

---

---

DNV·GL

# Beurteilung der Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen für LNG-Schiffstransferaktivitäten für das German LNG Terminal

**German LNG**

**Bericht Nr.:** PP313754-2, Rev.0

**Dokument Nr.:** 11GNJ4M5-2

**Datum:** 11.10.2019



**Titel des Berichts:** Beurteilung der Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen für LNG-Schiffstransferaktivitäten für das German LNG Terminal  
**Kunde:** German LNG  
**Kundenkontakt:** Guy Mariën  
**Ausgabedatum:** 11.10.2019  
**Projekt Nr.:** PP313754  
**Organisationseinheit:** Risk Management Advisory  
**Bericht Nr.:** PP313754-2, Rev. 0  
**Dokument Nr.:** 11GNJ4M5-2  
**Vertragliche Grundlage für die Anfertigung dieses Berichts:**

Det Norske Veritas B.V. Oil & Gas  
 Risk Management Advisory  
 Zwolseweg 1  
 2994 LB Barendrecht  
 Niederlande  
 Tel.: +31 (0) 10 2922 786  
 USt-IdNr.: NL008585635B01

**Zielsetzung:**

Dieser Bericht präsentiert die berechnete Ausdehnung der Sicherheitszonen und zündquellenfreien Zonen für LNG-Schiffstransfer-Aktivitäten rund um den Verladeplatz-Manifold des German LNG Terminal, Brunsbüttel.

Erstellt durch:



Dennis van der Meulen  
Senior Consultant

Verifiziert durch:



Bastiaan Davids  
Team Leader Risk Management Advisory  
Rotterdam

Genehmigt durch:



Rob van der Spek  
Head of Risk Management Advisory Oil & Gas NL, digital lead region CEMEIA

Copyright © DNV GL 2019. Alle Rechte vorbehalten. Soweit nicht schriftlich etwas anderes vereinbart wurde: (I) dürfen diese Publikation oder Teile davon in keiner Form oder mit keinerlei Mitteln, sei es digital oder auf andere Weise, weder kopiert, reproduziert noch übermittelt werden; (II) hat der Kunde den Inhalt dieser Publikation vertraulich zu behandeln; (III) darf sich keine Drittpartei auf deren Inhalt verlassen und (IV) übernimmt DNV GL keinerlei Sorgfaltspflicht gegenüber einer Drittpartei. Der Verweis auf nur einen Teil dieser Publikation, der zu Fehlinterpretation führen könnte, ist untersagt. DNV GL und Horizon Graphic sind Handelsmarken von DNV GL AS.

**DNV GL-Verteilung:**

- OFFEN. Uneingeschränkte Verteilung, intern und extern.
- Nur für INTERNEN Gebrauch. Internes DNV GL-Dokument.
- VERTRAULICH. Verteilung innerhalb von DNV GL entsprechend dem anwendbaren Vertrag.\*
- GEHEIM. Nur für Zugriffsberechtigte.

\*Verteilung spezifizieren: DNV GL Group

Rev. Nr.	Datum	Ausgabegrund	Erstellt durch	Kontrolliert durch	Genehmigt durch
0	11.10.2019	Finale Bericht (Übersetzung)	D. van der Meulen	B. Davids	R. van der Spek

## Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG .....	1
2	EINLEITUNG.....	3
2.1	Zielsetzung	3
2.2	Geltungsbereich	3
2.3	Struktur des Berichts	4
3	PROZESSBESCHREIBUNG .....	5
3.1	Betriebsszenario	5
3.2	Transferaktivitäten	5
3.3	Sicherheitssysteme	6
4	TERMINOLOGIE .....	7
4.1	Individualrisiko	7
4.2	'Sicherheitszonen'-Konzepte	7
5	BESPRECHUNG INTERNATIONALER RICHTLINIEN UND VORSCHRIFTEN .....	9
5.1	Relevante Richtlinien und Vorschriften	9
5.2	Anforderungen Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen	10
6	METHODIK FÜR SICHERHEITS- UND ZÜNDQUELLENFREIE ZONEN .....	12
6.1	Ansätze	12
6.2	Sicherheitszone	13
6.3	Zündquellenfreie Zone	13
6.4	Vergleich	14
7	QRA-STUDIE .....	15
7.1	Methodik	15
7.2	Gefährdungsermittlung	17
7.3	Fehlerfälle	21
7.4	Umwelt	21
7.5	Modellannahmen	24
8	RISIKOKRITERIEN .....	25
8.1	Analyse der Risikokriterien	25
8.2	Festlegung einer vertretbaren Basis für das Risikokriterium	26
8.3	Risikokriterium für Sicherheitszone	27
8.4	Probabilistisches Kriterium für eine zündquellenfreie Zone	27
9	ERGEBNISSE.....	29
9.1	Sicherheits- und zündquellenfreie Zone	29
9.2	Risiko-Ranking und Risikotreiber	29
9.3	Implementierungsrichtlinien	30
10	SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	31
11	REFERENZ-VERWEISE .....	32

### Anhang A Betriebliche Eingabedaten

# 1 ZUSAMMENFASSUNG

Die German LNG Terminal GmbH (German LNG) hat DNV GL um die Festlegung von Sicherheitszonen und zündquellenfreien Zonen für LNG-Schiffstransfer-Aktivitäten gebeten, die voraussichtlich an zwei Liegeplätzen des German LNG-Terminals Brunsbüttel stattfinden werden. Die German LNG hat im Vorfeld eine Studie zur Identifizierung von Gefahren (Hazard Identification study – HAZID) durchgeführt, die einen empfohlenen Mindestabstand von 200 m für den Liegeplatz von großen Frachtern und 80 m für den Liegeplatz von kleineren Schiffen ergab. Es wurde empfohlen, im Rahmen einer detaillierteren Studie zu überprüfen, ob diese Abstände ausreichend sind.

Die Ziele dieser Studie sind Folgende:

- Quantifizierung der Todesfallrisiken in Verbindung mit den Schiffs-LNG-Transfer-Aktivitäten mittels einer Quantitativen Risikobewertung (QRA);
- Festlegung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen rund um den schiffsseitigen LNG-transfer Manifold entsprechend in der Branche etablierten internationalen Richtlinien und Vorschriften;
- Vergleich der berechneten Abstände mit den in der HAZID-Studie empfohlenen (200 m für Liegeplatz 1 und 80 m für Liegeplatz 2).

Die QRA wurde von DNV GL entsprechend dem niederländischen Referenzhandbuch BEVI-Risikobewertungen (Ref./1/) durchgeführt. (BEVI: Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen – Verordnung über externe Sicherheitseinrichtungen). Vorgängerdokument ist das Purple Book, ein weltweit akzeptiertes Handbuch für die Durchführung von QRAs. Zu beachten ist, dass die lokalen (Hafen)Behörden in Deutschland keine spezielle QRA-Methodik vorschreiben und auch nicht festlegen, welche Risikoakzeptanzkriterien gelten.

Die Sicherheitszonen werden mittels des in ISO/TS 18683 (Ref./2/) genannten risikobasierten Verfahrens berechnet. Zündquellenfreie Zonen werden aufgrund eines Wahrscheinlichkeitsverfahrens gemäß der SIGTTO-Richtlinie "Site selection and design for LNG ports and jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschbrücken) (Ref./3/) bestimmt. Die Größe der Zonen wird mithilfe eines ortsspezifischen Risikokriteriums von  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr bestimmt.

Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen werden für zwei Liegeplätze berechnet: Liegeplatz 1: Entladen/Beladen von großen LNG-Tankschiffen; Liegeplatz 2: Entladen/Beladen von kleineren LNG-Tankschiffen und LNG-Bargen.

Die jährlichen Schiffstransferaktivitäten und Betriebsparameter (z.B. Transferraten) sind für jeden Liegeplatz unterschiedlich und die Eingabedaten für die QRA wurden von German LNG bereitgestellt. Die max. Größe der Zonen (gemessen um den Ladearm Manifold) werden in SAFETI 8.22 berechnet und sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 1: Abstände von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen**

Liegeplatz	Art der Transferabläufe	Max. Größe der Zone um den Ladearm-Manifold	
		Zündquellenfreie Zone	Sicherheitszone
1	Entladen/Beladen von großen LNG-Frachtern	105 m	120 m
2	Entladen/Beladen von kleineren LNG Tankschiffen und LNG-Bargen	64 m	91 m



Für Liegeplatz 1 sind die berechneten Zonen kleiner als die in der HAZID-Studie empfohlenen Mindestabstände von 200 m. Für Liegeplatz 2 ist die berechnete zündquellenfreie Zone kleiner als der in der HAZID-Studie empfohlene Mindestabstand von 80 m. Der berechnete Abstand der Sicherheitszone ist jedoch größer (91 m). Aus diesem Grund hat German LNG entschieden, eine Sicherheitszone mit Radius 100 m um den Manifold des Liegeplatz 2 einzurichten. Die Zonen müssen nur während einer Schiffstransferaktivität (Entladen/Beladen oder Rückverladen) am Liegeplatz eingerichtet werden. Unkontrollierte Zündquellen (d.h. solche, die nicht unter der Kontrolle des Terminal-Managements stehen) sind innerhalb der zündquellenfreien Zone nicht erlaubt. Innerhalb der Sicherheitszone sind nur essentielle Aktivitäten und direkt mit dem Transferablauf beschäftigtes Personal zulässig. Kontrollierte Zündquellen sind in beiden Zonen zulässig, jedoch wird empfohlen, diese innerhalb der zündquellenfreien Zone so weit wie möglich zu minimieren.

## 2 EINLEITUNG

In der LNG-Branche ist es allgemeine Praxis, rund um einen Transferverteiler während LNG-Schiffstransferaktivitäten eine *Sicherheitszone* und/oder eine *zündquellenfreie Zone* festzulegen, um die Sicherheit während des Betriebs zu erhöhen. Zweck dieser Zonen ist es, ein potentielles Zündrisiko und das Risiko für sich in der unmittelbaren Umgebung aufhaltende Mitarbeiter und Personen im Fall eine Leckage am LNG-Transfer-Manifold zu begrenzen.

Die German LNG Terminal GmbH (German LNG) hat DNV GL mit der Ermittlung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen für LNG-Schiffstransfer-Aktivitäten beauftragt, die am German LNG-Terminal im Elbehafen, Brunsbüttel in Deutschland, stattfinden sollen. Die Sicherheitszonen und zündquellenfreien Zonen rund um die wichtigsten LNG-Transferverteiler werden basierend auf Methodiken berechnet, die im Rahmen von industrieweit akzeptierten Richtlinien verfügbar sind. Diese Zonen wurden durch DNV GL in der Vergangenheit schon für Gate Terminal in den Niederlanden und Vopak LNG berechnet. Das gleiche Verfahren findet bei dieser Studie Anwendung.

German LNG Terminal wird LNG-Schiffstransfervorgänge an zwei verschiedenen Liegeplätzen abwickeln. Ein Liegeplatz wird für große Frachter und der andere für kleinere Schiffe und Barge benutzt. Die German LNG hat eine Studie zur Identifizierung von Gefahren (Hazard Identification study – HAZID) durchgeführt, die einen empfohlenen Abstand von 200 m für den Liegeplatz von großen Frachtern und 80 m für den Liegeplatz von kleineren Schiffen ergab. Es wurde empfohlen, im Rahmen einer detaillierteren Studie zu überprüfen, ob diese Abstände groß genug sind. Infolgedessen hat DNV GL eine Quantitative Risikobewertung (QRA) durchgeführt, um die Ausdehnung dieser Zonen zu bestimmen.

### 2.1 Zielsetzung

Die Ziele der Studie sind folgende:

- Quantifizierung der Todesfallrisiken in Verbindung mit den Schiffs-LNG-Transfer-Aktivitäten mittels einer Quantitativen Risikobewertung (QRA);
- Festlegung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen rund um den Schiffstransferverteiler entsprechend in der Industrie akzeptierten internationalen Richtlinien und Vorschriften;
- Vergleich der berechneten Abstände mit den in der HAZID-Studie empfohlenen Abständen (200 m für Liegeplatz 1 und 80 m für Liegeplatz 2).

Zu beachten ist, dass die lokalen (Hafen)Behörden in Deutschland keine spezielle QRA-Methodik vorschreiben und auch nicht festlegen, welche Risikoakzeptanzkriterien einzuhalten sind. Einen gesetzlich festgelegten Risikorahmen, eine Methodik und Richtlinien für Risikoübernahmekriterien, die in einer QRA anzuwenden sind, gibt es in Deutschland nicht. Die SEVESO III-Richtlinie und die EN-1473:2016<sup>1</sup> nennen keine spezielle QRA-Methodik oder Risikokriterien. Deshalb schlägt DNV GL vor, die Risiken in Übereinstimmung mit der niederländischen Risikomethodik zu identifizieren und zu quantifizieren.

### 2.2 Geltungsbereich

Der Geltungsbereich der QRA beschränkt sich auf die Leckage-Szenarien, zu denen es auf der LNG-Verladeplattform kommen kann und die mit den LNG-Transfervorgängen zusammenhängen. Von diesen ist nur das Szenario des Ausfalls von Entlade-/Beladearmen während des Transfers relevant, da für die Ausfallereignisse bei anderen Ausrüstungen (z.B. Abscheider) in früheren Studien (z.B. für Gate Terminal

<sup>1</sup> BS EN 1473:2016 "Anlage und Ausrüstung für Flüssigerdgas. Auslegung von landseitigen Anlagen" (Veröffentlichungsdatum: 31. Mai)



in den Niederlanden) nachgewiesen wurde, dass sie nicht signifikant zur Größe der berechneten Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen rund um den Transferverteiler beitragen.

Die QRA-Studie schließt keine detaillierte nautische Risikobewertung ein. Bei einer nautischen Risikobewertung wird die Auswirkung einer potenziellen Kollision von passierenden Schiffen mit den am Liegeplatz liegenden LNG-Frachtern/Tankern/Bargen (während des Betriebs) quantifiziert. Das Kollisionsrisiko wird nicht bewertet oder berücksichtigt, abgesehen von den Angaben im Referenzhandbuch BEVI-Risikobewertungen. Das gesellschaftliche Risiko wird in der QRA ebenfalls nicht erfasst, da es allgemeine Praxis ist, Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen bei Anwendung eines risikobasierten Ansatzes nur aufgrund (individueller) Risikokonturen zu definieren.

## 2.3 Struktur des Berichts

Die Struktur dieses Berichts ist wie folgt aufgebaut:

- Beschreibung der LNG-Transferaktivitäten und Sicherheitssysteme (Kapitel 3);
- Definition wichtiger, im Bericht angewandter Konzepte (Kapitel 4);
- Besprechung internationaler Richtlinien und Vorschriften in Bezug auf die Bestimmung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen (Kapitel 5);
- Beschreibung verfügbarer Methodiken zur Bestimmung der Ausdehnung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen (Kapitel 6);
- Definition der QRA-Studie (Kapitel 7);
- vorgeschlagene risikobasierte Kriterien, die bei der Berechnung des Zonenumfangs verwendet werden (Kapitel 8);
- Risikoergebnisse und Definition von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen pro Liegeplatz (Kapitel 9);
- Schlussfolgerungen (Kapitel 10);
- Referenz-Verweise.

## 3 PROZESSBESCHREIBUNG

### 3.1 Betriebsszenario

Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen werden für ein Basisfallszenario für zwei Liegeplätze berechnet:

1. Entladen/Beladen von großen LNG-Frachtern am Liegeplatz 1;
2. Entladen/Beladen von kleineren LNG-Tankschiffen und Barges am Liegeplatz 2.

Die jährlichen LNG-Schiffstransferaktivitäten und Betriebsparameter (z.B. Transferraten) sind für beide Liegeplätze unterschiedlich.

### 3.2 Transferaktivitäten

Alle LNG-Transferaktivitäten erfolgen mit Entlade-/Beladearm(en) bei einem max. Betriebsdruck von 4,1 bar und einer LNG-Temperatur von -160 °C. Für das Entladen von großen LNG-Frachtern werden drei Arme für flüssiges LNG (16 Zoll) eingesetzt und für das Rückverladen wird ein 16-Zoll-Beladearm für flüssiges LNG eingesetzt. Für die kleineren LNG-Tankschiffe und LNG Barges wird ein 10-Zoll-Entlade-/Beladearm für flüssiges LNG eingesetzt. Darüber hinaus wird für die Dampfdruckführung ein Arm mit der gleichen Größe angeschlossen. Weitere Betriebsdaten zu den erwarteten LNG-Schiffstransfers (z.B. Durchflussmengen, jährliche Transferzeit) für jeden Liegeplatz werden von German LNG bereitgestellt. Die relevanten Ausgangspunkte für das Entladen und das Rückverladen sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst. Eine vollständige Übersicht der Eingabeparameter finden Sie in Anhang A.

**Tabelle 2: LNG-Schiffstransferparameter**

Szenario	Anzahl der für flüssiges LNG im Einsatz befindlichen Ladearme	Jährlicher Durchsatz	Max. Volumenstrom pro Arm	Mittlerer Gesamtvolumenstrom	Transferdauer*	Liegeplatzzeit pro Jahr ohne Entladezeiten
	(-)	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	Stunden/Jahr	Stunde
<b>LNG-Transfer am Liegeplatz 1 (große LNG-Tankschiffe)</b>						
Entladen	3	14.500.000	4.750	12.000	1.408	1.200
Beladen	1	1.740.000	3.000	2.500	750	144
<b>LNG-Transfer am Liegeplatz 2 (Kleinere LNG-Tank-schiffe + LNG-Barges)</b>						
Entladen	1	375.000	1.500	1.200	363	150
Kl. Tank-schiffe beladen	1	338.000	1.500	1.200	386	312
Barges beladen	1	525.000	1.500	1.200	1.138	1.400

\*Die Transferzeit wird berechnet mit: (Transfervolumen pro Operation / durchschnittlicher Gesamtdurchfluss + 2 Stunden hoch- und herunterfahren) x Anzahl der Transfers pro Jahr

### 3.3 Sicherheitssysteme

Repressionssicherheitssysteme können die Abflussdauer der Ausfallszenarien beschränken und dadurch die negativen Auswirkungen einer Leckage begrenzen. Daher wird ein automatisches ESD-System mit Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall von 0,001 (SIL 3-zertifiziert) eingesetzt. Ein automatisches ESD-System ist ein System, bei dem die Leckerkennung und das Schließen der ESD-Ventile automatisch erfolgen. Ein Eingreifen des Bedieners ist nicht notwendig. Für Freisetzungen mit einer Abflussmenge über 10 kg/s wird von einer Reaktionszeit (Erkennung + Ventilschließzeit) von 60 s ausgegangen. Für Freisetzungen <10 kg/s wird eine Reaktionszeit 120 s angenommen (Ref./4/).

Am Liegeplatz wird ein Flüssigkeitssammelsystem mit Betonplatte und mit Abflussrinnen oder -gräben errichtet, die das ausgetretene LNG in ein Sammelbecken ableiten. Die Wirkung dieses Systems gilt es bei der Betrachtung der Flüssigkeitsausbreitung zu berücksichtigen. Für Liegeplatz 1 wird angenommen, dass sich die Flüssigkeitsausbreitung auf 1.200 m<sup>2</sup> beschränkt, und für Liegeplatz 2 respektive auf 900 m<sup>2</sup>.

Der Einsatz eines PERC (Powered Emergency Release Coupler) wird als Standardeinrichtung angesehen. Das Referenzhandbuch BEVI-Risikobewertungen (Ref./1/) geht davon aus, dass die Implementierung dieser Einrichtungen und die Gewährleistung ihrer Funktionsfähigkeit, Voraussetzung für die Standard-Ausfallhäufigkeiten sind. Aus diesem Grund wurden PERCs in der QRA nicht als Risiko-Reduzierungsmaßnahmen aufgenommen.

## 4 TERMINOLOGIE

Diese Studie beschäftigt sich mit der Berechnung des *Individualrisikos* und die Bestimmung von *Sicherheitszonen* und *zündquellenfreien Zonen*. Diese Begriffe werden in den folgenden Abschnitten erklärt.

### 4.1 Individualrisiko

Die Berechnung des Individualrisikos erfolgt normalerweise aufgrund der Annahme, dass die Person an einem bestimmten Ort ständig anwesend ist (d.h. standortspezifisches Risiko). Die Einzelrisikokriterien sollten jedoch für die Risiken realer Personen gelten. Vor einem Vergleich der berechneten Einzelrisiken mit den Kriterien sollten deshalb manchmal Korrekturen vorgenommen werden, um die Tatsache zu berücksichtigen, dass Einzelpersonen in Wirklichkeit nicht ständig anwesend sind (d.h. Berechnung des personenspezifischen Risikos). Beide Konzepte werden nachstehend näher erläutert.

Das standortspezifische Personenrisiko (LSIR), auch als Personenrisiko (IR) bekannt, ist die auf das Jahr bezogene Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Unfalls mit Beteiligung einer ungeschützten Person, die sich 24 Stunden lang an einem Standort außerhalb der Anlage im Freien befindet, infolge der tödlichen Wirkungen eines ungewöhnlichen Zwischenfalls (Unfallszenario) innerhalb der betreffenden Anlage (oder Aktivität). Gemäß der Terminologie in (Ref./1/) wird LSIR ferner als standortspezifisches Risiko bezeichnet. Das standortspezifische Risiko wird durch ISO-Konturen auf einer Karte visualisiert. So zeigt zum Beispiel die  $10^{-6}$  standortspezifische Risikokontur diejenigen Standorte, an denen die Wahrscheinlichkeit, dass jemand zu Tode kommt, eins zu einer Million pro Jahr beträgt. Das standortspezifische Risiko ist von der tatsächlichen Bevölkerungsverteilung in der Nähe der Aktivität unabhängig.

Das personenspezifische Einzelrisiko (ISIR) ist das Risiko für verschiedene Arten von Einzelpersonen, die während unterschiedlicher Zeiträume an bestimmten Standorten anwesend sind. Terminal-Personal ist eventuell nicht immer dem Risiko ausgesetzt, während ein Transferablauf stattfindet. Das ISIR kann als realistischer betrachtet werden als das LSIR. In dieser Studie werden keine Korrekturen zur Berücksichtigung der Anwesenheitszeit bestimmter Arten von Einzelpersonen vorgenommen, bevor das Risiko mit den Kriterien verglichen wird. Die Zonen basieren auf Kriterien für LSIR, ausgehend von der Annahme, dass eine Person am Zonenumfang ständig anwesend ist, was als konservativerer Ansatz anzusehen ist.

### 4.2 'Sicherheitszonen'-Konzepte

Es gibt eine Reihe von Konzepten, die eng mit der "Sicherheitszone" oder der "zündquellenfreien Zone" zusammenhängen, die häufig austauschbar benutzt werden. Es geht dabei um folgende Konzepte:

- Gefahrenbereich;
- Sicherheitszone;
- zündquellenfreie Zone;
- Sperrzone;
- Sicherheitszone.

Die Definitionen und der Zweck der obigen Konzepte sind in Tabelle 3 beschrieben.

**Tabelle 3: Definition und Zweck verschiedener Zonenkonzepte**

Konzept	Definition	Zweck
Gefahrenbereich	Ein Bereich (Zone 0, 1, 2), in der eine explosive Gasatmosphäre besteht oder zu erwarten ist, in Mengen, die besondere Vorsichtsmaßnahmen für Bau, Installation und Gebrauch von Ausrüstungen erfordern (Ref./5/).	Vermeidung einer Entzündung von explosiver Atmosphäre durch die richtige Auswahl der (elektrischen) Ausrüstung, die innerhalb der Bereiche einzusetzen ist.
Sicherheitszone	Der Bereich rund um die LNG-Transferstation (oder den Transfer-Manifold), in dem während des Transfers nur spezielle und unbedingt notwendige Mitarbeiter und Aktivitäten zugelassen sind (Ref./2/).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduzierung des intrusiven Entzündungsrisikos;</li> <li>2. Reduzierung der Mitarbeiterexposition/des Risikos gegen schädliche Auswirkungen einer Entzündung (z.B. Feuer und Explosionen).</li> </ol>
Zündquellenfreie Zone	Der Bereich rund um den Transfer-Manifold, in dem wasser- und landbasierte unkontrollierte Zündquellen <sup>2</sup> verboten sind (Ref./3/, /6/).	Reduzierung des intrusiven Entzündungsrisikos.
Sperrzone	Der Bereich rund um den Transfer-Manifold, in dem wasserbasierte unkontrollierte Zündquellen oder Aktivitäten nicht erlaubt oder auf ein Minimum begrenzt sind (Ref./6/, /7/).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduzierung des intrusiven Entzündungsrisikos;</li> <li>2. Reduzierung von Eingriffen, die die strukturelle Integrität von Anlage und Schiffen bedrohen (z.B. kann eine Kollision eine starke Schiffsbewegung verursachen).</li> </ol>
Sicherheitszone	Der Bereich rund um die LNG-Transferanlage und das Schiff, in dem Schiffsverkehr und sonstige Aktivitäten überwacht (und gesteuert) werden, um nachteilige Wirkungen zu reduzieren (Ref./2/). Anmerkung: Der Begriff 'Sicherheitszone' sollte nicht mit den Zonen/der Grenze verwechselt werden, die in der ISPS-Vorschrift beschrieben sind. Um Verwirrung zu vermeiden, werden für den Begriff 'Sicherheitszone' häufig (z.B. im Rotterdamer Hafen) die Begriffe 'Überwachungszone' oder 'Kontrollzone' verwendet.	<p>Reduzierung von Eingriffen, die die physische Integrität von Anlage und Schiffen (z.B. infolge des Kollisionsrisikos) bedrohen, durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung und Kontrolle der externen Aktivitäten (z.B. Schiffsbewegungen), die zu, den Betrieb gefährdenden, Zwischenfällen führen können</li> <li>• Identifizierung von Bereichen, in denen Mitarbeiter Unfällen ausgesetzt sein können. In der Folge können dadurch der Zugang für das Personal und/oder spezielle Aktionen im Notfallschutzplan begrenzt werden.</li> </ul>

<sup>2</sup> Unkontrollierte Zündquellen sind Quellen (z.B. Fahrzeuge, elektrische Einrichtungen), die nicht der Kontrolle des Terminalmanagements unterliegen.

## 5 BESPRECHUNG INTERNATIONALER RICHTLINIEN UND VORSCHRIFTEN

Dieses Kapitel enthält eine Übersicht der internationalen Richtlinien und Vorschriften, die für die Festlegung von Sicherheitszonen und zündquellenfreien Zonen für LNG-Terminals und -Aktivitäten relevant sind. Die relevanten Anforderungen werden analysiert und verglichen.

### 5.1 Relevante Richtlinien und Vorschriften

Eine Auswahl der bekannten und in der Branche akzeptierten Richtlinien und Vorschriften, die in dieser Studie behandelt werden, sind nachstehend aufgeführt. Es wird unterschieden zwischen den Richtlinien und Vorschriften, die speziell auf Großterminals anwendbar sind, solchen, die LNG-Bunkerungsaktivitäten betreffen, und solchen, die die Klassifizierung von Gefahrenbereichen allgemein betreffen.

**Tabelle 4: Übersicht der relevanten internationalen Richtlinien und Vorschriften**

<i>LNG-Großterminals</i>
<p><b>SIGTTO: Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals (Prinzipien für die Handhabung von Flüssiggas auf Schiffen und Terminals), 3. Auflage, 2000 (Ref./6/)</b></p> <p>Dieses Buch wird von der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (International Maritime Organization – IMO) empfohlen und wird von der Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO) herausgegeben; es behandelt den sicheren Umschlag von Bulk-Flüssiggasen (z.B. LPG) und betont die Bedeutung eines Verständnisses ihrer physikalischen Eigenschaften in Bezug auf den praktischen Betrieb von Gasumschlageinrichtungen auf Schiffen und an Terminals.</p>
<p><b>SIGTTO: Site Selection and Design for LNG Ports and Jetties (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschenbrücken), 2. Auflage, 2000 (Ref./3/)</b></p> <p>Dieser Artikel behandelt Sicherheitsfragen für LNG-Häfen und konzentriert sich auf die Eliminierung von Leckagen. Der Artikel skizziert eine zukunftsgerichtete Möglichkeit für die Standortauswahl von LNG-Terminals, legt eine Grundlage für die sichere Auslegung von Löschrücken und berücksichtigt Sicherheitsfaktoren für den Hafenantritt.</p>
<p><b>SIGTTO: LNG Operations in Ports (LNG-Abläufe in Häfen), 1. Auflage, 2009 (Ref./7/)</b></p> <p>Dieses Buch stützt sich auf die kollektive Erfahrung bei der Festlegung von Leitlinien für bewährte Verfahren beim Managen von LNG-Verschiffungsabläufen in Häfen. Es beleuchtet auch das Profil von mit Gasabläufen verbundenen Risiken. Dieses Dokument stützt sich weitgehend auf die SIGTTO-Richtlinien "Site Selection and Design for LNG Ports and Jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschenbrücken), konzentriert sich jedoch auch auf die Implementierung von Verfahren zur Reduzierung betrieblicher Risiken, die aus Risikobewertungen abgeleitet sind.</p>
<i>LNG-Bunkerung</i>
<p><b>ISO/TS 18683:2015: "Guidelines for Systems and Installations for Supply of LNG as Fuel to Ships" (Richtlinien für Systeme und Anlagen für die Versorgung von Schiffen mit LNG als Kraftstoff), 1. Auflage, 2015 (Ref./2/)</b></p> <p>Zweck dieser ISO-Norm ist die Festlegung von Richtlinien für Ausrüstung, Systeme, Verfahrensweisen und Schulung bei Unternehmen, die Schiffe mit LNG als Kraftstoff beliefern. Diese Norm dient als Richtlinie für die Mindestanforderungen in Bezug auf Sicherheit, Betriebs- und Steuerungsverfahren, Anforderungen an Komponenten und Einrichtungen, Wartungsverfahren, Schulungs- und Notfallabläufe, um sichere,</p>

praktische und effiziente LNG-Bunkerabläufe bei gasbetriebenen Schiffen aus Bunkerschiffen und -Bargen sowie landseitigen Anlagen entweder aus festen Lagertanks oder LNG-LKWs sicherzustellen.

#### Gefahrenbereichsklassifizierung

**IP-15: "Area classification code for installations handling flammable liquids, Part 15 of the IP model code of Safe Practice in the Petroleum Industry" (Bereichsklassifizierungsvorschrift für Anlagen für die Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten, Teil 15 der IP-Modellnorm für sichere Praxis in der Erdölindustrie), 3. Auflage, 2005 (Ref./8/)**

Teil 15 der IP-Modellvorschrift für sichere Praxis in der Erdölindustrie ist eine bewährte, international akzeptierte Vorschrift für die Klassifizierung von Gefahrenbereichen in der Erdölindustrie. Diese Vorschrift beinhaltet einen risikobasierten Ansatz für die Spezifizierung von Gefahrenbereichen aus Sekundärfreisetzungsquellen, der weitere Flexibilität bei der Spezifizierung von Gefahrenradien ermöglicht. Der risikobasierte Ansatz findet im Rahmen dieser Studie Anwendung, um vertretbare Endpunktkriterien zur Bestimmung der Größe der Zonen abzuleiten.

## 5.2 Anforderungen Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen

Unter den relevanten Quellen beschreiben die SIGTTO-Richtlinien die Methode zur Berechnung von zündquellenfreien Zonen, und Richtlinie ISO/TS 18683 beschreibt die Methode zur Berechnung der Sicherheitszonen. Die Methodik beider Richtlinien wird nachstehend beschrieben.

### 5.2.1 SIGTTO

Folgende SIGTTO-Richtlinien behandeln *zündquellenfreie Zonen*: "Liquefied gas handling principles on ships and terminals" (Prinzipien für die Handhabung von Flüssiggas auf Schiffen und Terminals) und "Site Selection and Design for LNG Ports and Jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschbrücken).

Eine *zündquellenfreie Zone* wurde rund um den LNG-Transfer-Manifold eingerichtet, in der wasser- und landbasierte unkontrollierte Zündquellen verboten sind, um das Risiko einer intrusiven Entzündung zu reduzieren, (Ref./3/, /6/). Unkontrollierte Zündquellen sind Quellen (z.B. Fahrzeuge, elektrische Einrichtungen), die nicht der Kontrolle des Terminalmanagements unterliegen.

Die vorgeschlagenen Methoden zur Bestimmung einer *zündquellenfreien Zone* sind innerhalb der Richtlinien unterschiedlich.

1. "Liquefied gas handling principles on ships and terminals" (Prinzipien für die Handhabung von Flüssiggas auf Schiffen und Terminals), Abschnitt 9.2.2, beschreibt ein Verfahren, bei dem ein *größtes anzunehmendes Schadenszenario* definiert wird, für welches die Abmessungen der entstehenden Gaswolke ermittelt werden:  
*"Um die Größe einer solchen Wolke festzustellen, muss zunächst der Umfang des größten anzunehmenden Lecks bestimmt werden. Diese Schätzung kann auf unterschiedliche Weise vorgenommen werden und dafür stehen zahlreiche Methoden zur Verfügung."*
2. "Site selection and design for LNG ports and jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschbrücken), Abschnitt 7.2.4, beschreibt ein Wahrscheinlichkeitsverfahren. Nach diesem Verfahren werden die Abmessungen von Gaswolken für eine Reihe von Szenarien unter verschiedenen Witterungsbedingungen und unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit der einzelnen Fälle ermittelt:

"Der Bereich, auf den sich zündquellenfreie Zonen erstrecken könnten, wird durch eine Analyse der Entstehungs- und Verteilungseigenschaften von Gaswolken aufgrund einer Reihe von Leckageszenarien unter verschiedensten Witterungsbedingungen bestimmt. Das Ergebnis benennt die Wahrscheinlichkeit und mögliche Ausbreitung von Gaswolken in der Nähe der Löschbrücke."

Somit werden für die Festlegung einer zündquellenfreien Zone zwei Verfahren vorgeschlagen.

### 5.2.2 ISO/TS 18683

Wenngleich sich der Anwendungsbereich von ISO/TS 18683 auf die LNG-Bunkerung beschränkt, ist die vorgeschlagene Methodik zur Bestimmung der Sicherheitszonen generell auf jede Art von LNG-Transferoperation (z.B. Beladen/Rückverladen) anwendbar. Deshalb kann die Methodik auch bei der Bestimmung von *Sicherheitszonen* für den German LNG-Terminal angewandt werden.

Hauptzweck einer *Sicherheitszone* gemäß ISO/TS 18683 ist die Kontrolle von Zündquellen, um die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren, dass ein brennbares Gas durch eine zufällige Freisetzung von LNG oder Erdgas entzündet wird. Die Größe der *Sicherheitszone* wird normalerweise durch eine Risikobewertung bestimmt. ISO/TS 18683 enthält eine detaillierte Anleitung für zwei Verfahren, die für die Bestimmung der *Sicherheitszone* angewandt werden können:

- Ein konservatives und einfaches (deterministisches) Verfahren auf der Grundlage einer qualitativen Risikobewertung (HAZID) oder
- ein risikobasiertes Verfahren (QRA) in Bezug auf die Gesamtsicherheitsanforderungen<sup>3</sup>.

Das komplexere risikobasierte Verfahren kann Anwendung finden, wenn das einfache Verfahren, praktisch betrachtet, zu große Abstände mit sich bringt. Eine kleinere *Sicherheitszone* kann akzeptabel sein, sofern mittels QRA nachgewiesen werden kann, dass die Risikoübernahmekriterien für das Personal einer 1., 2. und 3. Partei erfüllt werden können. Wenn das Risiko entsprechend den (mit den Behörden vereinbarten) Akzeptanzkriterien annehmbar ist, ist die kleinere Sicherheitszone akzeptabel.

Die *Sicherheitszone* sollte als Sicherheitsabstand rund um den Transferbereich (Transfer-Manifold) implementiert werden und kommt normalerweise zu dem mindestens erforderlichen externen Sicherheitsabstand (z.B. zu benachbarter Industrie und benachbarten Wohngebieten) hinzu, die gemäß nationalen Methodiken und Kriterien für die Landnutzungsplanung festgelegt werden.

Schließlich muss hervorgehoben werden, dass die Ex-Zonen, die in der Gefahrenbereichsklassifizierung (z.B. ATEX) festgelegt wurden, immer in Kraft bleiben. Der (tatsächliche) Sicherheitsabstand kann niemals 0 m oder kleiner als der Gefahrenbereich sein, ungeachtet des Ergebnisses der Sicherheitszonenbeurteilung.

### 5.2.3 Schlussfolgerungen

Von obigen Tatsachen ausgehend, kann gefolgert werden, dass der Begriff *zündquellenfreie Zone*, wie er in den SIGTTO-Richtlinien definiert ist, einem ähnlichen Zweck dient wie der Begriff *Sicherheitszone*, wie er in ISO/TS 18683 verwendet wird. SIGTTO bietet zwei Verfahren zur Festlegung einer solchen Zone. Diese beiden Verfahren betreffen eine Dispersionsanalyse von (L)NG, entweder auf der Grundlage eines größten anzunehmenden Szenarios oder eines Wahrscheinlichkeitsverfahrens. Die auf einem größten anzunehmenden Szenario basierende Analyse gleicht dem in ISO/TS 18683 beschriebenen deterministischen Ansatz.

<sup>3</sup> Die QRA kann gewählt werden, wenn der deterministische Ansatz als zu konservativ angesehen wird; die QRA ist obligatorisch, wenn einer oder mehrere der folgenden Umstände gegeben sind: SIMOPS, anwesende Fahrgäste, nicht standardisierte Transferszenarien.

## 6 METHODIK FÜR SICHERHEITS- UND ZÜNDQUELLENFREIE ZONEN

Dieses Kapitel enthält eine detailliertere Beschreibung der verschiedenen, für die Festlegung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen verwendeten Methodiken.

### 6.1 Ansätze

Ausgehend von der Analyse der Richtlinien und Standards im vorigen Kapitel, wurde festgestellt, dass es drei verschiedene Ansätze für die Festlegung von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen gibt: deterministisches, Wahrscheinlichkeits- und risikobasiertes Verfahren.

#### 6.1.1 Deterministisches Verfahren

Das deterministische Verfahren ist das einfachste und bisher am häufigsten angewandte Verfahren. Für ein Szenario mit der größten annehmbaren Freisetzung wird der maximale Abstand zwischen dem Manifold und der entzündbaren Konzentration der daraus resultierenden LNG-Wolke bestimmt. Die zündquellenfreie oder Sicherheitszone wird dann als der Bereich definiert, in dem bei dem betreffenden Szenario eine entzündbare Konzentration auftreten könnte. Die Hauptvorteile dieses Verfahrens sind seine Einfachheit und die Tatsache, dass es keine zeitaufwändigen Berechnungen erfordert. Die Ergebnisse sind jedoch konservativ, da die Wahrscheinlichkeit potenzieller Freisetzungen unberücksichtigt bleibt.

#### 6.1.2 Wahrscheinlichkeitsverfahren

Das Wahrscheinlichkeitsverfahren, wie es in SIGTTO vorgeschlagen wird, ist ein umfassenderes Verfahren, bei dem der größte Abstand zwischen Manifold und entzündbarer Konzentration einer (L)NG-Wolke für jedes potenzielle Freisetzungsszenario bestimmt wird (mit einer signifikanten Eintrittswahrscheinlichkeit). Die zündquellenfreie Zone wird dann als der Bereich definiert, in dem die Wahrscheinlichkeit einer entzündbaren Konzentration größer ist als das definierte Häufigkeitskriterium. Dieses Verfahren wird, je nach dem angewandten Kriterium, normalerweise zu einer kleineren zündquellenfreien Zone führen als bei Anwendung eines deterministischen Verfahrens, da es möglich ist, Maßnahmen zu berücksichtigen, die die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung reduzieren. Dies ist ein Vorteil in Situationen mit begrenzten Platzverhältnissen. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist das Fehlen gut untermauerter und allgemein akzeptierter Kriterien.

#### 6.1.3 Risikobasiertes Verfahren

Die in ISO/TS 18683 definierte risikobasierte Methodik berücksichtigt das Gesamtrisiko für Personen in der Nähe der Verladeanlage. Der Anwendungsbereich dieses Verfahrens unterscheidet sich vom Anwendungsbereich der anderen Verfahren. Das deterministische und das Wahrscheinlichkeitsverfahren berücksichtigen nur eine Gasausbreitung, die im Fall einer verzögerten Entzündung wegen Anwesenheit einer Zündquelle schließlich zu einer Verpuffung oder Explosion führen könnte. Andere Risikoarten bleiben unberücksichtigt, da diese nicht unmittelbar mit dem Vorhandensein von Zündquellen zusammenhängen. Das risikobasierte Verfahren berücksichtigt jedoch alle Arten von Risiken, einschließlich 'Flächenbränden' und 'Stichflammen', da ermittelt werden soll, ob irgendwelche Risikokriterien überschritten werden. Die Sicherheitszone wird somit als eine der potenziellen Methoden zur Reduzierung des Gesamtrisikos der Operation angesehen.

Das risikobasierte Verfahren wird in keiner der einschlägigen, besprochenen SIGTTO-Standards für die LNG-Großindustrie beschrieben. Hier wird jedoch argumentiert, dass diese Methodik in gleicher Weise in der Großindustrie anwendbar ist wie bei der LNG-Bunkerbranche. Mit der Einführung von LNG-Bunkeraktivitäten in hochkonzentrierten Häfen wie Rotterdam und Antwerpen, wurde die Anwendung



von risikobasierten oder Wahrscheinlichkeitsverfahren für die Bestimmung von Sicherheitszonen zu einem Diskussionsgegenstand von größtem Interesse. Die Anwendung des deterministischen Verfahrens führte zu Sicherheitszonen, die weit größer sind als in diesen Häfen praktikabel. Ein risikobasiertes oder Wahrscheinlichkeitsverfahren bietet eine Möglichkeit, nachzuweisen, dass die Operation auch dann sicher stattfinden kann, wenn eine kleinere Sicherheitszone implementiert wird, eventuell in Kombination mit anderen Reduzierungsmaßnahmen. Dies war die Hauptmotivation für die Wahl eines risikobasierten Verfahrens in ISO/TS 18683. Der Grund dafür, dass ein risikobasiertes Verfahren statt des Wahrscheinlichkeitsverfahrens gewählt wurde, ist das Fehlen allgemein anerkannter Kriterien für die Häufigkeit des Auftretens brennbarer Konzentrationen. Es ist jedoch möglich, diese Kriterien mithilfe allgemeiner Annahmen in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung und Gefährdungskriterien von risikobasierten Kriterien abzuleiten.

Die Tatsache, dass SIGTTO die Anwendung eines Wahrscheinlichkeitsverfahrens vorschlägt, zeigt, dass die Großindustrie diesen Ansatz ebenfalls unterstützt. Die Methodik wurde bisher jedoch noch nicht umfassend getestet, da die meisten LNG-Großterminals in abgelegenen Gebieten liegen. Somit findet in den meisten Fällen das deterministische Verfahren Anwendung.

## 6.2 Sicherheitszone

Die Sicherheitszonen werden mittels des in ISO/TS 18683, Anhang B (Ref./2/) skizzierten risikobasierten Verfahrens berechnet. Folgende Schritte werden eingehalten:

1. Entwicklung einer QRA-Studie;
2. Berechnung von standortspezifischen Einzelrisikokonturen;
3. Definition von Risikokriterien;
4. Bestimmung der Größe der Sicherheitszone.

Die Abmessungen der Sicherheitszone werden durch die kalkulierten Risikokonturen definiert, für die das Risiko entsprechend den Kriterien akzeptabel ist. Bestimmt wird nur die horizontale Sicherheitszone für Personen, die sich in Bodenhöhe aufhalten. Zur Definition der Größe einer vertikalen Sicherheitszone würden detailliertere Analysen benötigt.

## 6.3 Zündquellenfreie Zone

Zündquellenfreie Zonen werden aufgrund des Wahrscheinlichkeitsverfahrens gemäß der SIGTTO-Richtlinie "Site selection and design for LNG ports and jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschbrücken) (Ref./3/) berechnet. Folgende Schritte werden dabei befolgt:

1. Entwicklung einer QRA-Studie;
2. Berechnung der Häufigkeit einer zündfähigen Gaswolke;
3. Festlegung eines Kriteriums für die Häufigkeit einer zündfähigen Gaswolke;
4. Bestimmung der Lage der Häufigkeitskontur für das Auftreten einer, dem ausgewählten Kriterium entsprechenden, brennbaren Konzentration. Diese Kontur zeigt die zündquellenfreie Zone.

Die Untere Entflammbarkeitsgrenze (LFL) dient als Endpunktkriterium für die zündfähige Gaswolke.

## 6.4 Vergleich

Die Hauptunterschiede zwischen der Wahrscheinlichkeitsanalyse und der risikobasierten Analyse zur Bestimmung von zündquellenfreien Zonen bzw. Sicherheitszonen sind folgende:

- Die zündquellenfreie Zone basiert auf der berechneten Verpuffungs-Häufigkeitskontur in der QRA (Häufigkeitsumfang einer brennbaren Konzentration) und berücksichtigt daher nur verzögerte Ereignisse (z.B. Gasausbreitung mit verzögerter Entzündung). Das Konzept hat zum Ziel, die Gesamtwahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung im Fall einer brennbaren Gasdispersion zu verringern, die ihren Ursprung am Transfer-Manifold hat. Zweck der Analyse ist es somit, nur die standortspezifische Häufigkeit einer brennbaren Gaswolke zu bestimmen.
- Die Sicherheitszone basiert auf dem anhand einer QRA berechneten Risiko, bei der alle Zündtypen (unmittelbar und verzögert) und Folgewirkungen berücksichtigt werden (Stichflamme, Flächenbrand, Explosionen, Verpuffung usw.). Das Konzept hat den Zweck, einen ausreichenden Abstand zwischen Transfer-Manifold und nicht unbedingt benötigten Mitarbeitern oder Personen einzuhalten, sodass das Todesfallrisiko für Mitarbeiter und Personen als akzeptabel bewertet wird.

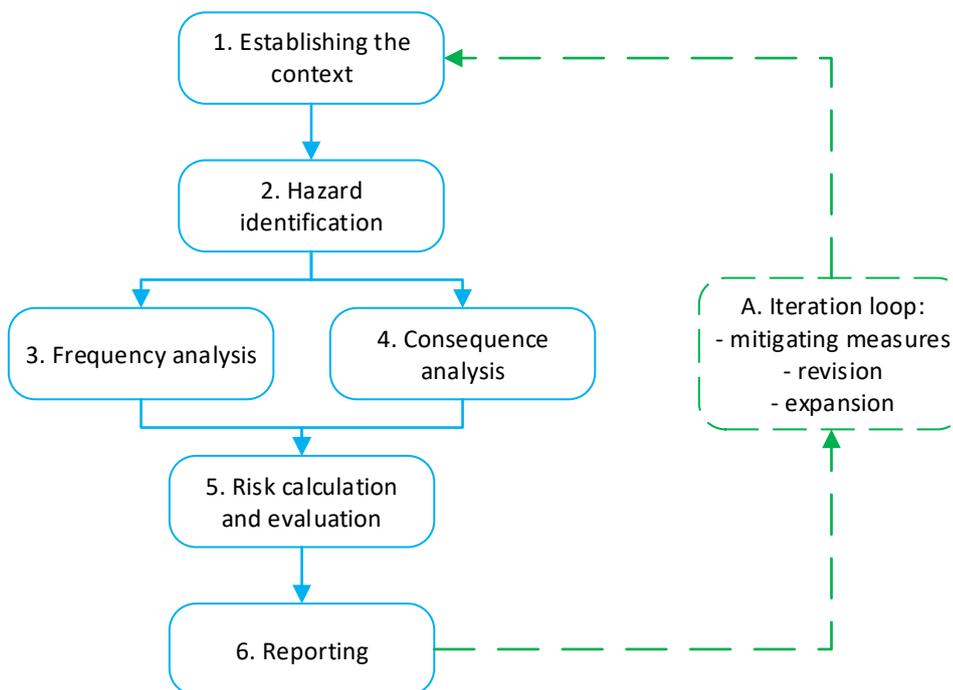
Da das Basisrisikokriterium für die Ableitung von Kriterien für beide Zonen gleich ist, umfasst die Sicherheitszone normalerweise einen größeren Bereich als die zündquellenfreie Zone, weil andere Risikoarten zusätzlich Berücksichtigung finden. Die Ähnlichkeit zwischen den beiden Konzepten besteht darin, dass normalerweise in beiden Zonen die Zündquellen kontrolliert sein sollten und daher die Anwesenheit von unkontrollierten Zündquellen nicht zulässig ist. Für diese Studie wurde deutlich zwischen der praktischen Anwendbarkeit der beiden Zonen unterschieden. Die zündquellenfreie Zone definiert den Bereich, in dem unkontrollierte Zündquellen nicht zulässig sind, während die Sicherheitszone den Bereich definiert, in dem nicht benötigte Mitarbeiter, Personen und Aktivitäten nicht zulässig sind. Kontrollierte Zündquellen sind in beiden Zonen zulässig.

## 7 QRA-STUDIE

### 7.1 Methodik

Eine Quantitative Risikobewertung ist eine bekannte und weithin akzeptierte Methodik zur Quantifizierung von Sicherheitsrisiken. Es ist ein Verfahren zur Bestimmung der Risikostufen in Verbindung mit zufälligen Leckage-Ereignissen (LoC-Ereignissen z.B. Flüssiggasleckagen, Gasfreisetzungen).

Eine QRA kann Einblick in die Gefährdung des menschlichen Lebens durch eine bestimmte Aktivität geben, indem die potenziell gefährlichen Auswirkungen einer Vielzahl von Szenarien berechnet werden und die Wahrscheinlichkeit des Eintretens dieser Szenarien berücksichtigt wird. Die QRA-Methodik ist visuell dargestellt in Abbildung 1.



**Abbildung 1: QRA-Methodik**

Die QRA versucht im Allgemeinen, sechs einfache Fragen zu beantworten. Neben jeder Frage ist der technische Begriff für die betreffende Aktivität in der QRA aufgeführt:

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. Was kann schiefgehen?   | Gefährdungsermittlung                              |
| 2. Wie schlimm?            | Folgenanalyse                                      |
| 3. Wie oft?                | Häufigkeitsanalyse                                 |
| 4. Welches Risiko besteht? | Risikoberechnung                                   |
| 5. Was ist also zu tun?    | Risikobewertung (oder -beurteilung)                |
| 6. Was habe ich zu tun?    | Risikomanagement (Maßnahmen zur Risikoreduzierung) |

Diese Aktivitäten werden nachstehend näher erläutert.

## **Was kann schiefgehen? Gefährdungsermittlung**

Bei einer LNG-Leckage (Loss of Containment – LoC) können möglicherweise Menschen gefährdet werden. Für die QRA werden mehrere LoC-Szenarien in Verbindung mit einem Ausfall von LNG-Einrichtungen definiert. Die Störfälle (Szenarien) für die ausgewählten Ausrüstungsteile sind dem niederländischen Referenzhandbuch BEVI-Risikobewertungen (Ref./1/) entnommen. Beschrieben werden die durch LNG induzierten Gefahren, die sich aus den Szenarien ergeben.

## **Wie schlimm? Folgenanalyse**

Parallel zu der Häufigkeitsanalyse evaluiert die Folgenanalyse die aus Unfällen resultierenden Auswirkungen, und deren Auswirkung auf Menschen, insofern diese eintreten. Entzündete brennbare Freisetzungen können verschiedene Folgen haben, wie eine Stichflamme, einen Flächenbrand, Verpuffungen oder Dampfexplosionen, je nach Art des Szenarios und der Zeit und dem Ort der Entzündung. Die Folgenbeurteilung muss mithilfe von anerkannten und validierten Folgenmodellierungstools stattfinden, die die daraus resultierenden Wirkungen und ihre Auswirkung auf Menschen feststellen können. Diese Tools werden normalerweise durch experimentelle Testdaten validiert, die für die Größe und Bedingungen der zu beurteilenden Gefahr angemessen sind.

Die Folgen für die Szenarien in dieser QRA werden mit dem Softwareprogramm PHAST 8.22 (enthalten in SAFETI 8.22) modelliert. Phast ist auch das in SAFETI-NL verwendete Basisfolgenmodell, welches derzeit in den Niederlanden das vorgeschriebene Softwareprogramm für QRAs ist. Da für diese QRA die niederländische QRA-Methodik angewandt wird, macht es Sinn, das gleiche Softwareprogramm zu benutzen.

## **Wie oft? Häufigkeitsanalyse**

Nachdem die Gefahren eines Systems oder einer Aktivität identifiziert sind, besteht der nächste Schritt in der Durchführung der QRA darin, die Häufigkeit einzuschätzen, mit der die Gefährdungseignisse (Szenarien) eintreten können. Die Standard-Ausfallhäufigkeiten werden der BEVI-Richtlinie (Ref./1/) entnommen und werden für die jährliche Transferzeit angeglichen.

## **Welches Risiko besteht? Risikoberechnung**

Sobald die Zonen mit potenziellem physischem Schaden durch eine Folgenanalyse eingeschätzt sind, wird die Wahrscheinlichkeit des tatsächlichen Eintretens von Schäden (d.h. das Sicherheitsrisiko) unter Berücksichtigung verschiedener Ereigniswahrscheinlichkeiten berechnet. Beispielsweise verursacht das häufige Eintreten eines unerwünschten Ereignisses selbst, unter Umständen keinen Schaden. Der tatsächliche Schadenseintritt hängt von mehreren Ereigniswahrscheinlichkeiten ab, wie:

- Witterungsstabilitätsklasse;
- Windrichtungswahrscheinlichkeit;
- Windgeschwindigkeits- und Stabilitätswahrscheinlichkeit;
- Entzündungswahrscheinlichkeit (unmittelbar und verzögert);
- Anwesenheit von Personen im Wirkungsbereich (Population).

Die Wahrscheinlichkeit des Schadeneintritts hängt von einer Ereignisbaumanalyse ab, die obige Ereigniswahrscheinlichkeiten berücksichtigt. Ein weiterer wichtiger Faktor, der den tatsächlich verursachten Schaden bestimmt, ist die Anfälligkeit von Personen/Sachen in der betroffenen Zone und die Expositionszeit, wobei zum Beispiel Probit-Funktionen oder andere Anfälligkeitskriterien angewandt werden.

Das für die Risikoberechnung verwendete Softwareprogramm ist SAFETI 8.22.

### **Was ist also zu tun? Risikobewertung**

Die nächste Stufe besteht in der Einführung von Kriterien, die Beurteilungsmaßstäbe sind, um zu zeigen, ob die Risiken "akzeptabel", "tolerierbar" oder "vernachlässigbar" sind, oder um eine andere Bewertung hinsichtlich ihrer Signifikanz vorzunehmen. Dieser Schritt beginnt mit der Einführung nichttechnischer Fragen der Risikoakzeptabilität und Entscheidungsfindung und der Prozess ist folglich als Risikobewertung bekannt. Diese Studie verwendet Risikokriterien zur Definition von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen, stellt jedoch keine Beurteilung der Frage dar, ob ein Risiko akzeptabel ist.

### **Was habe ich zu tun? Risikomanagement**

Um die Risiken akzeptabel zu machen oder die Sicherheitsabstände zu verringern, können Maßnahmen zur Risikoreduzierung erforderlich sein. Die Vorteile dieser Reduzierungsmaßnahmen können durch erneute Berechnung des Risikos evaluiert werden. Eine detaillierte Untersuchung der Risikominderungsmaßnahmen und ihrer Auswirkung auf das berechnete Risiko erfolgt normalerweise nur, wenn die berechneten Risiken aufgrund der angewandten Risikokriterien als inakzeptabel evaluiert werden oder wenn die Beurteilung zu großen Sicherheitszonen führt, die in der Praxis nicht implementierbar sind.

## **7.2 Gefährdungsermittlung**

### **7.2.1 Auswahl von Ausrüstungen**

Dieser Abschnitt enthält eine Übersicht über die Ausrüstungen, für die die QRA Fehlerfälle enthält. Wenn eine Ausrüstung nicht gewählt wird, wird dies begründet.

Berücksichtigt werden folgende Ausrüstungsteile:

- Entlade-/Beladearme für Flüssigkeiten;
- Dampfdruckführarm;
- Plattformabscheider (einschließlich Entlastungsventil);
- Entlade-/Beladeleitungen an der Plattform;
- Transportpipeline (von der Plattform zum Lager);
- Ladetank auf LNG-Frachter oder -Kahn;
- Leitungen auf LNG-Frachter oder -Kahn;
- Pumpen auf LNG-Frachter.

Von den obigen Ausrüstungen werden für die QRA nur die Entlade-/Beladearme für Flüssigkeiten, der Dampfdruckführarm und der Ladetank auf einem LNG-Frachter oder -Kahn ausgewählt. Eine detaillierte Begründung für den Ausschluss von Ausrüstungsteilen aus der QRA folgt weiter unten.

#### Abscheider (einschließlich Entlastungsventil)

Die damit verbundenen Fehlerfälle tragen wegen der geringen Bestands- und Anfangsfehlerhäufigkeiten (im Vergleich zum Ausfall eines Entlade-/Beladearms) nicht signifikant zum Risiko bei.

#### Entlade-/Beladeleitungen an der Plattform und Transportpipeline

Die Ausfallhäufigkeit für LNG-Pipelines wird durch DNV GL im Jahr 2006 analysiert (Bericht: "Analysis of failure frequency for LNG-pipelines" (Analyse der Ausfallhäufigkeit für LNG-Pipelines), Ref./9/). Es wurde festgestellt, dass die Ausfallhäufigkeit für Inter-Unit-LNG-Transportpipelines wesentlich geringer ist als für herkömmliche Prozessleitungen. Das Risiko eines Pipelineversagens ist entlang der Pipelinestrecke auch geografisch verteilt (von der Plattform zum Lager). Aus diesen beiden Gründen trägt der Ausfall der LNG-Pipelines nicht signifikant zu dem standortspezifischen Risiko rund um den Transferverteiler bei.

#### Ladetank auf LNG-Frachter oder -Kahn

Der inhärente Ausfall der LNG-Ladetanks braucht in einer QRA nicht berücksichtigt zu werden (Ref./1/). Der Transfer findet während des größten Teils der Zeit statt, in der sich ein LNG-Frachter oder -Kahn vor Ort befindet, und es wird angenommen, dass die Szenarien für das Entlade-/Beladetransfersystem (Ausfall des Arms) im Vergleich zum inhärenten Ausfall der Ladetanks risikodominant sind. Die einzigen Szenarien, die neben dem Laden relevant sind, sind äußere Schäden infolge von Schiffskollisionen (Ref./1/). Diese werden weitgehend von der örtlichen Situation bestimmt. Die Liegeplätze liegen entlang der Elbe, in einer Entfernung von ca. 560 m zur Fahrwinne. Deshalb sind die Standard-BEVI-Szenarien für Semi-Gastanker (gekühlt) in der QRA enthalten (Ref./1/).

#### Leitungen auf LNG-Frachter oder -Kahn

Es wird davon ausgegangen, dass ein Versagen des Arms im Vergleich zum Ausfall von LNG-Leitungen auf dem LNG-Frachter oder -Kahn risikodominant ist.

#### Pumpen auf LNG-Frachter zum Entladen

Es wird davon ausgegangen, dass die Pumpen auf dem LNG-Frachter oder auf kleineren LNG-Tankschiffen/Bargen in einem im Ladetank befindlichen Schacht eingetaucht liegen. Ein Ausfall dieser Pumpen führt zu keiner Freisetzung in die Atmosphäre und ist deshalb für die QRA nicht relevant.

## 7.2.2 LNG-Eigenschaften

LNG ist Erdgas, hauptsächlich Methan (CH<sub>4</sub>) mit etwas Ethan, Propan, Butan und Kohlendioxid, welches zwecks leichter Lagerung oder Beförderung zeitweilig in die flüssige Form übergeführt wurde. Grund für die Verflüssigung ist, dass Methan in der Gasphase 600 mal mehr Volumen erfordert als in der Flüssigphase; es lässt sich somit in der Flüssigphase effizienter transportieren. Methan ist ein farbloses, geruchloses, ungiftiges und nicht krebserregendes Gas. Einige relevante Eigenschaften von Methan folgen nachstehend.

- Molekulargewicht: 16,0425 g/Mol
- Dichte:  $6,67 \times 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup> (bei 20 °C)
- Siedepunkt: -161,48 °C
- Dampfdichte: 0,55 (relativ zur Luft)
- Flammpunkt: -187 °C (brennbares Gas)
- Selbstentzündungstemperatur: 537 °C
- Mindestzündenergie (MZE) in Luft (mJ): 0,27

Die Standardwerte für die Obere Entflammbarkeitsgrenze (UFL) und die Untere Entflammbarkeitsgrenze (LFL) von Methan gemäß SAFETI 8.22 sind 16,5 % und 4,4 %. In anderen QRAs verwendete Werte

können allerdings unterschiedlich sein (z.B. normalerweise 5% für LFL und 15% für UFL, basierend auf dem Material Sicherheitsdatenblatt des Lieferanten).

### 7.2.3 LNG-Gefahren

Infolge seiner Eigenschaften wird LNG im Vergleich zu anderen Brennstoffen andere Gefahrentypen darstellen, wenn es austritt und wenn es mit Mitarbeitern oder Material in Berührung kommt. Dieser Abschnitt beschreibt, was passieren kann, wenn LNG in die Atmosphäre freigesetzt wird, sowie die daraus möglicherweise resultierenden Wirkungen. Wird eine kleine Menge LNG in die Atmosphäre freigesetzt, verdunstet es. Bei einer extrem großen LNG-Menge kann nicht genügend Wärme übertragen werden, sodass sich eine Fläche bilden kann, die dann verdunstet. Je nach Größe des Ausflusses und den örtlichen Bedingungen (z.B. Anwesenheit von Zündquellen) können folgende Wirkungen eintreten:

- Brand und Explosion;
- schneller Phasenübergang;
- Kryo-Exposition;
- Ersticken;
- Treibhausgaseffekte.

Diese Effekte werden nachstehend beschrieben.

#### 7.2.3.1 Brand und Explosion

##### **Verpuffung**

Eine Verpuffung ist eine nichtexplosive Verbrennung einer brennbaren Dampfwolke (d.h. die Konzentration in Luft liegt zwischen 4,4 und 16,5%). Im Allgemeinen kommt es zu einer Verpuffung, wenn eine Dampfwolke auf eine Zündquelle trifft (zum Beispiel eine offene Flamme, einen Verbrennungsmotor, Funken usw.). Dies geschieht im Fall einer verzögerten Entzündung. Die Dampfwolke wird häufig am Rand entzündet (wo die Konzentration niedriger ist), woraufhin sich das Feuer auf die gesamte brennbare Masse ausbreitet und dann bis zur UFL weiterbrennt, bis die gesamte Masse verbrannt ist. Es können verschiedene Flammenfronten bestehen und diese könnten sich wieder zurück bis zur LNG-Fläche (sofern vorhanden) ausbreiten, was zu einem Flächenbrand führt.

##### **Stichflamme**

Eine Stichflamme tritt vor allem dann auf, wenn LNG bei Freisetzung in einem kontinuierlichen Strom sofort entzündet wird (d.h. unmittelbare Entzündung, zunächst wird keine Lache oder Dampfwolke gebildet). Rest-Stichflammen sind jedoch auch möglich im Fall einer verzögerten Entzündung einer brennbaren Wolke, wenn sich die Flammenfront ganz bis zur Quelle der Freisetzung zurückbewegt.

##### **Flächenbrand**

Zu einem Flächenbrand kommt es, wenn eine LNG-Fläche (bei großen Freisetzungsmengen) entzündet wird oder wenn die brennbare Dampfwolke oberhalb der Fläche entzündet wird. Im letzteren Fall wird die Fläche durch die Verpuffung entzündet. LNG-Flächenbrände verursachen erhebliche Wärmestrahlung (infolge der leuchtenden Flamme), die als Funktion des Abstands zum Flächenbrand abnimmt.

## **BLEVE/Feuerball**

Ein Feuerball ist ein extrem schneller Verbrennungsprozess, normalerweise verbunden mit einer 'Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion' (Gasexplosion einer expandierenden siedenden Flüssigkeit – BLEVE), zu der es bei unter Druck stehenden Flüssiggasen kommen kann. Der normale BLEVE-Mechanismus ist ein Druckbehälter, der unter Druck stehende flüssige Gase (z.B. LNG) enthält, die einem äußeren Feuer ausgesetzt sind, wodurch der Inhalt sofort freigesetzt wird ('heißer BLEVE'). Ein heißer BLEVE gilt für LNG-Terminals wegen der Ausrüstungsisolierung, der Drucksicherheitsvorrichtungen und der kurzen Dauer von LNG-Bränden als unwahrscheinlich. Eine weitere Möglichkeit ist, dass der Druckbehälter infolge anderer Ursachen (z.B. Stoßeinwirkung von außen) sofort ausfällt. Dieses Szenario wird oft als 'kalter BLEVE' bezeichnet. Nach der Freisetzung wird die gasförmige Masse sofort entzündet (entweder durch das bestehende externe Feuer oder durch die Einwirkung von außen), wobei ein Feuerball entsteht. Die Auswirkungen des heißen BLEVE sind signifikant größer als bei einem kalten BLEVE.

## **Dampfwolkenexplosionen in halb geschlossenen und geschlossenen Räumen**

Eine Dampfwolkenexplosion kann entstehen, wenn eine große Gasmenge in einem geschlossenen oder halb geschlossenen Raum (z.B. einem verstopften Bereich) (verzögert) entzündet wird.

### **7.2.3.2 Schneller Phasenübergang (Rapid Phase Transition - RPT)**

Dies ist ein extrem schneller physikalischer Phasenübergang aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Flüssig-LNG und Methandampf, insbesondere infolge des Eintauchens in Wasser. Mit dem RPT ist keine Verbrennung verbunden. Die Druckwelle, die durch kleine LNG-Mengen erzeugt wird, die bei Überhitzung infolge der Vermischung mit Wasser augenblicklich verdampfen, wird sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten und wie jeder andere Druckimpuls abklingen. Normalerweise erfolgt für den RPT keine spezielle Modellierung, weil es unwahrscheinlich ist, dass die Auswirkungen des RPT zum Gesamtgefahrenbereich eines großen Lecks, welches bereits aufgetreten ist, signifikant beiträgt.

### **7.2.3.3 Kryo-Exposition**

Wenn LNG unter atmosphärischen Bedingungen gelagert wird, beträgt die Temperatur -162 °C. Infolge der Kryo-Bedingungen besteht aufgrund der niedrigen Temperatur die Gefahr von Erfrierungssymptomen bei der Exposition von Menschen, Konstruktionsmaterial (Stahl), Komponenten, Geräten und Verkabelung.

Die Exposition von Menschen verursacht Erfrierungen. Die Exposition von Kohlenstoffstahl verursacht Versprödung, die konstruktives Versagen zur Folge haben kann.

### **7.2.3.4 Ersticken**

LNG ist nicht krebserregend oder toxisch. LNG und die daraus entstehenden Dampfwolken haben erstickende Wirkung, weil sich die Luft verdünnt oder ausgetrieben wird, was im Fall einer Langzeitexposition zum Erstickungstod führen kann. Da das reine Gas farblos und geruchlos ist, muss dies vor allem in geschlossenen Räumen berücksichtigt werden. Bei großen Freisetzungen können Personen, die sich in unmittelbarer Nähe aufhalten, unter niedrigen Sauerstoffkonzentrationen (<6 Vol.-%) leiden. Konzentrationen von 50 Vol.-% (Methan in Luft) rufen klare Erstickungssymptome hervor, wie Atemprobleme und schnelles Atmen, während gleichzeitig die Reaktionsfähigkeit und Muskelkoordination abnehmen.

### **7.2.3.5 Treibhauseffekte**

Unverbranntes Erdgas ist ein Treibhausgas und trägt, wenn LNG freigesetzt wird, zur globalen Erwärmung und zum Klimawandel bei.

## 7.3 Fehlerfälle

Die Fehlerfälle für Entlade-/Beladearme und die anfänglichen Ausfallhäufigkeiten entnehmen Sie bitte nachstehender Tabelle.

**Tabelle 5: Fehlerfälle für Entlade-/Beladearme (Ref./1/)**

Fehlerfall	Anfängliche Ausfallhäufigkeit
Bruch	$3 \times 10^{-8}$ pro Stunde Transfer
Leck (effektiver Durchmesser von 10% des Nenndurchmessers bis zu max. 50 mm)	$3 \times 10^{-7}$ pro Stunde Transfer

Definiert werden Szenarien zur Berücksichtigung der Intervention des ESD-Systems zur Begrenzung des Ausflusses unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall. Es wird angenommen, dass eine ESD-Intervention im Fall eines Lecks am Dampfdruckführarm nicht wirksam ist.

Fehlerfälle für Ladetanks im Fall einer Kollision sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 6: Fehlerfälle für Schiffskollision an den Löschrücken (Ref./1/)**

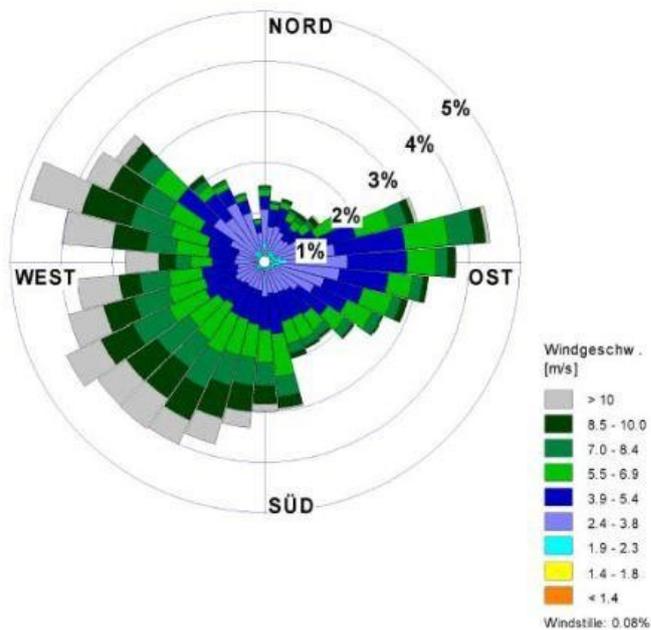
Fehlerfall	Anfängliche Ausfallhäufigkeit*
1. Freisetzung von 126 m <sup>3</sup> in konstantem Strom während 1800 s	$0,00012 \times (6,7 \times 10^{-11} \times T \times t \times N)$
2. Freisetzung von 32 m <sup>3</sup> in konstantem Strom während 1800 s	$0,025 \times (6,7 \times 10^{-11} \times T \times t \times N)$

\*T = Zahl der passierenden Schiffe pro Jahr (22.097, ausgehend von Schiffsverkehrsdaten auf der Elbe aus 2017 (Ref./10/)), txN = jährliche Anwesenheitszeit des LNG-Schiffs am Liegeplatz

## 7.4 Umwelt

### 7.4.1 Wetter

Für die Wetterdaten dient eine frühere, von DNV GL in Brunsbüttel durchgeführte Studie als Quelle (Ref./11/). Eine Windrose für den Bereich Brunsbüttel wurde dem "Sicherheitsbericht" der Brunsbütteler Häfen (Ref./12/) entnommen, siehe Abbildung 2.



**Abbildung 2: Windrose Bereich Brunsbüttel**

Ausgehend von dieser Windrose, wurden insgesamt sechs repräsentative Wettertypen (für Tag und Nacht) abgeleitet. Tabelle 7 gibt eine Übersicht der angewandten Klassen.

**Tabelle 7: Wetterklassen**

Zeitraum	Pasquill-Stabilitätsklasse und Windgeschwindigkeit in m/s	Beschreibung der Pasquill-Stabilitätsklasse
Am Tag	B-3	Instabil – moderate Sonneneinstrahlung
	D-5	Neutral – leichte bis moderate Sonneneinstrahlung
	D-9	Neutral – leichte bis moderate Sonneneinstrahlung
In der Nacht	D-5	Neutral – dünn bedeckt
	D-9	Neutral – dünn bedeckt
	E-5	Mäßig stabil – weniger bedeckt

Berücksichtigt werden 12 Windrichtungen und die Wahrscheinlichkeiten für jeden Wettertyp aus einer bestimmten Windrichtung (siehe die nachstehenden Tabellen) werden von der Brunsbütteler Windrose abgeleitet.

**Tabelle 8: Brunsbütteler Wettertypen, unterteilt in 12 Windrichtungen am Tag**

Pasquill-Stabilitätsklasse	345-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345
B3	4,14	3,39	4,71	9,41	6,40	2,82	2,82	3,01	3,01	2,82	4,71	6,59
D5	1,60	0,63	0,88	1,76	1,20	0,53	0,53	0,56	0,56	0,53	0,88	1,23
D9	0,43	0,64	0,85	2,24	1,49	0,96	3,30	6,82	7,03	5,11	6,18	0,21

**Tabelle 9: Brunsbütteler Wettertypen, unterteilt in 12 Windrichtungen in der Nacht**

Pasquill-Stabilitätsklasse	345-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345
D5	1,04	1,04	2,54	6,24	4,85	3,12	4,28	4,16	4,16	4,16	5,09	1,85
D9	0,47	0,71	0,94	2,47	1,65	1,06	3,64	7,52	7,76	5,64	6,82	0,24
E5	0,45	0,45	1,11	2,72	2,12	1,36	1,86	1,81	1,81	1,81	2,22	0,81

## 7.4.2 Atmosphärische Parameter

SAFETI erfordert die Eingabe von Werten für atmosphärische Temperatur, relative Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Oberflächentemperatur. Die in dieser Studie verwendeten Werte wurden einer früheren, von DNV GL (Ref./11/) durchgeführten Studie entnommen und sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 10: Atmosphärische Parameter**

Atmosphärischer Parameter	Wert
Atmosphärische Temperatur	12 Grad Celsius (Tag), 8 Grad Celsius (Nacht)
Relative Feuchtigkeit	76,5% (Tag), 86,3% (Nacht)
Sonnenstrahlungsfluss	0,25 kW/m <sup>2</sup> (Tag), 0 kW/m <sup>2</sup> (Nacht)
Oberflächentemperatur	9,85 Grad Celsius

## 7.4.3 Rauigkeitslänge des Umgebungsbereichs

Die Rauigkeitslänge ist eine (künstliche) lineare Größe zur Angabe des Einflusses der Umgebung auf die Windgeschwindigkeit. Ausgehend von einer früheren, von DNV GL in diesem Bereich durchgeführten Studie (Ref./11/), wird in dieser QRA eine typische Rauigkeitslänge von 30 mm angewandt, wie sie normalerweise für offenes flaches Gelände mit wenigen isolierten Objekten zugrunde gelegt wird.

## 7.4.4 Zündquellen

Die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung hängt von Anzahl und Stärke der Zündquellen in der Nähe der Operation ab. Zündquellen sind in der QRA nicht enthalten, obgleich Zündquellen vorhanden sind. Eine vollständige Bestandsaufnahme der Zündquellen, die in der Umgebung der Liegeplätze vorhanden sind, wird nicht durchgeführt. Stattdessen wird eine Mindestwahrscheinlichkeit der verzögerten Entzündung definiert. Normalerweise wird angenommen, dass sich die Freisetzung stets entsprechend dem BEVI-Referenzhandbuch (Ref./1/) entzündet. Dies wird für die Berechnung von

Sicherheitszonen rund um den Transferverteiler als zu konservativ angesehen, und deshalb basiert die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung auf der berechneten Ausflussrate des Szenarios (siehe nachstehende Tabelle). Diese Wahrscheinlichkeiten gelten für brennbare Gase und sind von LPG-Störfalldaten abgeleitet (Ref./13/). Sie sind konservativ angesetzt im Vergleich zu der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung von 0,1 für mittlere und große Freisetzungen, die in IP-15 vorgeschrieben sind (Ref./8/).

**Tabelle 11: Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung (Ref./13/)**

Ausflussrate	Mindestwahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung
<10 kg/s	0,05
10-100 kg/s	0,1
>100 kg/s	0,2

## 7.5 Modellannahmen

### 7.5.1 Zweiseitiger Ausfluss

Der LNG-Rückfluss aus den Lagertanks und den Rohrleitungen ist möglich im Fall eines Bruchs des Entladearms. Eine Berücksichtigung des Rückflusses ist nur relevant, wenn der Rückfluss aus mehr als 10% der Ausflussrate und der Ausflussmenge am anderen Ende des Bruchs besteht (Ref./1/). Das Entladen in Full-Containment-Tanks führt nicht dazu, dass große LNG-Mengen zu den Beladearmen zurückströmen. Der Hauptgrund besteht darin, dass die Tanks unter atmosphärischem Druck stehen und von oben befüllt werden. Darüber hinaus bleibt ein großer Teil des LNG infolge der Höhendifferenz zu den Entladearmen auf der Plattform in der Transportpipeline zurück. Aus diesen Gründen sind Rückflüsse für das Entladen in Full-Containment-Tanks irrelevant.

Der LNG-Rückfluss aus dem Kahn beim Laden ist wegen der Höhe der Füllleitungen im Verhältnis zu den Armen und wegen der Bedingungen in Nähe des atmosphärischen Drucks nicht relevant. Beim Laden besteht der Rückfluss nur aus Dampf und dies ist für den Gesamtausfluss irrelevant.

Im Fall eines Bruchs des Dampfrückführarms sind die Beiträge von beiden Enden des Leitungsbruchs für den Gesamtausfluss relevant. Bei der Berechnung wird ein effektiver Durchmesser verwendet, wobei die Ausflussrate der Ausflussrate aus beiden zusammen entspricht.

### 7.5.2 Reaktion des Pumpensystems

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die potenzielle Erhöhung der Förderleistung infolge einer Systemreaktion der Pumpe. Systemreaktionen müssen in der QRA berücksichtigt werden (Ref./1/). Bei der Berechnung der Förderleistung müssen vorhandene Pumpen und ihre volumetrischen Volumenströme berücksichtigt werden. Falls ein Entlade-/Beladearm birst, kann die Fördermenge wegen des Druckverlusts unterhalb ansteigen. German LNG schlägt die Anwendung einer Förderrate vor, die das 1,2-fache der Nennfördermenge beträgt.

## 8 RISIKOKRITERIEN

Dieses Kapitel enthält eine Analyse der Risikokriterien, die in Richtlinien und Vorschriften angegeben sind, gefolgt von einer Definition der risikobasierten Kriterien, die zur Bestimmung der Größe der Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen verwendet werden.

### 8.1 Analyse der Risikokriterien

Die Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen werden aufgrund einer risikobasierten Methodik definiert, die eine Definition von Risikoakzeptanzkriterien erfordert. In Deutschland gibt es keine gesetzlichen Risikoakzeptanzkriterien. Risikokriterien zur Definition von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen sind nicht formell definiert. Die ISO/TS 18683 (Ref./2/) enthält jedoch Beispiele von Risikokriterien, die als Grundlage für die Bestimmung von Sicherheitszonen verwendet werden könnten, wenn andere (gesetzliche oder regulatorische) Risikokriterien nicht verfügbar sind. Die in der ISO/TS 18683 vorgeschlagenen Kriterien sind in nachstehender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 12: Beispiel Einzelrisikokriterien in ISO/TS 18683 (Ref./2/)**

Typ der Mitarbeiter/Personen	Akzeptanzkriterien	Kommentar
1. Partei	$IR < 10^{-5}$	Gilt für Mitarbeiter und Personal, die unmittelbar mit der Aktivität zu tun haben.
2. Partei	$IR < 5 \times 10^{-6}$	Hafenpersonal und Terminalpersonal.
3. Partei mit intermittierender Risikoexposition	Risikokontur für $IR < 5 \times 10^{-6}$	Mitarbeiter der 3. Partei sollten keinen längerfristigen Zugang haben
3. Partei mit längerer Risikoexposition	Risikokontur für $IR < 10^{-6}$	Allgemeine Öffentlichkeit ohne Beteiligung an der Aktivität. Keine Wohngebiete, Schulen, Krankenhäuser usw. innerhalb der Risikokontur.

Die ISO/TS 18683 schlägt ein Einzelrisiko (IR-)Kriterium für Personal der 2. Partei vor, was impliziert, dass die Risikoexpositionszeit vor einem Vergleich zwischen Risiko und Kriterien berücksichtigt werden kann. Für Personal der 3. Partei mit intermittierender Risikoexposition wird ein Kriterium einer 'Risikokontur'-IR vorgeschrieben, was impliziert, dass das standortspezifische Einzelrisiko (LSIR) ohne jede Zeitkorrektur berechnet werden sollte. Der Grund für diese Unterscheidung hängt mit dem angenommenen Personaltyp, nämlich mit 'intermittierender Risikoexposition', zusammen. Dies setzt in der Tat bereits eine begrenzte Anwesenheitszeit voraus. Das Risikoakzeptanzkriterium für die 3. Partei mit längerer Risikoexposition (LSIR  $10^{-6}$ /Jahr) deckt sich mit den niederländischen gesetzlichen Risikokriterien für Flächennutzungsplanung.

Die ISO/TS 16901:2015 "Richtlinie zur Ausführung von Risikobewertungen von LNG-Installationen an Land inklusive der Schiff/Land-Schnittstelle" enthält eine Interpretation der Einzelrisikoniveaus für firmeneigene und Unternehmermitarbeiter (Ref./14/). Diese sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 13: In der ISO/TS 16901:2015 vorgeschlagene Interpretation der Einzelrisikoniveaus**

Einzelrisiko (IR) pro Jahr für firmeneigene und Unternehmermitarbeiter	Beurteilung
$>10^{-3}$	Erforderliche untragbare, fundamentale Verbesserungen
$10^{-3} - 10^{-4}$	Für eine Verbesserung sind zu große, signifikante Anstrengungen erforderlich
$10^{-4} - 10^{-5}$	Hoch, Alternativen untersuchen
$10^{-5} - 10^{-6}$	Niedrig, kosteneffektive Alternativen erwägen
$< 10^{-6}$	Vernachlässigbar, normale Vorsichtsmaßnahmen beibehalten

Die Vorschrift IP-15 "Bereichsklassifizierung für Anlagen für die Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten" (Anhang C – Teil 2) (Ref./8/) leitet ein Einzelrisikokriterium für die Bestimmung von Gefahrenbereichen ab. Die befolgte Argumentation wird nachstehend beschrieben.

Die HSE (Ref./15/) legt nahe, dass ein Todesfallrisiko von etwa  $10^{-3}$  pro Jahr das Äußerste ist, was normalerweise von einer substantiellen Gruppe von Arbeitern in irgendeinem Industriezweig im Vereinigten Königreich akzeptiert wird, und somit die Trennlinie zwischen dem, was als tolerierbares Risiko angesehen wird und was inakzeptabel ist. Das Einzelrisiko wird nur teilweise durch Todesfälle infolge zufälliger entzündeter Freisetzungen bestimmt, und das Akzeptanzkriterium dieses Beteiligten sollte, wie oben erwähnt, daher niedriger als  $10^{-3}$  pro Jahr sein.

Das Einzelrisiko für einen typischen Arbeiter auf einer landseitigen petrochemischen Anlage im Vereinigten Königreich liegt in der Größenordnung von  $10^{-4}$  pro Jahr und besteht aus einer Reihe von Beiträgen (Ref./8/):

- Großes Gefährdungsrisiko durch Kohlenwasserstoffverarbeitungsaktivitäten (in QRA bewertet);
- Berufsrisiken (Stolpern, Stürzen usw.).

IP-15 legt nahe, dass das *Todesfall-Einzelrisiko infolge von zufällig entzündeten Freisetzungen* 10% des gesamten Individualrisikos für einen typischen Arbeiter an Land ausmacht. Dies führt zu einem Risikokriteriumswert von  $10\% * 10^{-4}$  pro Jahr =  $10^{-5}$  pro Jahr. IP-15 besagt, dass dieser Wert gut mit Ergebnissen von durch HSE ausgeführten Arbeiten in einem internen, nicht veröffentlichten Bericht zu vergleichen ist. Diese Studie kalkuliert mit einer tatsächlichen Todesfallrate (Fatal Accident Rate – FAR) von 0,56 Todesfällen pro  $10^8$  Expositionsstunden als Folge zufälliger Entzündung von brennbaren Substanzen. Dies entspricht einem Einzelrisikoniveau von  $1,07 * 10^{-5}$  pro Jahr. Aus diesem Grund wird in IP-15 die Obergrenze des Akzeptanzkriteriums durch Entzündung brennbarer Substanzen mit  $10^{-5}$  pro Jahr angenommen.

## 8.2 Festlegung einer vertretbaren Basis für das Risikokriterium

IP-15 bietet somit eine vertretbare Basis für ein Risikokriterium: das maximal zulässige Risiko für einen typischen Arbeiter durch Entzündung von brennbaren Substanzen ist ein durchschnittliches Einzelrisiko von  $10^{-5}$  pro Jahr. Es wird nicht zwischen dem Personal der ersten, der zweiten und der dritten Partei unterschieden. Alle diese Personengruppen könnten sich innerhalb oder unmittelbar außerhalb des Umfangs der zündquellenfreien Zone aufhalten und müssen bei der Festlegung eines Risikokriteriums Berücksichtigung finden. Beispiele für Personal der ersten, zweiten und dritten Partei entsprechend ISO/TS 18683:2015 sind Folgende:

- Personal 1. Partei: Mitarbeiter oder Personal, die ausschließlich oder im Wesentlichen mit dem Transferablauf befasst sind, und solche, die sich ständig innerhalb der Sicherheitszone aufhalten (sowohl landseitig als auch auf dem LNG-Schiff);

- Personal 2. Partei: Hafen- und Terminalbetreiber und sonstige Schiffsmannschaften (z.B. auf dem LNG-Frachter, -Kahn);
- Personal 3. Partei mit intermittierender Risikoexposition: Schiffspassagiere (sofern vorhanden), sonstige Personen, die beispielsweise das Schiff oder passierende Schiffe besichtigen;
- Personal 3. Partei mit ständiger Risikoexposition, z.B. Wohngebiete.

Das "Personal" einer dritten Partei mit ständiger Risikoexposition im Sinne der ISO/TS 18683 bezieht sich auf Personen, die sich ständig außerhalb der Anlagengrenze aufhalten, und schließt Wohngebiete, Schulen und Krankenhäuser ein. Für die Risikoakzeptanz der dritten Partei gemäß ISO/TS 18683 sollten sich diese Personen außerhalb der Risikokontur von  $10^{-6}$  pro Jahr befinden.

Die in ISO/TS 18683 für Personal vorgeschlagenen Kriterien variieren zwischen  $10^{-5}$  (erste Partei) und  $5 \times 10^{-6}$  (zweite Partei, dritte Partei mit intermittierender Exposition) pro Jahr. Nicht darin enthalten sind Personen der dritten Partei mit längerfristiger Exposition, bei denen es sich nicht um Arbeiter im Sinne der IP-15 handelt. Somit kann gefolgert werden, dass das abgeleitete Obergrenzenkriterium gemäß IP-15 mit den Kriterien in ISO/TS 18683 für Personal einer 1. Partei übereinstimmt.

Das ISO/TS 18683-Kriterium für Personal der zweiten Partei und dritten Partei mit intermittierender Risikoexposition hat eine unklare Basis, wird jedoch nicht unbedingt als unlogisch angesehen. Personal der zweiten Partei und potenziell der dritten Partei (mit intermittierender Risikoexposition) sollte auch gegen die Einwirkung brennbarer Atmosphären geschützt werden. Das Kriterium von  $5 \times 10^{-6}$  pro Jahr, welches diesen Personaltypen zugeordnet ist, ist somit strenger als das Kriterium für Arbeiter der ersten Partei, jedoch nicht so streng wie dasjenige für eine Population der dritten Partei mit längerfristiger Risikoexposition, und dies macht Sinn.

### 8.3 Risikokriterium für Sicherheitszone

German LNG schlägt vor, die Sicherheits- und zündquellenfreie Zone anhand eines einzigen Kriteriums festzulegen, wobei zwischen verschiedenen Typen von Personal oder Personen unterschieden wird oder um die Risikoexpositionszeit zu berücksichtigen. Berücksichtigung finden zwei Risikokriterien:  $10^{-5}$ /Jahr und  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr. Von diesen beiden Werten wurde der konservativere Wert von  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr als Risikokriterium gewählt. Zur Bestimmung der Größe der Sicherheitszone wird eine standortspezifische Risikokontur von  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr gewählt.

### 8.4 Probabilistisches Kriterium für eine zündquellenfreie Zone

Die zündquellenfreie Zone basiert auf dem gleichen Basisrisikokriterium von  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr, jedoch unter Zugrundelegung eines anderen QRA-Outputs. Das Risikokriterium für Todesfälle durch die Entzündung von brennbaren Substanzen muss ein Kriterium für die Häufigkeit einer zündfähigen Gaswolke sein, um für die Festlegung einer zündquellenfreien Zone herangezogen werden zu können. Diese Übersetzung erfordert Annahmen für die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung, Anfälligkeit und die Wahrscheinlichkeit einer Belegung innerhalb der Einflusszone.

#### 8.4.1 Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung

Die Entzündung brennbarer Substanzen kann in zwei separate Kategorien unterteilt werden: direkte Entzündung und verzögerte Entzündung. Zündquellenfreie Zonen hängen mit der Ausbreitung von Gaswolken und der sich daraus ergebenden verzögerten Entzündung dieser Wolke zusammen. Daher wird gefolgert, dass der Zweck einer zündquellenfreien Zone darin besteht, die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung einer brennbaren Gaswolke zu begrenzen. Wenn daher der letztendliche Zweck darin besteht, die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung und einer Personalexposition durch

sich aus der verzögerten Entzündung ergebende Gefahren zu begrenzen, sollte ein Akzeptanzkriterium nur für diese Gefahrenarten abgeleitet werden.

Für die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung, für Zündquellen am Umfang des Gefahrenbereichs wird in der IP-15 ein Wert von 0,1 vorgeschlagen (Ref./8/). Dies ist die durchschnittliche Entzündungswahrscheinlichkeit für mittlere und große Freisetzungen (gemäß Cox, Lees und Ang "Klassifizierung von Gefahrenbereichen") und gilt für weniger starke und intermittierende Zündquellen am Umfang der zündquellenfreien Zone. Nur wenn eine starke und kontinuierliche Zündquelle vorhanden ist, wie zum Beispiel eine Gasfackel oder ein heißer Auspuff, kann gemäß IP-15 eine Wahrscheinlichkeit von 1 angenommen werden. In Wirklichkeit hängt die Wahrscheinlichkeit einer Entzündung von der Anzahl der innerhalb der Einflusszone der Freisetzung vorhandenen Zündquellen, deren Stärke und Betriebszeit und davon ab, ob diese kontrolliert sind oder nicht.

### 8.4.2 Anfälligkeit und Belegungswahrscheinlichkeit

Das Einzelrisiko eines Todesfalls durch verzögerte Entzündungen hängt von der Anfälligkeit von Personen für die Gefahr und von der Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit von Personen (Belegung) innerhalb der Einflusszone ab. Der Einfachheit halber wird konservativ Folgendes angenommen:

- Die mit der unteren Entflammbarkeitsgrenze bestimmte Anfälligkeit innerhalb der Einflusszone ist 1. Dies ist weltweit eine übliche Annahme bei Risikoanalysen.
- Die Belegungswahrscheinlichkeit in der Einflusszone 1, vorausgesetzt, dass die Personen jederzeit anwesend sind. Dies ist ein konservativer Wert, da die Exposition in vielen Fällen unterbrochen wäre, zum Beispiel im Fall von passierenden Schiffen oder Fahrzeugen.

### 8.4.3 Ableitung des Endpunktkriteriums

Zusammenfassend wird im Fall einer LNG-Freisetzung Folgendes angenommen:

- Die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung beträgt am Umfang der zündquellenfreien Zone 0,1.
- Im Fall einer verzögerten Entzündung ist die Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls in der Einflusszone der Freisetzung gleich 1, vorausgesetzt, dass stets eine Person anwesend ist, die einer Gefährdungswirkung ausgesetzt sein kann.

Das risikobasierte Kriterium für die Häufigkeit einer zündfähigen Gaswolke infolge einer zufälligen Freisetzung würde dann sein:

$$\text{Basiskriterium } (1 \times 5 \times 10^{-6}/\text{Jahr}) * (1/0.1) * 1 = 5 \times 10^{-5}/\text{Jahr}$$

Somit ist die wichtigste Annahme bei der Ableitung dieses Kriteriums die Wahrscheinlichkeit einer verzögerten Entzündung.

## 9 ERGEBNISSE

### 9.1 Sicherheits- und zündquellenfreie Zone

Die Sicherheitszone wird durch die standortspezifische Risikokontur  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr definiert und die zündquellenfreie Zone wird durch die Häufigkeitskontur  $5 \times 10^{-5}$ /Jahr für eine zündfähige Gaswolke definiert. Die berechneten Konturen sind nicht in einer Karte dargestellt. Die Abstände für die Zonen sind in der nachstehenden Tabelle angegeben. Es handelt sich um ungefähre Abstände, die durch Feststellung des maximalen Abstands zwischen dem Verteiler und der relevanten Kontur unter Berücksichtigung verschiedener Richtungen bestimmt werden.

**Tabelle 14: Abstände von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen**

Liegeplatz	Art der Transferabläufe	Max. Größe der Zone um den Ladearm Manifold	
		Zündquellenfreie Zone	Sicherheitszone
1	Entladen/Beladen von großen LNG-Frachtern	105 m	120 m
2	Entladen/Beladen von kleineren LNG-Tankschiffen und -Bargen	64 m	91 m

Für Liegeplatz 1 sind die berechneten Zonen kleiner als die in der HAZID-Studie empfohlenen Mindestabstände von 200 m. Für Liegeplatz 2 ist die berechnete zündquellenfreie Zone kleiner als der in der HAZID-Studie empfohlene Mindestabstand von 80 m. Der berechnete Abstand der Sicherheitszone ist jedoch größer (91 m).

### 9.2 Risiko-Ranking und Risikotreiber

Risikotreiber geben Einblick in die Möglichkeiten für die Implementierung von Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos und der Größe der berechneten Zonen. Die Risikotreiber sind die Szenario-Parameter, die als Risikotreiber dienen. Zuerst müssen die dazu beitragenden Szenarien ermittelt werden. Ein Risiko-Ranking gibt Einblick in den relativen Risikobeitrag von Ausfallszenarien zum Risiko. Ein standortspezifisches Risiko-Ranking wird für die standortspezifische Risikokontur von  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr, die die Sicherheitszone für Liegeplatz 2 definiert, festgelegt. Das Risiko-Ranking ist in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 15: Risiko-Ranking Sicherheitszonenkontur Liegeplatz 2**

Szenario	Relativer Beitrag zu $5 \times 10^{-6}$ /Jahr
Beladen von Barges – Bruch Beladearm für Flüssigkeiten, ESD interveniert	42,0%
Beladen von Barges – Leck Beladearm für Flüssigkeiten, ESD interveniert	16,0%
Beladen von Schiffen – Bruch Beladearm für Flüssigkeiten, ESD interveniert	14,2%
Entladen von Schiffen/Barges – Bruch Beladearm für Flüssigkeiten, ESD interveniert	13,4%
Beladen von Schiffen – Leck Beladearm für Flüssigkeiten, ESD interveniert	5,4%
Entladen von Schiffen/Barges – Leck Beladearm für Flüssigkeiten, ESD interveniert	5,1%
Beladen von Barges – Bruch Dampfdruckführam, ESD interveniert	1,4%
Sonstiges	2,5%
Insgesamt	100%

Das Szenario: "Bruch des Beladearms für Flüssigkeiten beim Beladen von LNG-Barges, wobei ESD erfolgreich interveniert" trägt am meisten zum Risiko bei (42%). Eine detaillierte Untersuchung der Risikotreiber für dieses Szenario hat nicht stattgefunden, aber allgemein können folgende risikoreduzierenden Maßnahmen für dieses Szenario berücksichtigt werden:

- Jährliches Ladevolumen für LNG-Barges verringern (reduziert die Ausfallhäufigkeit sowohl beim Bruch- als auch beim Leck-Szenario);
- Ladegeschwindigkeit verringern (reduziert Austrittsmengen im Fall eines Bruchs). Dies wird auch eine längere Transferdauer (höhere Ausfallhäufigkeit) zur Folge haben, aber insgesamt sollte das Risiko reduziert werden;
- kürzere Reaktionszeiten für das ESD-System verbessern/nachweisen. Die QRA geht bei einer Freisetzung dieses Umfangs gegenwärtig von 60 s aus, was bereits ziemlich schnell ist.

Ein Risiko-Ranking für Liegeplatz 1 oder die zündquellenfreie Zone kann auf Anforderung bereitgestellt werden.

### 9.3 Implementierungsrichtlinien

Die Richtlinien für die praktische Implementierung der Zonen sind folgende:

- die Zonen gelten nur während einer Transferaktivität eines LNG-Schiffs (Entladen oder Rückverladen);
- die Größe der Zonen (Abstand) sollte ab Verteiler(armen) gemessen werden;
- unkontrollierte Zündquellen dürfen innerhalb der zündquellenfreien Zone nicht vorhanden sein;
- innerhalb der Sicherheitszone sind nur unverzichtbare Aktivitäten und mit dem Transferablauf beschäftigtes betriebswichtiges Personal erlaubt.

Kontrollierte Zündquellen sind in beiden Zonen zulässig, jedoch wird empfohlen, diese innerhalb der zündquellenfreien Zone so weit wie möglich zu minimieren.

## 10 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die German LNG Terminal GmbH (German LNG) hat die DNV GL um die Festlegung einer Sicherheitszone und einer zündquellenfreien Zone für LNG-Schiffstransfer-Aktivitäten gebeten, die am German LNG-Terminal Brunsbüttel in Deutschland voraussichtlich stattfinden werden. Eine Quantitative Risikobewertung (QRA) wird entwickelt, um die Zonen rund um den Schiffstransferverteiler entsprechend den Methodiken festzulegen, die gemäß den industrieweit akzeptierten internationalen Richtlinien und Vorschriften angegeben sind.

Die Sicherheitszonen werden mittels des in ISO/TS 18683 (Ref./2/) genannten risikobasierten Verfahrens berechnet. Zündquellenfreie Zonen werden aufgrund eines Wahrscheinlichkeitsverfahrens gemäß der SIGTTO-Richtlinie "Site selection and design for LNG ports and jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschbrücken) (Ref./3/) bestimmt. Die Größe der Sicherheitszonen wird mithilfe eines ortsspezifischen Kriteriums von  $5 \times 10^{-6}$ /Jahr bestimmt. Das standortsspezifische Risiko ist das Risiko für eine Person, die sich während 24 Stunden pro Tag an 365 Tagen pro Jahr in der Nähe der Operation aufhält. Die bei realen Personen angewandten Kriterien, die die Expositionszeit für das betreffende Risiko erklären, könnten bei speziellen Einzelpersonen zu kleineren Sicherheitsabständen führen. Dies wird nicht weiter untersucht.

Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen werden für ein Basisfallszenario für zwei Liegeplätze berechnet:

1. Entladen/Beladen von großen LNG-Frachtern am Liegeplatz 1;
2. Entladen/Beladen von kleineren LNG Tankschiffen und -Bargen am Liegeplatz 2.

Die max. Größe der Zonen (gemessen ab Ladearm-Manifold) werden in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 16: Abstände von Sicherheits- und zündquellenfreien Zonen**

Liegeplatz	Art der Transferabläufe	Max. Größe der Zone um den Ladearm-Manifold	
		Zündquellenfreie Zone	Sicherheitszone
1	Entladen/Beladen von großen LNG-Frachtern	105 m	120 m
2	Entladen/Beladen von kleineren LNG Tankschiffen und LNG-Bargen	64 m	91 m

Für Liegeplatz 1 sind die berechneten Zonen kleiner als die in der HAZID-Studie empfohlenen Mindestabstände von 200 m. Für Liegeplatz 2 ist die berechnete zündquellenfreie Zone kleiner als der in der HAZID-Studie empfohlene Mindestabstand von 80 m. Der berechnete Abstand der Sicherheitszone ist jedoch größer (91 m). Aus diesem Grund hat German LNG entschieden, eine Sicherheitszone mit Radius 100 m um den Manifold des Liegeplatz 2 einzurichten. Die Zonen müssen nur während einer Schiffstransferaktivität (Entladen oder Rückverladen) am Liegeplatz eingerichtet werden. Unkontrollierte Zündquellen (d.h. solche, die nicht unter der Kontrolle des Terminal-Managements stehen) sind innerhalb der zündquellenfreien Zone nicht erlaubt. Innerhalb der Sicherheitszone sind nur essentielle Aktivitäten und direkt mit dem Transferablauf beschäftigtes Personal zulässig. Kontrollierte Zündquellen sind in beiden Zonen zulässig, jedoch wird empfohlen, diese innerhalb der zündquellenfreien Zone so weit wie möglich zu minimieren.

## 11 REFERENZ-VERWEISE

- /1/ National Institute for Public Health and the Environment, Anleitung für BEVI-Risikoberechnungen (Referenzhandbuch BEVI-Risikobewertungen), Version 3.3, 1. Juli 2015, [http://www.rivm.nl/Documenten\\_en\\_publicaties/Professioneel\\_Praktisch/Richtlijnen/Milieu\\_Leef\\_omgeving/Omgevingsveiligheid/Handleiding\\_Risicoberekeningen\\_Bevi](http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Professioneel_Praktisch/Richtlijnen/Milieu_Leef_omgeving/Omgevingsveiligheid/Handleiding_Risicoberekeningen_Bevi) (eine englische Übersetzung der Version 3.2 kann auch über den obigen Link downgeloadet werden). Direkt Download-Link:  
<http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=6a80b8c5-44e0-4153-af33-ba66ebd3b6da&type=org&disposition=inline>
- /2/ ISO/TS 18683, "Guidelines for Systems and Installations for Supply of LNG as Fuel to Ships" (Richtlinien für Systeme und Anlagen für die Versorgung von Schiffen mit LNG als Kraftstoff), 1. Auflage, 2015
- /3/ SIGTTO, "Site Selection and Design for LNG Ports and Jetties" (Auswahl und Auslegung von Standorten für LNG-Häfen und -Löschbrücken), 2. Auflage, 2000
- /4/ DNV GL, "Beurteilung Sicherheits- und zündquellenfreie Zonen für LNG-Schiffstransferaktivitäten", Bericht Nr.: PP127995-1, Dokument Nr.: 1NN777A-1, 19. April 2018
- /5/ IEC 60079-10-1:2015, Explosive Atmosphären – Teil 10-1: Klassifizierung von Bereichen – Explosive Gasatmosphären
- /6/ SIGTTO, "Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals" (Prinzipien für die Handhabung von Flüssiggas auf Schiffen und Terminals), 3. Auflage, 2000
- /7/ SIGTTO, "LNG Operations in Ports" (LNG-Abläufe in Häfen), 1. Auflage, 2009
- /8/ IP-15, "Area classification code for installations handling flammable liquids, Part 15 of the IP model code of Safe Practice in the Petroleum Industry" (Bereichsklassifizierungsvorschrift für Anlagen für die Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten, Teil 15 der IP-Modellnorm für sichere Praxis in der Erdölindustrie), 3. Auflage, 2005
- /9/ DNV GL, "Analysis of failure frequency for LNG-pipelines" (Analyse der Ausfallhäufigkeit für LNG-Pipelines), Bericht Nr.: 40014149-1, 23. März 2006
- /10/ Schiffsverkehr Unterelbe, Jahr 2017 01.01. bis 12.11.
- /11/ DNV, "QRA Brunsbüttel LNG Bunkering Facility" (QRA Brunsbüttel LNG-Bunkeranlage), Bericht Nr.: 1-69LCU7, 22. März 2013
- /12/ Sicherheitsbericht, Brunsbüttel Ports, Brunsbüttel 2012
- /13/ TNO, "LPG Integraal – Kansschatting LPG" (LPG Integral – Wahrscheinlichkeitseinschätzung LPG) (Bericht 1113, Mai 1983)
- /14/ ISO/TS 16901:2015 "Richtlinie zur Ausführung von Risikobewertungen von LNG-Installationen an Land inklusive der Schiff/Land-Schnittstelle" (erste Ausgabe, 01.03.2015)
- /15/ HSE, "The tolerability of risk from nuclear power stations" (Die Risikotolerierbarkeit von Atomkraftwerken), 1992



## **ANHANG A**

### **Betriebliche Eingabedaten**

---

### LNG-Transfer am Liegeplatz 1 (für große Tankschiffe/ Carrier)

Betriebsdaten

Fall	Art des Transfers	Transfer-Aktivitäten (Entladen/Beladen)	Zahl der LNG-Frachter pro Jahr	Repräsentatives mittleres transfervolumen pro LNG-Frachter (m <sup>3</sup> )	Beim Transfer im Einsatz befindliche Arme	Anzahl der beim Transfer im Einsatz befindlichen (Ent-)Ladearme	Jährlicher Durchsatz (m <sup>3</sup> LNG/Jahr)	Max. Volumenstrom pro Arm (m <sup>3</sup> /h)	Mittlerer Gesamt-Volumenstrom (m <sup>3</sup> /h)	Transferdauer pro Jahr (Stunden)	Liegezeit pro Jahr ohne Entladezeiten (Stunden)	Gesamte Liegezeit pro Jahr am Liegeplatz (Stunden)	Liegeplatzbelegung (%)	Armdurchmesser (Zoll)	Transfergeschwindigkeit pro Arm (m/s)	Betriebsdruck (bar)	Betriebstemperatur (°C)
Basisfall	Tankschiffe entladen	Entladen	100	145.000	Entladearm (3*16"L / 1*16"V)	3	14.500.000	4.750	12.000	1.408	1.200	2.608	29,8	16	10,2	4,1	-160
Basisfall	Tankschiffe beladen	Beladen	12	145.000	Beladearm (3*16"L / 1*16"V)	1	1.740.000	3.000	2.500	720	144	864	9,9	16	6,4	4,1	-160

Der Genehmigungsantrag nennt max. 10-15 LNG-Frachter pro Monat (Entladen) und 1-2 LNG-Frachter pro Monat (Beladen), je nach Schiffsgröße

### LNG-Transfer am Liegeplatz 2 (für kleine Tankschiffe + Tankbargen)

Betriebsdaten

Fall	Art des Transfers	Transfer-Aktivitäten (Entladen/Beladen)	Zahl der LNG-Frachter pro Jahr	Repräsentatives mittleres transfervolumen pro LNG-Frachter (m <sup>3</sup> )	Beim Transfer im Einsatz befindliche Arme	Anzahl der beim Transfer im Einsatz befindlichen (Ent-)Ladearme	Jährlicher Durchsatz (m <sup>3</sup> LNG/Jahr)	Max. Volumenstrom pro Arm (m <sup>3</sup> /h)	Mittlerer Gesamt-Volumenstrom (m <sup>3</sup> /h)	Transferdauer pro Jahr (Stunden)	Liegezeit pro Jahr ohne Entladezeiten (Stunden)	Gesamte Liegezeit pro Jahr am Liegeplatz (Stunden)	Liegeplatzbelegung (%)	Armdurchmesser (Zoll)	Transfergeschwindigkeit pro Arm (m/s)	Betriebsdruck (bar)	Betriebstemperatur (°C)
Basisfall	Tankschiffe + Tankbargen entladen	Entladen	25	15.000	Entladearm (1*10"L / 1*10"V)	1	375.000	1.500	1.200	363	150	513	5,8	10	8,2	4,1	-160
Basisfall	Tankschiffe beladen	Beladen	52	6.500	Beladearm (1*10"L / 1*10"V)	1	338.000	1.500	1.200	386	312	698	8,0	10	8,2	4,1	-160
Basisfall	Tankbargen beladen	Beladen	350	1.500	Beladearm (1*10"L / 1*10"V)	1	525.000	1.500	1.200	1.138	1.400	2.538	28,9	10	8,2	4,1	-160

Der Genehmigungsantrag nennt max. 1 LNG-Frachter oder Barge pro Tag (Beladen) und Import möglich



## Über DNV GL

DNV GL ist ein weltweit operierendes Unternehmen für Qualitätssicherung und Risikomanagement. Motiviert durch unser Ziel, Leben, Eigentum und Umwelt zu schützen, versetzen wir unsere Kunden in die Lage, die Sicherheit und Nachhaltigkeit ihres Geschäfts voranzutreiben. Wir bieten Klassifizierung, technische Sicherheit, Software- und unabhängige Fachberatungsleistungen für die Schiffs- und Werftindustrie, die Öl- und Gasindustrie, die Industrie für Strom und erneuerbare Energien. Wir bieten Kunden auch Zertifizierungs-, Lieferketten- und Datenmanagementleistungen für ein breites Spektrum von Industriezweigen. Bei unseren Aktivitäten in mehr als 100 Ländern engagieren sich unsere Experten dafür, Kunden dabei zu helfen, die Welt sicherer, intelligenter und grüner zu gestalten.