde
- FIFI ½ : Wasserkapazität 1.200 m³/Stunde
- FIFI : Wasserkapazität 500 m³/Stunde

4.8 ERSTE HILFE

4.8.1 EXPOSITION

Verflüssigte Kryo-Gase werden durch Kühlen zu einer Flüssigkeit bei Umgebungsdruck kondensiert. LNG wird auf ca. -162 °C gekühlt.

Die Umgebungstemperatur um die LNG-Tanks auf (oder in) Schiffen bewirkt, dass die Kryo-Flüssigkeit in dem Augenblick zu einem Gas verdunstet, in dem sie durch den Ausfall der Eingrenzung aus dem Tank austritt.

Ein Liter verflüssigtes Kryo-Gas erzeugt erhebliche Mengen Gas (das Volumen ist ca. 600 Mal so groß).

Die Bereiche, wo die Tanks eingebaut sind, müssen ausreichend entlüftet werden, damit wenigstens ein Teil des erzeugten Gases abgeführt werden kann. Die Entlüftung sollte wesentliche Veränderungen des Sauerstoffgehalts der Luft verhindern. Wenn, wie bei einem Zusammenstoß, größere Mengen freigesetzt werden, kann die Entlüftung nicht als ausreichende Maßnahme für die Einsatzkräfte gelten, da die Wahrscheinlichkeit einer Fehlfunktion des Systems hoch ist.

LNG ist nicht giftig, kann aber bei einer Freisetzung den Sauerstoff der Luft verdrängen, wobei Menschen ersticken, wenn der Sauerstoffgehalt auf unter 15% sinkt.

Bei Exposition gegenüber LNG können Hypothermie des Körpers und/oder Erfrierungen auftreten. Wenn ein Kryo-Gas eingeatmet wird, können die Atemwege, auch die Lunge, Erfrierungen erleiden.

LNG-Wolken (Ausbreitung) können entstehen, wenn sich das kalte Kryo-Gas mit warmer Luft vermischt, da die Feuchtigkeit in der Luft kondensiert, wenn sie abgekühlt wird. Bei größeren Freisetzungen gekühlten LNGs (Methans) können durch die Bildung dieser Kondensationswolken die Sichtverhältnisse eingeschränkt werden. Es ist darauf zu achten, dass auch außerhalb dieser Wolken mit einer erheblichen Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre zu rechnen ist.

4.8.2 MAßNAHMEN

Immer die ABC-Strategie befolgen: Atemwege (Airway) – Atmung (Breathing) – Durchblutung (Circulation) – Verletzung (Disability) – Exposition (Exposure).

Primär- und Sekundär-Einsatzkräfte mit angemessener PSA, die exponierte Opfer retten, müssen folgende Punkte beachten:

- Das exponierte Opfer an einen warmen Ort bringen (ca. 22 °C), es aber nicht direkt aufwärmen.
- Vorsichtig alle Kleidung ausziehen (nicht zerren), die möglicherweise die Durchblutung der betroffenen Bereiche (Verletzungen) behindert.
- Die betroffenen Hautbereiche mit einer großen Menge lauwarmen Wassers spülen.
- Die betroffenen Bereiche weiter kühlen, bis der Schmerz nachlässt.



Gegebenenfalls die Verletzungen mit dicken trockenen sterilen Verbänden schützen. Vorsicht: Die Verbände nicht zu eng anlegen, da dadurch die Durchblutung behindert wird. Die betroffenen Hautstellen nicht bewegen.

5. RICHTLINIEN FÜR AUSBILDUNG UND SCHULUNG FÜR UNFALLEINSÄTZE IM ZUSAMMENHANG MIT LNG

5.1 EINFÜHRUNG

Einsatzbereitschaft und Notfalleinsatzplanung basieren auf wahrscheinlichen Unfallszenarien, anhand derer die hierfür erforderlichen Punkte für Ausbildung und Schulung festgestellt werden.

Das Schema folgt einem siebenstufigen Aufbau, wie Abbildung 47 zu entnehmen, von technischen Beschreibungen bis hin zu den Erfordernissen an Ausbildung und Schulung.

Man muss sich darüber im Klaren sein, dass diese Ausbildungs- und Schulungserfordernisse von Not- und Unfall-Einsatzkräften zusätzliche berufliche Kompetenzen umfassen (LNG-spezifisch).

Es wird davon ausgegangen, dass die Not- und Unfall-Einsatzkräfte die grundlegenden beruflichen Kompetenzen (nicht LNG-spezifisch) erworben haben und aufrechterhalten.

Obwohl die grundlegende berufliche Kompetenz im Rheingebiet in den verschiedenen Regionen unterschiedlich sein kann, können die zusätzlichen LNG-spezifischen Kompetenzprofile weitreichend eingesetzt werden.

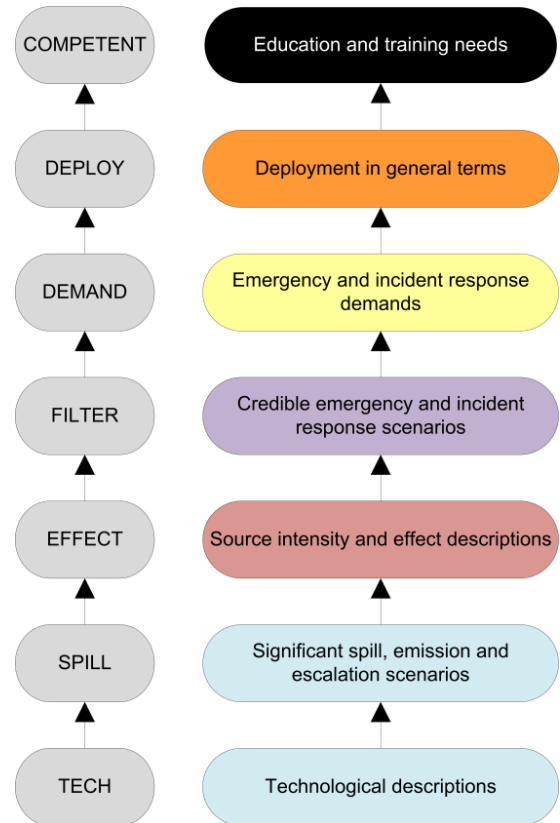


Abbildung 47 Siebenstufiger Aufbau der Ausbildungs- und Schulungserfordernisse

5.2 SZENARIEN

5.2.1 WESENTLICHE SZENARIEN ZU AUSTRETEN, EMISSION UND ESKALATION

Die festgelegten Typen von Eingrenzungen (Behältern), Ursachen und Wirkungen in Teil 1 (siehe Basismatrix) ergaben nach Experteneinschätzung die folgenden wesentlichen Szenarien zu Austreten, Emission und Eskalation.

Art des Eingrenzungssystems		Ursache	Auswirkung	Szenario-Nr.
1. Schiffe mit LNG als Treibstoff	1. Treibstofftank(s) an Deck	3. Zusammenstoß mit Brücke	B. Rückschlagsbrand	1.1.3.B
			C. Strahlbrand	1.1.3.C
			D. Lachenbrand	1.1.3.D
			E. Kryo-Schaden	1.1.3.E
		5. Ausfall der Tankanschlüsse	B. Rückschlagsbrand	1.1.5.B
			C. Strahlbrand	1.1.5.C
			E. Kryo-Schaden	1.1.5.E
		6. Verdunstung und Austritt	B. Rückschlagsbrand	1.1.6.B
			C. Strahlbrand	1.1.6.C
		7. Freisetzung von Überdruck	C. Strahlbrand	1.1.7.C
8. Ausfall des Umpumpsystems	B. Rückschlagsbrand	1.1.8.B		
	C. Strahlbrand	1.1.8.C		
	D. Lachenbrand	1.1.8.D		
	E. Kryo-Schaden	1.1.8.E		
11. Sekundärbrand (z. B. Ladung)	F. Sprengschaden	1.1.11.F		
	G. Dominoeffekt	1.1.11.G		

Art des Eingrenzungssystems		Ursache	Auswirkung	Szenario-Nr.
1. Schiffe mit LNG als Treibstoff	2. Treibstofftank(s) unter Deck	1. Zusammenstoß mit einem anderen Schiff	A. Schaden an der Konstruktion	1.2.1.A
			B. Rückschlagsbrand	1.2.1.B
			C. Strahlbrand	1.2.1.C
			D. Lachenbrand	1.2.1.D
			E. Kryo-Schaden	1.2.1.E
		4. Auflaufen	A. Schaden an der Konstruktion	1.2.4.A
		5. Ausfall der Tankanschlüsse	B. Rückschlagsbrand	1.2.5.B
			C. Strahlbrand	1.2.5.C
			D. Lachenbrand	1.2.5.D
			E. Kryo-Schaden	1.2.5.E
		6. Verdunstung und Austritt	B. Rückschlagsbrand	1.2.6.B
			C. Strahlbrand	1.2.6.C
		7. Freisetzung von Überdruck	C. Strahlbrand	1.2.7.C
		8. Ausfall des Umpumpsystems	B. Rückschlagsbrand	1.2.8.B
C. Strahlbrand	1.2.8.C			
D. Lachenbrand	1.2.8.D			
E. Kryo-Schaden	1.2.8.E			
2. LNG-Tanker/-Bunkerschiffe	1. Tank(s) Typ C	1. Zusammenstoß mit einem anderen Schiff	A. Schaden an der Konstruktion	2.1.1.A
			B. Rückschlagsbrand	2.1.1.B
			C. Strahlbrand	2.1.1.C
			D. Lachenbrand	2.1.1.D
			E. Kryo-Schaden	2.1.1.E
		4. Auflaufen	A. Schaden an der Konstruktion	2.1.4.A
		5. Ausfall der Tankanschlüsse	B. Rückschlagsbrand	2.1.5.B
			C. Strahlbrand	2.1.5.C
			D. Lachenbrand	2.1.5.D
			E. Kryo-Schaden	2.1.5.E
		6. Verdunstung und Austritt	B. Rückschlagsbrand	2.1.6.B
			C. Strahlbrand	2.1.6.C
		7. Freisetzung von Überdruck	C. Strahlbrand	2.1.6.C
		8. Ausfall des Umpumpsystems	B. Rückschlagsbrand	2.1.8.B
	C. Strahlbrand		2.1.8.C	
	D. Lachenbrand		2.1.8.D	
	E. Kryo-Schaden		2.1.8.E	
	2. Membrantank(s)	1. Zusammenstoß mit einem anderen Schiff	A. Schaden an der Konstruktion	2.2.1.A
			B. Rückschlagsbrand	2.2.1.B
			C. Strahlbrand	2.2.1.C
			D. Lachenbrand	2.2.1.D
			E. Kryo-Schaden	2.2.1.E
		2. Zusammenstoß mit dem Kai	B. Rückschlagsbrand	2.2.2.B
		4. Auflaufen	A. Schaden an der Konstruktion	2.2.4.A
		5. Ausfall der Tankanschlüsse	B. Rückschlagsbrand	2.2.5.B
			C. Strahlbrand	2.2.5.C
			D. Lachenbrand	2.2.5.D
			E. Kryo-Schaden	2.2.5.E
6. Verdunstung und Austritt		B. Rückschlagsbrand	2.2.6.B	
		C. Strahlbrand	2.2.6.C	
7. Freisetzung von Überdruck		C. Strahlbrand	2.2.7.C	
8. Ausfall des Umpumpsystems	B. Rückschlagsbrand	2.2.8.B		
	C. Strahlbrand	2.2.8.C		
	D. Lachenbrand	2.2.8.D		
	E. Kryo-Schaden	2.2.8.E		

Tabelle 16 Realistische Szenario-Analyse im Hinblick auf Not- und Unfall-Einsätze

Diese Szenarien (Nr. 1.1.3.B bis 2.2.8.E) bilden die Grundlage für den nächsten Schritt: "Wahrscheinlichkeitsanalyse zu Not- und Unfalleinsätzen".

5.2.2 REALISTISCHE SZENARIEN VON NOTFALL- UND UNFALLEINSÄTZEN

Die wesentlichen Szenarien zu Austreten, Emission und Eskalation (Nr. 1.1.3.B bis 2.2.8.E) werden anhand der nachstehenden Fragen auf Wahrscheinlichkeit des Not- und Unfalleinsatzes gefiltert:

1. Ist das Szenario realistisch und typisch?
2. Kann das Szenario erheblichen Schaden an Sachanlagen oder für Personen in der Umgebung bedeuten?
3. Kann ein Eingreifen beim Szenario klare Auswirkungen haben, um eine Eskalation zu verhindern?

Nur die Szenarien, auf die diese drei Kriterien zutreffen, werden (nach Experteneinschätzung) als wahrscheinliche Szenarien für einen Notfall- und Unfalleinsatz ausgewählt.

Intensität der Quelle und Auswirkungen sind wichtige Parameter. Unwahrscheinliche Katastrophenszenarien (z. B. Flugzeugabsturz auf ein Schiff) oder Szenarien, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens praktisch gleich Null ist, werden nicht berücksichtigt.

Anhand dieser Wahrscheinlichkeitsanalyse durch Experteneinschätzung wurden 4 glaubhafte Typen von Szenarien für Not- und Unfalleinsätze ausgewählt.

Szenario Austreten, Emission und Eskalation	Filterkriterien ¹⁾			Glaubhaftes Notfalleinsatz-Szenario	Sortiert nach Typ des Notfalleinsatz-Szenarios ²⁾
	1	2	3		
1.1.3.D	Ja	Ja	Ja	Ja	SCEN-1 (IWT-LNG-SSERP-1)
1.1.11.G	Ja	Ja	Ja	Ja	SCEN-4 (IWT-LNG-SSERP-4)
1.2.8.E	Ja	Ja	Ja	Ja	SCEN-2 (IWT-LNG-SSERP-2)
1.2.5.D	Ja	Ja	Ja	Ja	SCEN-3 (IWT-LNG-SSERP-3)

Tabelle 17 Analyse glaubhafter Szenarien zum Unfalleinsatz

- 1) Nachstehend die Filterkriterien für Not- und Unfalleinsätze:
 1. *Das Szenario ist realistisch und typisch.*
 2. *Das Szenario kann erheblichen Schaden an Sachanlagen oder für Personen in der Umgebung bedeuten.*
 3. *Ein Eingreifen beim Szenario hat klare Auswirkungen, um eine Eskalation zu verhindern.*
- 2) *Gefilterte und sortierte Typen von Szenarien für Not- und Unfalleinsätze:*

SCEN-1: *Fracht-Binnenschiff mit LNG-Antrieb, **LNG-Treibstofftank auf Deck**, Zusammenstoß mit Brücke, Ausfall von Rohrleitungen, dauernde Freisetzung von LNG, Ausbreitung einer Dampf Wolke, **keine Entzündung des LNG**, Eskalation mit lang anhaltenden Gas-/Dampfkonzentrationen, direkte Beseitigung aller Zündquellen und Wasser-Nebelwände erforderlich.*

SCEN-2: *Bunkern vom Tankwagen zum Schiff, **LNG-Treibstofftank unter Deck**, Riss in der Schlauchleitung, eingeschränkte Freisetzung von LNG, nicht begrenzter Austritt von LNG auf Wasser, RPT, Kryo-Schäden am Schiff, **keine Entzündung des LNG**.*

SCEN-3: *Binnen-LNG-Tanker-/Bunkerschiff, **LNG-Ladungstanks**, Container fällt vom bebunkerten Schiff auf das bunkernde Schiff, kurze durchgängige Freisetzung von LNG, nicht begrenzter Austritt auf Wasser, RPT, **verzögerte Entzündung des LNG.***

SCEN-4: *Fracht-Binnenschiff mit LNG-Antrieb, **LNG-Treibstofftank auf Deck**, Zusammenstoß mit einem anderen Schiff, **direkte Entzündung der Ladung** (Benzin), Wärmeexposition der LNG-Treibstofftanks, Eskalation mit längerer Exposition, Kühlung innerhalb von 15 Minuten erforderlich.*

Diese Szenarien SCEN-1, SCEN-2, SCEN-3 und SCEN-4 sind die Vorgaben für den nächsten Schritt: "Modellierung der Folgen".

5.3 MODELLIERUNG DER FOLGEN

5.3.1 NOTWENDIGKEIT

Vor der Erarbeitung von Strategien zu Notfalleinsätzen, sind szenarienspezifische Kenntnisse der jeweiligen Größen von Wärme, Dampf und Gas und ihrer Auswirkungen erforderlich.

5.3.2 NUTZEN

Bei Folgenmodellierung mit dem Programm Phast DNV erhält man visuelle Hinweise auf die potentielle Wärme- und Gaskonzentration für die Szenarien SCEN-1, SCEN-2, SCEN-3 und SCEN-4.

5.3.3 METEOROLOGISCHE EINGANGSDATEN

Daten	Eingabe
Temperatur der Umgebungsluft	15 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	60 %
Windgeschwindigkeit	9 m/s

Tabelle 18 Meteorologische Daten

5.3.4 GRUNDSÄTZE: UMFANG DER WÄRMEKONTUREN UND GRENZEN DER WOLKENVERTEILUNG

5.3.4.1 AUSWIRKUNGEN AUF PERSONEN - BRÄNDE

- Personen, die bei einem Lachenfeuer einer Strahlflamme oder Bereichen mit einem Flammenschweif ausgesetzt sind, gelten als Todesopfer.
- Personen die > 32 kW/m² ausgesetzt sind, gelten als Todesopfer.
- Bei Personen, die < 12 kW/m² und > 6,3 kW/m² ausgesetzt sind, geht man von sofortigen Verbrennungen dritten Grades aus.
- Bei Personen, die < 6,3 kW/m² ausgesetzt sind, geht man von sofortigen Verbrennungen 2. Grades und von Verbrennungen 3. Grades innerhalb von Minuten aus.
- Einsatzkräfte können in den Bereich mit 6,3 kW/m² eindringen, um manuell einzugreifen, aber nur mit vollständig feuerbeständiger PSA ("Bunkerausrüstung") und nur für < 1 Minute.

5.3.4.2 AUSWIRKUNGEN AUF KONSTRUKTIONEN - BRÄNDE

Die folgenden Auswirkungen werden für ungeschützte Konstruktionen bei einem Brand angenommen:

- Leichtkonstruktionen können innerhalb von 5 Minuten ausfallen, wenn sie einem Feuer mit hoher Wärmestromdichte ausgesetzt sind. Eine hohe Wärmestromdichte liegt zwischen 200 kW/m² und 300 kW/m².
- Große und schwere Konstruktionen können innerhalb von 10 Minuten ausfallen, wenn sie einem Feuer mit geringerer Wärmestromdichte ausgesetzt sind. Eine geringere Wärmestromdichte liegt bei unter 200 kW/m².
- Jede Ausrüstung oder Konstruktion fällt aus, wenn sie 30 Minuten lang 100 kW/m² ausgesetzt ist.
- Bei Konstruktionen, die über eine lange Zeit geringeren Wärmestromdichten ausgesetzt sind, besteht die Gefahr, dass sie zusammenbrechen. Bei einer Wärmestromdichte von 25 kW/m² und einer Expositionsdauer von 30 Minuten oder mehr ist es wahrscheinlich, dass die Konstruktion stark geschwächt wird und eventuell zusammenbricht.

5.3.5 SCEN-1

Glaubhaftes Szenario eines Notfall- und Unfalleinsatzes

Fracht-Binnenschiff mit LNG-Antrieb, LNG-Treibstofftank an Deck, Zusammenstoß mit einer Brücke, Ausfall von Rohrleitungen, dauernde Freisetzung von LNG, Ausbreitung einer Dampf Wolke, keine Entzündung des LNG, Eskalation mit lang anhaltenden Gas-/Dampfkonzentrationen, direkte Beseitigung aller Zündquellen und Wasser-Nebelwände erforderlich.



Fallstudie

LNG-Binnenschiff **Argonon**

Eingabe

Das Schiff mit LNG als Treibstoff hat einen ortsfesten LNG-Treibstofftank auf Deck (doppelwandig, Typ C) mit einem Fassungsvermögen von 40 m³. Das Szenario geht von einem Zusammenstoß mit einer Brücke aus, wodurch eine Rohrleitung ausfällt und Dampf ohne Entzündung freigesetzt wird. Die Kriterien des Szenarios sind nachstehend aufgeführt.

Daten	Eingabe
Tankgröße	40 m ³
Freisetzung	Länger
Freisetzungsrate	48,3 kg/s
Dauer des Austretens	360 s
Temperatur des LNG	-138 °C
LNG-Tankdruck	4 barg

Wichtige Konzentrationen	Entfernung mit dem Wind
25.000 PPM (50% LFL)	203 m
50.000 PPM (LFL)	136 m
150.000 PPM (UFL)	34 m

Tabelle 19 PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 1

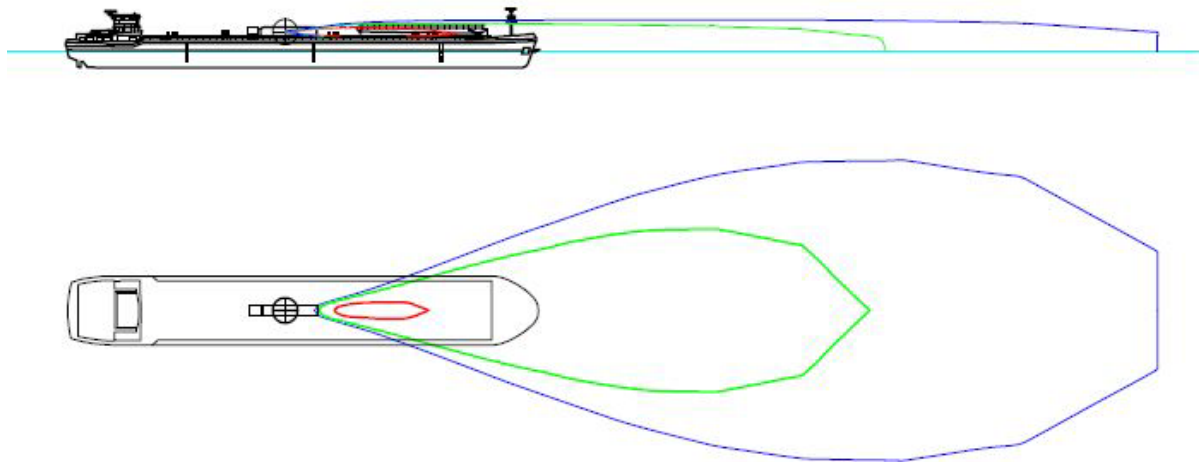


Abbildung 48 Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung Szenario 1

Die Berechnungen zeigen, dass in diesem Szenario nur ein kleiner Teil innerhalb der UFL liegt, aber der größte Teil des Schiffes innerhalb der LFL mit dem Wind läge. Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.1A.

5.3.6 SCEN-2

Glaubhaftes Szenario eines Notfall- und Unfalleinsatzes

Fracht-Binnenschiff mit Antrieb mit LNG, LNG-Treibstofftank unter Deck, Bunkern vom Tankwagen zum Schiff, Riss in der Schlauchleitung, Ausfall des Notfalltasters am Tankwagen, beschränkte längere Freisetzung von LNG, nicht begrenzte Freisetzung auf Wasser, RPT, Kryo-Schäden an der Schiffskonstruktion.

Fallstudie

Bunkern von einem Tankwagen zum Schiff ist, wie jedes Umpumpen, ein realistisches Szenario. In diesem Fall könnte bei einer Bewegung des Schiffes eine Schlauchleitung reißen. Die Menge des freigesetzten LNG hängt von der Wirksamkeit der ESD-Systeme und der Aufmerksamkeit der Betreiber beim Bunkern ab.



Abbildung 49 Pumpen vom Tankwagen zum Schiff

Eingabe

Das Schiff hat einen ortsfesten LNG-Treibstofftank (doppelwandig, Typ C) unter Deck mit einem Fassungsvermögen von 50 m³. Bei dem Szenario wird der Ausfall einer Reihe von Barrieren während des Bunkerns eines Schiffes vom Tankwagen aus angenommen, wodurch der Zuleitungsschlauch ausfällt und LNG ins Wasser mit Berührung der Schiffskonstruktion austritt.

Die Kriterien des Szenarios sind nachstehend aufgeführt.

Daten	Eingabe
Tankgröße	50 m ³
Lochgröße	75 mm ø
Freisetzung	Länger
Freisetzungsrate	3000 kg/Stunde
Dauer des Austretens	60 s
Temperatur des LNG	-162 °C
LNG-Tankdruck	150 mbarg

Wichtige Konzentrationen	Entfernung mit dem Wind
25.000 PPM (50% LFL)	71,25 m
50.000 PPM (LFL)	47,98 m
150.000 PPM (UFL)	22,78 m

Tabelle 20 PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 2

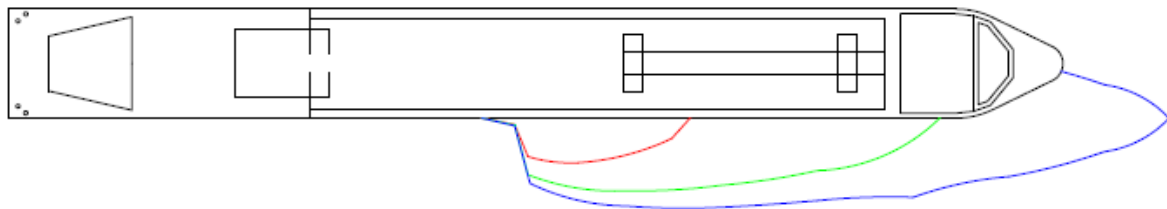
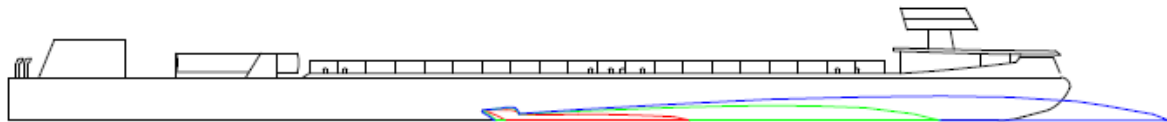


Abbildung 50 Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung Szenario 2

Die Berechnungen zeigen, dass in diesem Szenario nur ein kleiner Bereich innerhalb der UFL liegt. Der LFL würde sich für den größten Teil des Schiffs aber entlang der Wasserlinie mit dem Wind erstrecken. Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2-2A.

5.3.7 SCEN-3

Glaubhaftes Szenario eines Notfall- und Unfalleinsatzes

Binnen-LNG-Tanker-/Bunkerschiff, LNG-Ladungstanks, Container fällt vom bebunkerten Schiff auf das bunkernde Schiff, kurze durchgängige Freisetzung von LNG, nicht begrenzter Austritt auf Wasser, RPT, verzögerte Entzündung des LNG.

Fallstudie

Beim künftigen Bunkern von Seeschiffen, während aus dem empfangenden Schiff gleichzeitig Container geladen werden, besteht ein höheres Risiko des Reißens von Pumpleitungen durch herunterfallende oder verrutschende Container.

Es kommt häufig vor, dass Container über Bord fallen. Die Fallstudie untersucht das Pumpen von LNG vom Argos-Bunkerschiff auf ein Containerschiff zum Zeitpunkt des Vorfalles.



Abbildung 51 Argos-LNG-Binnenbunkerschiff



Abbildung 53 Bilder von Unfällen, bei denen Container über Bord auf ein tiefer liegendes Schiff fielen

Eingabe

Das Pumpen von LNG (Schiff zu Schiff) begann bereits mehrere Minuten vorher mit einer Durchflussmenge von $0,18 \text{ m}^3$ LNG pro Sekunde (jetzt liegen die Durchflussmengen beim STS-Bunkern bei 1.000 bis 10.000 m^3 pro Stunde). Ein Container fällt über Bord auf ein vertäutes Bunker-Binnenschiff (siehe vorstehendes Schiff) neben einem Containerschiff, das beladen wird, auf dem die Ladung 30 m hoch gestapelt ist.

Infolgedessen reißt die Rohrleitung an Deck (dieses Szenario lässt sich auch für einen Ausfall des Lagearms beschreiben). Das Schiff hat ein Überlaufventil, aber aufgrund des Aufpralls funktioniert es nicht einwandfrei. Die Besatzung braucht 90 Sekunden, um den Prozess manuell zu stoppen. Fast 16 m^3 LNG fließen vom Deck ins Wasser über die andere Schiffsseite. Die Dämpfe entzündeten sich nach sechs Minuten.

Die Kriterien des Szenarios sind nachstehend aufgeführt.

Daten	Eingabe
Tankgröße	300 m ³
Lochgröße	150 mm ø
Freisetzung	Länger
Freisetzungsrate	kg/sec
Dauer des Austretens	90 s
Dauer bis zur Entzündung	360 s
Freigesetzte Masse	16 m ³
Temperatur des LNG	-160 °C

Wärmestromdichte	Entfernung mit dem Wind
6,3 KW/m ²	2,5 m in einer Höhe von 0,25 m
12,5 KW/m ²	2,29 m in einer Höhe von 0,52 m
32 KW/m ²	Nicht berechnet, ist Teil der Flamme des Lachenfeuers

Tabelle 21 PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 3

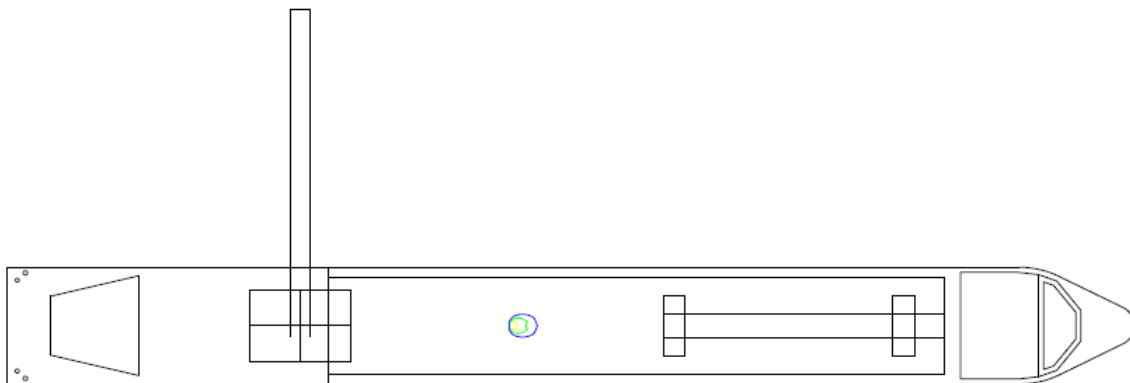
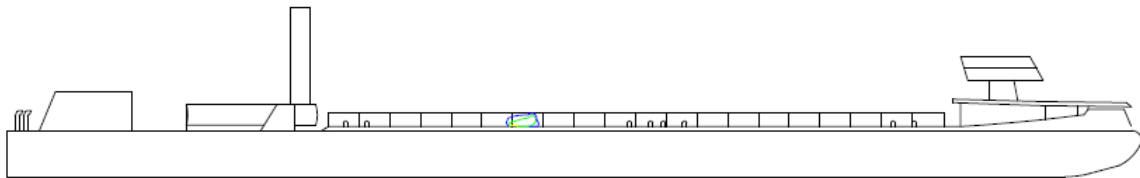


Abbildung 53 Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung Szenario 3

Die berechnete Wärmestromdichte aus dem resultierenden 16 m³-Lachenfeuer ist auf das Deck und den Einstrom ins Wasser beschränkt. 32 kw/m² liegen innerhalb des Flammenbereichs; man kann jedoch davon ausgehen, dass sich der Brand auf die Versorgungsvorrichtungen auf Deck ausweitet. Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.3A.

5.3.8 SCEN-4

Glaubhaftes Szenario eines Notfall- und Unfalleinsatzes

Fracht-Binnenschiff mit Antrieb mit LNG, LNG-Treibstofftank auf Deck, Zusammenstoß mit einem anderen Schiff, direkte Entzündung der Ladung (Benzin), Wärmeexposition der LNG-Treibstofftanks, Eskalation mit verlängerter Exposition, Kühlung innerhalb von 15 Minuten erforderlich.



Abbildung 54 Greenstream-Schiff

Fallstudie

LNG-Binnenschiff **Greenstream**

Eingabe

Der Greenstream-Tanker ist ein Frachtschiff mit LNG-Antrieb. Der Tanker hat 6 Tanks (jeweils ca. 500 m³), in denen Ladung transportiert wird, z. B. Mineralöle oder Chemikalien.

Beim Szenario wird ein Zusammenstoß mit einem anderen Schiff angenommen, durch das der Tank leckschlägt. So entsteht eine Austrittslache auf dem Wasser mit einem Lachenbrand mit verzögerter Entzündung.

Die Kriterien des Szenarios sind nachstehend aufgeführt.

Daten	Eingabe
Tankgröße	500 m ³
Lochgröße	1.000 mm ø
Freisetzung	Länger
Freisetzungsrate	8.592 kg/s
Dauer des Austretens	42 s
Durchmesser der Lache	160,68 m

Wärmestromdichte	Entfernung mit dem Wind
6,3 KW/m ²	204 m
12,5 KW/m ²	107 m
32 KW/m ²	entfällt

Tabelle 22 PHAST-Vorgabe- und Ergebnisdaten Szenario 4

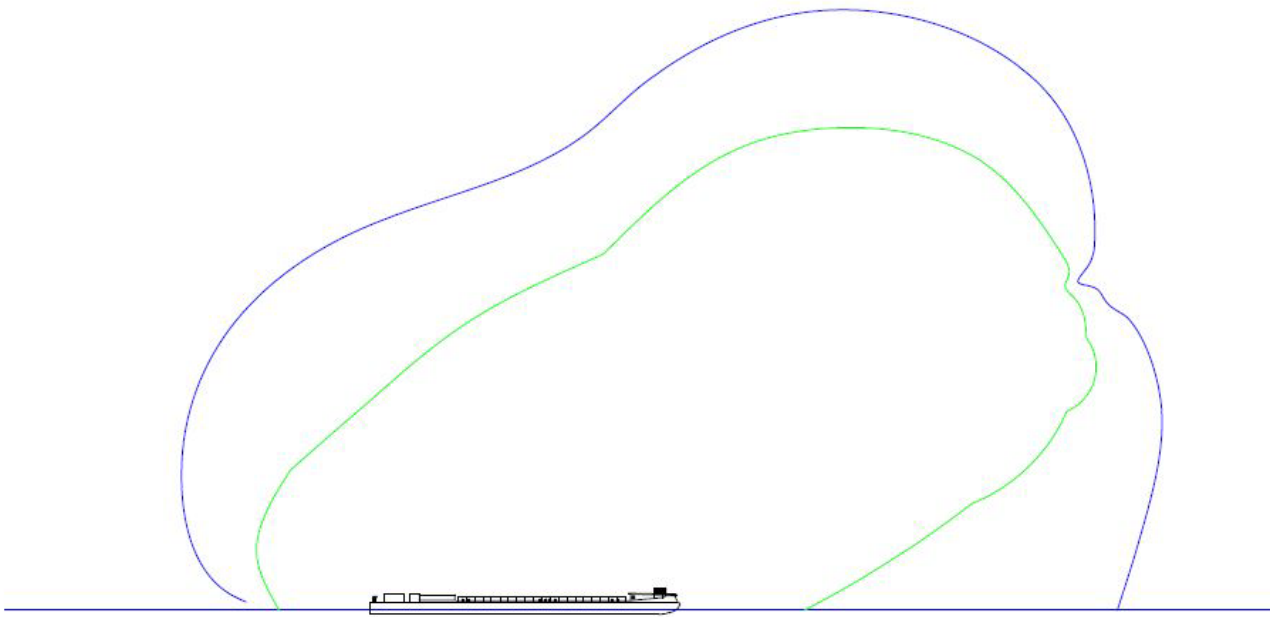


Abbildung 55 Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung - Seitenansicht - Szenario 4

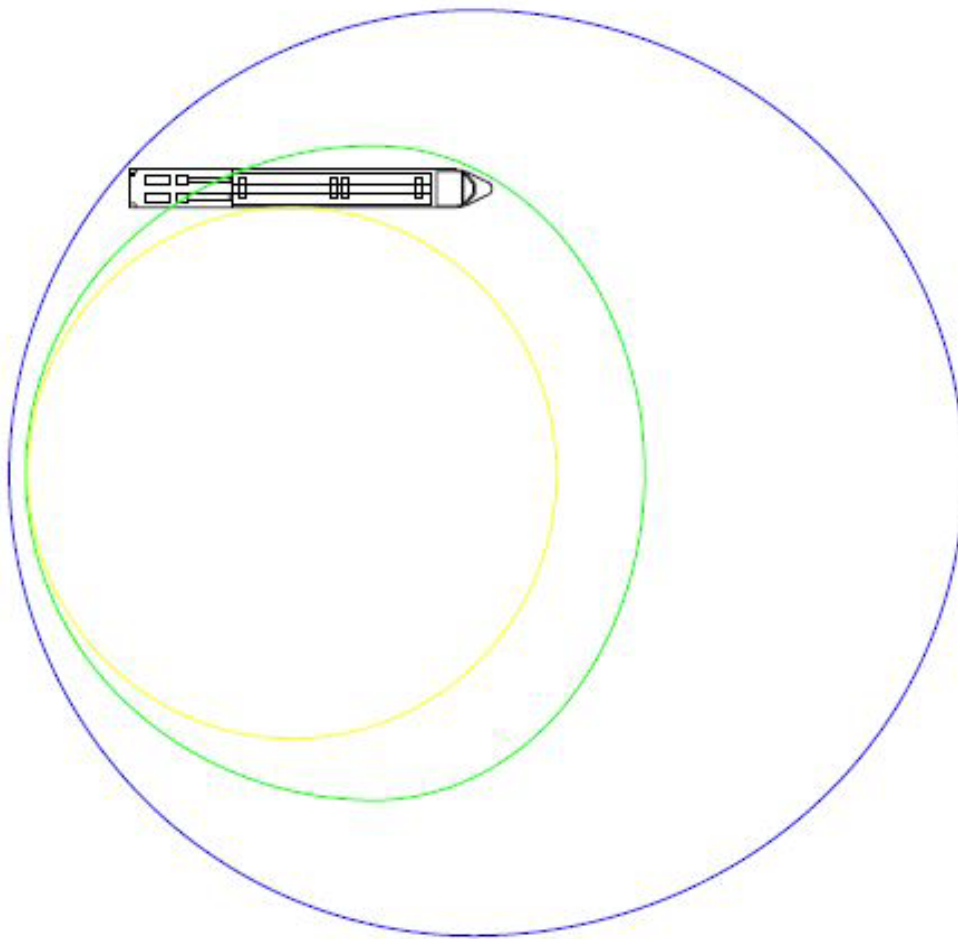


Abbildung 56 Schematische Darstellung der PHAST-Modellierung - Draufsicht - Szenario 4

Die Berechnungen ergeben, dass bei diesem Szenario der größte Teil des Schiffs im Bereich von 12,5 KW/m² liegt. Insbesondere bereiten die LNG-Treibstofftanks Sorge.

In diesem Fall wurde die Kontur für die 32 KW/m² nicht berechnet. Normalerweise heißt das, dass diese Wärmestrahlung in der Flamme des Brandes enthalten ist.

Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.4A.

Diese neuen szenarienspezifischen Erkenntnisse - Wärme-, Dampf- und Gaswerte und -auswirkungen - sind die Eingabe für den nächsten Schritt: "Planung des Notfalleinsatzes".

5.4 PLANUNG DES NOTFALLEINSATZES

5.4.1 NOTWENDIGKEIT

Vor der Festlegung der erforderlichen Punkte für Ausbildung und Schulung muss der szenarienspezifische Notfalleinsatz geplant werden.

5.4.2 NUTZEN

Durch Erarbeiten von szenarienspezifischen Notfall-Einsatzplänen (SSERPs) werden die Maßnahmen für den Notfalleinsatz erkennbar. Alle szenarienspezifischen Maßnahmen zusammengefasst sind die Grundlage für ergänzende Ausbildungs- und Schulungserfordernisse für Not- und Unfalleinsatzkräfte.

5.4.3 SCEN-1

Betrachtetes Szenario eines Notfall- und Unfalleinsatzes: Fracht-Binnenschiff mit LNG-Antrieb, LNG-Treibstofftank an Deck, Zusammenstoß mit einer Brücke, Ausfall von Rohrleitungen, dauernde Freisetzung von LNG, Ausbreitung einer Dampfwolke, keine Entzündung des LNG, Eskalation mit lang anhaltenden Gas-/Dampfkonzentrationen, direkte Beseitigung aller Zündquellen und Wasser-Nebelwände erforderlich.

5.4.3.1 STRATEGIE

- Vorfall der Freisetzung von LNG bestätigen
- Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen
- Freisetzungsquelle von LNG isolieren, wenn dies gefahrlos möglich und praktikabel ist
- Bereich mit Gefährdung durch Gas möglichst nicht betreten
- Schiff, wenn möglich, zum Ufer bringen
- Personen an Bord und Besatzung evakuieren
- Löschpumpen an Bord anlassen
- Sprühwasser in Form von Wasservorhängen/-schleiern einsetzen, die die Bewegung des Gases möglichst einschränken können
- Erste Abschätzung des Umfangs der Gas-"wolke" und der betroffenen Bereiche
- Erste Feststellung möglicher Zündquellen und Beseitigung/Minimierung
- Vorkehrungen zum Empfang der anrückenden externen Einsatztrupps an der vorderen Leitstelle (FCP)
- Zündquellen im betroffenen Bereich beseitigen
- Schiffsverkehr beschränken oder anhalten, damit keine Schiffe in den Gefahrenbereich einfahren

- Tragbare Gasdetektoren zur Überwachung der Größe der Gaswolke einsetzen
- Die lokale Feuerwehr bewertet die Umstände des Vorfalls im Sinne der ständigen Sicherheit
- Unterstützung für die Kontrolle durch Sprühwasser
- Laufende Überwachung der Wind-/Wetterbedingungen
- Einsatzkräfte bleiben in sicherer Entfernung in Bereitschaft, bis das Gebiet für sicher erklärt wird.

5.4.3.2 PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE (SCHIFFSBESATZUNG)

Maßnahmen

- Freisetzung von LNG bestätigen
- Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen
- Versuchen, Leck zu isolieren (ESD aktivieren)
- Belüftung des Schiffs abschalten, damit kein Gas ins Schiff eingesaugt wird
- Löschpumpe und Wasserschutzsysteme (sofern vorhanden) einschalten
- Überlegen, ob das Schiff an einer sicheren Stelle ans Ufer gebracht werden kann (wenn möglich)
- Alle nicht benötigten Personen (Passagiere und Besatzung) evakuieren
- Eintreffen der Einsatzkräfte vorbereiten

Ausrüstung/Ressourcen

- Detektionssystem(e) und/oder persönliche Beobachtung
- Steuerung der Löschpumpen
- Sprühwassersystem
- ESD-Systeme
- Lüftungssystem
- Notstrom

Informationen/Anmerkungen

Alle Zündquellen an Bord entfernen. Wenn Wasserschleier installiert sind, kann ihre Aktivierung helfen, das Wandern des Gases über eine Schiffsbrücke hinweg zu verhindern.

Wenn das Leck nicht geschlossen und das Austreten nicht gestoppt werden kann, alle Personen an einen sicheren Ort gegen den Wind evakuieren. Am besten an Land evakuieren. Wenn aber eine große Leckstelle vorliegt, das Schiff nicht in Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte oder in Gebiete mit hoher Wahrscheinlichkeit von Zündquellen bringen.

Schiff nur dann umsetzen, wenn dies gefahrlos möglich ist:

- Maschinenraum und Brücke windaufwärts zum Leck
- Schiff zu 100% vom Gegenstand des Zusammenstoßes (Brücke) frei
- Notstrom für Antrieb ist vorhanden (nach ESD)
- Sprühwassersysteme aktiviert.

Lokale Feuerwehr informieren, dass bis jetzt alle aufgeführten Maßnahmen ergriffen wurden.

5.4.3.3 SEKUNDÄRE EINSATZKRÄFTE (NOTFALLEINSATZKRÄFTE UND FLUSS-/HAFENBEHÖRDEN)

Maßnahmen

- Annäherung gegen den Wind
- Kontakt mit dem Schiffsführer/den Hafenbehörden herstellen
- Größe der Gaswolke abschätzen
- Zündquellen auf dem Weg der Gaswanderung entfernen
- Sprühwasser zum Zerstören der Gaswolke in Stellung bringen
- Löschboot: Sprühwasser zum Abschwächen/Zerstören der Gaswolke in Stellung bringen

- Größe der Gaswolke mit Gasetektoren überwachen. Gaswolke visuell über Wärmebildkamera verfolgen.
- Laufend die Umstände des Vorfalles im Sinne der ständigen Sicherheit bewerten und Unterstützung bei der Kontrolle durch Sprühwasser leisten. Angeben, ob weitere Evakuierungen erforderlich sind.
- Vorkehrungen für den Brandfall treffen
- Nachbetreuung: Kontrolle auf "Gastaschenbildung" in allen Gebäuden und geschlossenen Räumen in der Nähe der Gaswolke
- Unfallbereich absperren und Umgebung in Bewegungsrichtung der Gaswolke evakuieren
- Schiffsverkehr um den Unfallbereich einschränken oder steuern

Ausrüstung/Ressourcen

- Vorderer Leitstand (FCP) windaufwärts von der Unfallstelle
- Löschwasserpumpen/Löschfahrzeuge vollständig
- Mobile Wasserwerfer
- Mobile Wasserschleier
- Gasetektoren
- (Hochauflösende) Wärmebildkamera
- Rettungsboot
- Löschboot mit Wasserschleiern
- Alle Einsatzkräfte verfügen über angemessene PSA zum Verhindern von Verbrennungen bei einer Entzündung

Informationen/Anmerkungen

Windrichtung und Wetterbedingungen sind für die Vorausberechnung der Dampfvolke vor Ort und für die Entscheidungsprioritäten wichtig. Bei LNG-Freisetzen können Wassersprühvorrichtungen und/oder ortsbewegliche Wasserwerfer eingesetzt werden, um das freigewordene Gas einzugrenzen, einzudämmen oder in eine bestimmte Richtung zu lenken, um zu verhindern, dass es eine Zündquelle erreicht.

Wenn die Bewegung des Gases mit dem Wind in Richtung eines Gebiets geht, wo eindeutig keine Zündquelle vorliegt, kann man dies nutzen, um gegen den Wind Wasservorhänge oder -schleier aufzubauen, wenn in dieser Richtung Zündquellen vorliegen. Anmerkung: Niemals davon ausgehen, dass Windrichtung und Windgeschwindigkeit konstant sind.

Die Umgebung kann Einfluss auf die Bewegung der Gaswolke haben. Berücksichtigen, dass hohe Flussufer und Gebäude für die Bildung einer Gaswolke wie ein Trichter wirken können. Gaswolken können von empfindlichen Bereichen weg geleitet werden. Jedoch wird bei einer Erwärmung der Gaswolke mit Sprühwasser das Gas schneller sicher in die Atmosphäre entweichen.

"Gastaschenbildung" bedeutet, dass der kalte LNG-Dampf als Gas in enge Bereiche ohne Entlüftung verdunstet. Dies könnte eine Explosionsquelle darstellen.

5.4.3.4 ÜBERLEGUNGEN ZU VEREINHEITLICHER LEITUNG

- Meteorologische Informationen
- Analyse der Umgebung und Umweltüberlegungen
- Kommunikation
- Bergung
- Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen

5.4.3.5 POTENTIELLE GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME

Es ist immer umsichtig, davon auszugehen, dass sich eine Gaswolke jederzeit entzünden kann.

Bei jedem Eingreifen nach der ordnungsgemäßen ersten und laufenden Risikobewertung ist das Erreichen von Wasserschleiern oder Wassersprühnebeln zu bedenken, um die Wolke zu verringern, sind an ihrem Platz zu halten oder das Gas unter den LFL zu zerstreuen.

Der Einsatz von Wasserstrahlern zur Unterstützung der Verteilung des Gases an oder in der Nähe der Freisetzungsstelle ist nur dann praktikabel, wenn die Freisetzung von eher geringem Umfang ist. In den meisten Fällen muss ein solcher Einsatz von Schlauch-Teams unterstützt werden, die mit Wasserschleiern die Einsatzteams schützen.

Kontakt mit Kryo-LNG kann zu Brandverletzungen führen. Beim Kontakt mit LNG kann auch Schutzkleidung in Mitleidenschaft gezogen werden.

Die Entzündung einer nicht begrenzten Gaswolke kann dazu führen, dass die Gasflamme zur Austrittsquelle zurückschlägt, worauf sich eine Strahlflamme entwickelt. Wenn sich Gas in einer begrenzten oder engen Umgebung ansammelt, kann bei Entzündung eine CVCE (begrenzte Dampfexplosion) entstehen, die erheblichen Sprengschaden bewirkt und Sekundärbrände auslöst.

Wenn Flammen direkt auf ungeschützte/beschädigte Tanks oder Rohrleitungen treffen, kann eine warme BLEVE nicht ausgeschlossen werden.

Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.1B.

5.4.4 SCEN-2

Fracht-Binnenschiff mit Antrieb mit LNG, LNG-Treibstofftank unter Deck, Bunkern vom Tankwagen zum Schiff, Riss in der Schlauchleitung, Ausfall des Notfalltasters am Tankwagen, beschränkte längere Freisetzung von LNG, nicht begrenzte Freisetzung auf Wasser, RPT, Kryo-Schäden an der Schiffskonstruktion.

5.4.4.1 STRATEGIE

- Vorfall der Freisetzung von LNG bestätigen
- ESD aktivieren
- Behörden alarmieren
- Bereich mit Gefährdung durch Gas möglichst nicht betreten
- Mitarbeiter aus dem betroffenen Bereich evakuieren
- Entzündung von Dämpfen verhindern
- Schiffsverkehr im betroffenen Bereich unterbinden
- Laufende Überwachung der Wind-/Wetterbedingungen

5.4.4.2 PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE (SCHIFFSBESATZUNG)

Maßnahmen

- Freisetzung von LNG bestätigen
- ESD am LNG-Pumpsystem betätigen
- Lüftungssysteme ausschalten
- Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen
- Risiko einer Entzündung der Dampfvolke abschätzen
- Schiff evakuieren, bevor die Dampfvolke die Brücke/Wohnbereiche des Schiffs erreicht.
- Behörden unter Angabe aller relevanten technischen Daten zum LNG und zum Schiff informieren.
- Bei Feuer: Schiff verlassen.

Ausrüstung/Ressourcen

- Detektionssystem(e) und/oder persönliche Beobachtung
- ESD-Systeme
- Lüftungssysteme
- Notstrom
- Rettungsgeräte

Informationen/Anmerkungen

Windrichtung und Wetterbedingungen sind für die Vorausberechnung der Dampfwolke vor Ort und für die Entscheidungsprioritäten wichtig.

Risiko der Entzündung der Dampfwolke abschätzen und Schiff sofort verlassen, wenn die sichtbare Dampfwolke folgende Objekte erreichen könnte:

- Andere/s Schiff/e
- Verkehrswege / Autobahn
- Andere Zündquelle

Wenn es nicht sicher ist, Schiff windaufwärts verlassen. Wenn alle Personen in Sicherheit sind, mit erster Priorität die Einsatzkräfte informieren.

5.4.4.3 SEKUNDÄRE EINSATZKRÄFTE (NOTFALLEINSATZKRÄFTE UND FLUSS-/HAFENBEHÖRDEN)

Maßnahmen

- Schiffsbesatzung retten, wenn dies nötig/möglich ist.
- Defensive Strategie verfolgen.
- Wasserscheier/-sprühnebel zur Verteilung der Gaswolke unterstützen.
- Schiff auf Kryo-Schäden untersuchen.
- Schiffsverkehr um den Unfallbereich steuern.

Ausrüstung/Ressourcen

- Löschwasserpumpen/Löschfahrzeuge vollständig.
- Mobile Wasserwerfer.
- Mobile Wasserscheier.
- Gasetektoren.
- (Hochauflösende) Wärmebildkamera.
- Rettungsboot.
- Löschboot mit Wasserwerfer(n).
- Alle Einsatzkräfte verfügen über angemessene PSA zum Verhindern von Verbrennungen bei einer Entzündung

Informationen/Anmerkungen

Wassersprühnebel oder Wasserscheier zum Zerstreuen der Dampfwolke einsetzen. Den Betreiber wegen der Menge an LNG kontaktieren; die Maßnahmen und Ergebnisse des Betreibers bestätigen. Nie vergessen: die Ladung kann entzündlich oder gefährlich sein. Verhindern, dass Löschwasser in die LNG-Lache gerät und die Verdunstung erhöht.

5.4.4.4 ÜBERLEGUNGEN ZU VEREINHEITLICHER LEITUNG

- Meteorologische Informationen
- Analyse der Umgebung und Umweltüberlegungen
- Kommunikation
- Einwandfreier Zustand des Schiffs
- Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen

5.4.4.5 POTENTIELLE GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME

Bei LNG-Freisetzen kann es, wenn Wasser auf die Lache "spritzt oder tröpfelt", zunächst zu stärkerer Verdunstung kommen.

Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.2B.

5.4.5 SCEN-3

Binnen-LNG-Tanker-/Bunkerschiff, LNG-Ladungstanks, Container fällt vom bebunkerten Schiff auf das bunkernde Schiff, kurze durchgängige Freisetzung von LNG, nicht begrenzter Austritt auf Wasser, RPT, verzögerte Entzündung des LNG.

5.4.5.1 STRATEGIE

Anfänglich:

- Vorfall der Freisetzung von LNG bestätigen
- ESD aktivieren
- Behörden alarmieren
- Gaswolke möglichst nicht betreten
- Entzündung verhindern
- Begeben Sie sich windaufwärts auf die Uferseite für eine gefahrlose Rettung/Evakuierung.

Nach der verzögerten Endzündung:

- Anfangs-Szenario anwenden
- Mit Trockenlöschmittel löschen
- Schiffskonstruktion kühlen
- Sekundärbrände (Umgebung) verhindern
- Ladung (Container) schützen
- Schiffsverkehr im unmittelbar angrenzenden Bereich unterbinden
- Personen wegen der Wärmestrahlung evakuieren (bei großer Nähe Unterstützung bei der Kontrolle durch Wassersprühnebel)
- Laufende Überwachung der Wind-/Wetterbedingungen.

5.4.5.2 PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE (SCHIFFSBESATZUNG)

Maßnahmen

- LNG-Freisetzung aus dem Schiff durch die Stoßbelastung eines auf das Deck gefallenen Containers bestätigen
- ESD des LNG-Systems betätigen
- Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen
- Wassersprühsysteme aktivieren, wenn eingebaut/möglich
- Lüftungssysteme ausschalten
- Risiko abschätzen, dass die Dampf Wolke bei einer Entzündung Wohnbereiche erreicht.
- Behörden unter Angabe aller relevanten technischen Daten zum LNG und zum Schiff informieren.
- Versuchen, mit Trockenlöschmittel zu löschen.
- Bei Eskalation Schiff verlassen

Ausrüstung/Ressourcen

- Detektionssystem(e) und/oder persönliche Beobachtung
- Steuerung der Löschpumpen
- Sprühwassersystem
- ESD-Systeme
- Lüftungssystem
- Notstrom
- Notankerungssystem
- Rettungsgeräte
- Trockenlöschmittel

Informationen/Anmerkungen

- Windrichtung und Wetterbedingungen sind für die Vorausberechnung der Dampfwolke unter den geographischen Gegebenheiten vor Ort und für die Entscheidungsprioritäten wichtig.
- Risiko der Entzündung der Dampfwolke abschätzen und Schiff sofort verlassen, wenn die sichtbare Dampfwolke folgende Objekte erreichen könnte:
 - Wohngebiete und/oder Industriegebiete
 - Andere/s Schiff/e
 - Verkehrswege / Autobahn
 - Andere Zündquelle
- Wenn es nicht sicher ist, Schiff windaufwärts verlassen.
- Wenn Ankern nicht möglich ist: Schiff auf den Strand setzen!
- Evakuierung:
 - Windaufwärts oder quer zum Wind
 - Von der dem Zusammenstoß/Stoß entgegengesetzten Seite
 - Vorsicht: RPT möglich
- Die Einsatzkräfte mit erster Priorität informieren, wenn alle Personen in Sicherheit sind.

5.4.5.3 SEKUNDÄRE EINSATZKRÄFTE (NOTFALLEINSATZKRÄFTE UND FLUSS-/HAFENBEHÖRDEN)

Maßnahmen

- Schiffsbesatzung retten, wenn dies nötig/möglich ist.
- Wenn das Feuer beim Eintreffen noch brennt, mit Trockenlöschmittel löschen.
- Löschboot zum Kühlen der Schiffskonstruktion vor Ort bringen (oder von der Uferseite her)
- Kühlung durch Wassersprühnebel für die anderen Treibstofftanks, Ladung und Gefahrgüter in Stellung bringen, die durch die Brandwärme in Mitleidenschaft gezogen werden können.
- Vorbereitung der Bergungsoperation für das Unfallschiff beginnen.
- Schiffsverkehr um den Unfallbereich steuern.

Ausrüstung/Ressourcen

- Trockenlöschmittel
- Löschwasserpumpen/Löschfahrzeuge vollständig.
- Mobile Wasserwerfer.
- Mobile Wasserschleier.
- Gasdetektoren.
- (Hochauflösende) Wärmebildkamera
- Rettungsboot.
- Löschboot mit Wasserwerfer(n).
- Alle Einsatzkräfte verfügen über angemessene PSA zum Verhindern von Verbrennungen bei einer Entzündung.

Informationen/Anmerkungen

- An verschiedenen Objekten im betroffenen Bereich könnten Sekundärbrände ausbrechen.
- Wegen des relativ kleinen Umfangs des Feuers ist eine offensive Strategie wahrscheinlich erfolgversprechender und sollte verfolgt werden.
- Die Opfer mit Wassersprühnebel und Wasserschleiern vor der Wärmestrahlung schützen.
- Den Schiffsführer kontaktieren, um die LNG-Mengen, -Druck, seine Maßnahmen und Ergebnisse zu erfahren.
- Nie vergessen: die Ladung kann entzündlich oder gefährlich sein.
- Verhindern, dass Löschwasser in die LNG-Lache gelangt, um eine Ausweitung des Feuers zu vermeiden.
- LNG kann nur mit Trockenlöschmittel der Klasse BC gelöscht werden.

5.4.5.4 ÜBERLEGUNGEN ZU VEREINHEITLICHER LEITUNG

- Niemals davon ausgehen, dass Windrichtung und Geschwindigkeit und Strömung des Wassers konstant sind.
- Es kann sein, dass das Schiff durch Kryo-Schäden an der Schiffskonstruktion nicht länger in einwandfreiem Zustand ist.
- Das Verbrennen des kalten Methans bedeutet erheblich weniger Umweltverschmutzung als eine Zerstreuung, wenn es nicht entzündet ist. Die Form der Lache hängt von den Wetterbedingungen ab.

5.4.5.5 POTENTIELLE GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME

- Auch wenn es sich um das Szenario eines nur kleinen Brandes ausgetretener Stoffe handelt, muss mit allen Mitteln eine Eskalation verhindert werden.
- Bei LNG-Freisetzungen kann es, wenn Wasser auf die Lache "spritzt oder tröpfelt", zunächst zu stärkerer Verdunstung und Brand des LNG kommen.

Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.3B.

5.4.6 SCEN-4

Betrachtetes Szenario eines Notfall- und Unfalleinsatzes: Fracht-Binnenschiff mit Antrieb mit LNG (z. B. Greenstream), LNG-Treibstofftank auf Deck, Zusammenstoß mit einem anderen Schiff, direkte Entzündung der Ladung (Benzin), Wärmeexposition der LNG-Treibstofftanks, Eskalation mit verlängerter Exposition, Kühlung innerhalb von 15 Minuten erforderlich.

5.4.6.1 STRATEGIE

- Vorfall der Freisetzung von Benzin bestätigen
- Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen
- Freisetzungsquelle des Benzins isolieren, wenn dies gefahrlos möglich und praktikabel ist
- Gefahrenbereich möglichst nicht betreten
- Schiff, wenn möglich, zum Ufer bringen
- Personen an Bord und Besatzung evakuieren
- Löschpumpen an Bord anlassen
- Einsatz einer Sprühwasserlöschanlage zum Abkühlen der LNG-Treibstofftanks und Bereiche, die betroffen sein können
- Vorkehrungen zum Empfang der anrückenden externen Einsatztrupps an der FCP

- Schiffsverkehr beschränken oder anhalten, damit keine Schiffe in den Gefahrenbereich einfahren
- Die lokale Feuerwehr bewertet die Umstände des Vorfalls im Sinne der ständigen Sicherheit
- Lachenbrand mit Schaum löschen
- Unterstützung der Kontrolle durch Sprühwasser zum Abkühlen der Umgebung
- Laufende Überwachung der Wind-/Wetterbedingungen
- Einsatzkräfte bleiben in sicherer Entfernung in Bereitschaft, bis das Gebiet für sicher erklärt wird.

5.4.6.2 PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE (SCHIFFSBESATZUNG)

Maßnahmen

- Vorfall der Freisetzung von Benzin bestätigen
- Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen
- Versuchen, das Leck zu isolieren
- Löschpumpe und Wasserschutzsysteme (sofern vorhanden) einschalten
- Überlegen, ob das Schiff an einer sicheren Stelle ans Ufer gebracht werden kann (wenn möglich)
- Alle nicht benötigten Personen (Passagiere und Besatzung) evakuieren
- Eintreffen der Einsatzkräfte vorbereiten

Ausrüstung/Ressourcen

- Löschpumpe und ortsfestes Wasserschutzsystem

Informationen/Anmerkungen

- Wenn das Leck nicht geschlossen und das Austreten nicht gestoppt werden kann, alle Personen an einen sicheren Ort gegen den Wind evakuieren. Am besten an Land evakuieren. Wenn es sich jedoch um ein größeres Leck handelt, Schiff nicht in Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte bringen.
- Lokale Feuerwehr informieren, dass bis jetzt alle aufgeführten Maßnahmen ergriffen wurden.

5.4.6.3 SEKUNDÄRE EINSATZKRÄFTE (NOTFALLEINSATZKRÄFTE UND FLUSS-/HAFENBEHÖRDEN)

Maßnahmen

- Annäherung gegen den Wind
- Kontakt mit dem Schiffsführer herstellen
- Wassersprühsystem zur Kühlung der LNG-Treibstofftanks in Stellung bringen
- Schaum zum Löschen des Lachenbrands in Stellung bringen
- Laufend die Umstände des Vorfalls im Sinne der ständigen Sicherheit bewerten und Unterstützung bei der Kontrolle durch Sprühwasser leisten. Angeben, ob weitere Evakuierungen erforderlich sind.
- Vorkehrungen für den Brandfall treffen
- Unfallbereich absperren und Umgebung in Gefahrenrichtung evakuieren
- Schiffsverkehr um den Unfallbereich einschränken oder steuern
- Löschboot für Schaum/Wassersprühnebel zum Löschen des Brandes und Abkühlen der Umgebung

Ausrüstung/Ressourcen

- Vorderer Leitstand windaufwärts von der Unfallstelle

5.4.6.4 ÜBERLEGUNGEN ZU VEREINHEITLICHTER LEITUNG

- Meteorologische Informationen
- Analyse der Umgebung und Umweltüberlegungen
- Kommunikation
- Bergung
- Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen

5.4.3.5 POTENTIELLE GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME

Bei jedem Eingreifen nach der ordnungsgemäßen ersten und laufenden Risikobewertung ist das Löschen mit Schaum und das Errichten von Wasserschleiern und Wassersprühnebeln zu bedenken, um die Umgebung/LNG-Treibstofftanks zu kühlen.

Wenn Flammen direkt auf ungeschützte/beschädigte Tanks oder Rohrleitungen treffen, kann eine BLEVE nicht ausgeschlossen werden.

Achtung: Wenn das Schiff abtreibt, bewegt sich auch die Unfallstelle.

Weitere Einzelheiten entnehmen sie bitte Anhang 2.4B.

Diese neuen szenarienspezifischen Erkenntnisse im Hinblick auf Strategie, Maßnahmen, Ausrüstung und Ressourcen sowie die Überlegungen zur vereinheitlichten Leitung sind die Voraussetzungen für den letzten Schritt: "ergänzende Ausbildung und Schulung für Not- und Unfall-Einsatzkräfte".

5.5 AUSBILDUNG UND SCHULUNG

5.5.1 ABGRENZUNG

Bei der Planung von szenarienspezifischen Notfalleinsätzen unterscheiden wir die Rolle der primären und der sekundären Einsatzkräfte.

Primäre Einsatzkräfte : Schiffsbesatzung (z. B. Decksbesatzung, Maschinist, Steuermann, Bootsmann, Kapitän)

Sekundäre Einsatzkräfte: Notfalleinsatzkräfte (z. B. Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste, Hafen- und Fluss-behörden)

Der anfängliche Notfalleinsatz bei Austreten, Emission und/oder Freisetzung kann nur durch die Schiffsbesatzung in den ersten Minuten nach dem Vorfall erfolgen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die sekundären Einsatzkräfte eintreffen und übernehmen.

Ein Unfalleinsatz darf nur von den sekundären Einsatzkräften mit zusätzlicher beruflicher Kompetenz für diesen speziellen Zweck erfolgen (LNG-Unfalleinsatz in der Binnenschifffahrt im Rheingebiet).

Im Rahmen der aufgeschlüsselten Struktur des LNG-Rahmenplans für das Rhein - Main - Donau fällt die Erarbeitung von Schulung und Ausbildung für eine Schiffsbesatzung (in Notfällen: primäre Einsatzkräfte) unter Spalte 4 für Maßnahmen: Rechtlicher Rahmen und Rahmenplan, nachgeordnete Maßnahme 2: Erfordernisse im Hinblick auf Ausbildung und Schulung (rechts mit dem roten Kreis markiert). Angebot SuAc 4.2: Erfordernisse im Hinblick auf Ausbildung und Schulung.

Die Erarbeitung der Ausbildung und Schulung von Notfalleinsatzkräften fällt unter Spalte 2 für Maßnahmen: Techniken und Betriebskonzepte, nachgeordnete Maßnahme 4: Technischer Nachweis und Sicherheits- und Risikobewertung (rechts mit dem gelben Kreis markiert). Ausschreibung SuAc 2.4: LNG: Notfall- und Unfalleinsatz.

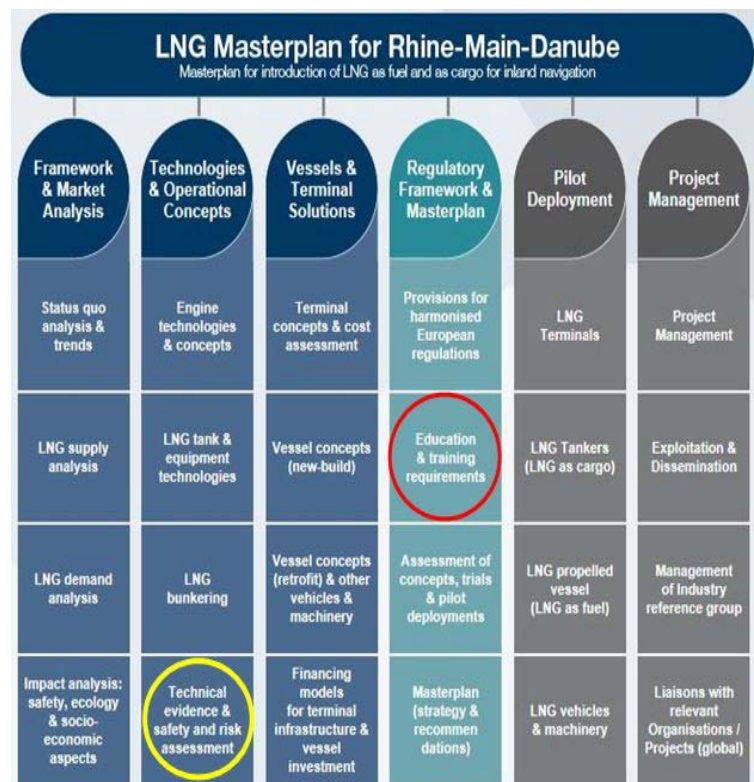


Abbildung 57. LNG-Rahmenplan für Rhein - Main - Donau

Daher ist das Erarbeiten von Schulung und Ausbildung für eine Schiffsbesatzung (SuAc 4.2) nicht Bestandteil dieses Projekts (SuAc 2.4). Abschnitt 3.5 "Ausbildung und Schulung" betrifft nur die Anforderungen für Einsatzkräfte.

5.5.2 AUFBAU

Ein grundlegendes Ausbildungs- und Schulungsprogramm trägt dazu bei, dass die Entsandten die Lernziele erreichen.

Um die Zeit sinnvoll zu nutzen und effektives Lernen zu ermöglichen, müssen die drei Phasen Kenntnisse, Verstehen und Fertigkeiten integriert sein.

Phase 1: Kenntnisse

Aufnehmen von Informationen, Fakten, Beschreibungen oder Fertigkeiten durch theoretische Schulung und Lernen, um eine stärkere Sensibilisierung für den Unterrichtsgegenstand zu erreichen.

Phase 2: Verstehen

Verstehen erfordert die Entwicklung sinnvoller Beziehungen zwischen verschiedenen Arten von Kenntnissen und Fertigkeiten und die Anwendung des Grundlagenwissens auf verschiedene Situationen und Umstände. Verstehen ist eine höhere Ebene als "Kenntnisse".

Phase 3: Fertigkeiten

Anwendung von Kenntnissen in der Praxis; Wissen, wie man etwas macht, Fähigkeit, diese "erworbenen Fertigkeiten" vorzuführen und anzuwenden.

Die ersten Ausbildungs- und Schulungskurse bestehen aus 10 Teilen zum Thema Bereitschaft (Phase 1 und 2) und Einsatz (Phase 3) von Notfalleinsatz-Stellen.

5.5.3 BESTANDTEILE

Diese Punkte der Schulungen sollen die professionelle Kompetenz der Einsatzorganisationen im Rheingebiet ausweiten, auch zum Umgang mit und Einsatz bei LNG-Unfällen, die in der Binnenschifffahrt auftreten können.

Bestandteil	Objekt	Thema			
			Kenntnisse	Verstehen	Fertigkeiten
01	Eigenschaften und Verhalten von LNG	Herkunft und Herstellung von LNG		X	
		Verfahren und Merkmale der verschiedenen Lagermedien, die Methan enthalten	X		
		Unterschiede der physikalischen Eigenschaften und ihrer Bezeichnungen BOG, CNG, BOG, LCNG, LNG und LPG	X		
		Unterschiede in der Transportkennzeichnung und den Transportbestimmungen, UN-Nummern, IMO und ADN	X		
		Unterschiede der Werte für LGP und Methan		X	
		Lesen und Verstehen eines chemischen Datenblatts oder MSDS von LNG			X
	Die Auswirkungen der Temperatur auf das Verhalten und die Eigenschaften von Gasen		X		
02	Beschreibungen und	Eigensicherheit und Explosionen		X	

	Gefahren von LNG	Kryo-Auswirkungen auf Haut, Kleidung und Materialien		X	
		LNG-Phasenübergang	X		
		Phänomen und Folgen eines RPT (schnellen Phasenübergangs)	X	X	
		Erkennen von Gefahren im Einsatz durch visuelle Wahrnehmung	X		
		Gefahren von Dampfwolken und Einsatz von Zerstreuungsmodellen	X		
		Phänomen und Folgen einer BLEVE	X		
		Gefahrenerkennung mit Gasdetektoren und Temperaturmessmitteln	X		X
		Wärmestrahlung eines LNG-Brandes: - Codes für die Wärmestrahlungsbereiche - Auswirkungen der Wärmestrahlung	X	X X	
03	LNG-Binnenschiffe; Konstruktion und Sicherheitstechnik	Erkennen von LNG-Lagerung, -Rohrleitungen und -Installationen auf Schiffen einschließlich: - LNG-Treibstoffsystem und Anordnung, - LNG-Bunkersystem - LNG Treibstoff-/Laagertanks - Typen von LNG-Ladungstanks	X	X X X	X
		Erkennen der verschiedenen Typen von Kryo-Isolierung, Gefahren bei Beschädigung der Isolierung		X	
		Sicherheit im Maschinenraum	X		
		ADN- und Binnenschiffahrts-Vorschriften für LNG	X		
		EN 1473: Anlagen und Ausrüstung für Flüssigerdgas - Auslegung von landseitigen Anlagen		X	
		Elektrische Notentriegelungskupplungen (Powered Emergency Release Couplers - PERC)		X	
		Notabschaltungssysteme (ESD)		X	
		04	Umgang mit und Prozesse im Zusammenhang mit LNG	Kenntnisse zu Produktions- und Handlungsaufgaben unter Beteiligung von LNG: - Transport - Bunkern	X
LNG-Handling: - Tankwagen zum Schiff - Schiff zu Schiff - Schiff zu Land und Land zu Schiff				X	
Erkennen von LNG-Beförderung: - Schiffe mit LNG als Treibstoff - LNG-Tanker	X				X
05	Prozesse, bei denen eine entzündliche Dampfwolke entstehen kann	Strahlen (Flüssigkeit und zweiphasig)		X	
		Bildung von Lachen: - katastrophaler Ausfall eines Behälters - Auftreffen eines Flüssigkeitsstrahls		X	
		Verdunstung von innerhalb der Eingrenzung: - Sturz - Wassereintritt		X	
		Schneller Phasenübergang (RPT)		X	
		Ausbreitung der Lache		X	
		Verdunstung der Lache		X	

06	Kontrolle einer Dampfwolke	Verhalten einer Dampfwolke	X		
		Geographische Auswirkungen einer Dampfwolke		X	
		Abläufe und Auswirkung von:	X		
		- Wasser auf LNG-Dampf - Verwendung von Wasserschleiern und Wasservorhängen - Verwendung von Wasserwerfern - Hochexpansions-Schaum			X X X X
07	Kontrolle von Bränden und Brandbekämpfung	Kontrolle eines LNG-Lachenbrands mit Expansionsschaum	X		X
		Kontrolle eines Strahlfeuers	X		X
		Trockenlösch-Handgeräte	X		X
		Aufbringungsraten	X		
		Rückschlageffekt		X	
		Risiko der Wiederentzündung		X	
08	Messen der Temperatur einer Gaswolke	Grundlagen der Gasmessung			
		- Ex-Ox-Tox	X		X
		Zusammenhang zwischen Dampfdruck und -temperatur		X	
		Benutzung einer Wärmebildkamera:	X		X
- Erkennen von Wärme - Erkennen von Kälte - Erkennen von Gaswolken		X X X	X X X		
09	Löschstrategien	Stoppen des Gasstroms:	X		
		- ESD - Manuell		X X	
		Einsatz von Wassersprühnebel	X		
		- Zum Schutz der Feuerwehrleute und der Personen, die an der Rettung eingeschlossener Personen aus Räumen beteiligt sind - Zum Kühlen von Flächen bei Wärmeexposition - Zum Verhindern von Wärmestrahlung durch z. B. Stahlschotte		X X X	X X X
Verwendung von Trockenlöschmittel:					
- Art des Trockenlöschmittels - Berechnung der Mindestausbringmenge - Techniken des Bestreichens der Fläche - Verhindern des direkten Auftreffens	X X X X	X X X X	X X X X		
10	Management von LNG-Unfällen	Expositionsgrenzen für Personen vor Ort und Notfalleinsatzkräfte		X	X
		Meeresumgebung und Notfalleinsätze		X	
		Unfälle und entscheidende Parameter	X		X
		Erarbeitung von Strategien für Unfälle:	X		X
		- LNG-Freisetzung durch technisches Versagen auf einem Schiff - LNG-Gasbrand an Bord - LNG-Freisetzung auf der Wasserfläche - LNG-Lachenbrand - Gesunkenes LNG-Schiff		X X X X X	X X X X X
		Zusätzliche Ressourcen, Funktionen und (Un-)Möglichkeiten:	X		
- Löschboot - Schnelles Rettungsboot - Fachmann für See-/Binnenschifffahrt (LNG) - Fachmann für Rettung/Bergung in der See-/Binnenschifffahrt (LNG) - Chemiker in der See-/Binnenschifffahrt	X X X X	X X X X	X X X X		

Tabelle 23

Bestandteile der Schulung

5.6 ERGÄNZUNG DER BASIS-MATRIX

Die Ausbildung und Schulung für Unfalleinsätze, die auf LNG in kleinen Mengen anzuwenden ist, ist eine Ergänzung der Basismatrix (siehe Abschnitt 3.6). Für jedes wesentliche Szenario sind Ausbildung und Schulung erforderlich.

5.7 SCHULUNG FÜR VERSCHIEDENE EINSATZSTELLEN

Es ist klar, dass alle Einsatzkräfte stärker für LNG-Not- und -Unfälle sensibilisiert werden müssen. Das betrifft die Schiffsbesatzung, die Feuerwehr, die Hafenbehörden und die Rettungsdienste. Die in Abschnitt 3.5.3 beschriebenen Teile können herangezogen werden, um zu beschreiben, welche Kenntnisse, über welches Verständnis und welche Fertigkeiten alle Einsatzkräfte verfügen müssen, um den Einsatz gefahrlos und wirkungsvoll durchzuführen. Zum Beispiel versteht die Besatzung eines Schiffes bereits, wie LNG an Bord gelagert wird, hat aber nicht die Kenntnisse zu den Eigenschaften von LNG und versteht vielleicht auch nicht die Folgen kleiner Lecks und verfügt nicht über die Fertigkeiten für einen Einsatz.

Die nachstehende Matrix zeigt, welche Art von Ausbildung und Schulung für jede Klasse von Einsatzkräften und Tätigkeitsstufe innerhalb dieser Klasse erforderlich ist, d. h. betrieblich, taktisch oder strategisch.

Stufe	Einsatzklasse	Bestandteile der Kenntnisse *	Bestandteile des Verstehens *	Anforderungen an die Fertigkeiten *	Geschätzte Dauer der Schulung
Primäre Einsatzkräfte +	Betreiber von Terminals	1, 2, 9	2, 9	9	1 Tag
	Tankwagenfahrer	1, 2, 9	2, 9	9	
	Schiffsbesatzung	1, 2, 9	2, 9	9	
Sekundäre Einsatzkräfte ±	Feuerwehreute im Einsatz	1 - 9	1 - 9	1 - 9	2 Tage
	Einsatzkräfte im Einsatz im Hafen und an Binnenschiffahrtsstraßen	1 - 9	1 - 9	3, 5, 6, 9,	1 Tag
	Rettungskräfte	1	2		½ Tag
	Technische Leitungsfunktionen	1 - 10	1 - 10	10	2 Tage
	Strategische Leitungsfunktionen	1 - 10	1 - 10	10	2 Tage

Tabelle 24 Schulungserfordernisse für die Schulung von Einsatzkräften für Not- und Unfall-Einsätze

*Für Bestandteile 1 - 10 wird auf Tabelle 5.5.3 verwiesen.

+Die Schulung der primären (Notfall-)Einsatzkräfte sollte aus 50% theoretischer Sensibilisierung und 50% praktischem Ablauftraining zu Notfalleinsätzen im Zusammenhang mit der Freisetzung von LNG bestehen.

± Die Schulung der sekundären (Unfall-)Einsatzkräfte sollte eine Schulung zur Sensibilisierung umfassen, das Einsatztechniken zur Kontrolle von LNG-Unfällen und Szenario-Schulung umfasst, wo die Techniken angewandt werden können. Die taktischen und strategischen Leitungsfunktionen können mit Hilfe virtueller Schulungen am Computer und/oder am Schreibtisch simuliert werden.

5.8 BEREICHSÜBERGREIFENDE ÜBUNGEN

Wenn die Einsatzstellen die relevanten zusätzlichen Schulungen zur Vertiefung der Kenntnisse, des Verstehens und der Einsatzfertigkeiten durchlaufen haben, sollten die verschiedenen Behörden in einer bereichsübergreifenden Übung zusammenarbeiten, um festzustellen, wie weit die Koordination und Kompatibilität beim Einsatz zwischen den Einsatzstellen ausgeprägt ist.

Es wird empfohlen, im ersten Jahr eine Übung durchzuführen, danach alle 3 Jahre.

6. EMPFEHLUNGEN

Mehrere Bedingungen sind entscheidend, um die Lücken bei der Einsatzbereitschaft zu schließen. Die nachstehenden Empfehlungen an die Beteiligten erfolgen im Rahmen des Einflusses auf das Rheingebiet.

6.1 UMGEBUNG

Entlang von Rhein - Main - Donau liegen die geographischen Gebiete auf ganz verschiedenen Höhen.

Die Niederlande (Rotterdam 3,4 Meter über dem Europäischen Vertikalen Referenzsystem, Arnheim 15,4 m) und Teile Belgiens (Antwerpen 7,5 m, Gent 8 m) sind hauptsächlich flach, mit fast nur Tiefebenen um das Delta, während in Deutschland (Koblenz 64 m, Mannheim 112 m, Nürnberg 302 m), Frankreich (Straßburg 132 m), der Schweiz (260 m) und Rumänien (Constanta 25 m) die Umgebung meistens hügelig ist.

In diesen Gegenden gibt es Bauten wie Brücken, Deiche und Fluttore, die Auswirkungen auf einen Ausfall der Eingrenzung (Schutzhülle) haben können (LNG-Austritt).

Es ist wichtig, dass alle Hafenbehörden die in den Regionen, für die sie in einem Notfall verantwortlich sind, kritischen Punkte und Orte auflisten. Nach der Aufstellung sind die Risiken der Ansammlung kalten LNGs in diesen Gebieten zu bewerten.

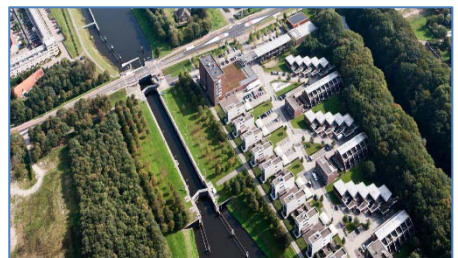
Neben den vorgenannten Bauten müssen die Behörden auch natürliche Barrieren wie Hügel und Wälder (Baumreihen) untersuchen, die zerstreutes LNG aufhalten können. Abwasser- und Ablaufkanäle in der Nähe des Flusses sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Die Behörden müssen ein Verzeichnis der Objekte in der Nähe des Flusses/der Flüsse, die möglicherweise von einem (nicht) entzündeten Austritt von LNG betroffen sind, der besonders schutzbedürftigen Objekte (Krankenhäuser, Hotels, Schulen) und der wichtigsten Bauten (wichtigste Infrastruktur) in diesem Bereich, aber auch der lokalen Gefahrenzonen, in denen die Unfälle eskalieren können, erstellen.

6.2 PERSONEN

Öffentliche Stellen und private Stellen/Personen sollten die Möglichkeit haben, mit den in diesem Bericht beschriebenen Szenarien umzugehen. Wenn Kenntnisse und Fertigkeiten geteilt werden, können dadurch die Maßnahmen zur Beherrschung solcher Unfälle nur besser werden.

Vorplanung und Koordination aller (lokalen) Notfalleinsatzkräfte bei Einsätzen an Land und auf den Wasserwegen ist zu empfehlen, so dass bei solchen Unfällen professionell und wirksam gehandelt wird.



6.3 MESSGERÄTE

Eine genaue Bewertung des Umfangs eines Unfalls ist für alle taktischen und strategischen Pläne entscheidend. Die Behörden müssen in der Lage sein, Dampffreisetzungen mit angemessenen Gasetektoren zu erkennen, um zuverlässige Informationen zum Beurteilungsprozess beizusteuern.



Es ist empfehlenswert, dass die Einsatzstellen über angemessene Gasetektoren verfügen, um die Freisetzung von LNG-Dampf zu erkennen, und auch über Personal verfügen, das sachkundig in der Verwendung der Ausrüstung und der Auslegung der Messungen ist.

6.4 AUSREICHENDE WASSERKAPAZITÄT

Wie die Auswirkungen der Szenarien gezeigt haben, ist es wichtig, dass die Behörden im Rheingebiet über eine ausreichende Menge an Pumpen verfügen, entweder an Land (auf Löschfahrzeugen) oder auf dem Wasser (auf Löschbooten), um bei einer Eskalation die Auswirkungen abzumildern.

In der Praxis bestimmt die Wassermenge (Kapazität) der Wasserwerfer und der Wassersprühschleier mit ihrem optimalen Betriebsdruck die Reichweite der Wasserwerfer für die Höhe der Wasserschleier.



6.5 HILFSMITTEL FÜR DIE BEREITSCHAFT

Alle für die Einsatzbereitschaft zuständigen Behörden müssen die Vorhaltung für Szenarien in ihren Regionen durch Verwendung der vorgegebenen Konturen für die Wärme- und Explosionsstufen als Muster sicherstellen und diese auf die Binnen-Maßnahmen übertragen, die im Einflussbereich des Rhein-Main-Donau-Projekts liegen.

Mit dieser Vorlage ist es möglich, die kritischen Punkte und Orte in den Häfen schnell zu überblicken und die Maßnahmen schnell zusammenzustellen, die die zuständigen Behörden in Zusammenarbeit mit privatwirtschaftlichen Partnern in der Einsatzkette für LNG in kleinen (und mittleren) Mengen organisieren müssen.

TEIL 3

RATSCHLÄGE UND STRATEGISCHER ANSATZ

**ZUR KOMMUNIKATION DER
ERGEBNISSE AN DIE
BETEILIGTEN,**

**DIE DIESE INFORMATIONEN
BENÖTIGEN**

7 RATSCHLÄGE UND STRATEGISCHER ANSATZ ZUR WEITERGABE DER KENNNTNISSE

7.1. EINFÜHRUNG

7.1.1 UMFANG

Schließlich gibt es einen dritten Teil, in dem das Projektteam Ratschläge und einen strategischen Ansatz dafür vermittelt, wie die Ergebnisse aus Teil 1 und 2 den Betroffenen am besten übermittelt werden.

7.1.2 ERGEBNISSE

Dieses einseitige Dokument besteht aus nur einer Spalte, die die Möglichkeiten der Weitergabe, die jeweiligen Stellen und die Kontaktangaben beim Handling von LNG in kleiner Menge entlang des Rheins angibt.

7.2. MÖGLICHKEITEN DER WEITERGABE

Die Weitergabe dieser "Richtlinien für Notfall- und Unfalleinsätze" an nationale und internationale Betroffene ist ein wichtiges Ziel der nachgeordneten Maßnahme 2.4 (und 6.2. "Nutzung und Weitergabe") sowie eine wesentliche Aufgabe des Konsortiums für den LNG-Rahmenplan.

Die nächsten LNG-Veranstaltungen sind eine gute Gelegenheit, dass die Projektbeteiligten die wichtigsten Aspekte dieses Forschungsprojekts (SuAc 2.4) darstellen. Dies sollten die Ziele sein:

- Einfaches Auffinden bestehender Präsentation(en)
- Zuhörer, die sich sehr für die Aktivitäten im Rahmen des Projekts interessieren
- Steigende Sensibilisierung für das Projekt und LNG als Treibstoff im Allgemeinen

Falck kann mit den eigenen Online-Nachrichten, Pressemeldungen, Broschüren und der Einstellung als SharePoint für Registrierte Mitglieder dazu beitragen. Die Organisation interner und externer Veranstaltungen sowie die aktive Beteiligung an vielen Veranstaltungen:

- Erstellung eines Online-Foto- und -Video-Archivs
- Herstellung von Werbegeschenken
- Laufende Aktualisierung der Falck-LNG-Website
- Veröffentlichung von Newslettern und Broschüren
- Vorbereitung und Verteilung von Pressemitteilungen
- Überwachung von Artikeln in der Presse.
- Falck-NTG-Twitter-Account

Zu Werbezwecken kann vieles vorgebracht werden, aber im Wesentlichen bedeutet das jetzt, dass Personen, die diese Kenntnisse und diese Erkenntnisse benötigen, mobilisiert werden und professionelle Unterweisung zur Aktualisierung der LNG-Kenntnisse und Praxisübungen bekommen.

7.3. BETROFFENE PARTEIEN/STELLEN

Die Lieferkette von LNG im Rheingebiet unterliegt den folgenden Überlegungen:

- Seehäfen + Binnenhäfen
- Hafenbehörden
- Betrieb von Binnenschiffen
- Lieferanten von Technik und Energie
- Behörden für den Notfalleinsatz

Im Rahmen des EG-Rahmenplans für LNG das Rhein-Main-Donau-Konsortium mit allen Partnern. Genauer gesagt die Mitglieder der Industry Reference Group (Branchenreferenzgruppe) sowie Mitglieder der Advisory Group (Beratergruppe). Kontaktpersonen der Gruppe Rheinhäfen siehe Anhang 3.

Liste der Anhänge

<i>Ref.</i>	<i>Sub.</i>	<i>Definition</i>
1		Literatur
2	0	Index der szenarienspezifischen Not- und Unfall-Einsatzpläne
	1A	Notfallplan Fallbeispiel SCEN-1
	1B	Unfall-Einsatzplan SCEN-1
	2A	Notfallplan Fallbeispiel SCEN-2
	2B	Unfall-Einsatzplan SCEN-2
	3A	Notfallplan Fallbeispiel SCEN-3
	3B	Unfall-Einsatzplan SCEN-3
	4A	Notfallplan Fallbeispiel SCEN-4
4B	Unfall-Einsatzplan SCEN-4	
3		Übersicht der Beteiligten
4		Übersicht der Projektteilnehmer

ANHANG 1 | LITERATUR

- [1] Melhem, Ozog, Kaleikar (2006): Understand LNG Fire Hazards. Weißbuch ioMosaic
- [2] Luketa, Hanlin (2006): A review of large-scale LNG spills: Experiments and modeling. Journal of Hazardous Materials 2006, 20. Mai, 132 (2 - 3): 119 - 40
- [3] Fluxys (2012): Chain analysis: Supplying Flemish ports with LNG as a marine fuel
- [4] Pitblado, DNV Houston (2006) DNV 'LNG decision making approaches compared. Journal of Hazardous Materials, 17. März 2006, 130 (1 - 2): 148 - 54.
- [5] ABS Consulting (2004): Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers. Table 2.1
- [6] Gean Woong Yun (2010): Control of Vapor Dispersion and Pool Fire of Liquefied Natural Gas (LNG) with Expansion Foam
- [7] Sandia (2004) Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water
- [8] Sandia (2008) Breach and Safety Analysis of Spills Over Water from Large Liquefied Natural Gas Carriers
- [9] Phani K. Raj (2005) Large LNG Fire Thermal Radiation – Modelling Issues & Hazard Criteria Revisited
- [10] Sandia(2011): Recommendations on the Prediction of Thermal Hazard Distances from Large Liquefied Natural Gas Pool Fires on Water for Solid Flame Models

ANHANG 2



INDEX DER SZENARIENSPEZIFISCHEN NOTFALL-EINSATZPLÄNE (SSERPS)

Ref.	ERP	SCHIFF	SZENARIO (TYP)	SZENARIO (VORFALL)	UMFANG (LOC)
SCEN-1	IWT-LNG-SSERP-1	Binnenfrachtschiff mit Antrieb mit LNG Treibstofftank 40 m3 auf Deck	LNG Dampfwolke	Zusammenstoß mit Brücke, Versagen der Rohrleitungen, laufende Freisetzung von LNG, Zerstreuung der Dampfwolke, keine Entzündung	Medium Dauer des Austretens: 360 s Freisetzungsrate: 48,3 kg/s
SCEN-2	IWT-LNG-SSERP-2	Binnenfrachtschiff mit Antrieb mit LNG Treibstofftank 50 m3 unter Deck	LNG Dampfwolke	Bunkern vom Tankwagen zu Schiff, LNG-Treibstofftank unter Deck , Riss im Schlauch, begrenzter Austritt von LNG, nicht begrenzter Austritt auf Wasser, RPT, Kryo-Schaden am Schiff, keine Entzündung von LNG	Klein Dauer des Austretens: 60 s Freisetzungsrate: 3.000 kg/Stunde 0,83 kg/s
SCEN-3	IWT-LNG-SSERP-3	LNG-Binnentanker/-Bunkerschiff Ladungstank 2 x 1870 m3 LNG	LNG- Lachenfeuer	Binnen-LNG-Tanker-/Bunkerschiff, LNG-Ladungstanks , Container fällt vom bebunkerten Schiff auf das bunkernde Schiff, kurze durchgängige Freisetzung von LNG, nicht begrenzter Austritt auf Wasser, RPT, verzögerte Entzündung von LNG .	Medium Dauer des Austretens: 90 s Freigesetzte Masse: 16 m ³ Fläche der Lache: 0,75 m ² Dauer bis zur Entzündung: 360 s
SCEN-4	IWT-LNG-SSERP-4	Binnenladungsschiff mit Antrieb mit LNG LNG-Treibstofftanks 2 x 40 m3 6 x Ladungstanks (Benzin) zu je 500 m ³	Sekundärer Kohlenwasserstoffbrand (Ladungsfeuer, aber nicht von LNG)	Zusammenstoß mit einem anderen Schiff, direkte Entzündung (Ladung) , Sekundärbrand (Bezinladung), Wärmeexposition gegenüber den LNG-Treibstofftanks, Eskalation bei längerer Exposition, Kühlung innerhalb von 15 Minuten erforderlich .	Groß Dauer des Austretens: 42 s Durchmesser der Lache: 160,7 Meter Kühlung innerhalb von: 15 Minuten

SUAC 2.4

INDEX DER SZENARIENSPEZIFISCHEN NOTFALL-EINSATZPLÄNE (SSERPS)

ERP-GLOSSAR

ABKÜRZUNG	BEDEUTUNG
DM (Manager)	Geschäftsführender Manager der Binnenschiffahrtswasserstraßen
(SS) ERP	(Szenarienspezifischer) Notfalleinsatzplan
ESD	Notabschaltung
FCP	Vordere Leitstelle
FRS	Lösch- und Rettungsdienste
LFL	Untere Explosionsgrenze
LNG	Verflüssigtes Erdgas
NG	Erdgas (Dampf)
LPM	Liter pro Minute
RPT	Schneller Phasenübergang

ANHANG 2.1A

ANHANG 2.1B

STRATEGIE 2

Unfall mit LNG-Freisetzung bestätigen - Notfalleinsatzkräfte informieren - Isolierung der LNG-Freisetzungsquelle, wenn möglich, gefahrlos und praktikabel - Gefahrenbereich durch Gas nicht betreten - Schiff, wenn möglich, zum Ufer bringen - Evakuierung der Personen an Bord und der Besatzung - Löschpumpen an Bord anlassen - Einsatz von Sprühwasser in Form von Wasserschleim/-vorhängen, die die Bewegung des Gases minimieren können - Erste Abschätzung des Umfangs der Gas-"wolke" und der eventuell betroffenen Gebiete - Erste Abschätzung möglicher Zündquellen und Beseitigung/Minimierung - Vorkehrungen zum Empfang der anrückenden externen Einsatztrupps an der FCP - Entfernen von Zündquellen im betroffenen Bereich - Schiffsverkehr einschränken oder unterbrechen, um zu verhindern, dass Schiffe in den Gefahrenbereich einfahren - Einsatz ortsbeweglicher Gasdetektoren zur Überwachung des Umfangs der Gaswolke - Die lokale Feuerwehr bewertet die Umstände des Vorfalles im Sinne der ständigen Sicherheit - Unterstützung der Kontrolle durch Sprühwasser - Laufende Überwachung der Wind-/Wetterbedingungen - Einsatzkräfte bleiben in sicherer Entfernung in Bereitschaft, bis das Gebiet für sicher erklärt wird.

<p>PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE</p>	<p>MASSNAHMEN</p>	<p>AUSRÜSTUNG/RESSOURCEN</p>	<p>INFORMATION/ANMERKUNGEN</p>
<p>Mannschaft</p>	<p>Freisetzung von LNG bestätigen Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen Versuchen, Leck zu isolieren (ESD aktivieren) Belüftung des Schiffs abschalten, damit kein Gas ins Schiff eingesaugt wird Löschpumpe und Wasserschutzsysteme (sofern vorhanden) einschalten Überlegen, ob das Schiff an einer sicheren Stelle ans Ufer gebracht werden kann (wenn möglich) Alle nicht benötigten Personen (Passagiere und Besatzung) evakuieren Eintreffen der Einsatzkräfte vorbereiten</p>	<p>Detektionssystem(e) und/oder persönliche Beobachtung Steuerung der Löschpumpen Sprühwassersystem ESD-Systeme Lüftungssystem Notstrom</p>	<p>Alle Zündquellen an Bord entfernen. Wenn Wasserschleier installiert sind, kann ihre Aktivierung helfen, die Bewegung des Gases über eine Schiffsbrücke hinweg zu verhindern. Wenn das Leck nicht geschlossen und das Austreten nicht gestoppt werden kann, alle Personen an einen sicheren Ort gegen den Wind evakuieren. Evakuierung ans Ufer ist vorzuziehen, wenn aber eine große Leckstelle vorliegt, das Schiff nicht in Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte oder in Gebiete mit hoher Wahrscheinlichkeit von Zündquellen bringen. Schiff nur dann umsetzen, wenn dies gefahrlos möglich ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> Maschinenraum und Brücke windaufwärts zum Leck Schiff zu 100 % vom Gegenstand des Zusammenstoßes (Brücke) frei Notstrom für Antrieb ist vorhanden (nach ESD) Sprühwassersysteme aktiviert. <p>Lokalen Feuerwehrlieferer informieren, daß bis jetzt alle aufgeführten Maßnahmen ergriffen wurden.</p>
<p>SEKUNDÄRE EINSATZKRÄFTE</p>	<p>MASSNAHMEN</p>	<p>AUSRÜSTUNG/RESSOURCEN</p>	<p>INFORMATION/ANMERKUNGEN</p>
<p>Lokale Feuerwehr</p> <p>Fluss-/Hafenbehörden</p>	<p>Annäherung gegen den Wind Kontakt mit dem Schiffsführer/den Hafenbehörden herstellen Größe der Gaswolke abschätzen Zündquellen auf dem Weg der Gasbewegung entfernen Sprühwasser zum Zerstören der Gaswolke in Stellung bringen Löschboot: Sprühwasser zum Abschwächen/Zerstören der Gaswolke in Stellung bringen Größe der Gaswolke mit Gasdetektorausrüstung überwachen Gaswolke visuell über Wärmebildkamera verfolgen. Laufend die Umstände des Vorfalles im Sinne der ständigen Sicherheit bewerten und Unterstützung bei der Kontrolle durch Sprühwasser leisten. Angeben, ob weitere Evakuierungen erforderlich sind. Vorkehrungen für den Brandfall treffen Nachbetreuung: Kontrolle auf "Gastaschenbildung" in allen Gebäuden und geschlossenen Räumen in der Nähe der Dampf Wolke Unfallbereich absperren und Umgebung in Bewegungsrichtung der Gaswolke evakuieren Schiffsverkehr um den Unfallbereich einschränken oder steuern</p>	<p>Vorderer Leitstand windaufwärts von der Unfallstelle Löschwasserpumpen/Löschfahrzeuge vollständig. Mobile Wasserwerfer. Mobile Wasserschleier. Gasdetektoren. (Hochauflösende) Wärmebildkamera Rettungsboot. Löschboot mit Wasserwerfer(n). Alle Einsatzkräfte verfügen über angemessene PSA zum Verhindern von Verbrennungen bei einer Entzündung</p>	<p>Windrichtung und Wetterbedingungen sind für die Vorausberechnung der Dampf Wolke unter den geographischen Gegebenheiten vor Ort und für die Entscheidungsprioritäten wichtig. Bei LNG-Freisetzungen können Wassersprühvorrichtungen, ortsbewegliche Wasserwerfer eingesetzt werden, um das freigewordene Gas einzugrenzen, einzudämmen oder in eine bestimmte Richtung zu lenken, um zu verhindern, dass es eine Zündquelle erreicht. Wenn die Bewegung des Gases mit dem Wind in Richtung eines Gebiets geht, wo eindeutig keine Zündquelle vorliegt, kann man dies nutzen, um gegen den Wind Wasservorhänge oder -schleier aufzubauen, wenn in dieser Richtung Zündquellen vorliegen. NB: Niemals davon ausgehen, dass Windrichtung und Windgeschwindigkeit konstant sind. Die Umgebung kann Einfluss auf die Bewegung der Gaswolke haben. Berücksichtigen, dass hohe Flussufer und Gebäude für die Bildung einer Gaswolke wie ein Trichter wirken können. Eine Gaswolke kann empfindlichen Bereichen weggeleitet werden, jedoch wird bei einer Erwärmung der Gaswolke mit Sprühwasser das Gas schneller sicher in die Atmosphäre entweichen. "Gastaschenbildung" bedeutet, dass der kalte LNG-Dampf als Gas in enge Bereiche ohne Entlüftung verdunstet. Dies könnte eine Explosionsquelle darstellen.</p>

UNFALLPOTENTIAL-GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME

Es ist immer umsichtig, davon auszugehen, dass sich eine Gaswolke jederzeit entzünden kann.

Bei jedem Eingreifen nach der ordnungsgemäßen ersten und laufenden Risikobewertung ist das Erreichen von Wasserschleibern oder Wassersprühnebeln zu bedenken, um die Wolke zu verringern, sind an ihrem Platz zu halten oder das Gas unter dem LFL zu zerstreuen.

Der Einsatz von Wasserstrahlern zur Unterstützung der Verteilung des Gases an oder in der Nähe der Freisetzungsstelle ist nur dann praktikabel, wenn die Freisetzung von eher geringem Umfang ist. In den meisten Fällen muss ein solcher Einsatz von Schlauch-Teams unterstützt werden, die mit Wasserschleibern die Einsatzteams schützen.

Kontakt mit Kryo-LNG kann zu Brandverletzungen führen. Beim Kontakt mit LNG kann auch Schutzkleidung in Mitleidenschaft gezogen werden.

Die Entzündung einer nicht begrenzten Gaswolke kann dazu führen, dass die Gasflamme zur Austrittsquelle zurückschlägt, worauf sich eine Strahlflamme entwickelt. Wenn sich Gas in einer begrenzten oder engen Umgebung ansammelt, kann bei Entzündung eine CVCE (begrenzte Dampfwellenexplosion) entstehen, die erheblichen Sprengschaden bewirkt und Sekundärbrände auslöst.

Wenn Flammen direkt auf ungeschützte/beschädigte Tanks oder Rohrleitungen treffen, kann eine warme BLEVE nicht außer Acht gelassen werden.

Überlegungen zu vereinheitlichter Leitung

Meteorologische Informationen

Analyse der Umgebung und Umweltüberlegungen

Kommunikation

Bergung

Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen

ANHANG 2.2A

ANHANG 2.2B

STRATEGIE 2

Anfänglich:

Freisetzungseignis bestätigen - ESD aktivieren - Behörden alarmieren - den Gasfahrbereich nicht betreten - Entzündung der Dämpfe verhindern - Personen aus dem betroffenen Bereich evakuieren - Schiffsverkehr unterbinden - Laufende Beobachtung von Wind und Wetterbedingungen

PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE	MASSNAHMEN	AUSRÜSTUNG/RESSOURCEN	INFORMATION/ANMERKUNGEN
<p>Besatzung</p> <p>LNG-Freisetzung nach Zusammenstoß bestätigen ESD des LNG-Systems betätigen Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen Wassersprühsysteme aktivieren, wenn eingebaut/möglich Lüftungssysteme ausschalten Risiko einer Entzündung der Dampf Wolke abschätzen Schiff evakuieren, bevor die Dampf Wolke die Brücke/Wohnbereiche des Schiffs erreicht. Behörden unter Angabe aller relevanten technischen Daten zum LNG und zum Schiff informieren.</p>	<p>Detektionssystem(e) und/oder persönliche Beobachtung ESD-Systeme Lüftungssystem Notstrom Rettungsgeräte</p>	<p>Windrichtung und Wetterbedingungen sind für die Vorausberechnung der Dampf Wolke unter den geographischen Gegebenheiten vor Ort und für die Entscheidungsprioritäten wichtig. Risiko der Entzündung der Gaswolke abschätzen und Schiff sofort verlassen, wenn die sichtbare Dampf Wolke folgende Objekte erreichen könnte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wohngebiete und/oder Industriegebiete • Andere/s Schiff/e • Verkehrswege / Autobahn • Andere Zündquelle <p>Wenn es nicht sicher ist, Schiff windaufwärts verlassen.</p> <p>Evakuierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windaufwärts oder quer zum Wind • Vorsicht: RPT möglich <p>Die Einsatzkräfte mit erster Priorität informieren, wenn alle Personen in Sicherheit sind.</p>	
<p>Lokale Feuerwehr</p> <p>Schiffsbesatzung retten, wenn dies nötig/möglich ist. Strategie zur Zerstreuung des Gases von der Landseite her verfolgen Löschboot zur Zerstreuung der Gaswolke in Stellung bringen (oder von der Uferseite her)</p> <p>Besitzer</p> <p>Fluss-/Hafenbehörde</p>	<p>MASSNAHMEN (nach Entzündung der Dampf Wolke)</p> <p>Löschwasserpumpen/Löschfahrzeuge vollständig. Mobile Wasserwerfer. Mobile Wasserschiefer. Gasdetektoren. (Hochauflösende) Wärmebildkamera Rettungsboot. Löschboot mit Wasserwerfer(n). Alle Einsatzkräfte verfügen über angemessene PSA zum Verhindern von Verbrennungen bei einer Entzündung.</p> <p>Vorbereitung der Bergungsoperation für das Unfallschiff beginnen. Auf Konstruktionsschäden durch Kryo-Freisetzung prüfen</p> <p>Schiffsverkehr um den Unfallbereich steuern.</p>	<p>AUSRÜSTUNG/RESSOURCEN</p> <p>Wassersprühnebel oder Wasserschiefer zum Zerstören der Gaswolke einsetzen Den Betreiber kontaktieren, um die LNG-Mengen, -Druck, seine Maßnahmen und Ergebnisse zu erfahren. Vorsicht: Möglicherweise liegen Zündquellen vor. Nie vergessen: die Ladung kann entzündlich oder gefährlich sein. Verhindern, dass Löschwasser in die LNG-Lache gelangt, um weitere Verdunstung zu vermeiden.</p>	<p>INFORMATION/ANMERKUNGEN</p> <p>Wassersprühnebel oder Wasserschiefer zum Zerstören der Gaswolke einsetzen Den Betreiber kontaktieren, um die LNG-Mengen, -Druck, seine Maßnahmen und Ergebnisse zu erfahren. Vorsicht: Möglicherweise liegen Zündquellen vor. Nie vergessen: die Ladung kann entzündlich oder gefährlich sein. Verhindern, dass Löschwasser in die LNG-Lache gelangt, um weitere Verdunstung zu vermeiden.</p>

<p align="center">IWT-LNG-SSERP-2 NOTFALL-EINSATZPLAN FÜR:</p>	<p align="center">RISS DES SCHLAUCHS ZUM UMPUMPEN BEIM BUNKERN, NICHT BEGRENZTEM AUSTRITT AUF WASSER, BILDUNG EINER DAMPFWOLKE, KEINE ENTZÜNDUNG</p>	<p>Dok.: Freigegeben: Rev.: 2</p>	<p align="center">SEITE 2 VON 2</p>
<p>UNFALLPOTENTIAL-GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME</p>			
<p>Bei LNG-Freisetzungen kann es, wenn Wasser auf die Lache "spritzt oder tröpfelt", zunächst zu stärkerer Verdunstung und Brand des LNG kommen.</p>			
<p>Überlegungen zu vereinheitlichter Leitung</p>			
<p>Meteorologische Informationen Analyse der Umgebung und Umweltüberlegungen Kommunikation Bergung - Kryo-Schäden am Schiff Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen</p>			

ANHANG 2.3A

ANHANG 2.3B

IWT-LNG-SSERP-3 NOTFALL-EINSATZPLAN FÜR:		BUNKERN VON SCHIFFEN AN EINEM SEEFAHRENDEN CONTAINERSCHIFF BRUCH DES M LADEARMS, LNG-FREISETZUNG, VERZÖGERTE ENTZÜNDUNG		Dok.: Freigegeben: Rev.: 2	SEITE 1 VON 2
STRATEGIE 2					
Anfänglich: Unfall mit LNG-Freisetzung bestätigen - ESD aktivieren - Behörden alarmieren - Gaswolke möglichst nicht betreten - Entzündung verhindern - Sich windaufwärts auf die Uferseite für gefahrlose Rettung/Evakuierung begeben					
Nach der verzögerten Endzündung: Anfangs-Szenario anwenden, mit Trockenlöschmittel löschen - Schiffskonstruktion kühlen - Sekundärbrände (Umgebung) verhindern - Ladung schützen (Container) - Schiffsverkehr im unmittelbar angrenzenden Bereich unterbinden - Personen wegen der Wärmestrahlung evakuieren (bei großer Nähe Unterstützung bei der Kontrolle durch Wassersprühnebel) - Laufende Überwachung der Wind-/Wetterbedingungen					
PRIMÄRE EINSATZKRÄFTE	MASSNAHMEN	AUSRÜSTUNG/RESSOURCEN	INFORMATION/ANMERKUNGEN		
Besatzung	LNG-Freisetzung nach Zusammenstoß bestätigen ESD des LNG-Systems betätigen Notfalleinsatzkräfte benachrichtigen Wassersprühsysteme aktivieren, wenn eingebaut/möglich Lüftungssysteme ausschalten Risiko abschätzen, dass die Gaswolke bis einer Entzündung Wohnbereiche erreicht. Behörden unter Angabe aller relevanten technischen Daten zum LNG und zum Schiff informieren. Versuchen, mit Trockenlöschmittel zu löschen. Bei Eskalation Schiff verlassen	Detektionssystem(e) und/oder persönliche Beobachtung Steuerung der Löschpumpen Sprühwassersystem ESD-Systeme Lüftungssystem Notstrom Notankerungssystem Rettungsgeräte Trockenlöschmittel	Windrichtung und Wetterbedingungen sind für die Vorausberechnung der Gaswolke unter den geographischen Gegebenheiten vor Ort und für die Entscheidungsprioritäten wichtig. Risiko der Entzündung der Gaswolke abschätzen und Schiff sofort verlassen, wenn die sichtbare Gaswolke folgende Objekte erreichen könnte: <ul style="list-style-type: none"> • Wohngebiete und/oder Industriegebiete • Andere/s Schiff/e • Verkehrswege / Autobahn • Andere Zündquelle Wenn es nicht sicher ist, Schiff windaufwärts verlassen. Wenn Ankern nicht möglich ist: Schiff auf den Strand setzen! Evakuierung: <ul style="list-style-type: none"> • Windaufwärts oder quer zum Wind • Von der dem Zusammenstoß/Stoß entgegengesetzten Seite • Vorsicht: RPT möglich Die Einsatzkräfte mit erster Priorität informieren, wenn alle Personen in Sicherheit sind.		
SEKUNDÄRE EINSATZKRÄFTE	MASSNAHMEN (nach Entzündung der Gaswolke)	AUSRÜSTUNG/RESSOURCEN	INFORMATION/ANMERKUNGEN		
Lokale Feuerwehr Besitzer Fluss-/Hafenbehörde	Schiffsbesatzung retten, wenn dies nötig/möglich ist. Wenn das Feuer beim Eintreffen noch brennt, mit Trockenlöschmittel löschen. Löschboot zum Kühlen der Schiffskonstruktion vor Ort bringen (oder von der Uferseite her) Kühlung durch Wassersprühnebel für die anderen Treibstofftanks, Ladung und Gefahrgüter in Stellung bringen, die durch die Brandwärme in Mitleidenschaft gezogen werden können. Vorbereitung der Bergungsoperation für das Unfallschiff beginnen. Schiffsverkehr um den Unfallbereich steuern.	Trockenlöschmittel Löschwasserpumpen/Löschfahrzeuge vollständig. Mobile Wasserwerfer. Mobile Wasserschleier. Gasdetektoren. (Hochauflösende) Wärmebildkamera Rettungsboot. Löschboot mit Wasserwerfer(n). Alle Einsatzkräfte verfügen über angemessene PSA zum Verhindern von Verbrennungen bei einer Entzündung.	Die Opfer mit Wassersprühnebel und Wasserschleiern vor der Wärmestrahlung schützen. Den Schiffsführer kontaktieren, um die LNG-Mengen, -Druck, seine Maßnahmen und Ergebnisse zu erfahren. Nie vergessen: die Ladung kann entzündlich oder gefährlich sein. Verhindern, daß Löschwasser in die LNG-Lache gelangt, um eine Ausweitung des Feuers zu vermeiden. Eine defensive Strategie ist in den Einflussbereichen in Betracht zu ziehen: Kühlen der wichtigsten Teile durch die Quelle IP-19 (INSTITUTE OF PETROL - Modell-Code für sichere Verhaltensweisen in der Erdölbranche) rät: <ol style="list-style-type: none"> 1. Zum Schutz der Bootshaut vor Flammen sind mindestens 10 l Wasser pro Minute zum Kühlen aufzubringen 2. Zum Schutz der Bootshaut vor Wärme (10 kW/m2) sind mindestens 2 l Wasser pro Minute zum Kühlen aufzubringen LNG kann nur mit Trockenlöschmittel der Klasse BC gelöscht werden.		

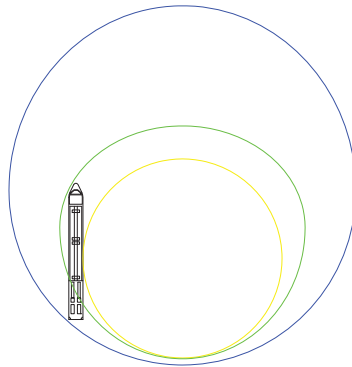
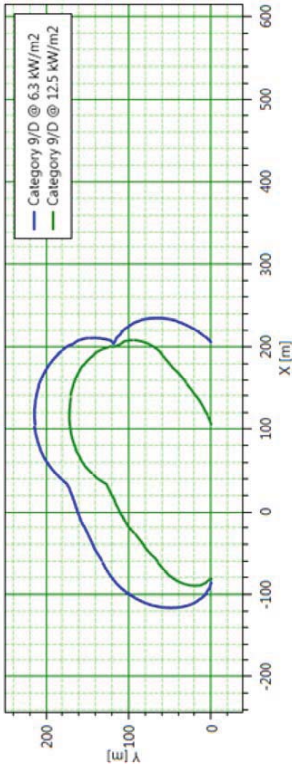
<p><u>IWT-LNG-SSERP-2</u> NOTFALL-EINSATZPLAN FÜR:</p>	<p>BUNKERN VON SCHIFFEN AN EINEM SEEFAHRENDEN CONTAINERSCHIFF BRUCH DES M LADEARMS, LNG-FREISETZUNG, VERZÖGERTE ENTZÜNDUNG</p>	<p>Dok.: Freigegeben: Rev.: 2</p>	<p>SEITE 2 VON 2</p>
<p>UNFALLPOTENTIAL-GEFAHREN UND ANDERE PROBLEME</p>			
<p>Auch wenn es sich um das Szenario eines nur kleinen Brandes ausgetretener Stoffe handelt, muss mit allen Mitteln eine Eskalation verhindert werden. Bei LNG-Freisetzungen kann es, wenn Wasser auf die Lache "spritzt oder tröpfelt", zunächst zu stärkerer Verdunstung und Brand des LNG kommen.</p>			
<p>Überlegungen zu vereinheitlichter Leitung</p>			
<p>Meteorologische Informationen Analyse der Umgebung und Umweltüberlegungen Kommunikation Bergung Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen</p>			

ANHANG 2.4A



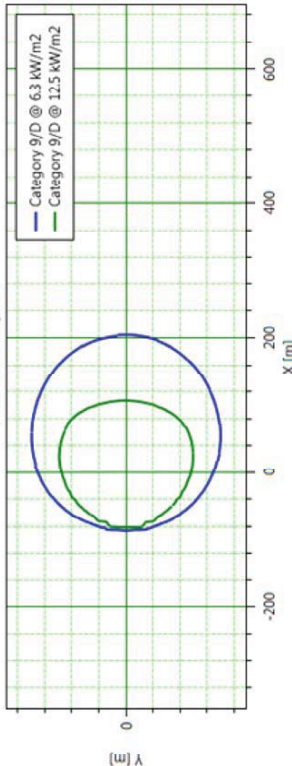
Standalone Pool Fire Radiation on a Plane

Pool fire Side View



Standalone Pool Fire Radiation on a Plane

Pool fire Footprint



SHIP INFORMATION

LENGTH: 110 M
 WIDTH: 11.45 M
 PRODUCT STORED: GASOLINE
 STORAGE CAPACITY: 6 x 500 m³ STORAGE TANKS

EXTENT OF HEAT CONTOURS DOWNWIND FROM POOL CENTER:

32.0 kW/M2: N/A
 12.5 kW/M2: 107 M
 6.3 kW/M2: 204 M

EXTENT OF HEAT CONTOURS UPWIND FROM POOL CENTER:

32.0 kW/M2: N/A
 12.5 kW/M2: 81 M
 6.3 kW/M2: 86 M

EXTENT OF HEAT CONTOURS CROSSWIND FROM POOL CENTER:

32.0 kW/M2: N/A
 12.5 kW/M2: 99 M
 6.3 kW/M2: 140 M

CONSEQUENCE MODELING PARAMETERS DATA:

SOURCE DIAMETER: 1000 MM AMBIENT TEMPERATURE: 15 DEG C
 RELEASE RATE: 8592 KG/SEC RELATIVE HUMIDITY: 60%
 SPILL DURATION: 42 SEC WIND SPEED: 9 M/S
 POOL DIAMETER: 160.68 M

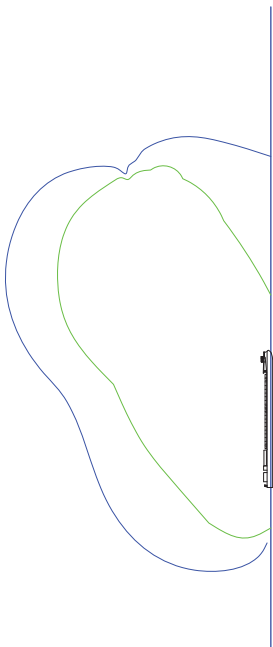
REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHK	APP.
1	10/11/14	DRAFT FOR APPROVAL	RP		
0	17/10/14	ISSUED FOR COMMENT	JC		SK

CLIENT NAME: RHINE PORT GROUP

FALCK RPI PROJECT NO: P1336

DRAWING NO: P1336-FR-04

DESCRIPTION: GASOLINE POOL FIRE – UNCONFINED SPILL ON WATER FROM A RELEASE FROM THE GREENSTREAM VESSEL



±32kW/M2

PERSONNEL
 FATALITY ZONE
 EQUIPMENT/ESCALATION
 RAPID ESCALATION LIKELY WITHOUT RAPID COOLING
 <10 MINS.

<12.5kW/M2

PERSONNEL
 IMMEDIATE 3RD DEGREE BURNS.
 EQUIPMENT/ESCALATION
 ESCALATION WITH PROLONGED EXPOSURE, COOLING
 REQUIRED <15MINS.

<6.3kW/M2

PERSONNEL
 IMMEDIATE 3RD DEGREE BURNS.
 EQUIPMENT/ESCALATION
 ESCALATION WITH PROLONGED EXPOSURE, COOLING
 REQUIRED <15MINS.



Falck

ANHANG 2.4B

HAFEN ANTWERPEN

Entrepotkaal 1
2000 Antwerpen
Belgien

Kontaktperson:

H. Pieter Vandermeeren
Technischer Leiter Umwelt, Hafen Antwerpen
Tel.: +32 (3) 229 65 64

HAFEN MANNHEIM

Staatliche Rhein-Neckar-Hafengesellschaft Mannheim mbH
Rheinvorlandstraße 5
68159 Mannheim
DEUTSCHLAND

Kontaktperson:

H. Michael Dietrich
Leiter Technik im Hafen Mannheim
Tel.: +49 (0) 621 292 21 53

HAFEN ROTTERDAM

World Port Center (WPC)
Wilhelminakade 909
3072 AP Rotterdam
Niederlande

Kontaktperson:

H. Cees Boon
Abschnittskordinator Harbourmaster Policy Dept
Tel.: +31 (0) 10-252 10 10

HAFEN STRASSBURG

25 rue de la Nuée bleue
CS 80407 – F-67002 Strasbourg cedex
FRANKREICH

Kontaktpersonen:

Frau Aurore Mourette
Leitung Entwicklung
Projektleiterin Nachhaltige Entwicklung
Tel.: +33 (0)3 88 21 74 25

HAFEN DER SCHWEIZ (Basel)

Schweizerische Rheinhäfen
Hochbergerstrasse 160
CH-4019 Basel
SCHWEIZ

Kontaktperson:

H. Dieter Saha
Abteilungsleiter Projekte, Schifffahrt und Hafenbetrieb
Tel.: +41 (0)61 639 95 94

Vereinigter Feuerwehr Rotterdam (Gezamenlijke Brandweer)

Laan van Nieuw Blankenburg 10
3181 DA Rozenburg
Niederlande

Kontaktperson:

H. B.P. Mo-Ajok
Strategieberater
Tel. : +31 (0)88 511 00 13

Falck Risc

Beerweg 101
(Hafen-Nr. 7033)
3199 LM Maasvlakte – Rotterdam
Niederlande

Kontaktperson:

H. S. Watkins
Projektleiter
Tel.: +31 (0) 181 376 666

Mitglieder des Projektteams	
H. B.P. Mo-Ajok	Vereinigte Feuerwehr Rotterdam / Gezamenlijke Brandweer (NL)
H. S. Watkins	Falck (NL)
H. G. J. Langerak	Falck (NL)
Dr. N. Ramsden	Falck (UK)
H. R. Roue	Alkane Marine Consultancy (UK)
H. R. Peeters	Falck (NL)

Mitglieder der Überprüfungsgruppe	
H. M. Bakker	Schiffsführer + Koordinator Feuerwehrschniffe Feuerwehren, Sicherheitsregion Süd-Gelderland (NL)
H. D. Van Gent	Bereichsleiter Notfalleinsatz, Hafen Rotterdam (NL)
H. M. Meijer	Koordinator Chemische Berater, EPA Rotterdam-Rijnmond (NL)
H. M. van den Berg	Verantwortlicher Gefahrgut, LIOGS Rotterdam (NL)
H. L. Labree	Brandmeister, Vereinigte Feuerwehr Rotterdam / Gezamenlijke Brandweer (NL)
Frau I. Van de Woude	Strategieberaterin Risikobewertung, Sicherheitsregion Rotterdam-Rijnmond (NL)
Frau K. Capello	Leitende Medizinverantwortliche in der Sicherheitsregion Rotterdam-Rijnmond (NL)
H. J. van Houwenhove	Berater, Cryo Advise (BE)

Lenkungsausschuss	
H. R. Van der Veen	Falck (NL)
Frau S. v.d. Pol – V.d. Hurk	Falck (NL)

