



## **IGF-Code**

**Internationaler Code für die Sicherheit  
von Schiffen, die Gase oder andere  
Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt  
verwenden**

**(EntschlieÙung MSC.391(95))**

### **Bekanntmachung der EntschlieÙung des Schiffssicherheitsausschusses MSC.391(95) „Annahme des Internationalen Codes für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden (IGF-Code)“**

Hamburg, den 03. August 2016  
Az.: 11-3-0

Durch die Dienststelle Schiffssicherheit der BG Verkehr wird hiermit die EntschlieÙung des Schiffssicherheitsausschusses MSC.391(95), „Annahme des Internationalen Codes für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden (IGF-Code)“, in deutscher Sprache amtlich bekannt gemacht.

Berufsgenossenschaft für Verkehrswirtschaft  
Post-Logistik  
Telekommunikation  
Dienststelle Schiffssicherheit  
U. Schmidt  
Dienststellenleiter

#### **Quelle:**

VkBl. 2016, Heft 20

**Gültiger Stand:** August 2016

---

Sonderdruck des **VERKEHRSBLATT** – Amtsblatt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur der Bundesrepublik Deutschland

Der Verkehrsblatt-Verlag veröffentlicht im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) alle amtlichen Bekanntmachungen für das gesamte Verkehrswesen einschließlich der Gesetze und Verordnungen sowie

durch Erlass für den Geltungsbereich der Bundesrepublik Deutschland eingeführten Richtlinien, Techn. Bestimmungen, Vorschriften im Verkehrsblatt als Sonderdrucke (Dokumente, Sammlungen, Formulare) des **VERKEHRSBLATT** (Amtsblatt).

#### **Hinweis:**

Die vorliegende Veröffentlichung entspricht in ihrer Form dem Stand der bis zum Zeitpunkt der Auslieferung veröffentlichten amtlichen Bekanntmachungstexte. Diese wurden im vorliegenden Text eingearbeitet oder durch beiliegende Ergänzungsblätter aktualisiert.

Eine notwendige **Aktualisierung** wird zunächst ausschließlich in dem regelmäßig 2 x monatlich erscheinenden **VERKEHRSBLATT** veröffentlicht.

Der regelmäßige Bezug des **VERKEHRSBLATT** – Amtsblatt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur – wird daher zur Aktualisierung empfohlen.

#### **Haftungsausschluss:**

Eine Haftung, die über den Ersatz fehlerhafter Druckstücke hinausgeht, ist ausgeschlossen.

---

**Verkehrsblatt** – Verlag Borgmann GmbH & Co KG

Schleefstraße 14 • D-44287 Dortmund • Tel. (0180) 534 01 40 • **FAX** (0180) 534 01 20

e-mail: info@verkehrsblatt.de • Internet: www.verkehrsblatt.de

Herstellung: Löer-Druck GmbH, Schleefstraße 14, D-44287 Dortmund

**Verkehrsblatt** - Dokument Nr. **B 8151** - Vers. 08/16

**Rundschreiben MSC.391(95)**

(angenommen am 11. Juni 2015)

**ANNAHME DES INTERNATIONALEN CODES FÜR DIE SICHERHEIT VON  
SCHIFFEN, DIE GASE ODER ANDERE BRENNSTOFFE MIT NIEDRIGEM  
FLAMMPUNKT VERWENDEN (IGF-CODE)**

DER SCHIFFSSICHERHEITSAUSSCHUSS,

GESTÜTZT AUF Artikel 28 Buchstabe b des Übereinkommens über die Internationale Seeschiffahrts-Organisation betreffend die Aufgaben des Ausschusses,

IN DER ERKENNTNIS der Notwendigkeit eines verbindlichen Codes für Schiffe, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden,

UNTER HINWEIS AUF EntschlieÙung MSC.392(95), mit welcher er, unter anderem, Änderungen zu den Kapiteln II-1 und II-2 und zum Anhang der Anlage des Internationalen Übereinkommens von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See („das Übereinkommen“) angenommen hat, um die Vorschriften des Internationalen Codes für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt (IGF-Code) verwenden, nach dem Übereinkommen verbindlich zu machen,

NACH der auf seiner fünfundneunzigsten Sitzung erfolgten PRÜFUNG des Entwurfs des Internationalen Codes für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden,

- 1 BESCHLIESST den IGF-Code, dessen Wortlaut in der Anlage der vorliegenden EntschlieÙung wiedergegeben ist;
- 2 FORDERT die Vertragsregierungen des Übereinkommens AUF, zur Kenntnis zu nehmen, dass der IGF-Code am 1. Januar 2017 nach dem Inkrafttreten der Änderungen zu den Kapiteln II-1 und II-2 und zum Anhang der Anlage des Übereinkommens wirksam wird;
- 3 FORDERT die Vertragsregierungen FERNER AUF, die freiwillige Anwendung des IGF-Codes, soweit praktisch durchführbar, auf Schiffe mit einer Bruttoreaumzahl von weniger als 500, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden, in Betracht zu ziehen;
- 4 ERKENNT AN, dass Vorschriften für hinzukommende Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt dem IGF-Code hinzugefügt werden, wenn sie von der Organisation entwickelt sind;
- 5 ERSUCHT den Generalsekretär der Organisation, allen Vertragsregierungen des Übereinkommens beglaubigte Ausfertigungen der vorliegenden EntschlieÙung und den Wortlaut des in der Anlage enthaltenen IGC-Codes zu übermitteln;
- 6 ERSUCHT den Generalsekretär der Organisation FERNER, allen Mitgliedern der Organisation, die nicht Vertragsregierungen des SOLAS-Übereinkommens sind, Ausfertigungen der vorliegenden EntschlieÙung und den Wortlaut des in der Anlage enthaltenen IGC-Codes zu übermitteln.

## ANLAGE

**INTERNATIONALER CODE ÜBER DIE SICHERHEIT VON SCHIFFEN,  
DIE GASE ODER ANDERE BRENNSTOFFE MIT NIEDRIGEM  
FLAMMPUNKT VERWENDEN (IGF-CODE)**

## Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite	Abschnitt	Seite
1	PRÄAMBEL ..... 7	6.5	Regelungen für ortsbewegliche Tanks verflüssigten Gasbrennstoffs ..... 35
<b>TEIL A</b>	..... 8	6.6	Regelungen für Brennstoffbehälter für komprimiertes Erdgas (CNG) ..... 35
2	ALLGEMEINES ..... 8	6.7	Regelungen für Druckentlastungssysteme .... 36
2.1	Anwendungsbereich ..... 8	6.8	Regelungen für die Beladungsgrenze von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff ..... 39
2.2	Begriffsbestimmungen ..... 8	6.9	Regelungen zur Aufrechterhaltung der Bedingungen für die Brennstofflagerung ..... 39
2.3	Alternative Ausführung ..... 9	6.10	Regelungen für atmosphärische Über- wachung im Brennstoffbehältersystem ..... 40
3	ZIELSETZUNG UND FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN ..... 10	6.11	Regelungen für die Überwachung der Atmosphäre in Laderäumen für Brennstoff- tanks (Brennstoffbehältersysteme mit Aus- nahme von unabhängigen Typ C-Tanks) ..... 40
3.1	Zielsetzung ..... 10	6.12	Regelungen für die Überwachung der Atmosphäre von Räumen, die unabhän- gige Typ C-Tanks umgeben ..... 41
3.2	Funktionale Anforderungen ..... 10	6.13	Regelungen für die Inertisierung ..... 41
4	ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN ..... 10	6.14	Regelungen für Inertgaserzeugung und Lagerung an Bord ..... 41
4.1	Zielsetzung ..... 10	7	WERKSTOFF UND ALLGEMEINE AUS- LEGUNG DER ROHRLEITUNGEN ..... 41
4.2	Risikobewertung ..... 10	7.1	Zielsetzung ..... 41
4.3	Begrenzung von Explosionsfolgen ..... 11	7.2	Funktionale Anforderungen ..... 41
<b>TEIL A-1</b>	<b>BESONDERE ANFORDERUNGEN FÜR SCHIFFE, DIE ERDGAS ALS BRENN- STOFF VERWENDEN ..... 12</b>	7.3	Regelungen für den allgemeinen Rohr- leitungsentwurf ..... 42
5	SCHIFFSENTWURF UND ANORDNUNG .... 12	7.4	Regelungen für Werkstoffe ..... 44
5.1	Zielsetzung ..... 12	8	BUNKERN ..... 51
5.2	Funktionale Anforderungen ..... 12	8.1	Zielsetzung ..... 51
5.3	Regelungen – Allgemeines ..... 12	8.2	Funktionale Anforderungen ..... 51
5.4	Maschinenraumkonzepte ..... 14	8.3	Regelungen für die Bunkerstation ..... 51
5.5	Regelungen für einen gassicheren Maschinenraum ..... 14	8.4	Regelungen für die Übergabestation ..... 52
5.6	Regelungen für ESD-geschützte Maschinenräume ..... 14	8.5	Regelungen für Bunkersysteme ..... 52
5.7	Regelungen für Verlegung und Schutz von Brennstoffleitungen ..... 15	9	BRENNSTOFFVERSORGUNG DER VERBRAUCHER ..... 52
5.8	Regelungen für die konstruktive Ausführung des Brennstoff-Aufbereitungsraumes ..... 15	9.1	Zielsetzung ..... 52
5.9	Regelungen für Lenzsysteme ..... 15	9.2	Funktionale Anforderungen ..... 52
5.10	Regelungen für Auffangwannen ..... 15	9.3	Regelungen über die Redundanz der Brennstoffversorgung ..... 52
5.11	Regelungen für die Anordnung von Eingängen und sonstigen Öffnungen in geschlossenen Räumen ..... 15	9.4	Regelungen über Sicherheitsfunktionen des Gasversorgungs-Systems ..... 52
5.12	Regelungen für Gasschleusen ..... 15	9.5	Regelungen für die Brennstoffverteilung außerhalb des Maschinenraums ..... 53
6	BRENNSTOFFBEHÄLTERSISTEM ..... 16		
6.1	Zielsetzung ..... 16		
6.2	Funktionale Anforderungen ..... 16		
6.3	Regelungen – Allgemeines ..... 16		
6.4	Regelungen für das Behältersystem verflüssigten Gasbrennstoffs ..... 17		

Abschnitt	Seite	Abschnitt	Seite
9.6	Regelungen für die Brennstoffversorgung zu Verbrauchern in gassicheren Maschinenräumen .....	14.3	Regelungen – Allgemeines .....
	53	15	KONTROLL-, ÜBERWACHUNGS- UND SICHERHEITSSYSTEME .....
9.7	Regelungen für die Gas-Brennstoffversorgung zu Verbrauchern in ESD-geschützten Maschinenräumen .....	15.1	Zielsetzung .....
	54	15.2	Funktionale Anforderungen .....
9.8	Regelungen für die Ausführung eines belüfteten Kanals und einer äußeren Rohrleitung gegen eine Gasleckage der inneren Rohrleitung .....	15.3	Regelungen – Allgemeines .....
	54	15.4	Regelungen für das Bunkern und die Überwachung von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff .....
9.9	Regelungen für Kompressoren und Pumpen .....	15.5	Regelungen für die Kontrolle des Bunkerns ..
	54	15.6	Regelungen für die Überwachung von Gas-Kompressoren .....
10	ENERGIEERZEUGUNG EINSCHLIESSLICH ANTRIEBS-GASVERBRAUCHER UND ANDERE GASVERBRAUCHER .....	15.7	Regelungen für die Überwachung von Gasmotoren .....
	55	15.8	Regelungen für das Aufspüren von Gas .....
10.1	Zielsetzung .....	15.9	Regelungen für die Feuermeldung .....
	55	15.10	Regelungen für die Lüftung .....
10.2	Funktionale Anforderungen .....	15.11	Regelungen über Sicherheitsfunktionen des Brennstoffversorgungs-Systems .....
	55		
10.3	Regelungen für Kolben-Verbrennungskraftmaschinen .....	ANLAGE	NORM FÜR DIE ANWENDUNG VON GRENZZUSTANDS-METHODOLOGIEN BEIM ENTWURF VON BRENNSTOFF-BEHÄLTERSYSTEMEN NEUARTIGER BAUFORM .....
	55		68
10.4	Regelungen für Haupt- und Hilfskessel .....	TEIL B-1	.....
	56		73
10.5	Regelungen für Gasturbinen .....	16	HERSTELLUNG, ARBEITSAUSFÜHRUNG UND PRÜFUNG .....
	56		73
11	BRANDSICHERHEIT .....	16.1	Allgemeines .....
	56		73
11.1	Zielsetzung .....	16.2	Allgemeine Prüfregelungen und technische Bedingungen .....
	56		73
11.2	Funktionale Anforderungen .....	16.3	Schweißung metallischer Werkstoffe und zerstörungsfreie Prüfung für das Brennstoffbehältersystem .....
	57		74
11.3	Regelungen für den Brandschutz .....	16.4	Sonstige Regelungen für Konstruktionen metallischer Werkstoffe .....
	57		76
11.4	Regelungen für die Feuerlöschleitung .....	16.5	Prüfung .....
	57		76
11.5	Regelungen für ein Wassersprühsystem .....	16.6	Schweißung, Wärmebehandlung nach dem Schweißen und zerstörungsfreie Prüfung .....
	57		78
11.6	Regelungen für ein Pulver-Feuerlöschsystem .....	16.7	Prüfregelungen .....
	58		78
11.7	Regelungen für ein Feuermelde- und Feueranzeigesystem .....	TEIL C-1	.....
	58		80
12	EXPLOSIONSV ERHÜTUNG .....	17	AUSBILDUNG UND ÜBUNGEN FÜR DEN NOTFALL .....
	58		80
12.1	Zielsetzung .....	18	BETRIEB .....
	58		80
12.2	Funktionale Anforderungen .....	18.1	Zielsetzung .....
	58		80
12.3	Regelungen – Allgemeines .....	18.2	Funktionale Anforderungen .....
	58		80
12.4	Regelungen für die Zoneneinteilung .....	18.3	Regelungen für die Instandhaltung .....
	58		80
12.5	Zonen der gefährdeten Bereiche .....	18.4	Regelungen für den Bunkerbetrieb .....
	58		80
13	LÜFTUNG .....	18.5	Regelungen für den Zugang zu geschlossenen Räumen .....
	59		82
13.1	Zielsetzung .....	18.6	Regelungen für Inertisieren und Spülen der Brennstoffsysteme .....
	59		82
13.2	Funktionale Anforderungen .....		
	59		
13.3	Regelungen – Allgemeines .....		
	59		
13.4	Regelungen für den Tankanschlussraum .....		
	60		
13.5	Regelungen für Maschinenräume .....		
	60		
13.6	Regelungen für den Brennstoff-Aufbereitungsraum .....		
	61		
13.7	Regelungen für die Bunkerstation .....		
	61		
13.8	Regelungen für Kanäle und doppelwandige Rohre .....		
	61		
14	ELEKTRISCHE ANLAGEN .....		
	61		
14.1	Zielsetzung .....		
	61		
14.2	Funktionale Anforderungen .....		
	61		

## IGF-Code

---

Abschnitt	Seite
18.7 Regelungen für Schweiß- und Brennarbeiten an und in der Nähe von Brennstoffsystemen..	82
ANLAGE LNG-Bunker-Lieferschein .....	83
<b>TEIL D</b> .....	84
19 AUSBILDUNG .....	84
19.1 Zielsetzung .....	84
19.2 Funktionale Anforderungen .....	84

## 1 PRÄAMBEL

Der Zweck dieses Codes ist es, eine internationale Norm für Schiffe, die Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt verwenden, zur Verfügung zu stellen; davon ausgenommen sind Schiffe, die dem IGC-Code unterliegen.

Der Code beruht auf dem Grundsatz, verbindliche Vorschriften für die Anordnung, den Einbau, die Bedienung und die Überwachung von Maschinen, Ausrüstung und Systemen, die Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt verwenden, zu erstellen, um die Gefährdung des Schiffes, seiner Besatzung und der Umwelt unter Berücksichtigung der Eigenschaften der verwendeten Brennstoffe auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Während der Ausarbeitung des Codes wurde stets anerkannt, dass er auf gut fundierten schiffbautechnischen und ingenieurwissenschaftlichen Grundsätzen und dem bestmöglichen Verständnis der derzeitigen Betriebserfahrungen, Felddaten, Forschung und Entwicklung beruhen muss. Aufgrund der sich schnell weiterentwickelnden neuen Brennstoff-Technologie wird die Organisation diesen Code unter Berücksichtigung sowohl der Erfahrungen als auch der Entwicklung in regelmäßigen Zeitabständen überprüfen.

Dieser Code befasst sich mit allen Bereichen, die eine besondere Betrachtung des Einsatzes von Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt benötigen. Die grundlegende Philosophie des IGF-Codes berücksichtigt die zielorientierte Vorgehensweise (MSC.1/Rundschreiben 1394). Deshalb wurden Ziele und funktionale Anforderungen für jeden Abschnitt festgelegt, der die Grundlage für Entwurf, Konstruktion und Betrieb bildet.

Die derzeitige Fassung dieses Codes enthält Vorschriften zur Einhaltung der funktionalen Anforderungen für Erdgas-Brennstoff. Vorschriften für andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt werden diesem Code hinzugefügt werden, wenn sie von der Organisation entwickelt sind.

In der Zwischenzeit muss bei anderen Brennstoffen mit niedrigem Flammpunkt die Einhaltung der funktionalen Anforderungen dieses Codes durch alternative Ausführung nachgewiesen werden.

## TEIL A

**2 ALLGEMEINES****2.1 Anwendungsbereich**

Soweit nicht ausdrücklich etwas anderes bestimmt ist, findet dieser Code auf Schiffe Anwendung, für die Teil G des Kapitels II-1 SOLAS gilt.

**2.2 Begriffsbestimmungen**

Soweit nicht nachfolgend etwas anderes bestimmt ist, gelten die Begriffsbestimmungen in Kapitel II-2 SOLAS.

2.2.1 *Unfall* bedeutet ein unbeabsichtigtes Ereignis, das den Verlust von Menschenleben, Verletzungen von Personen, Umweltschäden oder den Verlust von Vermögen und finanziellen Beteiligungen zur Folge haben kann.

2.2.2 *Breite (B)* bedeutet die größte in Höhe oder unterhalb des größten Tiefgangs auf Mallkante gemessene Breite des Schiffes (Sommerfreibord-Tiefgang) (auf Regel II-1/2.8 SOLAS wird verwiesen).

2.2.3 *Bunkern* bedeutet die Übernahme von flüssigem oder gasförmigem Brennstoff von Einrichtungen an Land oder von schwimmenden Einrichtungen in feste Schiffstanks oder die Verbindung von ortsbeweglichen Tanks zum Brennstoffversorgungs-System.

2.2.4 *Explosionsschutzart* bedeutet elektrische Betriebsmittel, die von durch die Verwaltung anerkannten zuständigen Behörden auf der Grundlage einer anerkannten Norm<sup>1</sup> als sicher für den Betrieb in einer entzündbaren Atmosphäre zertifiziert sind.

2.2.5 *CNG* bedeutet komprimiertes Erdgas (siehe auch Absatz 2.2.26).

2.2.6 *Kontrollstation* bedeutet diejenigen Räume, die in Kapitel II-2 SOLAS definiert sind, und zusätzlich für diesen Code der Maschinenkontrollraum.

2.2.7 *Entwurfstemperatur* für die Werkstoffauswahl ist die niedrigste Temperatur, bei der verflüssigter Gasbrennstoff in den Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff geladen oder befördert werden darf.

2.2.8 *Entwurfsdampfdruck „P<sub>0</sub>“* ist der größte Überdruck an Oberkante Tank, der für die Bemessung des Tanks zu benutzen ist.

2.2.9 *Doppelabsperr- und Entlüftungsventil* bedeutet ein Satz von zwei hintereinander liegenden Ventilen in einem Rohrstück und ein drittes Ventil, das die Druckentlastung des Rohrstückes zwischen den beiden Ventilen ermöglicht. Die Anordnung kann auch aus einem Zweiwegeventil und einem Absperrventil anstelle von drei einzelnen Ventilen bestehen.

2.2.10 *Zweistoffmotoren* bedeutet Motoren, die nach diesem Code erfassten Brennstoff (mit Zündöl) und Öl-

brennstoff verwenden. Ölbrennstoffe können Destillats- und Rückstandsöle enthalten.

2.2.11 *Geschlossener Raum* bedeutet jeder Raum, in dem die Lüftung mangels Fremdbelüftung eingeschränkt ist und eine explosive Atmosphäre nicht natürlich aufgelöst wird<sup>2</sup>.

2.2.12 *ESD* bedeutet Not-Abschaltung.

2.2.13 *Explosion* bedeutet ein Deflagrations-Ereignis einer unkontrollierten Verbrennung.

2.2.14 *Explosions-Druckentlastung* bedeutet vorgesehene Maßnahmen zur Verhinderung des Explosionsdrucks in einem Behälter oder einem geschlossenen Raum, der den maximalen Überdruck übersteigt, für den der Behälter oder der Raum ausgelegt ist, durch Abblasen des Überdrucks durch dafür vorgesehene Öffnungen.

2.2.15 *Brennstoffbehältersystem* ist die Einrichtung für die Lagerung des Brennstoffs einschließlich Tankanschlüsse. Es schließt, falls vorhanden, eine erste und zweite Barriere, die zugehörige Isolierung sowie Zwischenräume und angrenzende Bauteile, falls diese für Auflagerung und Abstützung erforderlich sind, mit ein. Falls die zweite Barriere ein Teil des Schiffskörpers ist, kann sie eine Begrenzung des Aufnahmeraums der Brennstofflagerung bilden.

Die Räume um den Brennstofftank sind wie folgt definiert:

- .1 *Aufnahmeraum der Brennstofflagerung* ist der Raum, der durch Schiffsverbände umschlossen ist und in dem ein Brennstoffbehältersystem untergebracht ist. Wenn sich in dem Aufnahmeraum der Brennstofflagerung Tankanschlüsse befinden, ist dieses auch ein Tankanschlussraum.
- .2 *Zwischenbarrierenraum* ist der Raum zwischen einer ersten und zweiten Barriere, unabhängig davon, ob er vollständig oder teilweise durch Isolierung oder anderen Werkstoff ausgefüllt ist, und
- .3 *Tankanschlussraum* ist ein Raum, der alle Tankanschlüsse und Tankventile umschließt, der für Tanks mit solchen Anschlüssen in geschlossenen Räumen erforderlich ist.

2.2.16 *Füllgrenze (FL)* bedeutet das größte Flüssigkeitsvolumen in einem Brennstofftank, bezogen auf das Gesamttankvolumen, wenn der flüssige Brennstoff die Bezugstemperatur erreicht hat.

2.2.17 *Brennstoff-Aufbereitungsraum* bedeutet jeder Raum, der Pumpen, Kompressoren und/oder Verdampfer für Brennstoff-Aufbereitungszwecke enthält.

2.2.18 *Gas* bedeutet ein Medium, das einen Dampfdruck von mehr als 0,28 MPa absolut bei einer Temperatur von 37,8° hat.

2.2.19 *Gasverbraucher* bedeutet jede Anlage im Schiff, die Gas als Brennstoff verwendet.

<sup>1</sup> Auf die Serie der Norm IEC 60079 – Explosive atmospheres – und die Norm IEC 60092-502:1999 – Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features – wird verwiesen.

<sup>2</sup> Siehe auch die Definition in der Norm IEC 60092-502:1999.

2.2.20 *Reiner Gasmotor* bedeutet ein Motor, der nur mit Gas betrieben werden kann und nicht auf den Betrieb mit einer anderen Brennstoffart umgeschaltet werden kann.

2.2.21 *Gefährdeter Bereich* bedeutet ein Bereich, in dem eine explosionsfähige Gasatmosphäre in einem solchen Umfang vorhanden ist oder erwartet werden kann, der besondere Vorsichtsmaßnahmen für die Konstruktion, die Installation und die Verwendung von Einrichtungen erfordert.

2.2.22 *Hochdruck* bedeutet ein maximaler Arbeitsdruck, der höher ist als 1,0 MPa.

2.2.23 *Unabhängige Tanks* sind selbsttragend, bilden keinen Bestandteil des Schiffskörpers und sind für dessen Festigkeit nicht wesentlich.

2.2.24 *LEL* bedeutet die untere Explosionsgrenze.

2.2.25 *Länge (L)* ist die Länge nach der Begriffsbestimmung in dem jeweils in Kraft befindlichen Internationalen Freibord-Übereinkommen.

2.2.26 *LNG* bedeutet verflüssigtes Erdgas.

2.2.27 *Beladungsgrenze (LL)* bedeutet das größte zulässige Flüssigkeitsvolumen, bezogen auf das Tankvolumen, bis zu dem der Tank beladen werden darf.

2.2.28 *Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt* bedeutet gasförmiger oder flüssiger Brennstoff, der einen Flammpunkt hat, welcher niedriger ist als der anderweitig nach Absatz 2.1.1 der Regel II-2/4 SOLAS zugelassene Brennstoff.

2.2.29 *MARVS* (Maximum Allowable Relief Valve Setting) bedeutet der höchstzulässige Einstelldruck eines Sicherheitsventils.

2.2.30 *MAWP* (Maximum Allowable Working Pressure) bedeutet der höchstzulässige Betriebsdruck eines Systemteils oder eines Tanks.

2.2.31 *Membrantanks* sind nicht selbsttragende Tanks, die aus einer dünnen, flüssigkeits- und gasdichten Schicht (Membran) bestehen, die durch eine Isolierschicht von den umgebenden Schiffverbänden unterstützt wird.

2.2.32 *Mehrstoffmotoren* bedeutet Motoren, die zwei oder mehr unterschiedliche Brennstoffe verwenden können, die voneinander getrennt sind.

2.2.33 *Nichtgefährdeter Bereich* ist ein Bereich, in dem eine explosionsfähige Gasatmosphäre nicht in einem solchen Umfang erwartet wird, der besondere Vorsichtsmaßnahmen für die Konstruktion, die Installation und die Verwendung von Einrichtungen erfordert.

2.2.34 *Freies Deck* bedeutet ein Deck, das kein wesentliches Brandrisiko hat und das mindestens an beiden Enden/Seiten offen ist oder an einem Ende offen ist und mit einer angemessenen natürlichen Lüftung versehen ist, die über die ganze Länge des Decks durch in der Seitenbeplattung oder der Decke verteilte ständige Öffnungen wirksam ist.

2.2.35 *Risiko* ist eine Bezeichnung für die Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeit mit der Schwere der Folgewirkungen.

2.2.36 *Bezugstemperatur* bedeutet die Temperatur, die dem Dampfdruck des Brennstoffs in einem Brennstofftank beim Einstelldruck der Sicherheitsventile (PRVs) entspricht.

2.2.37 *Zweite Barriere* ist die äußere flüssigkeitsbeständige Hülle eines Brennstoffbehältersystems, die zur zeitweisen Aufnahme einer möglichen Leckmenge des flüssigen Brennstoffs im Fall einer Leckage der ersten Barriere dient und ein Absinken der Temperatur der Schiffverbände auf ein gefährliches Maß verhindert.

2.2.38 *Halbgeschlossener Raum* bedeutet ein Raum, in dem die natürlichen Lüftungsverhältnisse deutlich anders sind als die auf einem freien Deck infolge des Vorhandenseins von Konstruktionen, wie beispielsweise Dächer, Windschutz und Schotte, und die so angeordnet sind, dass die Ausbreitung von Gas nicht erfolgen kann<sup>3</sup>.

2.2.39 *Freisetzungsquelle* bedeutet eine Stelle oder ein Ort, von dem aus ein Gas, ein Dampf, ein Nebel oder eine Flüssigkeit in die Atmosphäre freigesetzt werden kann, sodass sich eine explosive Atmosphäre bilden könnte.

2.2.40 *Unzulässiger Leistungsverlust* bedeutet, dass es nicht möglich ist, den normalen Betrieb der Antriebsanlage für den Fall aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen, dass eine der betriebswichtigen Hilfseinrichtungen entsprechend Regel II-1/26.3 SOLAS ausfällt.

2.2.41 *Dampfdruck* ist der absolute Gleichgewichtsdruck des gesättigten Dampfes oberhalb der Flüssigkeit in MPa bei einer bestimmten Temperatur.

## 2.3 Alternative Ausführung

2.3.1 Dieser Code enthält funktionale Anforderungen für alle Einrichtungen und Anordnungen im Zusammenhang mit der Verwendung von Brennstoffen mit niedrigem Flammpunkt.

2.3.2 Brennstoffe, Einrichtungen und Anordnungen von Systemen für Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt können:

- .1 Entweder von denjenigen abweichen, die in diesem Code aufgeführt sind,
- .2 oder für die Verwendung eines Brennstoffs, der in diesem Code nicht besonders behandelt wird, ausgelegt sein.

Solche Brennstoffe, Einrichtungen und Anordnungen können unter der Voraussetzung verwendet werden, dass diese dem Zweck der betroffenen Zielsetzung und den betroffenen funktionalen Anforderungen gerecht werden und ein gleichwertiges Sicherheitsniveau der maßgeblichen Kapitel bieten.

2.3.3 Die Gleichwertigkeit der alternativen Ausführung muss, wie nach Regel II-1/55 SOLAS vorgegeben, nachgewiesen und von der Verwaltung zugelassen werden. Die Verwaltung darf jedoch betriebliche Methoden oder Verfahren nicht zulassen, die als eine Alternative zu einem bestimmten Fitting, Werkstoff, Vorrichtung, Gerät, Ausrüstungsteil oder Typ davon anzuwenden sind, die durch diesen Code vorgeschrieben sind.

<sup>3</sup> Auf die Norm IEC 60092-502:1999 – Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features wird ebenfalls verwiesen.

### **3 ZIELSETZUNG UND FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN**

#### **3.1 Zielsetzung**

Die Zielsetzung dieses Codes ist, einen sicheren und umweltfreundlichen Entwurf, Bau und Betrieb von Schiffen und insbesondere ihrer Einbauten von Systemen für Antriebsanlagen, Hilfsmaschinenanlagen für die Energieerzeugung und/oder Maschinenanlagen für andere Zwecke, die Gas oder Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt als Brennstoff verwenden, zu gewährleisten.

#### **3.2 Funktionale Anforderungen**

3.2.1 Die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Systemstabilität der Systeme müssen denjenigen gleichwertig sein, die mit neuen und vergleichbaren, konventionellen, mit Ölbrennstoff angetriebenen Haupt- und Hilfsmaschinenanlagen erreicht werden.

3.2.2 Die Wahrscheinlichkeit und die Folgewirkungen von mit Brennstoff verbundenen Gefahren sind durch Anordnung und Systementwurf, wie beispielsweise Lüftung, Erkennung und Schutzaktionen, auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Im Fall einer Gasleckage oder eines Versagens der Risiko verringern Maßnahmen, müssen notwendige Schutzaktionen eingeleitet werden.

3.2.3 Die Entwurfsphilosophie muss sicherstellen, dass Risiko verringern Maßnahmen und Schutzaktionen für die Gasbrennstoff-Anlagen nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führen.

3.2.4 Gefährdete Bereiche sind, so weit wie praktisch durchführbar, zu beschränken, um das mögliche Risiko zu minimieren, das die Sicherheit des Schiffes, der Personen an Bord und der Einrichtungen beeinträchtigen könnte.

3.2.5 In gefährdeten Bereichen installierte Einrichtungen sind auf diejenigen zu beschränken, die für betriebliche Zwecke erforderlich sind, und sie müssen angemessen und sachgerecht zertifiziert sein.

3.2.6 Eine unbeabsichtigte Ansammlung explosiver, entzündbarer oder giftiger Gaskonzentrationen ist zu verhindern.

3.2.7 Systembestandteile müssen gegen äußere Beschädigungen geschützt sein.

3.2.8 Zündquellen in gefährdeten Bereichen sind zu minimieren, um die Wahrscheinlichkeit von Explosionen herabzusetzen.

3.2.9 Das System muss für sichere und geeignete Brennstoffversorgung sowie Lagerungs- und Bunkerungs-Einrichtungen ausgelegt sein, die imstande sind, den Brennstoff im erforderlichen Zustand ohne Leckage zu übernehmen und zu halten. Außer wenn es aus Sicherheitsgründen erforderlich ist, muss das System so ausgelegt sein, dass eine Entlüftung unter allen normalen Betriebsbedingungen einschließlich Stillstandszeiten verhindert wird.

3.2.10 Es müssen Rohrleitungssysteme, Behältersysteme und Überdruckentlastungs-Einrichtungen vorgesehen sein, die von geeignetem Entwurf, geeigneter Konstruktion und Installation für ihren vorgesehenen Einsatz sind.

3.2.11 Maschinenanlagen, Systeme und Zubehörteile müssen so entworfen, gebaut und installiert sein und so betrieben, gewartet und geschützt werden, dass ein sicherer und zuverlässiger Betrieb sichergestellt ist.

3.2.12 Das Brennstoffbehältersystem und Maschinenräume, welche eine Quelle enthalten, die Gas in den Raum abgeben könnte, müssen derart eingerichtet und angeordnet sein, dass ein Brand oder eine Explosion in beiden Fällen nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führen oder Einrichtungen in anderen Abteilungen funktionsunfähig machen.

3.2.13 Es müssen geeignete Kontroll-, Alarm-, Überwachungs- und Abschalt-Systeme vorgesehen sein, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb sicherzustellen.

3.2.14 Es muss ein fest eingebautes Gasspürsystem angeordnet sein, das für alle betroffenen Räume und Bereiche geeignet ist.

3.2.15 Es müssen Maßnahmen für Brandentdeckung, Brandschutz und Feuerlöschung vorgesehen sein, die für die betreffenden Gefahren geeignet sind.

3.2.16 Inbetriebnahme, Probeläufe und Instandhaltung von Brennstoffsystemen und Gasnutzungs-Maschinenanlagen müssen die Zielsetzung hinsichtlich Sicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit erfüllen.

3.2.17 Die technische Dokumentation muss eine Beurteilung der Übereinstimmung des Systems und seiner Bestandteile mit den anwendbaren Vorschriften, Richtlinien, angewendeten Entwurfsnormen und den Grundsätzen bezüglich Sicherheit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit ermöglichen.

3.2.18 Ein einziger Fehler in einem technischen System oder Bestandteil darf nicht zu einer unsicheren oder unzuverlässigen Situation führen.

### **4 ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN**

#### **4.1 Zielsetzung**

Das Ziel dieses Kapitels ist sicherzustellen, dass die notwendige Bewertung der involvierten Risiken durchgeführt wird, um jede nachteilige Auswirkung auf die Personen an Bord, die Umwelt oder das Schiff auszuschließen oder abzuschwächen.

#### **4.2 Risikobewertung**

4.2.1 Es ist eine Risikobewertung durchzuführen, um sicherzustellen, dass bei der Verwendung von Brennstoffen mit niedrigem Flammpunkt auftretende Risiken, welche die Personen an Bord, die Umwelt, die bauliche Festigkeit oder die Unversehrtheit des Schiffes beeinträchtigen, behandelt werden. In Betracht zu ziehen sind, in Anlehnung an etwaige einigermaßen vorhersehbare Fehler, die Gefahren, die mit der technischen Ausstattung, dem Betrieb und der Instandhaltung verbunden sind.

4.2.2 Für Schiffen, bei denen Teil A-1 Anwendung findet, braucht die nach Absatz 4.2.1 vorgeschriebene Risikobewertung nur durchgeführt zu werden, wenn sie durch die Absätze bzw. Abschnitte 5.10.5, 5.12.3, 6.4.1.1, 6.4.15.4.7.2, 8.3.1.1, 13.4.1, 13.7 und 15.8.1.10 sowie die Absätze 4.4 und 6.8 der Anlage ausdrücklich vorgeschrieben ist.

4.2.3 Die Risiken sind unter Verwendung geeigneter und anerkannter Risiko-Analysetechniken zu analysieren, und dabei sind mindestens Funktionsverlust, Beschädigung von Anlagenteilen, Brand, Explosion und Stromschlag zu berücksichtigen. Die Analyse muss sicherstellen, dass Risiken, wo immer möglich, beseitigt werden. Risiken, die nicht beseitigt werden können, sind gegebenenfalls abzuschwächen. Einzelheiten der Risiken und die Mittel, mit denen sie abgeschwächt werden, müssen den Anforderungen der Verwaltung entsprechend dokumentiert sein.

#### 4.3 Begrenzung von Explosionsfolgen

Eine Explosion in irgend einem Raum, der mögliche Freisetzungsquellen<sup>4</sup> und mögliche Zündquellen enthält, darf nicht:

- .1 eine Beschädigung oder Unterbrechung der einwandfreien Funktion von Einrichtungen/Systemen verursachen, die sich in einem anderen Raum befinden, als dem, in dem der Vorfall eintritt;
- .2 das Schiff dermaßen beschädigen, dass eine Wasserflutung unter dem Hauptdeck oder eine weitergehende Flutung auftritt;
- .3 Arbeitsbereiche oder Unterkünfte dermaßen beschädigen, dass Personen, die sich in solchen Bereichen unter normalen Betriebsverhältnissen aufhalten, verletzt werden;
- .4 die einwandfreie Funktion der Kontrollstationen und Schalttafel-Räume, die für die Lastverteilung erforderlich sind, unterbrechen;
- .5 Rettungsmittel oder zugehörige Aussetzvorrichtungen beschädigen;
- .6 die einwandfreie Funktion der Brandbekämpfungsausrüstung, die sich außerhalb des durch Explosion beschädigten Raumes befindet, unterbrechen;
- .7 andere Bereiche des Schiffes dermaßen beeinträchtigen, dass Kettenreaktionen, die unter anderem Ladung, Gas und Bunkeröl umfassen, auftreten können; oder
- .8 den Zugang von Personen zu den Rettungsmitteln verhindern oder die Fluchtwege behindern.

---

<sup>4</sup> Doppelwandige Brennstoffleitungen gelten nicht als mögliche Freisetzungsquellen.

## TEIL A-1

## BESONDERE ANFORDERUNGEN FÜR SCHIFFE, DIE ERDGAS ALS BRENNSTOFF VERWENDEN

*Brennstoff* im Zusammenhang mit den Regelungen in diesem Teil bedeutet Erdgas, entweder in seinem verflüssigten oder gasförmigen Zustand.

Es ist zur Kenntnis zu nehmen, dass die Zusammensetzung von Erdgas in Abhängigkeit von der Quelle des Erdgases und der Aufbereitung des Gases schwanken kann.

### 5 SCHIFFSENTWURF UND ANORDNUNG

#### 5.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist es, sichere Einbauorte, Raumordnungen und einen mechanischen Schutz von Energieerzeugungsanlagen, Brennstofflagerungs-Systemen, Brennstoffversorgungs-Einrichtungen und Betankungs-Systemen zu gewährleisten.

#### 5.2 Funktionale Anforderungen

5.2.1 Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1 bis 3.2.3, 3.2.5, 3.2.6, 3.2.8, 3.2.12 bis 3.2.15 und 3.2.17. Insbesondere gilt das Folgende:

- .1 Der Brennstofftank bzw. die Brennstofftanks müssen derart angeordnet sein, dass die Wahrscheinlichkeit für den Tank bzw. die Tanks, nach einer Kollision oder Grundberührung beschädigt zu werden, unter Berücksichtigung des sicheren Betriebes des Schiffes und sonstiger Gefahren, die für das Schiff relevant sein können, auf ein Minimum herabgesetzt ist;
- .2 Brennstoffbehältersysteme, Brennstoffleitungen und andere Brennstoff-Freisetzungsquellen müssen so untergebracht und angeordnet sein, dass freigesetztes Gas zu einer sicheren Stelle im Freien abgeführt wird;
- .3 der Zugang und andere Öffnungen zu Räumen, die Brennstoff-Freisetzungsquellen enthalten, müssen so angeordnet sein, dass entzündbare, erstickende oder giftige Gase nicht in Räume entweichen können, die für das Vorhandensein solcher Gase nicht eingerichtet sind;
- .4 Brennstoffleitungen müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein;
- .5 das Antriebs- und Brennstoffversorgungs-System muss so ausgelegt sein, dass Schutzaktionen nach einer Gasleckage nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führen;
- .6 die Wahrscheinlichkeit einer Gasexplosion in einem Maschinenraum mit von Gas oder Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt angetriebenen Maschinen ist auf ein Minimum herabzusetzen.

#### 5.3 Regelungen – Allgemeines

5.3.1 Brennstofflagertanks müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein.

5.3.2 Brennstofflagertanks und/oder Brennstoff-Einrichtungen, die sich auf dem offenen Deck befinden, müssen so untergebracht sein, dass eine ausreichende natürliche Lüftung sichergestellt ist, um die Ansammlung entwichenen Gases zu verhindern.

5.3.3 Der Brennstofftank bzw. die Brennstofftanks müssen vor Beschädigungen von außen, die durch Kollision oder Grundberührung verursacht werden, folgendermaßen geschützt sein:

- .1 Die Brennstofftanks müssen in einem Mindestabstand von  $B/5$  oder 11,5 m, je nachdem, welcher Wert geringer ist, gemessen innenbords von der Schiffsseite im rechten Winkel zur Mittellinie in Höhe des Sommerfreibord-Tiefgangs, angeordnet sein;
 

wobei:  $B$  die größte in Höhe oder unterhalb des größten Tiefgangs auf Mallkante gemessene Breite des Schiffes ist (Sommerfreibord-Tiefgang) (auf Regel II-1/2.8 SOLAS wird verwiesen).
- .2 Als Begrenzungen jedes Brennstofftanks sind die äußersten äußeren Grenzen der Tankkonstruktion in Längsrichtung, Querrichtung und senkrechter Richtung der Tankkonstruktion einschließlich ihrer Tankventile anzunehmen.
- .3 Bei unabhängigen Tanks ist der Schutzabstand bis zur Tankwand (die erste Barriere des Tankbehältersystems) zu messen. Bei Membrantanks ist der Abstand bis zu den Schotten zu messen, welche die Tankisolierung umschließen.
- .4 Die Begrenzung des Brennstofftanks darf sich in keinem Fall näher an der Außenhautbeplattung oder dem hinteren Endpunkt des Schiffes befinden als wie folgt:
  - .1 Für Fahrgastschiffe:
 

$B/10$ , aber in keinem Fall weniger als 0,8 m. Dieser Abstand braucht jedoch nicht größer zu sein als  $B/15$  oder 2 m, je nachdem, welcher Wert geringer ist, wo sich die Außenhautbeplattung innenbords von  $B/5$  oder 11,5 m befindet, je nachdem, welcher Wert geringer ist, wie es nach Absatz 5.3.3.1 vorgeschrieben ist.
  - .2 Für Frachtschiffe:
    - .1 für  $V_c$  unter oder gleich 1 000 m<sup>3</sup>, 0,8 m;
    - .2 für 1 000 m<sup>3</sup> <  $V_c$  < 5 000 m<sup>3</sup>,  
 $0,75 + V_c \times 0,2/4 000$  m;
    - .3 für 5 000 m<sup>3</sup> ≤  $V_c$  < 30 000 m<sup>3</sup>,  
 $0,8 + V_c/25 000$  m; und
    - .4 für  $V_c$  ≥ 30 000 m<sup>3</sup>, 2 m;

wobei:

$V_c$  100% des Brutto-Entwurfsvolumens des einzelnen Ladetanks bei 20 °C einschließlich Tankdome und Anhänge entspricht.

- .5 Die unterste Begrenzung des Brennstofftanks bzw. der Brennstofftanks muss sich oberhalb des Mindestanstandes von  $B/15$  oder 2 m, je nachdem, welcher Wert geringer ist, gemessen von der Mallkante der Bodenbeplattung auf Mittschiffslinie, befinden.
- .6 Bei Mehrhüllenschiffen kann der Wert für B besonders bemessen werden.
- .7 Der Brennstofftank bzw. die Brennstofftanks müssen sich hinter einer Querfläche bei 0,08 L vom vorderen Lot in Übereinstimmung mit Regel II-1/8.1 SOLAS bei Fahrgastschiffen und hinter dem Kollisionsschott bei Frachtschiffen befinden;

wobei:

L die Länge nach der Begriffsbestimmung in dem jeweils in Kraft befindlichen Internationalen Freibord-Übereinkommen ist (auf Regel II-1/2.5 SOLAS wird verwiesen).

- .8 Bei Schiffen mit Schiffsverbänden, die einen höheren Widerstand gegen Kollision und/oder Grundberührung bieten, können die Regelungen für die Lage der Brennstofftanks in Übereinstimmung mit Abschnitt 2.3 besonders untersucht werden.

5.3.4 Als eine Alternative zu vorstehendem Absatz 5.3.3.1 kann das folgende Berechnungsverfahren zur Bestimmung des zulässigen Einbauortes der Brennstofftanks verwendet werden:

- .1 Der Wert  $f_{CN}$ , der wie im Folgenden beschrieben berechnet wird, muss weniger als 0,02 für Fahrgastschiffe und 0,04 für Frachtschiffe betragen<sup>5</sup>.
- .2 Der Wert  $f_{CN}$  wird durch die folgende Formel berechnet:

$$f_{CN} = f_l \times f_t \times f_v$$

wobei:

$f_l$  durch Verwendung der Formeln für den in Regel II-1/7-1.1.1.1 SOLAS enthaltenen Faktor p berechnet wird. Der Wert  $x_1$  muss dem Abstand vom hinteren Endpunkt bis zur hintersten Begrenzung des Brennstofftanks entsprechen, und der Wert  $x_2$  muss dem Abstand vom hinteren Endpunkt bis zur vordersten Begrenzung des Brennstofftanks entsprechen.

$f_t$  durch Verwendung der Formeln für den in Regel II-1/7-1.1.2 SOLAS enthaltenen Faktor r berechnet wird, und die Wahrscheinlichkeit wiedergibt, dass die Beschädigung über die äußere Begrenzung des Brennstofftanks hinaus eindringt. Die Formel ist:

$$f_t = 1 - r(x_1, x_2, b)^6$$

<sup>5</sup> Der Wert  $f_{CN}$  erfasst Kollisionsschäden, die innerhalb eines Bereiches auftreten können, der nur durch die längsverlaufenden projizierten Begrenzungen des Brennstofftanks begrenzt ist und kann nicht als die Wahrscheinlichkeit für den Brennstofftank, im Falle einer Kollision beschädigt zu werden, angesehen oder verwendet werden. Die tatsächliche Wahrscheinlichkeit wird höher sein, wenn längere Beschädigungen berechnet werden, die Bereiche vor und hinter dem Brennstofftank einbeziehen.

<sup>6</sup> Wenn sich die äußerste Begrenzung des Brennstofftanks außerhalb der Begrenzung befindet, die durch die oberste Unterteilungswasserlinie vorgegeben ist, ist der Wert für b mit 0 anzunehmen.

$f_v$  durch Verwendung der Formeln für den in Regel II-1/7-2.6.1.1 SOLAS enthaltenen Faktor v berechnet wird, und die Wahrscheinlichkeit wiedergibt, dass sich die Beschädigung nicht senkrecht über die unterste Begrenzung des Brennstofftanks hinaus ausdehnt. Die zu verwendenden Formeln sind:

$f_v = 1,0 - 0,8 \cdot ((H - d)/7,8)$ , wenn  $(H - d)$  weniger als oder gleich 7,8 m beträgt, ist  $f_v$  nicht mit mehr als 1 anzunehmen.

$f_v = 0,2 - 0,2 \cdot ((H - d) - 7,8)/4,7)$ , in allen anderen Fällen ist  $f_v$  nicht mit weniger als 0 anzunehmen.

wobei:

H der Abstand von der Basislinie (in Meter) bis zur untersten Begrenzung des Brennstofftanks ist, und

d der größte Tiefgang ist (Sommerfreibord-Tiefgang).

- .3 Als Begrenzungen jedes Brennstofftanks sind die äußersten äußeren Grenzen der Tankkonstruktion in Längsrichtung, Querrichtung und senkrechter Richtung der Tankkonstruktion einschließlich ihrer Tankventile anzunehmen.
- .4 Bei unabhängigen Tanks ist der Schutzabstand bis zur Tankwand (die erste Barriere des Tankbehältersystems) zu messen. Bei Membrantanks ist der Abstand bis zu den Schotten zu messen, welche die Tankisolierung umschließen.
- .5 Die Begrenzung des Brennstofftanks darf sich in keinem Fall näher an der Außenhaut oder dem hinteren Endpunkt des Schiffes befinden als wie folgt:

- .1 Für Fahrgastschiffe:

$B/10$ , aber in keinem Fall weniger als 0,8 m. Dieser Abstand braucht jedoch nicht größer zu sein als  $B/15$  oder 2 m, je nachdem, welcher Wert geringer ist, wo sich die Außenhaut innenbords von  $B/5$  oder 11,5 m befindet, je nachdem, welcher Wert geringer ist, wie es nach Absatz 5.3.3.1 vorgeschrieben ist.

- .2 Für Frachtschiffe:

- .1 für  $V_c$  unter oder gleich 1 000 m<sup>3</sup>, 0,8 m;
- .2 für 1 000 m<sup>3</sup> <  $V_c$  < 5 000 m<sup>3</sup>,  
0,75 +  $V_c \times 0,2/4 000$  m;
- .3 für 5 000 m<sup>3</sup> ≤  $V_c$  < 30 000 m<sup>3</sup>,  
0,8 +  $V_c/25 000$  m; und
- .4 für  $V_c$  ≥ 30 000 m<sup>3</sup>, 2 m;

wobei:

$V_c$  100 % des Brutto-Entwurfsvolumens des einzelnen Brennstofftanks bei 20 °C einschließlich Tankdome und Anhänge entspricht.

- .6 Im Fall von mehr als einem in Längsrichtung angeordneten nicht-überlappenden Brennstofftank muss  $f_{CN}$  in Übereinstimmung mit Absatz 5.3.4.2 für jeden Brennstofftank einzeln berechnet werden. Der für die vollständige Brennstofftank-Anordnung verwendete Wert ist die Summe aller Werte von  $f_{CN}$ , die man für jeden einzelnen Tank erhält.

.7 Für den Fall, dass die Brennstofftank-Anordnung, bezogen auf die Mittellinie des Schiffes, unsymmetrisch ist, müssen die Berechnungen von  $f_{CN}$  sowohl für die Steuerbordseite als auch für die Backbordseite durchgeführt werden, und für die Bewertung ist der Durchschnittswert zu verwenden. Der nach Absatz 5.3.4.5 ermittelte Mindestabstand muss auf beiden Seiten eingehalten werden.

.8 Bei Schiffen mit Schiffsverbänden, die einen höheren Widerstand gegen Kollision und/oder Grundberührung bieten, können die Regelungen für die Lage der Brennstofftanks in Übereinstimmung mit Abschnitt 2.3 besonders untersucht werden.

5.3.5 Wenn Brennstoff in einem Brennstoffbehältersystem befördert wird, das eine vollständige oder teilweise zweite Barriere erfordert,

.1 müssen die Aufnahmeräume der Brennstofflagerung von der See durch einen Doppelboden getrennt sein, und

.2 muss das Schiff außerdem ein Längsschott haben, das Seitentanks bildet.

### 5.4 Maschinenraumkonzepte

5.4.1 Um die Wahrscheinlichkeit einer Gasexplosion in einem Maschinenraum mit gasbetriebenen Maschinen zu verringern, kann eines dieser zwei alternativen Konzepte angewendet werden:

.1 Gassichere Maschinenräume: Die Einrichtungen in Maschinenräumen sind derart, dass die Räume unter allen normalen als auch anormalen Zuständen als gassicher angesehen werden, d. h. grundsätzlich gassicher sind.

In einem gassicheren Maschinenraum kann ein einzelner Fehler nicht zum Freisetzen von Brennstoffgas in den Maschinenraum führen.

.2 ESD-geschützte Maschinenräume: Die Einrichtungen in Maschinenräumen sind derart, dass die Räume unter allen normalen Zuständen als ungefährdet angesehen werden, aber unter bestimmten anormalen Zuständen die Möglichkeit bestehen kann, gefährdet zu werden. Im Fall anormaler Zustände, die Gasgefahren zur Folge haben, muss die Notabschaltung (ESD) von unsicheren Einrichtungen (Zündquellen) und Maschinen automatisch ausgeführt werden, während Einrichtungen oder Maschinen, die während dieser Zustände in Gebrauch oder aktiv sind, von einer Explosionsschutzart sein müssen.

In einem ESD-geschützten Maschinenraum kann ein einzelner Fehler zu einer Freisetzung von Gas in den Raum führen. Die Lüftung ist dafür ausgelegt, ein wahrscheinliches maximales Leckage-Szenario aufgrund technischer Fehler auszugleichen.

Fehler, die zu gefährlichen Gaskonzentrationen führen, z. B. Brüche von Gasleitungen oder Ausblasen an Dichtungen, sind durch Explosions-Sicherheitsventile und ESD-Einrichtungen abgedeckt.

### 5.5 Regelungen für einen gassicheren Maschinenraum

5.5.1 Ein einziger Fehler im Brennstoffsystem darf nicht zu einem Freisetzen von Gas in den Maschinenraum führen.

5.5.2 Alle Brennstoffleitungen innerhalb der Maschinenraum-Begrenzungen müssen in Übereinstimmung mit Abschnitt 9.6 in einer gasdichten Umhüllung eingeschlossen sein.

### 5.6 Regelungen für ESD-geschützte Maschinenräume

5.6.1 Der ESD-Schutz ist auf Maschinenräume zu begrenzen, die für zeitweise unbemannten Betrieb zertifiziert sind.

5.6.2 Es sind Maßnahmen zum Schutz gegen Explosion und Beschädigung von Bereichen außerhalb des Maschinenraums sowie zur Sicherstellung der Redundanz der Energieversorgung anzuwenden. Die folgenden Einrichtungen sind vorzusehen, sind aber nicht darauf beschränkt:

.1 Gasspürgerät,

.2 Absperrventil,

.3 Redundanz von Komponenten, und

.4 wirksame Lüftung.

5.6.3 Rohrleitungen für die Gasversorgung in Maschinenräumen können ohne eine gasdichte äußere Umhüllung unter den folgenden Bedingungen anerkannt werden:

.1 Maschinen für die Erzeugung der Antriebsenergie und der elektrischen Energie müssen sich in zwei oder mehr Maschinenräumen befinden, die keine gemeinsamen Begrenzungen haben, außer, wenn es belegt werden kann, dass in einziger Unfall sich nicht auf beide Räume auswirkt.

.2 Der Gas-Maschinenraum darf nur ein Minimum solcher notwendigen Einrichtungen, Komponenten und Systeme enthalten, wie sie erforderlichen sind, um sicherzustellen, dass die Gas-Maschinen ihre Funktion aufrechterhalten.

.3 Es muss ein fest eingebautes Gasspürsystem installiert sein, das so eingestellt ist, dass es die Gasversorgung selbsttätig abschaltet und alle elektrischen Einrichtungen oder Anlagen, die keine Explosionsschutzart haben, abschaltet.

5.6.4 Die Aufteilung der Maschinen zwischen den verschiedenen Maschinenräumen muss derart sein, dass die Abschaltung der Brennstoffversorgung zu irgend einem Maschinenraum nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führt.

5.6.5 ESD-geschützte Maschinenräume, die durch ein einziges Schott getrennt sind, müssen eine ausreichende Festigkeit haben, um die Auswirkungen einer örtlichen Gasexplosion in einem der Räume zu widerstehen, ohne der Unversehrtheit des angrenzenden Raumes und den Einrichtungen in diesem Raum zu schaden.

5.6.6 ESD-geschützte Maschinenräume müssen baulich so ausgeführt sein, dass sie eine geometrische Form bil-

den, die die Ansammlung von Gasen oder die Bildung von Gasblasen so gering wie möglich hält.

5.6.7 Das Lüftungssystem von ESD-geschützten Maschinenräumen muss in Übereinstimmung mit Absatz 13.5 angeordnet werden.

### 5.7 Regelungen für Verlegung und Schutz von Brennstoffleitungen

5.7.1 Brennstoffleitungen müssen mindestens 800 mm von der Schiffsseite entfernt verlegt sein.

5.7.2 Brennstoffleitungen dürfen nicht unmittelbar durch Unterkunftsräume, Wirtschaftsräume, Räume mit elektrischen Einrichtungen oder Kontrollstationen entsprechend den Begriffsbestimmungen im SOLAS-Übereinkommen geführt sein.

5.7.3 Brennstoffleitungen, die durch Ro-Ro-Räume, Sonderräume und auf freien Decks verlegt sind, müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein.

5.7.4 Gas-Brennstoffleitungen in ESD-geschützten Maschinenräumen müssen, so weit wie praktisch durchführbar, von den elektrischen Installationen und Tanks, die entzündbare Flüssigkeiten enthalten, entfernt angeordnet sein.

5.7.5 Gas-Brennstoffleitungen in ESD-geschützten Maschinenräumen müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein.

### 5.8 Regelungen für die konstruktive Ausführung des Brennstoff-Aufbereitungsraumes

Brennstoff-Aufbereitungsräume müssen sich auf einem freien Deck befinden, außer, wenn diese Räume in Übereinstimmung mit den Regelungen dieses Codes für Tankanschlussräume angeordnet und ausgerüstet sind.

### 5.9 Regelungen für Lenzsysteme

5.9.1 Lenzsysteme, die in Bereichen installiert sind, in denen nach diesem Code erfasster Brennstoff vorhanden sein kann, müssen vom Lenzsystem eines Raumes, in dem kein Brennstoff vorhanden sein kann, getrennt sein.

5.9.2 Wenn Brennstoff in einem Brennstoffbehältersystem befördert wird, das eine zweite Barriere erfordert, müssen geeignete Lenzeinrichtungen zur Behandlung einer Leckage in den Aufnahmeraum oder in die Isolieräume durch die angrenzenden Schiffsverbände eingebaut sein. Das Lenzsystem darf nicht zu Pumpen in sicheren Räumen führen. Es müssen Geräte zum Aufspüren einer solchen Leckage vorhanden sein.

5.9.3 Der Aufnahmeraum oder die Zwischenbarrierenräume von unabhängigen Typ A-Tanks für verflüssigtes Gas müssen mit einem Lenzsystem ausgerüstet sein, das für den Umgang mit flüssigem Brennstoff im Fall einer Leckage oder eines Risses des Brennstofftanks geeignet ist.

### 5.10 Regelungen für Auffangwannen

5.10.1 Auffangwannen müssen dort angebracht werden, wo eine Leckage auftreten kann, die eine Beschädigung der Schiffsverbände verursachen kann, oder wo die Begrenzung des Bereiches erforderlich ist, der durch ausgelaufene Flüssigkeit in Mitleidenschaft gezogen ist.

5.10.2 Auffangwannen müssen aus einem geeigneten Werkstoff hergestellt sein.

5.10.3 Auffangwannen müssen von den Schiffsverbänden thermisch isoliert sein, sodass die umgebenden Schiffskörper- oder Deckkonstruktionen im Fall einer Leckage flüssigen Brennstoffs nicht einer unzulässigen Abkühlung ausgesetzt sind.

5.10.4 Jede Wanne muss ein eingebautes Entwässerungsventil haben, damit Regenwasser über die Schiffsseite abgelassen werden kann.

5.10.5 Jede Wanne muss ein ausreichendes Fassungsvermögen haben, um sicherzustellen, dass die maximale Menge ausgelaufener Flüssigkeit entsprechend der Risikobewertung bewältigt werden kann.

### 5.11 Regelungen für die Anordnung von Eingängen und sonstigen Öffnungen in geschlossenen Räumen

5.11.1 Der unmittelbare Zugang von einem ungefährdeten Bereich zu einem gefährdeten Bereich darf nicht zugelassen werden. Wenn solche Öffnungen aus betrieblichen Gründen erforderlich sind, muss eine Gasschleuse, die Abschnitt 5.12 entspricht, vorgesehen sein.

5.11.2 Wenn zugelassen ist, dass der Brennstoff-Aufbereitungsraum unter Deck liegt, muss der Raum, soweit möglich, einen unabhängigen Zugang unmittelbar vom freien Deck aus haben. Wenn ein eigener Zugang vom freien Deck aus praktisch nicht durchführbar ist, muss eine Gasschleuse, die Abschnitt 5.12 entspricht, vorhanden sein.

5.11.3 Sofern der Zugang zum Tankanschlussraum nicht unabhängig ist und unmittelbar vom freien Deck aus erfolgt, muss er als verschraubte Luke ausgeführt sein. Der Raum, der die verschraubte Luke enthält, ist ein gefährdeter Raum.

5.11.4 Wenn der Zugang zu einem ESD-geschützten Maschinenraum von einem anderen geschlossenen Raum im Schiff erfolgt, muss an den Eingängen eine Gasschleuse, die Abschnitt 5.12 entspricht, angeordnet sein.

5.11.5 Bei inertisierten Räumen müssen die Zugangseinrichtungen derart sein, dass ein unabsichtlicher Zugang durch Personen verhindert wird. Wenn der Zugang zu solchen Räumen nicht von einem freien Deck aus erfolgt, müssen Abdichtungsvorrichtungen sicherstellen, dass Inertgas-Leckagen in angrenzende Räume verhindert werden.

### 5.12 Regelungen für Gasschleusen

5.12.1 Eine Gasschleuse ist ein durch gasdichte Schotte umschlossener Raum mit zwei dauerhaft gasdichten Türen, deren Abstand voneinander mindestens 1,5 m, aber nicht mehr als 2,5 m beträgt. Sofern nicht den Vorschriften des Internationalen Freibord-Übereinkommens unterworfen, darf die Süllhöhe der Türen nicht weniger als 300 mm betragen. Die Türen müssen selbstschließend ohne Feststelleinrichtungen sein.

5.12.2 Die Gasschleusen müssen unter Überdruck im Verhältnis zum angrenzenden gefährdeten Bereich oder Raum mechanisch belüftet werden.

5.12.3 Die Gasschleuse muss derartig baulich ausgeführt sein, dass im Fall des kritischsten Vorfalles in dem gasgefährdeten Raum, der durch die Gasschleuse abgetrennt ist, kein Gas in sichere Räume entweichen kann. Die Vorfälle sind entsprechend der Risikoanalyse nach Abschnitt 4.4 zu bewerten.

5.12.4 Gasschleusen müssen eine einfache geometrische Form haben. Sie müssen einen freien und leichten Durchgang gewährleisten und müssen eine Deckfläche von mindestens 1,5 m<sup>2</sup> haben. Gasschleusen dürfen nicht für andere Zwecke verwendet werden, beispielsweise als Abstellräume.

5.12.5 Es muss eine akustische und optische Alarmanlage installiert sein, die an beiden Seiten der Gasschleuse Warnzeichen gibt, um anzuzeigen, wenn mehr als eine Tür aus der geschlossenen Position bewegt wird.

5.12.6 Bei ungefährdeten Räumen mit Zugang von gefährdeten Räumen unter Deck, wo der Zugang durch eine Gasschleuse geschützt ist, ist bei Unterdruck-Verlust in dem gefährdeten Raum der Zugang zu dem Raum zu sperren, bis die Lüftung wieder angestellt worden ist. Bei Druckverlust muss an einem besetzten Ort ein akustischer und optischer Alarm ausgelöst werden, um auf den Druckverlust und das Öffnen der Türen der Gasschleuse hinzuweisen.

5.12.7 Für die Sicherheit erforderliche betriebswichtige Einrichtungen dürfen nicht spannungsfrei gemacht werden und müssen explosionsgeschützt sein. Dieses kann Beleuchtungssysteme, Feuermeldesysteme, Rundspruchanlagen und Generalalarmsysteme umfassen.

## 6 BRENNSTOFFBEHÄLTERSYSTEM

### 6.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist zu gewährleisten, dass die Gaslagerung ausreichend ist, um das Risiko für Personen, für das Schiff und für die Umwelt auf ein Niveau herabzusetzen, das dem eines konventionellen, mit Öl angetriebenen Schiffes gleichwertig ist.

### 6.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1, 3.2.2, 3.2.5 und 3.2.8 bis 3.2.17. Insbesondere gilt das Folgende:

- .1 Das Brennstoffbehältersystem muss baulich so ausgeführt sein, dass ein Leck des Tanks oder seiner Anschlüsse das Schiff, die Personen an Bord oder die Umwelt nicht gefährdet. Zu vermeidende mögliche Gefahren umfassen:
  - .1 Exposition von Schiffs-Werkstoffen gegenüber unterhalb zulässiger Grenzen liegenden Temperaturen;
  - .2 Ausbreiten von entzündbaren Brennstoffen zu Stellen mit Zündquellen;
  - .3 Möglichkeit der Giftigkeit und Risiko von Sauerstoffmangel aufgrund von Brennstoffen und Inertgasen;
  - .4 Einschränkung des Zugangs zu Sammelplätzen, Fluchtwegen und Rettungsmitteln (LSA); und
  - .5 Herabsetzung der Verfügbarkeit von Rettungsmitteln (LSA);

- .2 der Druck und die Temperatur im Brennstofftank müssen innerhalb der Auslegungsgrenzwerte des Behältersystems und der möglichen Beförderungsbedingungen des Brennstoffs gehalten werden;
- .3 die Anordnung der Brennstoffbehälter muss so gestaltet sein, dass Schutzaktionen nach einer Gasleckage nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führen; und
- .4 wenn ortsbewegliche Tanks für die Lagerung von Brennstoff verwendet werden, muss die Konstruktion des Brennstoffbehältersystems den fest eingebauten Tanks gleichwertig sein, wie es in diesem Kapitel beschrieben ist.

### 6.3 Regelungen – Allgemeines

6.3.1 Erdgas im flüssigen Zustand kann mit einem höchstzulässigen Einstelldruck des Sicherheitsventils (MARVS) von bis zu 1,0 MPa gelagert werden.

6.3.2 Der höchstzulässige Betriebsdruck (MAWP) des Gas-Brennstofftanks darf 90 % des höchstzulässigen Einstelldrucks des Sicherheitsventils (MARVS) nicht überschreiten.

6.3.3 Ein unter Deck angeordnetes Brennstoffbehältersystem muss gegenüber angrenzenden Räumen gasdicht sein.

6.3.4 Alle Tankanschlüsse, Fittinge, Flansche und Tankventile müssen in gasdichten Tankanschlussräumen eingeschlossen sein, sofern sich die Tankanschlüsse nicht auf dem freien Deck befinden. Der Raum muss imstande sein, Tank-Leckagen im Fall von Leckagen der Tankanschlüsse sicher aufzunehmen.

6.3.5 Rohranschlüsse zum Brennstofflagertank müssen oberhalb des höchsten Flüssigkeitsstandes im Tank angebaut sein, davon ausgenommen sind Brennstofflagertanks des Typs C. Anschlüsse unterhalb des höchsten Flüssigkeitsstandes können jedoch auch für andere Tanktypen nach besonderer Überprüfung durch die Verwaltung anerkannt werden.

6.3.6 Die Rohrleitung zwischen dem Tank und dem ersten Ventil, die im Fall eines Rohrschadens Flüssigkeit abgibt, muss eine gleichwertige Sicherheit haben wie der Typ C-Tank, dabei darf die dynamische Spannung die in Absatz 6.4.15.3.1.2 vorgegebenen Werte nicht übersteigen.

6.3.7 Der Werkstoff der Schotte des Tankanschlussraums muss eine Entwurfstemperatur haben, die der niedrigsten Temperatur entspricht, der er bei einem wahrscheinlichen größten Leckage-Szenario unterliegen kann. Der Tankanschlussraum muss baulich so ausgeführt sein, dass er dem maximalen Druckaufbau während einer solchen Leckage standhält. Alternativ kann eine Druckentlastungs-Entlüftung zu einer sicheren Stelle (Mast) vorgesehen sein.

6.3.8 Die wahrscheinliche größte Leckage in den Tankanschlussraum ist auf der Basis von baulicher Einzelausführung, Erkennung und Abschalt-Systemen zu bestimmen.

6.3.9 Wenn Rohrleitungen unterhalb des Flüssigkeitsstandes des Tanks angeschlossen sind, müssen sie durch eine zweite Barriere bis zum ersten Ventil geschützt sein.

6.3.10 Wenn Lagertanks für verflüssigten Gasbrennstoff auf dem freien Deck angeordnet sind, muss der Stahl des Schiffes vor möglichen Leckagen von Tankanschlüssen und anderen Leckagestellen durch die Verwendung von Auffangwannen geschützt sein. Der Werkstoff muss eine Entwurfstemperatur haben, die der Temperatur des beförderten Brennstoffs bei Atmosphärendruck entspricht. Der normale Betriebsdruck der Tanks muss für den Schutz der Stahlkonstruktion des Schiffes berücksichtigt werden.

6.3.11 Es müssen Einrichtungen eingebaut sein, mit denen verflüssigtes Gas in den Lagertanks sicher entleert werden kann.

6.3.12 Es muss möglich sein, Brennstofflagertanks mit den Brennstoffleitungssystemen zu entleeren, zu spülen und zu lüften. Anleitungen zur Durchführung dieser Maßnahmen müssen an Bord verfügbar sein. Vor der Belüftung mit trockener Luft ist eine Inertisierung mit einem Inertgas durchzuführen, um in den Tanks und den Brennstoffleitungen eine explosionsfähige Atmosphäre zu vermeiden. Siehe die ausführlichen Regelungen in Abschnitt 6.10.

#### **6.4 Regelungen für das Behältersystem verflüssigten Gasbrennstoffs**

##### **6.4.1 Allgemeines**

6.4.1.1 Die nach Abschnitt 4.2 vorgeschriebene Risikobewertung muss eine Bewertung des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff des Schiffes einschließen und kann zu zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen für eine Eingliederung in den Gesamtentwurf des Schiffes führen.

6.4.1.2 Die vorgesehene Lebensdauer des fest eingebauten Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff darf nicht geringer sein als die vorgesehene Lebensdauer des Schiffes oder 20 Jahre, je nachdem, welcher Wert größer ist.

6.4.1.3 Die vorgesehene Lebensdauer ortsbeweglicher Tanks darf nicht weniger als 20 Jahre betragen.

6.4.1.4 Die Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff müssen in Übereinstimmung mit den Umweltbedingungen des Nordatlantiks und den entsprechenden Langzeit-Seegangdiagramme für weltweite Fahrt gebaut sein. Weniger belastende Umweltbedingungen, die mit der beabsichtigten Verwendung übereinstimmen, können von der Verwaltung für Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff anerkannt werden, die ausschließlich für eingeschränkte Fahrt eingesetzt werden. Höhere Umweltbedingungen können für Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff gefordert werden, die bei schwereren Verhältnissen als den Umweltbedingungen des Nordatlantiks eingesetzt werden<sup>7,8</sup>.

<sup>7</sup> Auf die IACS Empfehlung 034 wird verwiesen.

<sup>8</sup> Die Umweltbedingungen des Nordatlantiks beziehen sich auf die Wellenverhältnisse. Die angenommenen Temperaturen werden für die Bestimmung der geeigneten Werkstoffeigenschaften in Bezug auf die Entwurfstemperaturen verwendet und ist eine andere Angelegenheit, die für die Erfüllung des Absatzes 6.4.1.4 nicht vorgesehen ist.

6.4.1.5 Die Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff müssen mit einem angemessenen Sicherheitsspielraum ausgelegt sein,

- .1 um im unbeschädigten Zustand den erwarteten Umweltverhältnissen zu widerstehen, die während der vorgesehenen Lebensdauer des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff und den auf sie zutreffenden Belastungsverhältnissen, die Belastungen für vollkommen homogene und teilweise Beladung und teilweise Füllung bei allen Zwischenfüllständen umfassen müssen, auftreten; und
- .2 um für Unsicherheiten bei Belastungen, baulicher Formgebung, Materialermüdung, Korrosion, thermischen Belastungen, Werkstoffveränderungen, Alterung und Fertigungstoleranzen geeignet zu sein.

6.4.1.6 Die bauliche Festigkeit des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff muss gegen Schadensarten einschließlich, aber nicht begrenzt auf plastische Verformung, Beulung und Materialermüdung bemessen sein. Die speziellen Entwurfsanforderungen, die für die Konstruktion jedes Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff in Betracht zu ziehen sind, sind in Abschnitt 6.4.15 vorgegeben. Es gibt drei Hauptkategorien von Entwurfsanforderungen:

- .1 Konstruktions-Grenzanforderungen – die Konstruktion des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff und seine baulichen Komponenten müssen Belastungen widerstehen, die während der Bauausführung, der Prüfung und der vorgesehenen Verwendung im Betrieb ohne Verlust der baulichen Unversehrtheit auftreten können. Die Konstruktion muss angemessene Kombinationen der folgenden Belastungen berücksichtigen:
  - .1 Innerer Druck,
  - .2 äußerer Druck,
  - .3 dynamische Belastungen infolge Schiffsbewegung bei allen Beladungsverhältnissen,
  - .4 thermische Belastungen,
  - .5 Belastungen durch Hin- und Herschwappen,
  - .6 Belastungen infolge Schiffsdurchbiegungen,
  - .7 Tankgewicht und Gewicht des verflüssigten Gasbrennstoffs mit entsprechenden Auflagerreaktionen,
  - .8 Gewicht der Isolierung,
  - .9 Belastungen im Bereich von Türmen und anderen Anbauten, und
  - .10 Prüfbelastungen.
- .2 Konstruktions-Ermüdungsanforderungen – die Konstruktion des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff und seine baulichen Komponenten dürfen unter einer kumulierten zyklischen Belastung nicht versagen.
- .3 Unfallbedingte Entwurfsanforderungen – das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff muss jede der folgenden Unfall-Entwurfsanforderungen (unfallbedingte oder ungewöhnliche Vorfälle), die in diesem Code behandelt werden, erfüllen:
  - .1 Kollision – das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff muss den Kollisionsbelastungen nach

Absatz 6.4.9.5.1 ohne Verformung der Lager und Abstützungen oder der Tankkonstruktion im Bereich der Lager und Abstützungen widerstehen, welche den Tank und seine Stützkonstruktion voraussichtlich gefährden.

- .2 Brand – das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff muss ohne Bersten dem nach Absatz 6.7.3.1 vorgegebenen Innendruckanstieg unter den darin vorgesehenen Brandszenarien standhalten.
- .3 Geflutete Abteilung, die einen Auftrieb auf den Tank bewirkt – die Aufschwimmsicherungen müssen der aufwärts gerichteten Kraft entsprechend Absatz 6.4.9.5.2 standhalten, und es darf keine gefährdende plastische Verformung am Schiffskörper auftreten. Eine plastische Verformung darf in dem Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff unter der Voraussetzung auftreten, dass sie die sichere Evakuierung des Schiffes nicht gefährdet.

6.4.1.7 Es müssen Maßnahmen Anwendung finden, mit denen sichergestellt wird, dass die vorgeschriebenen Materialdicken die Vorschriften der baulichen Festigkeit erfüllen und während der gesamten Lebensdauer beibehalten werden. Die Maßnahmen können die Werkstoffauswahl, Beschichtungen, Korrosionszuschläge, Kathodenschutz und Inertisierung umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt.

6.4.1.8 Für das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff muss ein Inspektions/Besichtigungsplan aufgestellt und von der Verwaltung zugelassen werden. Der Inspektions/Besichtigungsplan muss die Aspekte aufzeigen, die während der Besichtigungen über die gesamte Lebensdauer des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff untersucht und/oder bestätigt werden müssen, und insbesondere jede notwendige Besichtigung im Betrieb, Instandhaltung bzw. Wartung und Überprüfung, die angenommen wurde, als die Entwurfsparameter des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff ausgewählt wurden. Der Inspektions/Besichtigungsplan kann bestimmte kritische Stellen, wie aus den Absätzen 6.4.12.2.8 oder 6.4.12.2.9 ersichtlich, enthalten.

6.4.1.9 Die Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff müssen so ausgelegt, hergestellt und ausgerüstet sein, dass angemessene Zugangsmöglichkeiten zu den Bereichen vorhanden sind, die eine Inspektion entsprechend dem Inspektions/Besichtigungsplan erfordern. Die Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff einschließlich aller zugehörigen Innenausrüstungen müssen so gestaltet und gebaut sein, dass während des Betriebes, der Inspektion und der Instandhaltung bzw. Wartung die Sicherheit gewährleistet ist.

**6.4.2 Sicherheitsprinzipien der Behälter für verflüssigten Gasbrennstoff**

6.4.2.1 Das Behältersystem muss mit einer vollständigen zweiten flüssigkeitsdichten Barriere versehen sein, die alle möglichen Leckagen durch die erste Barriere sicher auffangen und in Verbindung mit dem thermischen Isolierungssystem das Absinken der Temperatur der Schiffsverbände auf ein unsicheres Niveau verhindern kann.

6.4.2.2 Die Größe und Gestaltung oder Anordnung der zweiten Barriere kann jedoch reduziert oder weggelassen werden, wenn ein gleichwertiges Sicherheitsniveau in Verbindung mit den Anforderungen der Absätze 6.4.2.3 bis 6.4.2.5, wie jeweils anwendbar, nachgewiesen werden kann.

6.4.2.3 Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff, bei denen die Wahrscheinlichkeit eines baulichen Versagens, sich in einen kritischen Zustand zu entwickeln, als äußerst gering ermittelt worden ist, wo aber die Möglichkeit einer Leckage durch die erste Barriere nicht ausgeschlossen werden kann, müssen mit einer teilweisen zweiten Barriere und einem Schutzsystem für kleine Leckagen, das die Leckagen sicher handhaben und entsorgen kann, ausgerüstet sein (ein kritischer Zustand bedeutet, dass sich der Riss in einen instabilen Zustand entwickelt).

Die Vorkehrungen müssen das Folgende erfüllen:

- .1 Die Entwicklung von Schäden, die zuverlässig entdeckt werden können, bevor sie einen kritischen Zustand erreichen (z. B. durch Gasaufspüren oder Inspektion), muss eine ausreichend lange Entwicklungszeit zur Aufnahme von Abhilfemaßnahmen haben, und
- .2 die Entwicklung von Schäden, die nicht sicher entdeckt werden können, bevor sie einen kritischen Zustand erreichen, muss eine vorausberechnete Entwicklungszeit haben, die weitaus länger ist, als die voraussichtliche Lebensdauer des Tanks.

6.4.2.4 Es ist keine zweite Barriere bei Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff erforderlich, z. B. unabhängige Typ C-Tanks, bei denen die Wahrscheinlichkeit eines baulichen Versagens oder einer Leckage durch die erste Barriere äußerst gering ist und vernachlässigt werden kann.

6.4.2.5 Bei unabhängigen Tanks, die eine vollständige oder teilweise zweite Barriere erfordern, müssen Einrichtungen für eine sichere Entsorgung von Leckagen aus dem Tank vorhanden sein.

**6.4.3 Zweite Barrieren in Bezug auf die Tanktypen**

Zweite Barrieren sind in Bezug auf die in Abschnitt 6.4.15 definierten Tanktypen nach folgender Tabelle vorzusehen.

Grundtanktyp	Anforderungen an zweite Barrieren
Membrantank	Vollständige zweite Barriere
Unabhängige Tanks:	
Typ A	Vollständige zweite Barriere
Typ B	Teilweise zweite Barriere
Typ C	Keine zweite Barriere erforderlich

**6.4.4 Bemessung der zweiten Barrieren**

Der Entwurf der zweiten Barriere einschließlich Sprühschild, sofern eingebaut, muss so bemessen sein,

- .1 dass sie in der Lage ist, jede voraussichtliche Leckage verflüssigten Gasbrennstoffs für eine Zeitdauer von 15 Tagen aufzunehmen, wenn nicht unterschiedliche Kriterien für besondere Reisen gelten, wobei das Belastungsspektrum nach Absatz 6.4.12.2.6 zu berücksichtigen ist;

- .2 dass physikalische, mechanische oder betriebliche Vorgänge im Tank für verflüssigten Gasbrennstoff, die ein Versagen der ersten Barriere verursachen könnten, die einwandfreie Funktionsfähigkeit der zweiten Barriere nicht beeinträchtigen, oder umgekehrt;
- .3 dass ein Versagen einer Auflagerung oder Abstützung oder einer Befestigung an den Schiffsverbänden nicht zum Verlust der Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten sowohl der ersten als auch der zweiten Barriere führt;
- .4 dass sie auf ihre Wirksamkeit hin durch eine Sichtkontrolle oder ein anderes geeignetes Mittel, das für die Verwaltung annehmbar ist, regelmäßig überprüft werden kann;
- .5 dass die in Absatz 6.4.4.4 vorgeschriebenen Methoden von der Verwaltung zugelassen sein müssen und mindestens Folgendes umfassen müssen:
  - .1 Einzelheiten über die Größe eines zulässigen Schadens und die Lage innerhalb der zweiten Barriere, bevor seine flüssigkeitsdichte Wirksamkeit beeinträchtigt wird;
  - .2 Genauigkeit und Bereich der Werte der vorgeschlagenen Methode zum Aufspüren der in vorstehendem Unterabsatz .1 genannten Schäden;
  - .3 zu verwendende Maßstabsfaktoren zur Bestimmung der Zulässigkeitskriterien, wenn ein Großversuch nicht durchgeführt wird; und
  - .4 Auswirkungen thermischer und mechanischer zyklischer Beanspruchungen auf die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Prüfung;
- .6 dass die zweite Barriere ihre Funktionsanforderungen auch bei einem statischen Krängungswinkel von 30° erfüllt.

#### **6.4.5 Schutzsystem für kleine Leckagen von teilweise zweiten Barrieren und erster Barriere**

6.4.5.1 Nach Absatz 6.4.2.3 zulässige teilweise zweite Barrieren sind mit einem Schutzsystem für kleine Leckagen zu verwenden und müssen alle Regelungen in Absatz 6.4.4 erfüllen.

Das Schutzsystem für kleine Leckagen muss Einrichtungen umfassen, mit denen eine Leckage in der ersten Barriere entdeckt wird, Vorkehrungen wie zum Beispiel ein Sprühschild haben, um damit jeden verflüssigten Gasbrennstoff in die teilweise zweite Barriere abzuleiten, und Einrichtungen zur Beseitigung der Flüssigkeit haben, was durch natürliche Verdampfung erfolgen kann.

6.4.5.2 Das Aufnahmevermögen der teilweisen zweiten Barriere ist auf der Grundlage der Leckage des verflüssigten Gasbrennstoffs entsprechend dem Ausmaß des Schadens infolge des in Absatz 6.4.12.2.6 angegebenen Belastungsspektrums nach der ersten Entdeckung einer anfänglichen Leckage zu bestimmen. Flüssigkeitsverdampfung, Leckrate, Volumenstrom der Pumpen und andere maßgebliche Faktoren können gebührende Beachtung finden.

6.4.5.3 Die vorgeschriebene Flüssigkeits-Lecksuche kann durch Flüssigkeitssensoren oder durch einen wirksamen Einsatz von Druck-, Temperatur- oder Gasspürsystemen oder einer Kombination dieser Systeme erfolgen.

6.4.5.4 Bei unabhängigen Tanks, bei denen die Geometrie keine offensichtlichen Stellen für das Ansammeln einer Leckage aufweist, muss die teilweise zweite Barriere ihre funktionalen Anforderungen auch bei einem nominellen statischen Trimmwinkel erfüllen.

#### **6.4.6 Auflager und Abstützungsvorrichtungen**

6.4.6.1 Die Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff müssen durch den Schiffskörper derart abgestützt sein, dass eine physische Bewegung des Tanks unter den statischen und dynamischen Belastungen entsprechend den Absätzen 6.4.9.2 bis 6.4.9.5, soweit zutreffend, verhindert wird, während Schrumpfung und Ausdehnung des Tanks infolge Temperaturschwankungen und Durchbiegungen des Schiffskörpers ermöglicht werden, ohne dass der Tank und der Schiffskörper in unzulässiger Weise beansprucht werden.

6.4.6.2 Für unabhängige Tanks müssen Aufschwimmicherungen vorhanden sein, und diese müssen in der Lage sein, den Belastungen entsprechend Absatz 6.4.9.5.2 ohne plastische Verformung, welche die Schiffsverbände voraussichtlich gefährden kann, zu widerstehen.

6.4.6.3 Auflager und Abstützungsvorrichtungen müssen den Belastungen entsprechend den Absätzen 6.4.9.3.3.8 und 6.4.9.5 widerstehen, aber diese Belastungen brauchen nicht miteinander oder mit wellenbedingten Belastungen kombiniert zu werden.

#### **6.4.7 Zugehörige Konstruktionen und Ausrüstung**

6.4.7.1 Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff müssen für die Belastungen ausgelegt sein, die durch die zugehörige Konstruktion und Ausrüstung ausgeübt werden. Dieses umfasst Pumpenmodule, Dome für verflüssigten Gasbrennstoff, Pumpen für verflüssigten Gasbrennstoff und Rohrleitungen, Restlenzpumpen und Rohrleitungen, Stickstoff-Rohrleitungen, Zugangsluken, Leitern, Rohrdurchführungen, Flüssigkeitsstand-Anzeiger, unabhängige Flüssigkeitsstand-Alarmanzeiger, Sprühdüsen und Instrumentierungssysteme (wie zum Beispiel Druckanzeiger, Temperaturanzeiger, und Dehnungsmesser).

#### **6.4.8 Thermische Isolierung**

6.4.8.1 Es ist je nach Notwendigkeit eine thermische Isolierung einzubauen, um den Schiffskörper vor Temperaturen zu schützen, die unter den zulässigen Temperaturen liegen (siehe Absatz 6.4.13.1.1), und um den Wärmestrom in den Tank auf Größen zu begrenzen, die durch das Druck- und Temperaturregelungssystem, das nach Abschnitt 6.9 Anwendung findet, aufrechterhalten werden können.

#### **6.4.9 Entwurfsbelastungen**

##### **6.4.9.1 Allgemeines**

6.4.9.1.1 Dieser Teil definiert die Entwurfsbelastungen, die hinsichtlich der Regelungen in den Abschnitten 6.4.10 bis 6.4.12 zu berücksichtigen sind. Dieses umfasst Belastungskategorien (ständig, funktional, umgebungsbedingt und unfallbedingt) und die Beschreibung der Belastungen.

6.4.9.1.2 Der Umfang, bis zu dem diese Belastungen zu berücksichtigen sind, hängt vom Typ des Tanks ab und wird in den folgenden Absätzen ausführlicher beschrieben.

6.4.9.1.3 Tanks, zusammen mit ihren Auflagern, Abstützungen und anderen Befestigungen, müssen unter Berücksichtigung der entsprechenden Kombinationen der nachstehend beschriebenen Belastungen ausgelegt sein.

## 6.4.9.2 Ständige Belastungen

### 6.4.9.2.1 Schwerkraftbelastungen

Das Gewicht des Tanks und der thermischen Isolierung sowie durch Module und andere Anbauten verursachte Belastungen sind zu berücksichtigen.

### 6.4.9.2.2 Ständige externe Belastungen

Schwerkraftbelastungen von Schiffsverbänden und Ausrüstung, die von außen auf den Tank einwirken, müssen berücksichtigt werden.

### 6.4.9.3 Funktionale Belastungen

6.4.9.3.1 Belastungen durch die betriebsbedingte Verwendung des Tanksystems sind als funktionale Belastungen einzustufen.

6.4.9.3.2 Alle funktionalen Belastungen, die für die Sicherstellung der Unversehrtheit des Tanksystems während aller Entwurfsanforderungen wesentlich sind, müssen berücksichtigt werden.

6.4.9.3.3 Es müssen mindestens die Auswirkungen der folgenden Kriterien, soweit anwendbar, berücksichtigt werden, wenn funktionale Belastungen ermittelt werden:

- (a) Innerer Druck,
- (b) äußerer Druck,
- (c) thermisch bedingte Belastungen,
- (d) Schwingungen,
- (e) sich gegenseitig beeinflussende Belastungen,
- (f) Belastungen im Zusammenhang mit Konstruktion und Einbau,
- (g) Prüfbelastungen,
- (h) Belastungen durch statische Krängung,
- (i) Gewicht des verflüssigten Gasbrennstoffs,
- (j) Hin- und Herschwappen,
- (k) Auswirkung von Windaufprall, Wellenschlägen und grüner See auf Tanks, die auf dem freien Deck installiert sind.

### 6.4.9.3.3.1 Innerer Druck

- .1 In allen Fällen einschließlich Absatz 6.4.9.3.3.1.2 darf der Druck  $P_0$  nicht geringer sein als der Einstelldruck MARVS.
- .2 Bei Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff, bei denen es keine Temperaturüberwachung gibt und bei denen der Druck des verflüssigten Gasbrennstoffs nur durch die Umgebungstemperatur bestimmt wird, darf der Druck  $P_0$  nicht geringer sein als der Manometer-Dampfdruck des verflüssigten Gasbrennstoffs bei einer Temperatur von 45 °C, mit Ausnahme des Folgenden:
  - .1 Geringere Werte der Umgebungstemperatur können von der Verwaltung für Schiffe mit eingeschränktem Fahrtbereich anerkannt werden. Umgekehrt können auch höhere Werte der Umgebungstemperatur gefordert werden.

.2 Bei Schiffen auf Reisen von begrenzter Dauer kann der Druck  $P_0$  auf der Grundlage des tatsächlichen Druckanstiegs während der Reise berechnet werden, und eine eventuell vorhandene thermische Isolierung des Tanks kann berücksichtigt werden.

.3 Vorbehaltlich besonderer Begutachtung durch die Verwaltung sowie den in Abschnitt 6.4.15 angegebenen Einschränkungen für die verschiedenen Tanktypen kann ein Dampfdruck  $P_h$ , der höher als  $P_0$  ist, für standortspezifische Bedingungen anerkannt werden (Hafen oder andere Liegeplätze), wo die dynamischen Belastungen verringert sind.

.4 Der für die Bestimmung des inneren Drucks verwendete Druck ist:

.1  $(P_{gd})_{max}$  ist der zugehörige Flüssigkeitsdruck, der unter Verwendung der größten Entwurfsbeschleunigungen bestimmt wird,

.2  $(P_{gd \text{ Ort}})_{max}$  ist der zugehörige Flüssigkeitsdruck, der unter Verwendung ortsspezifischer Beschleunigungen bestimmt wird,

.3  $P_{eq}$  soll der größere Wert von  $P_{eq1}$  und  $P_{eq2}$  sein, der wie folgt berechnet wird:

$$P_{eq1} = P_0 + (P_{gd})_{max} \quad (\text{MPa})$$

$$P_{eq2} = P_h + (P_{gd \text{ Ort}})_{max} \quad (\text{MPa})$$

.5 Die inneren Flüssigkeitsdrücke sind die Drücke, die sich aus der im Schwerpunkt des verflüssigten Gasbrennstoffs angreifenden Beschleunigung infolge von Schiffsbewegungen nach Absatz 6.4.9.4.1.1 ergeben. Der Wert des inneren Flüssigkeitsdrucks  $P_{gd}$  als Folge der gemeinsamen Wirkung der Erdbeschleunigung und der dynamischen Beschleunigungen ist wie folgt zu berechnen:

$$P_{gd} = a_\beta Z_\beta (\rho / (1,02 \times 10^5)) \quad (\text{MPa})$$

Hierbei sind:

$a_\beta$  = Dimensionslose Beschleunigung (d. h. bezogen auf die Erdbeschleunigung), die sich aus Schwerkraft und dynamischen Belastungen in einer beliebigen Richtung  $\beta$  ergibt (siehe Abbildung 6.4.1). Für große Tanks soll ein Beschleunigungsellipsoid unter Berücksichtigung von Beschleunigungen in Querrichtung, senkrechter Richtung und Längsrichtung benutzt werden.

$Z_\beta$  = Die größte Höhe (m) der Flüssigkeitssäule über dem Punkt, für den der Druck zu berechnen ist, gemessen von der Tankwand in  $\beta$ -Richtung (siehe Abbildung 6.4.2).

Tankdome, die als Teil des angenommenen Gesamttankvolumens angesehen werden, sind bei der Bestimmung von  $Z_\beta$  zu berücksichtigen, außer wenn das Gesamtvolumen der Tankdome  $V_d$  den folgenden Wert nicht überschreitet:

$$V_d = V_t \left( \frac{100 - FL}{FL} \right)$$

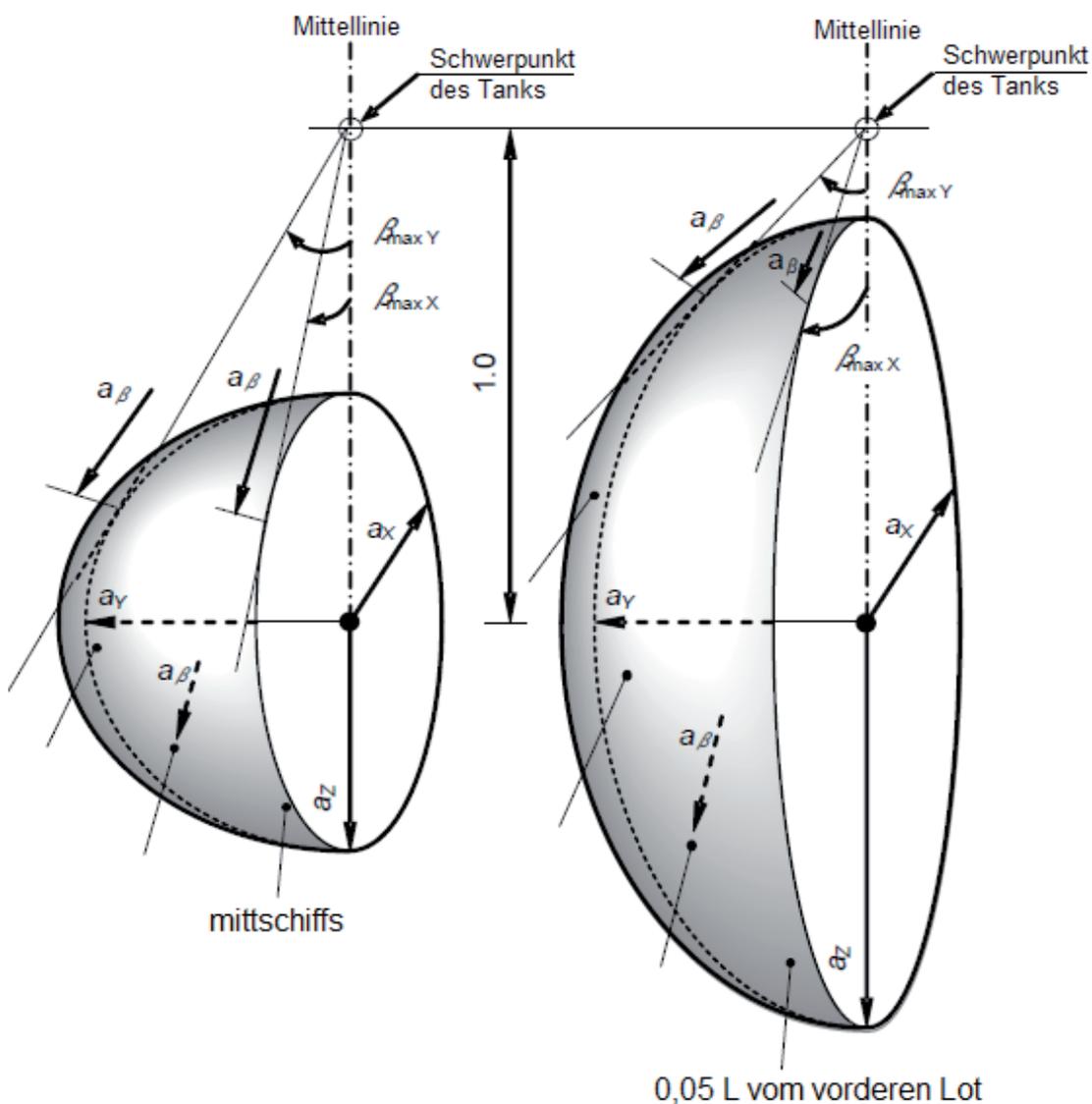
mit:

$V_i$  = Tankvolumen ohne Dome, und

$FL$  = Füllgrenze nach Abschnitt 6.8.

$\rho$  = Größte Dichte des verflüssigten Gasbrennstoffs ( $\text{kg/m}^3$ ) bei Entwurfstemperatur.

Es ist die Richtung zu berücksichtigen, die den Höchstwert  $(P_{gd})_{\max}$  oder  $(P_{gd})_{\text{Ort}}_{\max}$  ergibt. Wenn Beschleunigungskomponenten in drei Richtungen berücksichtigt werden müssen, ist ein Ellipsoid anstelle der Ellipse in Abbildung 6.4.1 zu verwenden. Die oben angegebene Formel gilt nur für volle Tanks.



- $a_\beta$  = resultierende Beschleunigung (statisch und dynamisch) in beliebiger Richtung  $\beta$
- $a_x$  = Komponente der Längsbeschleunigung
- $a_y$  = Komponente der Querbeschleunigung
- $a_z$  = Komponente der Beschleunigung in senkrechter Richtung  
(auf Absatz 6.4.9.4.1.1 wird verwiesen)

**Abbildung 6.4.1 – Beschleunigungsellipsoid**

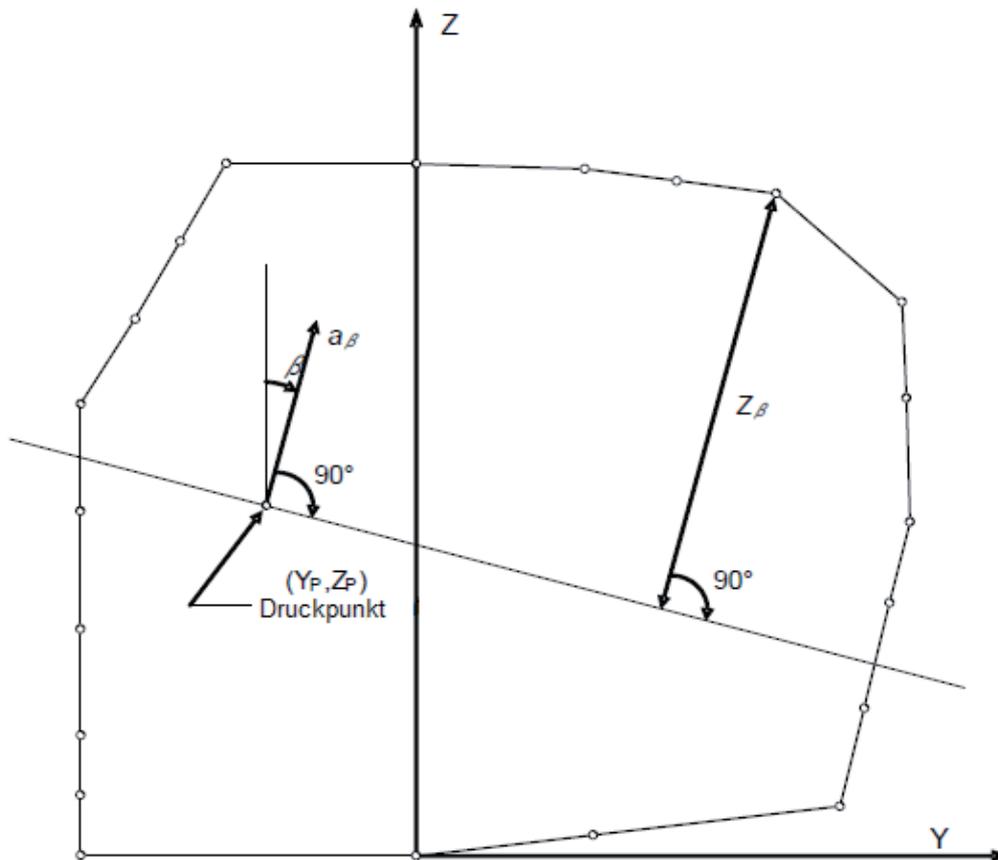


Abbildung 6.4.2 – Bestimmung der inneren Druckhöhen

#### 6.4.9.3.3.2 Äußerer Druck

Die äußeren Entwurfsdruckbelastungen beruhen auf der Differenz zwischen dem kleinsten Innendruck und dem größten Außendruck, dem ein beliebiges Tankteil gleichzeitig ausgesetzt sein kann.

#### 6.4.9.3.3.3 Thermisch bedingte Belastungen

6.4.9.3.3.3.1 Vorübergehende thermisch bedingte Belastungen, die während der Abkühlphasen auftreten, sind für solche Tanks zu berücksichtigen, die für Temperaturen von verflüssigtem Gasbrennstoff unter  $-55^{\circ}\text{C}$  bestimmt sind.

6.4.9.3.3.3.2 Stationäre thermisch bedingte Belastungen sind für solche Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff zu berücksichtigen, bei denen die Lageranordnungen oder die Befestigungen und die Betriebstemperatur zu erheblichen thermischen Spannungen führen können (siehe Abschnitt 6.9.2).

#### 6.4.9.3.3.4 Schwingungen

Die möglicherweise schädigenden Auswirkungen von Schwingungen auf das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.3.3.5 Sich gegenseitig beeinflussende Belastungen

Die statische Komponente von Belastungen, die sich aus der Wechselwirkung zwischen dem Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff und den Schiffsverbänden sowie den Belastungen von zugehörigen Konstruktionen und der Ausrüstung ergeben, sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.3.3.6 Belastungen im Zusammenhang mit Konstruktion und Einbau

Belastungen oder Zustände, die sich im Zusammenhang mit der Konstruktion und dem Einbau ergeben, z. B. Heben, sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.3.3.7 Prüfbelastungen

Die Belastungen infolge der in Abschnitt 16.5 angegebenen Prüfungen des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.3.3.8 Belastungen durch statische Krängung

Belastungen infolge des ungünstigsten statischen Krängungswinkels im Bereich von  $0^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$  sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.3.3.9 Sonstige Belastungen

Jegliche sonstigen, nicht ausdrücklich angesprochenen Belastungen, die eine Auswirkung auf das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff haben könnten, sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.4 Umweltbedingte Belastungen

6.4.9.4.1 Umweltbedingte Belastungen werden als diejenigen Belastungen auf das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff definiert, die durch das umgebende Umfeld verursacht werden, und die nicht anderweitig als ständige, funktionale oder unfallbedingte Belastung eingestuft sind.

#### 6.4.9.4.1.1 Belastungen infolge von Schiffsbewegungen

Bei der Bestimmung der dynamischen Belastungen ist die Langzeitverteilung der Schiffsbewegungen im unregelmäßigen Seegang zu berücksichtigen, denen das Schiff während seiner Betriebszeit ausgesetzt wird. Eine Verminderung der dynamischen Belastungen infolge notwendiger Geschwindigkeitsreduzierung und infolge veränderter Kurswinkel kann berücksichtigt werden. Die Schiffsbewegungen umfassen Längs-, Quer-, Tauch-, Roll-, Stampf-, und Gierbewegungen. Die auf die Tanks wirkenden Beschleunigungen werden als in deren Schwerpunkten angreifend angenommen und enthalten folgende Komponenten:

- .1 Vertikalbeschleunigung: Bewegungsbeschleunigungen infolge Tauch-, Stampf- und möglicherweise Rollbewegungen (senkrecht zur Schiffsbasis wirkend);
- .2 Querbewegung: Bewegungsbeschleunigungen infolge Quer-, Gier- und Rollbewegungen sowie die Schwerkraftkomponente der Rollbewegung; und
- .3 Längsbewegung: Bewegungsbeschleunigungen infolge Längs- und Stampfbewegungen sowie die Schwerkraftkomponente der Stampfbewegung.

Verfahren zur Vorausberechnung der Beschleunigungen infolge Schiffsbewegungen müssen von der Verwaltung<sup>9</sup> vorgegeben und zugelassen werden.

Schiffe mit eingeschränktem Fahrtbereich können besonders behandelt werden.

#### 6.4.9.4.1.2 Dynamische, sich gegenseitig beeinflussende Belastungen

Es sind diejenigen dynamischen Komponenten von Belastungen zu berücksichtigen, die sich aus der Wechselwirkung zwischen dem Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff und den Schiffsvorrichtungen einschließlich der Belastungen durch zugehörige Konstruktionen und Ausrüstung ergeben.

#### 6.4.9.4.1.3 Belastungen durch Hin- und Herschwappen

Die Belastungen auf ein Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff und die innenliegenden Komponenten durch Hin- und Herschwappen sind auf der Grundlage des gesamten Bereichs der vorgesehenen Füllhöhen zu berechnen.

#### 6.4.9.4.1.4 Belastungen durch Schnee und Eis

Belastungen durch Schnee und Eis sind zu berücksichtigen, sofern zutreffend.

#### 6.4.9.4.1.5 Belastungen bedingt durch Fahrt im Eis

Belastungen, bedingt durch Fahrt im Eis, sind für Schiffe zu berücksichtigen, die für einen solchen Fahrtbereich vorgesehen sind.

#### 6.4.9.4.1.6 Belastungen durch grüne See

Belastungen aufgrund von Wasser an Deck sind zu berücksichtigen.

#### 6.4.9.4.1.7 Belastungen durch Wind

Durch Wind erzeugte Belastungen sind zu berücksichtigen, sofern von Bedeutung.

#### 6.4.9.5 Unfallbedingte Belastungen

Unfallbedingte Belastungen werden als Belastungen definiert, die Auswirkungen auf ein Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff und seine Auflager und Abstützungs-Vorrichtungen unter ungewöhnlichen und ungeplanten Bedingungen haben.

#### 6.4.9.5.1 Kollisionsbelastungen

Die Kollisionsbelastung ist bezogen auf das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff im voll beladenen Zustand und mit einer Trägheitskraft, die „a“ in Vorwärtsrichtung und „a/2“ in Richtung nach achtern in der nachfolgenden Tabelle entspricht, zu bestimmen, wobei „g“ die Schwerkraftbeschleunigung ist.

Länge des Schiffes (L)	Entwurfs-Beschleunigung (a)
L > 100 m	0,5 g
60 < L ≤ 100 m	$\left(2 - \frac{3(L - 60)}{80}\right) g$
L ≤ 60 m	2 g

Besonders zu beachten sind Schiffe mit einer Froude-Zahl (Fn) > 0,4.

#### 6.4.9.5.2 Belastungen auf das Schiff bedingt durch Flutung

Bei unabhängigen Tanks sind die Belastungen, die durch den Auftrieb eines voll untergetauchten leeren Tanks verursacht werden, hinsichtlich der Dimensionierung der Anti-Aufschwimm-Sicherungseinbauteile und der unterstützenden Schiffsvorrichtungen sowohl an der angrenzenden Wandung als auch der Tankkonstruktion zu berücksichtigen.

### 6.4.10 Bauliche Unversehrtheit

#### 6.4.10.1 Allgemeines

6.4.10.1.1 Die Baukonstruktion muss sicherstellen, dass die Tanks eine ausreichende Belastbarkeit haben, um alle maßgeblichen Belastungen mit einer ausreichenden Sicherheitsspanne auszuhalten. Dabei ist die Möglichkeit der plastischen Verformung, der Beulung, der Materialermüdung und des Verlustes der Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten und Gasen zu berücksichtigen.

6.4.10.1.2 Die bauliche Unversehrtheit der Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff kann durch Übereinstimmung mit Abschnitt 6.4.15, wie für den jeweiligen Typ des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff zutreffend, nachgewiesen werden.

6.4.10.1.3 Für andere Typen von Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff, die von neuartiger Bauform sind oder die von den nach Abschnitt 6.4.15 erfassten Typen erheblich abweichen, muss die bauliche Unversehrtheit durch Übereinstimmung mit Abschnitt 6.4.16 nachgewiesen werden.

<sup>9</sup> Auf Absatz 4.28.2.1 des IGC-Codes mit Näherungsformeln für die Beschleunigungskomponenten wird verwiesen.

**6.4.11 Konstruktionsberechnungen**

6.4.11.1 *Berechnungsverfahren*

6.4.11.1.1 Die Entwurfsberechnungen müssen auf den anerkannten Grundsätzen der Statik, Dynamik und Festigkeit von Werkstoffen basieren.

6.4.11.1.2 Vereinfachte Verfahren oder vereinfachte Untersuchungen können zur Berechnung der Belastungsauswirkungen unter der Voraussetzung verwendet werden, dass sie konservativ sind. Modellversuche können in Kombination mit oder anstelle von theoretischen Berechnungen verwendet werden. In Fällen, in denen theoretische Verfahren unzureichend sind, können Modell- oder Großversuche gefordert werden.

6.4.11.1.3 Wenn die Reaktionen auf dynamische Belastungen ermittelt werden, ist die dynamische Auswirkung zu berücksichtigen, wenn sie die bauliche Unversehrtheit beeinträchtigen kann.

6.4.11.2 *Belastungsszenarien*

6.4.11.2.1 Für jeden Aufstellungsort oder Teil des zu betrachtenden Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff und für jede zu untersuchende mögliche Schadensart sind alle maßgeblichen Kombinationen von Belastungen, die gleichzeitig wirken können, zu berücksichtigen.

6.4.11.2.2 Die ungünstigsten Szenarien für alle relevanten Phasen während der Bauausführung, der Handhabung, der Prüfung und der Zustände im Betrieb sind zu berücksichtigen.

6.4.11.2.3 Wenn die statischen und dynamischen Spannungen getrennt berechnet werden, und sofern nicht andere Berechnungsmethoden begründet sind, sind die Gesamtspannungen wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_x = \sigma_{x.st} \pm \sqrt{\sum(\sigma_{x.dyn})^2}$$

$$\sigma_y = \sigma_{y.st} \pm \sqrt{\sum(\sigma_{y.dyn})^2}$$

$$\sigma_z = \sigma_{z.st} \pm \sqrt{\sum(\sigma_{z.dyn})^2}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xy.st} \pm \sqrt{\sum(\tau_{xy.dyn})^2}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz.st} \pm \sqrt{\sum(\tau_{xz.dyn})^2}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{yz.st} \pm \sqrt{\sum(\tau_{yz.dyn})^2}$$

Hierbei sind:

$\sigma_{x.st}$ ,  $\sigma_{y.st}$ ,  $\sigma_{z.st}$ ,  $\tau_{xy.st}$ ,  $\tau_{xz.st}$  und  $\tau_{yz.st}$  statische Spannungen, und

$\sigma_{x.dyn}$ ,  $\sigma_{y.dyn}$ ,  $\sigma_{z.dyn}$ ,  $\tau_{xy.dyn}$ ,  $\tau_{xz.dyn}$  und  $\tau_{yz.dyn}$  dynamische Spannungen;

jede ist getrennt nach den Beschleunigungskomponenten und den Belastungskomponenten des Schiffskörpers infolge Biegung und Torsion zu bestimmen.

**6.4.12 Entwurfsanforderungen**

Alle maßgeblichen Schadensarten sind in der Konstruktion für alle maßgeblichen Belastungsszenarien und Entwurfsanforderungen zu berücksichtigen. Die Entwurfsanforderungen sind im vorstehenden Teil dieses Kapitels vorgegeben, und die Belastungsszenarien sind durch Abschnitt 6.4.11.2 erfasst.

6.4.12.1 *Konstruktions-Grenzanforderung*

6.4.12.1.1 Die statische Belastbarkeit kann durch Versuch oder durch Berechnung unter Berücksichtigung der elastischen und plastischen Werkstoffeigenschaften durch vereinfachte lineare elastische Berechnung oder durch die Vorschriften des Codes ermittelt werden:

- .1 Plastische Verformung und Beulung sind zu berücksichtigen.
- .2 Die Berechnung muss auf den charakteristischen Belastungswerten wie folgt beruhen:

Ständige Belastungen:  
Erwartungs-Werte,

Funktionale Belastungen:  
Soll-Werte,

Umweltbedingte Belastungen:

Bei Wellenbelastungen – die wahrscheinlichste größte Belastung, die während  $10^8$  Wellenbegegnungen auftritt.

- .3 Für den Zweck der Beurteilung der Bruchfestigkeit gelten die folgenden Werkstoffkennwerte:

- .1  $R_e$  = Mindest-Nennstreckgrenze bei Raumtemperatur (N/mm<sup>2</sup>). Falls das Spannungs-Dehnungsdiagramm keine ausgeprägte Streckgrenze zeigt, ist die 0,2%-Dehngrenze maßgebend.

- .2  $R_m$  = Mindest-Nennbruchfestigkeit bei Raumtemperatur (N/mm<sup>2</sup>).

Bei Schweißverbindungen, bei denen unangepasste Schweißnähte, d. h. bei denen der Schweißwerkstoff eine geringere Bruchfestigkeit als der Grundwerkstoff hat, unvermeidbar sind wie beispielsweise bei einigen Aluminiumlegierungen, sind die entsprechenden Werte von  $R_e$  und  $R_m$  der Schweißnähte nach einer etwaigen angewandten Wärmebehandlung einzusetzen. In einem solchen Fall darf die Bruchfestigkeit der transversalen Schweißnaht nicht geringer sein als die tatsächliche Streckgrenze des Grundwerkstoffes. Wenn dieses nicht erreicht werden kann, dürfen aus solchen Werkstoffen hergestellte Schweißkonstruktionen nicht in Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff eingebaut sein.

Die oben genannten Eigenschaften müssen den angegebenen Mindest-Werkstoffeigenschaften einschließlich denen der Schweißzusatzstoffe im Verarbeitungszustand entsprechen. Vorbehaltlich einer besonderen Prüfung durch die Verwaltung können die bei niedriger Temperatur erhöhte Streckgrenze und Bruchfestigkeit berücksichtigt werden.

- .4 Die Vergleichsspannung  $\sigma_c$  (nach von Mises, Huber) ist wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_c = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}}{2}$$

Hierbei sind:

$\sigma_x$  = Gesamtnormalspannung in x-Richtung,

$\sigma_y$  = Gesamtnormalspannung in y-Richtung,

$\sigma_z$  = Gesamtnormalspannung in z-Richtung,

$\tau_{xy}$  = Gesamtschubspannung in der x-y-Ebene,

$\tau_{xz}$  = Gesamtschubspannung in der x-z-Ebene,

$\tau_{yz}$  = Gesamtschubspannung in der y-z-Ebene.

Die vorstehenden Werte sind entsprechend Absatz 6.4.11.2.3 zu berechnen.

- .5 Zulässige Spannungen für andere Werkstoffe als die in Abschnitt 7.4 angegebenen müssen in jedem Einzelfall der Genehmigung durch die Verwaltung unterliegen.
- .6 Spannungen können durch Untersuchungen der Ermüdungsfestigkeit, des Rissfortschritts und der Beulmerkmale weiter begrenzt sein.

#### 6.4.12.2 Konstruktions-Ermüdungsanforderung

- .1 Die Konstruktions-Ermüdungsanforderung ist die Entwurfsanforderung hinsichtlich akkumulierter zyklischer Belastung.
- .2 Wenn eine Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit erforderlich ist, muss die Akkumulationswirkung der Ermüdungsbelastung folgender Formel entsprechen:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_{\text{Loading}}}{N_{\text{Loading}}} \leq C_w$$

Hierbei sind:

$n_i$  = die Spannungswechselzahl bei jeder Spannungsstufe während der Lebensdauer des Tanks;

$N_i$  = die Bruchlastwechselzahl bei der entsprechenden Spannung im Einstufenversuch S-N (Wöhlerkurve);

$n_{\text{Loading}}$  = die Be- und Entladungswechselzahl während der Lebensdauer des Tanks, sie darf nicht geringer sein als 1000. Die Be- und Entladungswechsel schließen einen vollständigen Druck- und Temperaturwechsel ein;

$N_{\text{Loading}}$  = die Bruchlastwechselzahl für die während des Be- und Entladens auftretenden Ermüdungsbelastungen; und

$C_w$  = maximal zulässiges kumulatives Ermüdungsschaden-Verhältnis.

Der Ermüdungsschaden muss auf der Auslegungslbensdauer des Tanks beruhen, aber nicht weniger als 108 Wellenbegegnungen.

- .3 Soweit erforderlich, muss das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff einer Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit unter Berücksichtigung aller Ermüdungsbelastungen und ihrer entsprechenden Kombinationen für die zu erwartende Lebensdauer des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff unterliegen. Die unterschiedlichen Füllzustände müssen in Betracht gezogen werden.

- .4 Die bei der Untersuchung benutzten Entwurfs-Wöhler-S-N-Kurven müssen für die Werkstoffe und Schweißverbindungen, die Konstruktionseinzelheiten, die Fertigungsverfahren und den anwendbaren voraussichtlichen Spannungszustand anwendbar sein.

Die S-N-Kurven müssen auf einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,6% basieren entsprechend den Mittelwert-Minus-Zwei-Standard-Abweichungs-Kurven (mean-minus-two-standard-deviation curves) der relevanten Versuchsdaten bis zum endgültigen Versagen. Die Verwendung von S-N-Kurven, die auf einem unterschiedlichen Weg abgeleitet worden sind, erfordert Anpassungen an die in den Absätzen 6.4.12.2.7 bis 6.4.12.2.9 angegebenen zulässigen  $C_w$ -Werte.

- .5 Die Berechnung muss auf den charakteristischen Belastungswerten wie folgt beruhen:

Ständige Belastungen:

Erwartungs-Werte,

Funktionale Belastungen:

Soll-Werte oder festgelegter Verlauf,

Umweltbedingte Belastungen:

Erwarteter Belastungsverlauf, aber nicht weniger als  $10^8$  Lastwechsel.

Falls zur Bewertung der Materialermüdung vereinfachte dynamische Belastungsspektren benutzt werden, unterliegen diese einer besonderen Prüfung durch die Verwaltung.

- .6 Wird die Größe der zweiten Barriere verringert, wie in Absatz 6.4.2.3 vorgesehen, so müssen bruchmechanische Untersuchungen des Ermüdungsrissfortschritts durchgeführt werden, um folgendes zu ermitteln:

- .1 Den Verlauf des Rissfortschritts in der Konstruktion, soweit die Absätze 6.4.12.2.7 bis 6.4.12.2.9 dieses erfordern, falls anwendbar;
- .2 die Rissfortschrittsgeschwindigkeit;
- .3 die erforderliche Zeit für einen Riss, sich fortzupflanzen, um eine Leckage des Tanks zu verursachen;
- .4 die Größe und Form von Durchrissen; und
- .5 die erforderliche Zeit für feststellbare Risse, um einen kritischen Zustand nach Durchdringung der Werkstoffdicke zu erreichen.

Im Allgemeinen beruht die Bruchmechanik auf den Daten des Rissfortschritts, angenommen als ein mittlerer Wert zuzüglich zweier Standard-Abweichungen der Prüfdaten. Die Verfahren für die Ermüdungsrissfortschritts-Untersuchungen und die Bruchmechanik müssen auf anerkannten Normen basieren.

Bei der Untersuchung des Rissfortschritts ist der größte anfängliche Riss, der durch das angewendete Sichtprüf-

verfahren nicht feststellbar ist, unter Berücksichtigung der Kriterien der zulässigen zerstörungsfreien Prüfung und Sichtprüfung, wie jeweils anwendbar, anzunehmen.

Bei einer Rissfortschrittsuntersuchung nach Absatz 6.4.12.2.7 kann die vereinfachte Belastungsverteilung und Ablauffolge für eine Zeitdauer von 15 Tagen benutzt werden. Solche Verteilungen können in Anlehnung an Abbildung 6.4.3 ermittelt werden. Eine Belastungsverteilung und Ablauffolge für eine längere Zeitdauer, wie beispielsweise in den Absätzen 6.4.12.2.8 und 6.4.12.2.9, muss von der Verwaltung zugelassen sein.

Die Vorkehrungen müssen den Absätzen 6.4.12.2.7 bis 6.4.12.2.9, wie jeweils anwendbar, entsprechen.

- .7 Bei Rissen, die durch Lecksuche-Einrichtungen zuverlässig entdeckt werden können:

$C_w$  muss kleiner als oder gleich 0,5 sein.

Die vorausberechnete verbleibende Rissentwicklungszeit vom Zeitpunkt der Leck-Entdeckung bis zum Erreichen eines kritischen Zustands darf nicht weniger als 15 Tage betragen, sofern nicht abweichende Regelungen für Schiffe, die für besondere Reisen eingesetzt sind, gelten.

- .8 Bei Rissen, die durch Leckage nicht entdeckt werden können, die aber zum Zeitpunkt einer Besichtigung im Betrieb zuverlässig entdeckt werden können:

$C_w$  muss kleiner als oder gleich 0,5 sein.

Die vorausberechnete verbleibende Rissentwicklungszeit vom größten nicht durch Besichtigungsverfahren im Betrieb feststellbaren Riss bis zum Erreichen eines kritischen Zustands darf nicht weniger als dreimal den Besichtigungs-Zeitabstand betragen.

- .9 An bestimmten Stellen des Tanks, an denen eine erfolgreiche Entdeckung einer Schaden- oder Rissentstehung nicht sichergestellt werden kann, müssen mindestens die folgenden, strengeren Ermüdungs-Zulässigkeitskriterien angewendet werden:

$C_w$  muss kleiner als oder gleich 0,1 sein.

Die vorausberechnete Rissentwicklungszeit vom angenommen ersten Schaden bis zum Erreichen eines kritischen Zustands darf nicht weniger als dreimal die Lebensdauer des Tanks betragen.

6.4.12.3 *Unfall-Konstruktionsanforderung*

6.4.12.3.1 Die Unfall-Konstruktionsanforderung ist eine Konstruktionsanforderung für unfallbedingte Belastungen mit einer äußerst niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeit.

6.4.12.3.2 Die Berechnung muss auf den charakteristischen Werten wie folgt beruhen:

Ständige Belastungen:

Erwartungs-Werte,

Funktionale Belastungen:

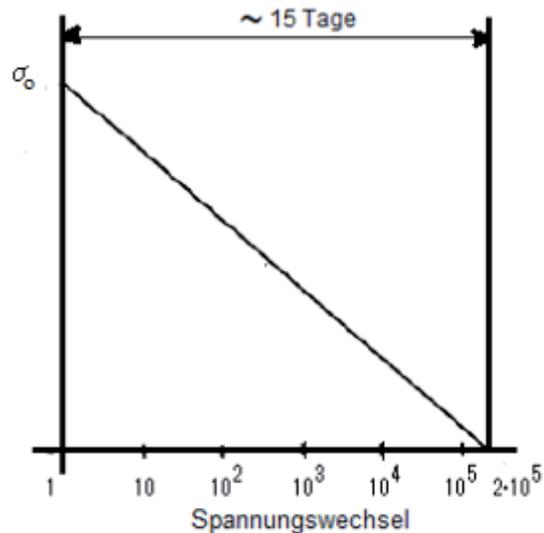
Soll-Werte,

Umweltbedingte Belastungen:

Soll-Werte,

Unfallbedingte Belastungen:

Soll-Werte oder Erwartungs-Werte.



$\sigma_0$  = wahrscheinlichste größte Spannung innerhalb der Lebensdauer des Schiffes.

Der Spannungswechsel-Maßstab ist logarithmisch; der Wert  $2 \cdot 10^5$  ist als Beispiel für die Abschätzung angegeben.

Abbildung 6.4.3 – Vereinfachte Belastungsverteilung

Die in Absatz 6.4.9.3.3.8 und Abschnitt 6.4.9.5 genannten Belastungen brauchen nicht miteinander oder mit seegangsbedingten Belastungen kombiniert zu werden.

6.4.13 *Werkstoffe und Konstruktion*

6.4.13.1 *Werkstoffe*

6.4.13.1.1 Werkstoffe für Schiffskörper und -verbände

6.4.13.1.1.1 Um den Gütegrad der Beplattung und Profile, die bei den Schiffsverbänden verwendet werden, zu ermitteln, muss für alle Tanktypen eine Temperaturberechnung durchgeführt werden. Bei dieser Berechnung sind folgende Annahmen zu treffen:

- .1 Von der ersten Barriere aller Tanks ist anzunehmen, dass sie die Temperatur des verflüssigten Gasbrennstoffs hat.
- .2 Wenn eine vollständige oder teilweise zweite Barriere erforderlich ist, ist zusätzlich zu vorstehendem Absatz .1 anzunehmen, dass sie jeweils nur für einen einzigen Tank die Temperatur des verflüssigten Gasbrennstoffs bei Atmosphärendruck hat.
- .3 Für weltweite Fahrt sind die Umgebungstemperaturen mit 5 °C für Luft und 0 °C für Seewasser anzunehmen. Höhere Werte können für Schiffe mit eingeschränktem Fahrtbereich anerkannt werden, und umgekehrt können von der Verwaltung niedrigere Werte für Schiffe auferlegt werden, die in Fahrtgebiete fahren, wo während der Wintermonate niedrigere Temperaturen zu erwarten sind.
- .4 Es sind ruhige Luft und ruhige Seewasserverhältnisse anzunehmen, d. h. keine Korrektur für eine erzwungene Konvektion;

- .5 Es ist eine Verschlechterung der Eigenschaften der thermischen Isolierung über die Lebensdauer des Schiffes bedingt durch Faktoren wie beispielsweise thermische und mechanische Alterung, Verdichtung, Schiffsbewegungen und Tankschwingungen entsprechend den Absätzen 6.4.13.3.6 und 6.4.13.3.7 anzunehmen.
- .6 Die Kühlwirkung des aufsteigenden austretenden Dampfes aus der Leckage verflüssigten Gasbrennstoffs ist zu berücksichtigen, sofern zutreffend.
- .7 Das Beheizen von Schiffsverbänden kann in Übereinstimmung mit Absatz 6.4.13.1.1.3 angerechnet werden, vorausgesetzt, die Heizeinrichtungen entsprechen Absatz 6.4.13.1.1.4.
- .8 Mit Ausnahme der in Absatz 6.4.13.1.1.3 beschriebenen Einrichtungen dürfen Heizeinrichtungen nicht gewertet werden.
- .9 Für Bauteile, welche die inneren und äußeren Hüllen miteinander verbinden, kann für die Auswahl des Stahlgütegrades die mittlere Temperatur zugrunde gelegt werden.

6.4.13.1.1.2 Die Werkstoffe aller Schiffsverbände, für welche die berechnete Temperatur unter Entwurfsbedingungen infolge des Einflusses der Temperatur des verflüssigten Gasbrennstoffs unter 0 °C liegt, müssen der Tabelle 7.5 entsprechen. Dieses umfasst die Schiffsverbände, welche die Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff unterstützen, die Innenbodenbeplattung, Beplattung der Längs- und Querschotte, Bodenwrangen, Rahmen, Stringer und alle zugehörigen Versteifungen.

6.4.13.1.1.3 Es dürfen Einrichtungen zum Beheizen der Schiffsverbände verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Temperatur des Werkstoffes nicht unter den niedrigsten zulässigen Wert für den in Tabelle 7.5 angegebenen Werkstoff-Gütegrad absinkt. In den nach Absatz 6.4.13.1.1.1 erforderlichen Berechnungen kann eine solche Heizeinrichtung entsprechend den folgenden Grundsätzen angerechnet werden:

- .1 Bei allen Querschiffsverbänden;
- .2 bei den in Absatz 6.4.13.1.1.2 genannten Längsschiffsverbänden, bei denen kältere Umgebungstemperaturen festgelegt sind, vorausgesetzt, dass der Werkstoff für die Umgebungs-Temperaturbedingungen von +5 °C für Luft und 0 °C für Seewasser ohne Berücksichtigung in den Berechnungen für Beheizung geeignet bleibt; und
- .3 als Alternative zu Absatz 6.4.13.1.1.3.2 kann die Beheizung eines Längsschottes zwischen Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff berücksichtigt werden, vorausgesetzt, der Werkstoff bleibt geeignet für die niedrigste Entwurfstemperatur von -30 °C oder eine Temperatur, die 30 °C niedriger als die nach Absatz 6.4.13.1.1.1 ermittelte Temperatur unter Berücksichtigung der Beheizung ist, je nachdem, welcher Wert niedriger ist. In diesem Fall muss die Längsfestigkeit des Schiffes Regel II-1/3-1 SOLAS entsprechen, unabhängig davon, ob dieses Schott bzw. diese Schotte als wirksam oder nicht wirksam angesehen werden.

6.4.13.1.1.4 Die in Absatz 6.4.13.1.1.3 genannte Heizeinrichtung muss dem Folgenden entsprechen:

- .1 Die Heizeinrichtung muss so ausgelegt sein, dass im Fall eines Versagens irgendeines Teiles der Einrichtung eine Ersatzheizung von wenigstens 100 v.H. des theoretischen Wärmebedarfs aufrechterhalten werden kann;
- .2 die Heizeinrichtung ist als wesentliche Hilfseinrichtung anzusehen. Alle elektrischen Komponenten von wenigstens einem der nach Absatz 6.4.13.1.1.3.1 vorgesehenen Systeme müssen von der Notstromquelle versorgt werden; und
- .3 die Auslegung und Konstruktion der Heizeinrichtung ist in die Zulassung des Behältersystems durch die Verwaltung einzubeziehen.

#### 6.4.13.2 Werkstoffe für erste und zweite Barrieren

6.4.13.2.1 Metallische Werkstoffe, die für die Konstruktion von ersten und zweiten Barrieren verwendet werden, welche nicht den Schiffskörper bilden, müssen für die Entwurfsbelastungen geeignet sein, denen sie ausgesetzt sein können, und Tabelle 7.1, 7.2 oder 7.3 entsprechen.

6.4.13.2.2 Werkstoffe, die entweder nichtmetallisch oder metallisch sind, aber nicht durch die Tabellen 7.1, 7.2 und 7.3 erfasst werden, die bei ersten und zweiten Barrieren verwendet werden, können unter Berücksichtigung der Entwurfsbelastungen, denen sie ausgesetzt sein können, ihrer Eigenschaften und ihrer vorgesehenen Verwendung von der Verwaltung zugelassen werden.

6.4.13.2.3 Wenn nichtmetallische Werkstoffe<sup>10</sup> einschließlich Verbundwerkstoffe für erste oder zweite Barrieren verwendet werden oder in diese eingearbeitet sind, müssen sie auf folgende Eigenschaften, soweit zutreffend, geprüft sein, um sicherzustellen, dass sie für den beabsichtigten Einsatz geeignet sind:

- .1 Verträglichkeit mit den verflüssigten Gasbrennstoffen,
- .2 Alterung,
- .3 mechanische Eigenschaften,
- .4 thermische Ausdehnung und Schrumpfung,
- .5 Abrieb,
- .6 Kohäsion,
- .7 Widerstand gegen Schwingungen,
- .8 Widerstand gegen Brand und Brandausbreitung, und
- .9 Widerstand gegen Ermüdungsbruch und Rissfortschritt.

6.4.13.2.4 Die oben genannten Eigenschaften müssen gegebenenfalls für den Bereich zwischen höchster erwarteter Betriebstemperatur und 5 °C unterhalb der niedrigsten Entwurfstemperatur, jedoch nicht unter -196 °C, geprüft werden.

6.4.13.2.5 Wenn nichtmetallische Werkstoffe einschließlich Verbundwerkstoffe für die ersten und zweiten Barrieren verwendet werden, müssen die Verbindungsverfahren ebenfalls, wie vorstehend beschrieben, geprüft werden.

<sup>10</sup> Auf Abschnitt 6.4.16 wird verwiesen.

6.4.13.2.6 Die Verwendung von Werkstoffen in den ersten und zweiten Barrieren, die nicht widerstandsfähig gegen Brand und Brandausbreitung sind, kann unter der Voraussetzung erwogen werden, dass sie durch ein geeignetes System, wie beispielsweise eine ständige Inertgas-Umgebung, geschützt sind oder mit einer feuerhemmenden Barriere versehen sind.

6.4.13.3 *In Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff verwendete thermische Isolierung und andere Werkstoffe*

6.4.13.3.1 Tragende thermische Isolierung und andere Werkstoffe, die in Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff verwendet werden, müssen für die Entwurfsbelastungen geeignet sein.

6.4.13.3.2 Thermische Isolierung und andere Werkstoffe, die in Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff verwendet werden, müssen, soweit zutreffend, die folgenden Eigenschaften haben, um sicherzustellen, dass sie für den beabsichtigten Einsatz geeignet sind:

- .1 Verträglichkeit mit den verflüssigten Gasbrennstoffen,
- .2 Löslichkeit im verflüssigten Gasbrennstoff,
- .3 Aufnahmefähigkeit von verflüssigtem Gasbrennstoff,
- .4 Schrumpfung,
- .5 Alterung,
- .6 Anteil der geschlossenen Zellen,
- .7 Dichte,
- .8 mechanische Eigenschaften insofern, als sie dem verflüssigten Gasbrennstoff und anderen Belastungseinflüssen, thermischer Ausdehnung und Schrumpfung ausgesetzt sind,
- .9 Abrieb,
- .10 Kohäsion,
- .11 thermische Leitfähigkeit,
- .12 Widerstand gegen Schwingungen,
- .13 Widerstand gegen Brand und Brandausbreitung, und
- .14 Widerstand gegen Ermüdungsbruch und Rissfortschritt.

6.4.13.3.3 Die oben genannten Eigenschaften müssen gegebenenfalls für den Bereich zwischen höchster erwarteter Betriebstemperatur und 5 °C unterhalb der niedrigsten Entwurfstemperatur, jedoch nicht unter -196 °C, geprüft werden.

6.4.13.3.4 Sofern die Anordnung oder die Umgebungsbedingungen es erfordern, müssen die thermischen Isolierwerkstoffe angemessene Widerstandseigenschaften gegen Brand und Brandausbreitung haben und müssen gegen das Eindringen von Wasserdampf und mechanische Beschädigung ausreichend geschützt sein. Wenn sich die thermische Isolierung auf oder oberhalb des freiliegenden Decks und im Bereich von Tankabdeckungs-Durchbrüchen befindet, muss sie in Übereinstimmung mit anerkannten Normen angemessene Brand-Widerstandseigenschaften haben, oder sie muss mit einem Werkstoff abgedeckt sein, der schwerentflammbar ist und eine wirksame zugelassene Dampfsperre bildet.

6.4.13.3.5 Thermische Isolierungen, die anerkannte Normen für den Brandwiderstand nicht erfüllen, können in nicht ständig inertisiert gehaltenen Laderäumen für Brennstofftanks unter der Voraussetzung verwendet werden, dass ihre Oberflächen mit einem Werkstoff abgedeckt sind, der schwerentflammbar ist und der eine wirksame zugelassene Dampfsperre bildet.

6.4.13.3.6 Die Prüfung der thermischen Isolierung auf thermische Leitfähigkeit ist mit angemessen gealterten Probekörpern durchzuführen.

6.4.13.3.7 Wenn eine thermische Isolierung in Pulver- oder Granulatform verwendet wird, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um eine Verdichtung im Betrieb zu verringern und die erforderliche thermische Leitfähigkeit aufrecht zu erhalten sowie einen übermäßigen Druckanstieg auf das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff zu verhindern.

### 6.4.14 **Bauausführung**

6.4.14.1 *Ausführung der Schweißverbindungen*

6.4.14.1.1 Alle Schweißverbindungen der Wandungen unabhängiger Tanks müssen in gleicher Ebene liegende, voll durchgeschweißte Stumpfnähte sein. Nur für Verbindungen zwischen Dom und Mantel können voll durchgeschweißte T-Verbindungen verwendet werden, in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Versuche, die bei der Zulassung des Schweißverfahrens durchgeführt wurden. Mit Ausnahme kleiner Durchdringungen an Domen müssen Schweißnähte an Stützen ebenfalls voll durchgeschweißt sein.

6.4.14.1.2 Einzelheiten von Schweißverbindungen an unabhängigen Typ C-Tanks und an flüssigkeitsdichten ersten Barrieren von unabhängigen Typ B-Tanks, die hauptsächlich aus gekrümmten Wandungen bestehen, sind wie folgt auszuführen:

- .1 Alle Längs- und Rundnähte müssen voll durchgeschweißte Stumpfnähte in Form von X- oder V-Nähten sein. Voll durchgeschweißte Stumpfnähte müssen entweder durch doppelseitige Schweißung oder durch die Verwendung von Unterleglingen hergestellt werden. Etwas benutzte Unterleglinge sind mit Ausnahme sehr kleiner Prozedruckbehälter wieder zu entfernen<sup>11</sup>. Andere Kantenvorbereitungen können in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Versuche, die bei der Zulassung des Schweißverfahrens durchgeführt wurden, genehmigt werden. Für Verbindungen der Tankwand mit einem Längsschott von Typ C-Bilobe-Tanks können voll durchgeschweißte T-Schweißnähte anerkannt werden.
- .2 Die Vorbereitung der schrägen Kanten der Verbindungen zwischen dem Tank-Körper und den Domen und zwischen den Domen und den entsprechenden Stützen ist entsprechend einer Norm durchzuführen, die von der

---

<sup>11</sup> Bei isolierten Unterdruck-Tanks ohne Mannloch sollen die Längs- und Rundnähte die vorgenannten Anforderungen bis auf die Schweißnaht-Ausführung der äußeren Wand, die eine einseitige Schweißung mit Unterleglingen sein darf, einhalten.

Verwaltung anerkannt ist. Alle Schweißverbindungen an Stützen, Domen oder anderen Durchdringungen des Behälters und alle Schweißverbindungen zwischen Flanschen und Behälter oder Stützen müssen voll durchgeschweißte Schweißnähte haben.

#### 6.4.14.2 Ausführung von Klebe- und anderen Verbindungsverfahren

6.4.14.2.1 Bei der Ausführung der zu verklebenden Fuge (oder zu verbinden mittels eines anderen Verfahrens außer Schweißen) müssen die Festigkeitseigenschaften des Verbindungsverfahrens berücksichtigt werden.

### 6.4.15 Tanktypen

#### 6.4.15.1 Unabhängige Typ A-Tanks

##### 6.4.15.1.1 Entwurfsgrundlage

6.4.15.1.1.1 Unabhängige Typ A-Tanks sind Tanks, die hauptsächlich unter Verwendung klassischer schiffbaulicher Berechnungsverfahren in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Verwaltung bemessen sind. Bestehen solche Tanks hauptsächlich aus ebenen Wandungen, so muss der Entwurfsdampfdruck  $P_0$  kleiner als 0,07 MPa sein.

6.4.15.1.1.2 Es ist eine vollständige zweite Barriere, wie nach Abschnitt 6.4.3 festgelegt, erforderlich. Die zweite Barriere ist entsprechend Abschnitt 6.4.4 zu bemessen.

##### 6.4.15.1.2 Bemessung

6.4.15.1.2.1 Eine Bemessung ist unter Berücksichtigung des in Absatz 6.4.9.3.3.1 angegebenen inneren Druckes und den Belastungen durch die Wechselwirkungen mit dem Auflager-, Abstütz- und Verkeilungssystem sowie einem angemessenen Teil des Schiffskörpers vorzunehmen.

6.4.15.1.2.2 Für Bauteile, wie z. B. die Konstruktion im Bereich der Auflager, für welche die Regelungen in diesem Codes keine besonderen Angaben enthalten, sind die Spannungen durch direkte Berechnung unter Berücksichtigung der in den Abschnitten 6.4.9.2 bis 6.4.9.5 angegebenen Belastungen, soweit anwendbar, und der Schiffsdurchbiegung im Bereich der Auflager zu berechnen.

6.4.15.1.2.3 Die Tanks mit Auflagern sind für die in Abschnitt 6.4.9.5 angegebenen Unfallbelastungen zu bemessen. Diese Belastungen brauchen nicht miteinander oder mit umweltbedingten Belastungen kombiniert zu werden.

##### 6.4.15.1.3 Konstruktions-Grenzanforderungen

6.4.15.1.3.1 Für Tanks, die vorwiegend mit ebenen Wandungen gebaut sind, dürfen die Nenn-Membranspannungen in den primären und sekundären Bauteilen (Steifen, Rahmen, Stringer, Träger, etc.), wenn sie mittels herkömmlicher Berechnungsverfahren bestimmt werden, bei Nickelstählen, Kohlenstoff-Manganstählen, austenitischen Stählen und Aluminiumlegierungen den jeweils niedrigeren der folgenden Werte nicht überschreiten:

$R_m/2,66$  oder  $R_e/1,33$ , wobei  $R_m$  und  $R_e$  in Absatz 6.4.12.1.1.3 festgelegt sind.

Wenn jedoch für die primären Bauteile ausführliche Berechnungen durchgeführt werden, können für die in Absatz 6.4.12.1.1.4 festgelegte Vergleichsspannung  $\sigma_c$  höhere Werte als die oben angegebenen von der Verwaltung ge-

nehmigt werden. Bei den Berechnungen sind sowohl die Einflüsse von Biegung, Schub, axialen und torsionsbedingten Verformungen als auch die zwischen Schiffskörper und Tank für flüssigen Gasbrennstoff infolge Durchbiegung des Schiffskörpers und des Bodens des Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff auftretenden Wechselwirkungskräfte zu berücksichtigen.

6.4.15.1.3.2 Die Abmessungen der Tankwandungen müssen mindestens den Anforderungen der Verwaltung für Tieftanks unter Berücksichtigung des in Absatz 6.4.9.3.3.1 angegebenen inneren Druckes und eines in Absatz 6.4.1.7 vorgeschriebenen Korrosionszuschlags entsprechen.

6.4.15.1.3.3 Die Struktur des Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff muss auf mögliche Beulung überprüft sein.

##### 6.4.15.1.4 Unfall-Konstruktionsanforderungen

6.4.15.1.4.1 Die Tanks und die Lager der Tanks müssen für die unfallbedingten Belastungen und Entwurfsanforderungen nach Abschnitt 6.4.9.5 und Absatz 6.4.1.6.3, soweit maßgeblich, ausgelegt sein.

6.4.15.1.4.2 Wenn den unfallbedingten Belastungen nach Abschnitt 6.4.9.5 ausgesetzt, muss die Spannung die Zulässigkeitskriterien nach Abschnitt 6.4.15.1.3, die gegebenenfalls unter Beachtung ihrer niedrigeren Eintrittswahrscheinlichkeit geändert worden sind, erfüllen.

#### 6.4.15.2 Unabhängige Typ B-Tanks

##### 6.4.15.2.1 Entwurfsgrundlage

6.4.15.2.1.1 Unabhängige Typ B-Tanks sind Tanks, für deren Bemessung Modellversuche und verfeinerte Berechnungsverfahren und Analysemethoden für die Ermittlung der Spannungshöhen, der Ermüdungslebensdauer und des Rissfortschrittsverhaltens benutzt werden. Haben solche Tanks vorwiegend ebene Wandungen (prismatische Tanks), muss der Entwurfsdampfdruck  $P_0$  kleiner als 0,07 MPa sein.

6.4.15.2.1.2 Es ist eine teilweise zweite Barriere mit einem Schutzsystem entsprechend Abschnitt 6.4.3 erforderlich. Das Schutzsystem für kleine Leckagen muss entsprechend Abschnitt 6.4.5 ausgeführt sein.

##### 6.4.15.2.2 Bemessung

6.4.15.2.2.1 Die Einflüsse aller statischen und dynamischen Lastanteile sind zur Beurteilung der Eignung der Konstruktion zu erfassen hinsichtlich:

- .1 plastischer Verformung,
- .2 Beulung,
- .3 Ermüdungsbruchs, und
- .4 Rissfortschritts.

Es sind Untersuchungen nach der Methode der finiten Elemente oder ähnlichen Verfahren und bruchmechanische oder gleichwertige Untersuchungen durchzuführen.

6.4.15.2.2.2 Zur Bestimmung der Spannungen einschließlich der Wechselwirkung mit dem Schiffskörper ist eine dreidimensionale Analyse durchzuführen. Das Modell für diese Untersuchung muss den Tank für verflüssigten Gasbrennstoff mit seinem Auflager-, Abstütz- und Verkeilungssystem sowie einen angemessenen Teil des Schiffskörpers umfassen.

6.4.15.2.2.3 Es ist eine vollständige Untersuchung der einzelnen Schiffsbeschleunigungen und -bewegungen im unregelmäßigen Seegang und des Verhaltens des Schiffes und seiner Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff unter diesen Kräften und Bewegungen durchzuführen, wenn nicht solche Angaben von ähnlichen Schiffen vorliegen.

6.4.15.2.3 Konstruktions-Grenzanforderungen

6.4.15.2.3.1 Plastische Verformung

Für unabhängige Typ B-Tanks, die vorwiegend aus Rotationskörpern bestehen, dürfen die Spannungen die folgenden zulässigen Werte nicht überschreiten:

$$\begin{aligned} \sigma_m &\leq f \\ \sigma_L &\leq 1,5f \\ \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_L + \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_m + \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3,0F \\ \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3,0F \end{aligned}$$

Hierbei sind:

- $\sigma_m$  = Vergleichswert der primären allgemeinen Membranspannung,
- $\sigma_L$  = Vergleichswert der primären örtlichen Membranspannung,
- $\sigma_b$  = Vergleichswert der primären Biegespannung,
- $\sigma_g$  = Vergleichswert der Sekundärspannung,
- $f$  = der kleinere der Werte ( $R_m/A$ ) oder ( $R_e/B$ ),
- $F$  = der kleinere der Werte ( $R_m/C$ ) oder ( $R_e/D$ ),

wobei  $R_m$  und  $R_e$  in Absatz 6.4.12.1.1.3 festgelegt sind. Bezüglich der Spannungen  $\sigma_m$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_b$  und  $\sigma_g$  siehe auch die Festlegung der Spannungskategorien in Absatz 6.4.15.2.3.6.

Die Werte A und B müssen wenigstens die folgenden Mindestwerte haben:

	Nickelstähle und Kohlenstoff-Manganstähle	Austenitische Stähle	Aluminiumlegierungen
A	3	3,5	4
B	2	1,6	1,5
C	3	3	3
D	1,5	1,5	1,5

Die vorstehenden Zahlenwerte können entsprechend den Entwurfsanforderungen, die mit Zustimmung der Verwaltung betrachtet werden, geändert werden. Für unabhängige Typ B-Tanks, die vorwiegend aus ebenen Wandungen bestehen, dürfen die zulässigen Membran-Vergleichsspannungen, die bei der Untersuchung nach der Methode der finiten Elemente verwendet werden, die folgenden Werte nicht überschreiten:

- .1 bei Nickelstählen und Kohlenstoff-Manganstählen, den kleineren Wert von  $R_m/2,0$  oder  $R_e/1,2$ ;

- .2 bei austenitischen Stählen, den kleineren Wert von  $R_m/2,5$  oder  $R_e/1,2$ ; und
- .3 bei Aluminiumlegierungen, den kleineren Wert von  $R_m/2,5$  oder  $R_e/1,2$ .

Die vorstehenden Zahlenwerte können unter Berücksichtigung der Örtlichkeit der Spannung, der Spannungs-Untersuchungsverfahren und der Entwurfsanforderungen, die mit Zustimmung der Verwaltung betrachtet werden, geändert werden.

Die Dicke der Beplattung und die Abmessungen der Steifen dürfen nicht geringer sein als die für unabhängige Typ A-Tanks vorgeschriebenen.

6.4.15.2.3.2 Beulung

Die Untersuchungen der Beulfestigkeit von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff, die äußerem Druck und anderen Druckspannungen erzeugenden Belastungen ausgesetzt sind, sind entsprechend anerkannten Normen durchzuführen. Das Verfahren muss die Unterschiede zwischen theoretischer und wirklicher Beulspannung infolge Kantenversatzes, mangelnder Geradheit oder Flachheit, Unrundheit und Abweichung von der genauen kreisrunden Form über eine bestimmte Bogen- oder Sehnenlänge angemessen berücksichtigen, soweit anwendbar.

6.4.15.2.3.3 Konstruktions-Ermüdungsanforderung

6.4.15.2.3.3.1 Die Ermüdungs- und Rissfortschritts-Bewertung ist in Übereinstimmung mit den Vorschriften des Abschnitts 6.4.12.2 durchzuführen. Die Zulässigkeitskriterien müssen in Abhängigkeit von der Feststellbarkeit des Schadens die Absätze 6.4.12.2.7, 6.4.12.2.8 oder 6.4.12.2.9 erfüllen.

6.4.15.2.3.3.2 Die Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit muss die Fertigungstoleranzen berücksichtigen.

6.4.15.2.3.3.3 Sofern es die Verwaltung für notwendig hält, können Modellversuche zur Bestimmung von Spannungskonzentrationsfaktoren und der Ermüdungsfestigkeit von Bauteilen gefordert werden.

6.4.15.2.3.4 Unfall-Konstruktionsanforderung

6.4.15.2.3.4.1 Die Tanks und die Lager der Tanks müssen für die unfallbedingten Belastungen und Entwurfsanforderungen nach Abschnitt 6.4.9.5 und Absatz 6.4.1.6.3, soweit zutreffend, entworfen sein.

6.4.15.2.3.4.2 Wenn den unfallbedingten Belastungen nach Abschnitt 6.4.9.5 ausgesetzt, muss die Spannung die Zulässigkeitskriterien nach Abschnitt 6.4.15.2.3, die gegebenenfalls unter Beachtung ihrer niedrigeren Eintrittswahrscheinlichkeit abgeändert worden sind, erfüllen.

6.4.15.2.3.5 Markierung

Jede Markierung des Druckbehälters ist mittels eines Verfahrens vorzunehmen, das keine unzulässigen örtlichen Spannungsspitzen verursacht.

6.4.15.2.3.6 Spannungskategorien

Für den Zweck der Spannungsberechnung sind die Spannungskategorien in diesem Abschnitt wie folgt festgelegt:

- .1 *Normalspannung* ist die Spannungskomponente senkrecht zur Bezugsebene.

2. *Membranspannung* ist die Normalspannungskomponente, die – gleichmäßig verteilt – dem Mittelwert der Spannung über der Dicke des betrachteten Querschnittes entspricht.
3. *Biegespannung* ist die über der Dicke des betrachteten Querschnittes veränderliche Spannung nach Abzug der Membranspannung.
4. *Schubspannung* ist die Spannungskomponente, die in der Bezugsebene wirkt.
5. *Primärspannung* ist eine Spannung, die durch die aufgebrachte Belastung entsteht und die notwendig ist, um das Gleichgewicht mit den äußeren Kräften und Momenten aufrechtzuerhalten. Die Grundeigenschaft einer Primärspannung ist die, dass sie nicht selbstbegrenzend ist. Primärspannungen, welche die Fließgrenze erheblich überschreiten, führen zum Versagen oder zumindest zu erheblichen Verformungen.
6. *Primäre allgemeine Membranspannung* ist eine primäre Membranspannung, die in dem Bauteil so verteilt ist, dass infolge Fließens keine Umlagerung der Belastung eintritt.
7. *Primäre örtliche Membranspannung* entsteht, wenn eine Membranspannung, die durch Druck oder andersartige mechanische Belastung erzeugt wird und die mit einer primären Wirkung oder einer Spannungs-Umlagerungswirkung verbunden ist, eine erhebliche Umlagerung der Lastübertragung auf andere Teile des Bauelementes bewirkt. Eine solche Spannung wird als primäre örtliche Membranspannung bezeichnet, obwohl sie einige Eigenschaften einer sekundären Spannung hat. Ein Spannungsbereich kann als örtlich bezeichnet werden, wenn Folgendes erfüllt ist:
- $$S_1 \leq 0,5 \sqrt{Rt}$$
- und
- $$S_2 \leq 2,5 \sqrt{Rt}$$
- Hierbei sind:
- $S_1$  = Abstand in meridionaler Richtung innerhalb dessen die Vergleichsspannung  $1,1 f$  überschreitet,
- $S_2$  = Abstand in meridionaler Richtung zu einem anderen Bereich, wo die Grenzen der primären allgemeinen Membranspannung überschritten werden,
- $R$  = mittlerer Radius des Behälters,
- $t$  = Wanddicke des Behälters an der Stelle, an der die primäre allgemeine Membranspannungsgrenze überschritten wird, und
- $f$  = zulässige primäre allgemeine Membranspannung.
8. *Sekundärspannung* ist eine Normalspannung oder Schubspannung, die durch Verformungsbehinderung angrenzender Teile oder durch die eigene Verformungsbehinderung des Bauteils erzeugt wird. Die Grundeigenschaft einer Sekundärspannung ist die, dass sie selbstbegrenzend ist. Örtliches Fließen und geringere Verzerrungen können die Bedingungen erfüllen, die das Auftreten der Spannungen hervorrufen.

### 6.4.15.3 Unabhängige Typ C-Tanks

#### 6.4.15.3.1 Entwurfsgrundlage

6.4.15.3.1.1 Die Entwurfsgrundlage für unabhängige Typ C-Tanks beruht auf den Merkmalen eines Druckbehälters, die abgeändert worden sind, um bruchmechanische Kriterien und Rissfortschritts-Kriterien zu erfassen. Der in Absatz 6.4.15.3.1.2 bestimmte niedrigste Entwurfsdruck ist vorgesehen, um sicherzustellen, dass die dynamische Spannung ausreichend niedrig ist, sodass ein anfänglicher Oberflächen-Fabrikationsfehler sich nicht mehr als die halbe Dicke der Wandung während der Lebensdauer des Tanks ausbreitet.

6.4.15.3.1.2 Der Entwurfsdruck darf nicht geringer sein als:

$$P_o = 0,2 + AC (\rho_r)^{1,5} \quad (\text{MPa})$$

Hierbei sind:

$$A = 0,00185 \left( \frac{\sigma_m}{\Delta \sigma_A} \right)^2$$

mit:

$\sigma_m$  = primäre Entwurfsmembranspannung,  
 $\Delta \sigma_A$  = zulässige dynamische Membranspannung (Doppelamplitude bei einem Wahrscheinlichkeitsniveau von  $Q = 10^{-8}$ ) und gleich  
 – 55 N/mm<sup>2</sup> für ferritisch-perlitische, martensitische und austenitische Stähle,  
 – 25 N/mm<sup>2</sup> für Aluminium-Legierung (5083-0);

$C$  = eine charakteristische Tankabmessung, wobei der größte der folgenden Werte zu nehmen ist:

$$h, 0,75 b \text{ oder } 0,45 l$$

mit:

$h$  = Tankhöhe (Abmessung in senkrechter Schiffsrichtung) (m)

$b$  = Tankbreite (Abmessung in Schiffsquerrichtung) (m)

$l$  = Tanklänge (Abmessung in Schiffs längsrichtung) (m)

$\rho_r$  = relative Dichte der Ladung ( $\rho_r = 1,0$  für Süßwasser) bei Entwurfstemperatur.

#### 6.4.15.3.2 Dicke der Wandung

6.4.15.3.2.1 Bei der Dicke der Wandungen gilt das Folgende:

1. Für Druckbehälter gilt die nach Absatz 6.4.15.3.2.4 berechnete Dicke als Minstdicke nach der Formgebung und ohne jegliche Minustoleranzen;

2. für Druckbehälter darf die Minstdicke von Wandungen und Böden einschließlich Korrosionszuschlag nach der Formgebung folgende Werte nicht unterschreiten:

5 mm für Kohlenstoff-Manganstähle und Nickelstähle,  
 3 mm für austenitische Stähle, oder  
 7 mm für Aluminiumlegierungen; und

.3 Der in den Berechnungen nach Absatz 6.4.15.3.2.4 einzusetzende Schweißnahtfaktor beträgt 0,95, wenn Besichtigungen und zerstörungsfreie Prüfungen nach Absatz 16.3.6.4 durchgeführt werden. Dieser Faktor kann unter Berücksichtigung anderer Gegebenheiten, wie beispielsweise der verwendete Werkstoff, die Verbindungsarten, das Schweißverfahren und die Belastungsart, auf 1,0 erhöht werden. Für Prozessdruckbehälter kann die Verwaltung der Anwendung teilweise zerstörungsfreier Prüfungen zustimmen, die jedoch mindestens den Anforderungen des Absatzes 16.3.6.4 in Abhängigkeit von solchen Faktoren wie der verwendete Werkstoff, die Entwurfstemperatur, NDT-Temperatur (nil-ductility transition temperature) des gelieferten Werkstoffes, sowie die Art der Verbindung und des Schweißverfahrens entsprechen müssen; allerdings darf in diesem Falle der Schweißnahtfaktor nicht größer als 0,85 gewählt werden. Für besondere Werkstoffe sind die oben genannten Faktoren in Abhängigkeit von den festgelegten mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung zu verringern.

6.4.15.3.2.2 Der in Absatz 6.4.9.3.3.1 definierte Entwurfs-Flüssigkeitsdruck ist in den Berechnungen des inneren Drucks zu berücksichtigen.

6.4.15.3.2.3 Der äußere Entwurfsdruck  $P_e$  zur Beurteilung des Beulverhaltens der Druckbehälter darf nicht kleiner sein als der Druck, der sich nach folgender Formel ergibt:

$$P_e = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (\text{MPa})$$

hierbei sind:

$P_1$  = Einstelldruck der Unterdrucksicherheitsventile. Für Behälter, die nicht mit Unterdrucksicherheitsventilen ausgerüstet sind, muss  $P_1$  besonders festgelegt werden, darf jedoch im Allgemeinen nicht kleiner als 0,025 MPa sein.

$P_2$  = Einstelldruck der Sicherheitsventile für vollständig geschlossene Räume, die Druckbehälter oder Teile von Druckbehältern enthalten; anderenfalls ist  $P_2 = 0$ .

$P_3$  = Druckbelastungen in oder auf die Wandungen infolge von Gewicht und Schrumpfung der thermischen Isolierung, Gewicht der Wandungen einschließlich Korrosionszuschlag sowie von verschiedenen anderen äußeren Druckbelastungen, denen der Druckbehälter ausgesetzt sein kann. Diese Belastungen enthalten – ohne darauf beschränkt zu sein – Gewichte von Dömmen, Modulen und Rohrleitungen, Einflüsse der Stoffe bei Teilbelastung, Beschleunigungen und Schiffskörperdurchbiegung. Zusätzlich sind örtliche Einflüsse von äußeren oder inneren Drücken oder von beiden zu berücksichtigen.

$P_4$  = Äußere Wasserdruckbelastung für auf freiliegenden Decks angeordnete Druckbehälter oder deren Teile; anderenfalls ist  $P_4 = 0$ .

6.4.15.3.2.4 Auf den inneren Druck bezogene Wanddicken sind wie folgt zu berechnen:

Die Dicke und Ausführung der druckführenden Teile von Druckbehältern unter Innendruck nach Absatz 6.4.9.3.3.1 einschließlich Flansche sind zu bestimmen. Diese Berechnungen müssen stets auf einer anerkannten Theorie für den Entwurf von Druckbehältern beruhen. Öffnungen in druckführenden Teilen von Druckbehältern sind entsprechend einer anerkannten Norm, die von der Verwaltung anerkannt ist, zu verstärken.

6.4.15.3.2.5 Die Spannungsuntersuchung in Bezug auf statische und dynamische Belastung ist wie folgt auszuführen:

.1 Die Wanddicken von Druckbehältern sind nach den Absätzen 6.4.15.3.2.1 bis 6.4.15.3.2.4 und 6.4.15.3.3 zu bestimmen;

.2 es sind Berechnungen von Belastungen und Spannungen im Bereich der Auflager und der Auflagerbefestigung an der Wandung durchzuführen. Dabei sind die in den Abschnitten 6.4.9.2 bis 6.4.9.5 angegebenen Belastungen, soweit anwendbar, zu benutzen. Die Spannungen im Bereich der Auflager müssen einer anerkannten Norm entsprechen, die von der Verwaltung anerkannt ist. In besonderen Fällen kann die Verwaltung eine Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit fordern; und

.3 falls es von der Verwaltung für erforderlich gehalten wird, sind Sekundärspannungen und thermische Spannungen besonders zu betrachten.

6.4.15.3.3 Konstruktions-Grenzanforderungen

6.4.15.3.3.1 Plastische Verformung

Für unabhängige Typ C-Tanks dürfen die Spannungen die folgenden zulässigen Werte nicht überschreiten:

$$\begin{aligned} \sigma_m &\leq f \\ \sigma_L &\leq 1,5f \\ \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_L + \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_m + \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3,0F \\ \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3,0F \end{aligned}$$

Hierbei sind:

$\sigma_m$  = Vergleichswert der primären allgemeinen Membranspannung,

$\sigma_L$  = Vergleichswert der primären örtlichen Membranspannung,

$\sigma_b$  = Vergleichswert der primären Biegespannung,

$\sigma_g$  = Vergleichswert der Sekundärspannung, und

$f$  = der kleinere der Werte ( $R_m/A$ ) oder ( $R_e/B$ ).

wobei  $R_m$  und  $R_e$  in Absatz 6.4.12.1.1.3 festgelegt sind. Bezüglich der Spannungen  $\sigma_m$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_b$  und  $\sigma_g$  siehe auch die Festlegung der Spannungskategorien in Absatz 6.4.15.2.3.6.

Die Werte A und B müssen die folgenden Mindestwerte haben:

	Nickelstähle und Kohlenstoff-Manganstähle	Austenitische Stähle	Aluminiumlegierungen
A	3	3,5	4
B	1,5	1,5	1,5

6.4.15.3.3.2 Es gelten folgende Beulkriterien:

Die Dicke und Ausführung von Druckbehältern, die äußerem Druck und anderen Druckspannungen erzeugenden Belastungen ausgesetzt sind, müssen auf Berechnungen einer anerkannten Druckbehälter-Beultheorie beruhen; dabei sind die Unterschiede zwischen theoretischer und wirklicher Beulspannung infolge Kantenversatzes, Unrundheit und Abweichung von der genauen kreisrunden Form über eine bestimmte Bogen- oder Sehnenlänge angemessen zu berücksichtigen.

6.4.15.3.4 Konstruktions-Ermüdungsanforderungen

6.4.15.3.4.1 Für unabhängige Typ C-Tanks, bei denen die Temperatur des verflüssigten Gasbrennstoffs bei Atmosphärendruck unter  $-55^{\circ}\text{C}$  liegt, kann die Verwaltung eine zusätzliche Überprüfung fordern, um ihre Übereinstimmung mit Absatz 6.4.15.3.1.1 hinsichtlich statischer und dynamischer Spannung in Abhängigkeit von der Tankgröße, der Gestaltung des Tanks und der Anordnung seiner Auflager oder Abstützungen und Befestigungen nachzuprüfen.

6.4.15.3.4.2 Bei isolierten Unterdruck-Tanks ist die Ermüdungsfestigkeit der Auflagerkonstruktion besonders zu beachten, und auch die begrenzten Inspektionsmöglichkeiten zwischen der Innenhülle und der Außenhülle (Seitenbeplattung) sind besonders zu berücksichtigen.

6.4.15.3.5 Unfall-Konstruktionsanforderung

6.4.15.3.5.1 Die Tanks und die Lager der Tanks müssen für die unfallbedingten Belastungen und Entwurfsanforderungen nach Abschnitt 6.4.9.5 und Absatz 6.4.1.6.3, soweit zutreffend, entworfen sein.

6.4.15.3.5.2 Wenn den unfallbedingten Belastungen nach Abschnitt 6.4.9.5 ausgesetzt, muss die Spannung die Zulässigkeitskriterien nach Abschnitt 6.4.15.3.3.1, die gegebenenfalls unter Beachtung ihrer niedrigeren Eintrittswahrscheinlichkeit abgeändert worden sind, erfüllen.

6.4.15.3.6 Markierung

Die erforderliche Markierung des Druckbehälters ist mittels eines Verfahrens vorzunehmen, das keine unzulässigen örtlichen Spannungsspitzen verursacht.

6.4.15.4 Membrantanks

6.4.15.4.1 Entwurfsgrundlage

6.4.15.4.1.1 Die Entwurfsgrundlage für Membran-Behältersysteme ist, dass thermisch bedingte und andere Ausdehnungen oder Schrumpfungen ausgeglichen werden können, ohne dass ein unzulässiges Risiko des Verlustes der Dichtheit der Membrane besteht.

6.4.15.4.1.2 Es ist eine auf Untersuchung und Erprobung beruhende systematische Vorgehensweise für den Nachweis durchzuführen, dass das System unter Berücksichtigung der im Betrieb ermittelten Vorkommnisse nach Absatz 6.4.15.4.2.1 seine angestrebte Funktion erfüllt.

6.4.15.4.1.3 Es ist eine vollständige zweite Barriere, wie in Abschnitt 6.4.3 festgelegt, erforderlich. Die zweite Barriere ist entsprechend Abschnitt 6.4.4 zu bemessen.

6.4.15.4.1.4 Der Entwurfsdampfdruck  $P_o$  darf normalerweise  $0,025\text{ MPa}$  nicht überschreiten. Wenn die Schiffsverbände entsprechend verstärkt werden und gegebenenfalls die Festigkeit der unterstützenden Isolierung berücksichtigt wird, kann  $P_o$  auf einen höheren Wert, der jedoch kleiner als  $0,070\text{ MPa}$  sein muss, angehoben werden.

6.4.15.4.1.5 Die Begriffsbestimmung der Membrantanks schließt Konstruktionen nicht aus, bei denen nichtmetallische Membranen benutzt werden oder bei denen Membranen in die thermische Isolierung eingefügt oder eingearbeitet sind.

6.4.15.4.1.6 Die Dicke der Membranen darf normalerweise  $10\text{ mm}$  nicht überschreiten.

6.4.15.4.1.7 Die Zirkulation des Inertgases durch die gesamten ersten und zweiten Isolierräume entsprechend Absatz 6.11.1 muss ausreichend sein, um ein wirksames Gasaufspüren zu ermöglichen.

6.4.15.4.2 Entwurfsüberlegungen

6.4.15.4.2.1 Mögliche Vorgänge, die zum Verlust der Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten über die Lebensdauer der Membranen führen könnten, sind zu bewerten. Diese umfassen, ohne darauf beschränkt zu sein, folgende Punkte:

- .1 Konstruktions-Grenzfälle:
  - .1 Zugfestigkeits-Versagen der Membranen,
  - .2 Zusammenbruch der thermischen Isolierung durch Druck,
  - .3 thermische Alterung,
  - .4 Verlust der Befestigung zwischen der thermischen Isolierung und den Schiffsverbänden,
  - .5 Verlust der Befestigung der Membranen an der thermischen Isolierung,
  - .6 bauliche Unversehrtheit der inneren Strukturen und ihrer zugehörigen unterstützenden Konstruktionen, und
  - .7 Versagen der unterstützenden Schiffsverbände.
- .2 Konstruktions-Ermüdungsfälle:
  - .1 Materialermüdung der Membranen einschließlich Verbindungen und Befestigungen an den Schiffsverbänden,
  - .2 Ermüdungsriss der thermischen Isolierung,
  - .3 Materialermüdung der inneren Strukturen und ihrer zugehörigen unterstützenden Konstruktionen, und
  - .4 Ermüdungsriss der inneren Hülle, die zu Ballastwassereintritt führen.

### .3 Unfall-Konstruktionsfälle:

- .1 Durch Unfall verursachte mechanische Beschädigung (wie z. B. zu Bruch gegangene Gegenstände im Inneren des im Betrieb befindlichen Tanks),
- .2 durch Unfall verursachte Überdruckbeaufschlagung der thermischen Isolierräume,
- .3 durch Unfall verursachter Unterdruck im Tank, und
- .4 Wassereintritt durch die inneren Schiffsverbände.

Konstruktionen, bei denen ein einziger interner Vorfall das gleichzeitige oder stufenförmige Versagen beider Membranen verursachen könnte, sind unzulässig.

6.4.15.4.2.2 Die notwendigen physikalischen Eigenschaften (mechanisch, thermisch, chemisch usw.) der Werkstoffe, die bei der Konstruktion des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff verwendet werden, müssen bei der Entwurfsentwicklung entsprechend Absatz 6.4.15.4.1.2 eingeführt sein.

#### 6.4.15.4.3 Belastungen, Belastungskombinationen

Besonders zu berücksichtigen ist der mögliche Verlust der Unversehrtheit von Tanks infolge eines Überdrucks im Zwischenbarrieren-Raum, eines möglichen Unterdrucks im Tank für verflüssigten Gasbrennstoff, der Wirkungen des Hin- und Herschwappens, der Schwingungsauswirkungen auf den Schiffskörper oder einer Kombination dieser Fälle.

#### 6.4.15.4.4 Bemessungen

6.4.15.4.4.1 Es müssen die Bemessungen und/oder Prüfungen zwecks Bestimmung der Bruchfestigkeit und Bewertungen der Materialermüdung der Behälter für verflüssigten Gasbrennstoff und der in Abschnitt 6.4.7 erwähnten zugehörigen Konstruktionen und Ausrüstung durchgeführt werden. Das Berechnungsverfahren muss die erforderlichen Angaben liefern, um jede Schadensart, die als kritisch für das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff ermittelt worden ist, zu bewerten.

6.4.15.4.4.2 Die Bemessungen der Schiffsverbände müssen den in Absatz 6.4.9.3.3.1 angegebenen inneren Druck berücksichtigen. Besonders zu beachten sind die Durchbiegungen des Schiffskörpers und ihre Verträglichkeit mit der Membrane und der zugehörigen thermischen Isolierung.

6.4.15.4.4.3 Die Bemessungen nach den Absätzen 6.4.15.4.4.1 und 6.4.15.4.4.2 müssen auf den einzelnen Bewegungen, Beschleunigungen und dem Verhalten der Schiffe und der Behältersysteme für verflüssigten Gasbrennstoff basieren.

#### 6.4.15.4.5 Konstruktions-Grenzanforderungen

6.4.15.4.5.1 Der bauliche Widerstand jeder kritischen Komponente, jedes Teilsystems oder jeder Baugruppe muss entsprechend Absatz 6.4.15.4.1.2 für die Zustände im Betrieb nachgewiesen werden.

6.4.15.4.5.2 Die Auswahl der Festigkeits-Zulässigkeitskriterien für die Schadensarten des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff, seiner Befestigungen an den Schiffsverbänden und den innenliegenden Tankstrukturen muss in Verbindung mit den betrachteten Arten der Schäden die Auswirkungen wiedergeben.

6.4.15.4.5.3 Die Plattendicken der inneren Hülle müssen unter Berücksichtigung des in Absatz 6.4.9.3.3.1 angegebenen inneren Druckes die Regelungen für Tieftanks und die spezifizierten zugehörigen Regelungen für Belastungen durch Hin- und Herschwappen nach Absatz 6.4.9.4.1.3 erfüllen.

#### 6.4.15.4.6 Konstruktions-Ermüdungsanforderungen

6.4.15.4.6.1 Es ist eine Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit für Konstruktionen im Tankinneren, d. h. Pumpenmodule, und für Teile der Membrane sowie der Befestigungen der Pumpenmodule, wo die Entwicklung eines Schadens durch eine ständige Überwachung nicht zuverlässig entdeckt werden kann, durchzuführen.

6.4.15.4.6.2 Die Berechnungen der Ermüdungsfestigkeit sind entsprechend Abschnitt 6.4.12.2 durchzuführen mit den maßgeblichen Regelungen in Abhängigkeit von:

- .1 Der Wichtigkeit der baulichen Komponenten hinsichtlich der baulichen Unversehrtheit, und
- .2 der Zugänglichkeit für Besichtigung.

6.4.15.4.6.3 Bei Bauteilen, für die durch Erprobungen und/oder Untersuchungen nachgewiesen werden kann, dass sich ein Riss nicht so entwickeln wird, dass er ein gleichzeitiges oder stufenförmiges Versagen beider Membranen verursacht, muss der Wert  $C_w$  kleiner oder gleich 0,5 sein.

6.4.15.4.6.4 Bauteile, die einer regelmäßigen Besichtigung unterliegen und bei denen sich ein nicht beachteter Ermüdungsriss dazu entwickeln kann, ein gleichzeitiges oder stufenförmiges Versagen beider Membranen zu verursachen, müssen die Regelungen für Materialermüdung und Bruchmechanik nach Absatz 6.4.12.2.8 erfüllen.

6.4.15.4.6.5 Bauteile, die für eine Besichtigung im Betrieb nicht zugänglich sind und bei denen sich ein Ermüdungsriss ohne Vorwarnung dazu entwickeln kann, ein gleichzeitiges oder stufenförmiges Versagen beider Membranen zu verursachen, müssen die Regelungen für Materialermüdung und Bruchmechanik nach Absatz 6.4.12.2.9 erfüllen.

#### 6.4.15.4.7 Unfall-Konstruktionsanforderungen

6.4.15.4.7.1 Das Behältersystem und die unterstützenden Schiffsverbände müssen für die unfallbedingten Belastungen nach Abschnitt 6.4.9.5 ausgelegt sein. Diese Belastungen brauchen nicht miteinander oder mit umweltbedingten Belastungen kombiniert zu werden.

6.4.15.4.7.2 Zusätzliche Unfallszenarien von Bedeutung sind auf der Basis einer Risikoanalyse festzulegen. Besonders zu beachten sind die Sicherungsvorrichtungen im Inneren der Tanks.

### **6.4.16 Grenzzustands-Bemessung für neuartige Konzepte**

6.4.16.1 Brennstoffbehältersysteme, die von einer neuartigen Bauform sind und die nicht nach Abschnitt 6.4.15 baulich ausgeführt werden können, sind unter Anwendung dieses Abschnitts und der Abschnitte 6.4.1 bis 6.4.14, soweit zutreffend, zu entwerfen. Der Entwurf eines Brennstoffbehältersystems entsprechend diesem Abschnitt muss auf den Prinzipien einer Grenzzustands-Bemessung beruhen, die

ein Lösungsansatz für einen Konstruktionsentwurf ist, der auf bestehende Entwurfslösungen sowie neuartige Entwürfe angewendet werden kann. Diese mehr allgemeine Vorgehensweise hält ein Sicherheitsniveau aufrecht, welches dem ähnlich ist, das für bekannte, nach Abschnitt 6.4.15 gebaute Behältersysteme erreicht wird.

6.4.16.2.1 Die Grenzzustands-Bemessung ist eine systematische Vorgehensweise, bei der jedes Konstruktionsteil hinsichtlich möglicher Schadensarten bezogen auf die in Absatz 6.4.1.6 festgelegten Entwurfsanforderungen bewertet wird. Ein Grenzzustand kann als ein Zustand definiert werden, außerhalb dessen die Konstruktion oder Teile einer Konstruktion die Regelungen nicht mehr erfüllen.

6.4.16.2.2 Für jede Schadensart können ein oder mehrere Grenzzustände relevant sein. Durch Berücksichtigung aller relevanten Grenzzustände wird die Grenzbelastung für das Konstruktionsteil als die Mindest-Grenzbelastung gefunden, die sich aus allen relevanten Grenzzuständen ergibt. Die Grenzzustände werden in die drei folgenden Kategorien unterteilt:

- .1 End-Grenzzustände (Ultimate limit states – ULS), welche sich auf die maximale Belastbarkeit oder in einigen Fällen auf die maximale zutreffende Dehnung oder Verformung unter intakten (unbeschädigten) Zuständen beziehen.
- .2 Ermüdungs-Grenzzustände (Fatigue limit states – FLS), welche sich auf eine Schwächung infolge der Wirkung der zeitveränderlichen (zyklischen) Belastung beziehen.
- .3 Unfall-Grenzzustände (Accident limit states – ALS), welche die Fähigkeit der Konstruktion betreffen, durch Unfall verursachte Situationen zu überstehen.

6.4.16.3 Das Verfahren und die maßgeblichen Entwurfsparameter der Grenzzustands-Bemessung müssen der im Anhang zu Teil A-1 aufgeführten Norm für die Anwendung von Grenzzustands-Methodologien beim Entwurf von Brennstoffbehältersystemen neuartiger Bauform (LSD Standard) entsprechen.

## 6.5 Regelungen für ortsbewegliche Tanks verflüssigten Gasbrennstoffs

6.5.1 Der Entwurf des Tanks muss Abschnitt 6.4.15.3 entsprechen. Die Tankabstützung (Containerrahmen oder Fahrgestellunterbau) muss für den Verwendungszweck baulich ausgeführt sein.

6.5.2 Ortsbewegliche Tanks müssen in bestimmten Bereichen angeordnet sein, die mit Folgendem ausgerüstet sind:

- .1 Mechanischer Schutz der Tanks in Abhängigkeit von der Lage und dem Ladungsumschlag;
- .2 wenn auf dem freien Deck angeordnet – Leckage-Schutzeinrichtung und Wassersprüh-Systeme für Kühlung; und
- .3 wenn in einem geschlossenen Raum angeordnet – der Raum ist als ein Tankanschlussraum anzusehen.

6.5.3 Ortsbewegliche Brennstofftanks müssen am Deck befestigt sein, während sie mit den Systemen des Schiffes

verbunden sind. Die Einrichtungen für die Auflagerung und die Befestigung der Tanks müssen unter Berücksichtigung des Verhaltens des Schiffes und der Lage der Tanks sowohl für die maximale voraussichtliche statische und dynamische Neigung als auch für die maximalen voraussichtlichen Beschleunigungs-Werte ausgelegt sein.

6.5.4 Es sind die Festigkeit und die Auswirkung der ortsbeweglichen Brennstofftanks auf die Schiffsstabilität zu berücksichtigen.

6.5.5 Anschlüsse an die Brennstoffleitungssysteme des Schiffes sind mittels zugelassener flexibler Schläuche oder anderer geeigneter Vorrichtungen herzustellen, die für eine ausreichende Flexibilität ausgelegt sind.

6.5.6 Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, um die Menge von Brennstoff zu begrenzen, die im Fall einer unbeabsichtigten Trennung oder eines Bruches der nicht dauerhaften Anschlüsse ausläuft.

6.5.7 Das Druckentlastungssystem ortsbeweglicher Tanks muss an ein fest eingebautes Abblasesystem angeschlossen sein.

6.5.8 Regelungs- und Überwachungssysteme für ortsbewegliche Brennstofftanks müssen in das Regelungs- und Überwachungssystem des Schiffes integriert sein. Ein Sicherheitssystem für ortsbewegliche Brennstofftanks muss in das Sicherheitssystem des Schiffes integriert sein (z. B. Schließsysteme für Tankventile, Leck-Aufspürsysteme/Gas-spürsysteme).

6.5.9 Ein sicherer Zugang zu den Tankanschlüssen zwecks Inspektion und Instandhaltung bzw. Wartung muss sichergestellt sein.

6.5.10 Nach Anschluss an das Brennstoffleitungssystem des Schiffes

- .1 muss jeder ortsbewegliche Tank mit Ausnahme des Druckentlastungssystems nach Absatz 6.5.7 jederzeit abgetrennt werden können,
- .2 darf die Abtrennung eines einzelnen Tanks die Verfügbarkeit der verbleibenden ortsbewegliche Tanks nicht beeinträchtigen, und
- .3 darf der Tank die in Abschnitt 6.8 angegebenen Füllgrenzen nicht überschreiten.

## 6.6 Regelungen für Brennstoffbehälter für komprimiertes Erdgas (CNG)

6.6.1 Die Lagertanks, die für CNG verwendet werden, müssen von der Verwaltung zertifiziert und zugelassen sein.

6.6.2 Tanks für CNG müssen mit Sicherheitsventilen ausgerüstet sein, deren Ansprechpunkt unterhalb des Entwurfsdruckes des Tanks liegt und die eine Austrittsöffnung haben, die entsprechend den Absätzen 6.7.2.7 und 6.7.2.8 angeordnet ist.

6.6.3 Es muss eine zweckentsprechende Einrichtung zur Herabsetzung des Tankdrucks im Fall eines Brandes, der sich auf den Tank auswirken kann, vorhanden sein.

6.6.4 Die Lagerung von CNG in geschlossenen Räumen ist normalerweise nicht zulässig, sie kann aber nach be-

sonderer Betrachtung und Zustimmung durch die Verwaltung unter der Voraussetzung gestattet werden, dass das Folgende zusätzlich zu den Absätzen 6.3.4 bis 6.3.6 erfüllt wird:

- .1 Es ist eine zweckentsprechende Einrichtung zur Herabsetzung des Drucks und zur Inertisierung des Tanks im Fall eines Brandes, der sich auf den Tank auswirken kann, vorhanden;
- .2 alle Oberflächen in solchen geschlossenen Räumen, welche die CNG-Lagerbehälter enthalten, sind mit geeignetem thermischen Schutz gegen ausgetretenes Hochdruck-Gas und die hierdurch entstandene Kondensation versehen, es sei denn, die Schotte sind für die niedrigste Temperatur ausgelegt, die durch die Expansion des Leckgases auftreten kann; und
- .3 in dem geschlossenen Raum, welcher die CNG-Lagerbehälter enthält, ist ein fest eingebautes Feuerlöschsystem installiert. Besondere Beachtung ist der Löschung von Feuerstrahlen/Stichflammen (jet-fires) zu geben.

### 6.7 Regelungen für Druckentlastungssysteme

#### 6.7.1 Allgemeines

6.7.1.1 Alle Brennstofflagertanks müssen mit einem für die Bauart des Brennstoff-Behältersystems und den beförderten Brennstoff geeigneten Druckentlastungssystem ausgerüstet sein. Laderäume für Brennstofftanks, Zwischenbarrierenräume, Tankanschlussräume und Tank-Kofferdämme, die Drücken von mehr als den Entwurfs-Möglichkeiten ausgesetzt sein können, müssen ebenfalls mit einem geeigneten Druckentlastungssystem ausgerüstet sein. Die in Abschnitt 6.9 angegebenen Druckregelungssysteme müssen von den Druckentlastungssystemen unabhängig sein.

6.7.1.2 Brennstofflagertanks, die äußeren Drücken oberhalb ihres Entwurfsdrucks ausgesetzt sein können, müssen mit Unterdruck-Schutzsystemen ausgerüstet sein.

#### 6.7.2 Druckentlastungssysteme für Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff

6.7.2.1 Wenn die Freisetzung von Brennstoff in den Vakuumraum eines vakuum-isolierten Tanks nicht ausgeschlossen werden kann, muss der Vakuumraum durch eine Druckentlastungseinrichtung geschützt sein, die an ein Abblasesystem angeschlossen sein muss, wenn die Tanks unter Deck angeordnet sind. Auf dem freien Deck kann eine unmittelbare Freisetzung in die Atmosphäre für Tanks, welche die Größe eines 40-Fuß-Containers nicht überschreiten, und wenn das freigesetzte Gas nicht in sichere Bereiche eindringen kann, von der Verwaltung anerkannt werden.

6.7.2.2 Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff müssen mit mindestens zwei Sicherheitsventilen ausgerüstet sein, was die Trennung eines Sicherheitsventils im Fall eines Versagens oder einer Leckage erlaubt.

6.7.2.3 Zwischenbarrierenräume müssen mit Druckentlastungseinrichtungen ausgerüstet sein<sup>12</sup>. Für Membransysteme

hat der Konstrukteur eine ausreichende Dimensionierung der Sicherheitsventile der Zwischenbarrierenräume nachzuweisen.

6.7.2.4 Der Einstelldruck der Sicherheitsventile darf nicht größer sein als der Dampfdruck, der bei der Tankbemessung zugrunde gelegt worden ist. Ventile, die nicht mehr als 50% der gesamten Abblaseleistung umfassen, können auf einen Druck von bis zu 5% oberhalb MARVS eingestellt werden, um ein sequenzielles Anheben zu ermöglichen und dadurch eine unnötige Freisetzung von Dampf zu minimieren.

6.7.2.5 Die folgenden Temperaturregelungen gelten für Sicherheitsventile, die in Druckentlastungssystemen eingebaut sind:

- .1 Die Sicherheitsventile von Brennstofftanks, deren Entwurfstemperatur unter 0°C liegt, sind so zu konstruieren und anzuordnen, dass sie nicht infolge Eisbildung ihre Funktionsfähigkeit verlieren;
- .2 die Auswirkungen der Eisbildung aufgrund von Umgebungstemperaturen sind bei der Bauart und der Anordnung der Sicherheitsventile zu berücksichtigen;
- .3 die Sicherheitsventile müssen aus Werkstoffen mit einem Schmelzpunkt über 925°C hergestellt sein. Werkstoffe mit niedrigerem Schmelzpunkt können für innere Bauteile und Dichtungen anerkannt werden, vorausgesetzt, dass die betriebssichere Funktion des Sicherheitsventils nicht beeinträchtigt wird, und
- .4 Mess- und Abblaseleitungen von pilotgesteuerten Sicherheitsventilen müssen von geeigneter robuster Bauart sein, um Beschädigungen zu vermeiden.

6.7.2.6 Im Fall des Versagens eines Brennstofftank-Sicherheitsventils muss eine sichere Nottrenneinrichtung verfügbar sein:

- .1 Es sind Maßnahmen vorzusehen und in das Betriebs-Handbuch aufzunehmen (auf Kapitel 18 wird verwiesen);
- .2 die Maßnahmen dürfen zulassen, dass nur ein einziges der installierten Sicherheitsventile für die Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff getrennt wird; zu diesem Zweck müssen technische Verriegelungen/Sperren eingebaut sein, und
- .3 die Trennung des Sicherheitsventils ist unter Aufsicht des Kapitäns vorzunehmen. Dieser Vorgang ist in das Logbuch des Schiffes einzutragen, und am Sicherheitsventil ist ein Hinweis anzubringen.

6.7.2.7 Jedes auf einem Tank für verflüssigten Gasbrennstoff installierte Sicherheitsventil muss an ein Abblasesystem angeschlossen sein, das

- .1 so gebaut ist, dass die Ausströmung am Austritt ungehindert und normalerweise senkrecht nach oben gerichtet erfolgt,
- .2 so angeordnet ist, dass die Möglichkeit des Eindringens von Wasser oder Schnee in das Abblasesystem minimiert wird, und
- .3 so angeordnet ist, dass die Höhe der Ventilaustritte über dem Wetterdeck normalerweise nicht kleiner ist als der größere der beiden Werte B/3 oder 6 m und 6 m

<sup>12</sup> Auf die IACS Einheitliche Interpretation GC9 mit dem Titel „Guidance for sizing pressure relief systems for interbarrier spaces“, 1988, wird verwiesen.

über Arbeitsbereichen und Laufbrücken beträgt. Nach besonderer Überprüfung durch die Verwaltung könnte die Lüftungsmasthöhe jedoch auf einen geringeren Wert begrenzt werden.

6.7.2.8 Die Austrittsöffnung von Sicherheitsventilen muss normalerweise mindestens einen Abstand von 10 m haben von

- .1 einer Lufteintrittsöffnung, einer Luftaustrittsöffnung oder einer Öffnung zu Unterkunftsräumen, Wirtschaftsräumen, Kontrollstationen oder zu einem anderen ungefährdeten Bereich; und
- .2 einer Austrittsöffnung von Maschinenanlagen.

6.7.2.9 Alle anderen Brennstoffgas-Lüftungsaustrittsöffnungen müssen ebenfalls in Übereinstimmung mit den Absätzen 6.7.2.7 und 6.7.2.8 angeordnet sein. Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, die einen Flüssigkeitsüberlauf aus Gas-Austrittsöffnungen infolge hydrostatischen Drucks aus Räumen, mit denen sie verbunden sind, verhindern.

6.7.2.10 Im Abblaseleitungssystem müssen an Stellen, an denen sich Flüssigkeit ansammeln kann, Einrichtungen zum Abführen der Flüssigkeit vorhanden sein. Die Sicherheitsventile und die Rohrleitungen müssen so angeordnet sein, dass sich unter keinen Umständen Flüssigkeit in den Sicherheitsventilen oder in ihrer Nähe ansammeln kann.

6.7.2.11 An den Austrittsöffnungen der Abblaseleitungen müssen geeignete Schutzsiebe mit einer quadratischen Maschenweite von nicht mehr als 13 mm eingebaut sein, um das Eindringen von Fremdkörpern zu verhindern, ohne die Durchströmung nachteilig zu beeinflussen.

6.7.2.12 Alle Abblaseleitungen müssen so bemessen und angeordnet sein, dass sie durch Temperaturschwankungen, denen sie ausgesetzt sein können, Belastungen infolge Durchströmung oder durch Schiffsbewegungen nicht beschädigt werden können.

6.7.2.13 Die Sicherheitsventile müssen am höchsten Teil des Brennstofftanks angebracht sein. Die Sicherheitsventile müssen auf dem Brennstofftank so angeordnet sein, dass sie bei der in Abschnitt 6.8 vorgegebenen Füllgrenze (FL) in der Dampfphase verbleiben, wenn die Krängung 15° und der Trimm 0,015 L beträgt, wobei L der Begriffsbestimmung des Absatzes 2.2.25 entspricht.

### 6.7.3 Bemessung des Druckentlastungssystems

#### 6.7.3.1 Bemessung der Druckentlastungsventile

6.7.3.1.1 Für jeden Tank für verflüssigten Gasbrennstoff müssen die Sicherheitsventile eine gemeinsame Abblaseleistung haben, um die größere der folgenden Mengen abzublasen, ohne dass dabei der Druck im Tank für verflüssigten Gasbrennstoff um mehr als 20% über MARVS ansteigt:

- .1 Die größte Fördermenge des Inertisierungssystems für den Tank für verflüssigten Gasbrennstoff, sofern der größte erreichbare Betriebsdruck des Inertisierungssystems für den Tank für verflüssigten Gasbrennstoff den MARVS des Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff überschreitet; oder

- .2 die Dampfmengen, die bei Brandeinwirkung erzeugt werden, sind unter Verwendung der folgenden Formel zu berechnen:

$$Q = F G A^{0,82} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Dabei sind:

$Q$  = erforderlicher Mindestwert der Abblaseleistung für Luft unter Normbedingungen von 273,15 Kelvin (K) und 0,1013 MPa,

$F$  = Brandeinwirkungsfaktor für verschiedene Tanktypen für verflüssigten Gasbrennstoff wie folgt:

$F = 1,0$  für auf dem Deck angeordnete Tanks ohne Isolierung;

$F = 0,5$  für an Deck angeordnete Tanks mit von der Verwaltung zugelassener Isolierung. (Die Zulassung basiert auf der Verwendung von feuerbeständigem Werkstoff, der thermischen Leitfähigkeit der Isolierung und ihrer Festigkeit unter Brandeinwirkung);

$F = 0,5$  für nicht isolierte unabhängige Tanks, in Laderäumen angeordnet;

$F = 0,2$  für isolierte unabhängige Tanks in Laderäumen (oder für nicht isolierte unabhängige Tanks in isolierten Laderäumen);

$F = 0,1$  für isolierte unabhängige Tanks in inertisierten Laderäumen (oder für nicht isolierte unabhängige Tanks in inertisierten isolierten Laderäumen); und

$F = 0,1$  für Membrantanks.

Für unabhängige Tanks, die teilweise über das Wetterdeck hinausragen, ist der Brandeinwirkungsfaktor nach dem Verhältnis der über und unter Deck liegenden Tankoberflächen zu bestimmen.

$G$  = Gasfaktor nach der Formel:

$$G = \frac{12,4}{LD} \sqrt{\frac{ZT}{M}}$$

mit

$T$  = Temperatur in Grad Kelvin bei Abblasebedingungen, d.h. bei 120% des Druckes, auf den das Sicherheitsventil eingestellt ist;

$L$  = Verdampfungswärme des Stoffes, der unter Abblasebedingungen verdampft wird, in kJ/kg;

$D$  = eine Konstante, die auf dem Verhältnis der spezifischen Wärmen  $k$  basiert und wie folgt berechnet wird:

$$\sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Dabei ist:

$k$  = Isentropenkoeffizient unter Abblasebedingungen, und dessen Wert zwischen 1,0 und 2,2 liegt. Wenn  $k$  nicht bekannt ist, ist  $D = 0,606$  zu setzen.

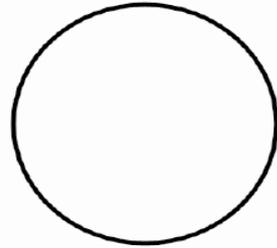
## IGF-Code

$Z$  = Kompressibilitätsfaktor des Gases bei Abblasebedingungen. Wenn  $Z$  nicht bekannt ist, ist  $Z = 1,0$  zu setzen; und

$M$  = Molekülmasse des Stoffes.

Von jedem zu befördernden verflüssigten Gasbrennstoff ist der Gasfaktor zu bestimmen, und für die Bemessung von Sicherheitsventilen ist der größte Wert zu verwenden.

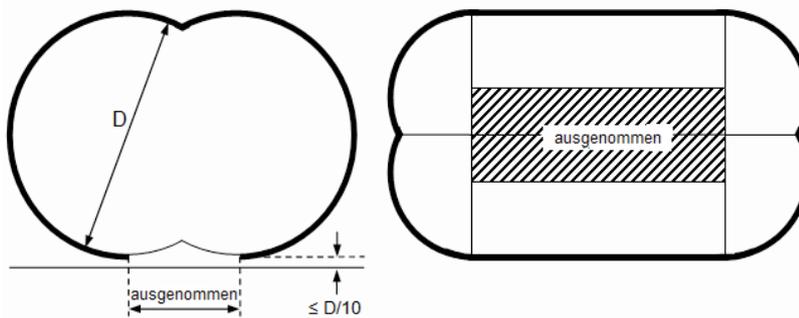
$A$  = äußere Tankoberfläche ( $m^2$ ) für verschiedene in Abbildung 6.7.1 dargestellte Tanktypen.



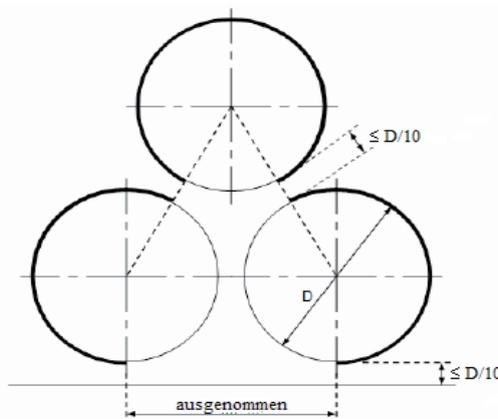
Zylindrische Tanks mit kugelförmig gewölbten Böden, Kalottenböden oder halb-ellipsenförmigen Böden oder kugelförmige Tanks



Prismatische Tanks



Bilobe Tanks



Anordnung horizontaler zylindrischer Tanks

**Abbildung 6.7.1**

6.7.3.1.2 Bei isolierten Unterdruck-Tanks in Laderäumen für Brennstofftanks und bei Tanks in Laderäumen für Brennstofftanks, die von möglichen Brandbelastungen durch Kofferdämme getrennt oder durch Schiffsräume ohne Brandbelastung umgeben sind, gilt das Folgende:

Wenn die Druckentlastungsventile für Brandbelastungen bemessen werden müssen, können die entsprechenden Brandeinwirkungsfaktoren auf die folgenden Werte herabgesetzt werden:

$$F = 0,5 \text{ auf } F = 0,25$$

$$F = 0,2 \text{ auf } F = 0,1$$

Der Mindest-Brandeinwirkungsfaktor ist  $F = 0,1$ .

6.7.3.1.3 Der erforderliche Massenstrom der Luft bei Abblasebedingungen wird durch die folgende Formel bestimmt:

$$M_{Luft} = Q \rho_{Luft} \text{ (kg/s),}$$

dabei ist die Luftdichte ( $\rho_{Luft}$ ) = 1,293 kg/m<sup>3</sup>  
(Luft bei 273,15 K, 0,1013 MPa).

#### 6.7.3.2 Bemessung des Abblase-Rohrleitungssystems

6.7.3.2.1 Die Druckverluste im Zustrom und Abstrom der Sicherheitsventile sind zu berücksichtigen, wenn ihre Größe bestimmt wird, um die nach Absatz 6.7.3.1 vorgeschriebene Durchflussleistung zu gewährleisten.

##### 6.7.3.2.2 Druckverluste im Zustrom

- .1 Der Druckabfall in der Abblaseleitung vom Tank bis zum Eintritt in das Sicherheitsventil darf 3% des Ventil-Einstelldruckes bei der berechneten Durchflussmenge entsprechend Abschnitt 6.7.3.1 nicht übersteigen;
- .2 pilotgesteuerte Sicherheitsventile müssen sicher gegen Druckverluste in der Eingangsleitung sein, wenn die Pilotsteuerung ihre Abfrage direkt vom Tankdom erhält; und
- .3 Druckverluste in ferngesteuerten, flüssigkeitsbeaufschlagten Pilotsteuerleitungen müssen beachtet werden.

##### 6.7.3.2.3 Druckverluste im Abstrom

- .1 Sind gemeinsame Lüfterköpfe und Lüftungsmasten eingebaut, müssen die Berechnungen den Durchfluss aller angeschlossenen Sicherheitsventile berücksichtigen.
- .2 Der aufgebaute Gegendruck in der Abblaseleitung vom Austritt des Sicherheitsventils bis zu der Stelle, an der in die Atmosphäre abgeblasen wird und einschließlich etwaiger Abblaseleitungs-Verbindungen, die zu anderen Tanks führen, darf die folgenden Werte nicht überschreiten:
  - .1 Für nicht druckausgeglichene Sicherheitsventile: 10% des MARVS,
  - .2 für druckausgeglichene Sicherheitsventile: 30% des MARVS, und

- .3 für pilotgesteuerte Sicherheitsventile: 50% des MARVS.

Vom Hersteller des Sicherheitsventils vorgesehene alternative Werte können anerkannt werden.

6.7.3.2.4 Um einen stabilen Betrieb des Sicherheitsventils zu gewährleisten, darf das Abblasen nicht geringer sein als die Summe der Eintrittsdruckverluste und 0,02 des MARVS bei Nennleistung.

## 6.8 Regelungen für die Beladungsgrenze von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff

6.8.1 Lagertanks für verflüssigtes Gas dürfen nicht mit mehr als einem Volumen, das einer Füllmenge von 98% entspricht, bei Bezugstemperatur entsprechend der Begriffsbestimmung in Absatz 2.2.36 befüllt werden.

Für die tatsächlichen Temperaturen ist eine Beladungsgrenzkurve nach der folgenden Formel zu anzufertigen:

$$LL = FL \rho_R / \rho_L$$

Dabei sind:

$LL$  = Beladungsgrenze entsprechend der Begriffsbestimmung in Absatz 2.2.27, ausgedrückt in Prozent,

$FL$  = Füllgrenze entsprechend der Begriffsbestimmung in Absatz 2.2.16, ausgedrückt in Prozent, hierbei 98%,

$\rho_R$  = relative Dichte des Brennstoffs bei Bezugstemperatur, und

$\rho_L$  = relative Dichte des Brennstoffs bei der Temperatur während der Brennstoffübernahme.

6.8.2 In den Fällen, bei denen wegen der Isolierung des Tanks und der Lage des Tanks die Wahrscheinlichkeit für den Tankinhalt sehr gering ist, aufgrund eines äußeren Brandes aufgeheizt zu werden, können besondere Betrachtungen angestellt werden, um eine höhere als die berechnete Beladungsgrenze unter Verwendung der Bezugstemperatur zu ermöglichen, aber niemals oberhalb von 95%. Dieses gilt auch in Fällen, bei denen ein zweites System für die Aufrechterhaltung des Druckes installiert ist (auf Abschnitt 6.9 wird verwiesen). Wenn der Druck jedoch nur durch Brennstoffverbraucher aufrechterhalten/geregelt werden kann, ist die nach Absatz 6.8.1 berechnete Beladungsgrenze zu verwenden.

## 6.9 Regelungen zur Aufrechterhaltung der Bedingungen für die Brennstofflagerung

### 6.9.1 Regelung des Tankdruckes und der Temperatur

6.9.1.1 Mit Ausnahme von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff, die so ausgelegt sind, dass sie dem vollen Dampfdruck des Brennstoffs unter den Bedingungen der oberen Entwurfswerte der Umgebungstemperaturen widerstehen, müssen der Druck und die Temperatur der Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff jederzeit innerhalb ihres

Auslegungsbereichs durch von der Verwaltung anerkannte Verfahren aufrechterhalten werden, z. B. eine der folgenden Maßnahmen:

- .1 Rückverflüssigung der Dämpfe,
- .2 thermische Oxidation der Dämpfe,
- .3 Druckanstieg, oder
- .4 Kühlung des verflüssigten Gasbrennstoffs.

Die ausgewählte Maßnahme muss den Tankdruck unterhalb des Einstelldrucks des Tank-Sicherheitsventils über einen Zeitraum von 15 Tagen unter der Annahme eines vollen Tanks bei normalem Betriebsdruck und dem nicht in Betrieb befindlichen Schiff, d. h. es wird nur Energie für den Bordbetrieb erzeugt, aufrechterhalten können.

6.9.1.2 Das Abblasen von Brennstoffdämpfen zur Regelung des Tankdruckes ist außer in Notfällen nicht zulässig.

### 6.9.2 Auslegung der Systeme

6.9.2.1 Für den weltweiten Betrieb betragen die oberen Entwurfserte der Umgebungstemperatur bei Seewasser 32°C und bei Luft 45°C. Für den Betrieb in besonders warmen oder kalten Zonen sind diese Entwurfstemperaturen entsprechend den Anforderungen der Verwaltung zu erhöhen oder herabzusetzen.

6.9.2.2 Die Gesamtleistung des Systems muss so ausgelegt sein, dass es den Druck innerhalb der Entwurfsanforderungen ohne Abblasen in die Atmosphäre regeln kann.

### 6.9.3 Rückverflüssigungssysteme

6.9.3.1 Das Rückverflüssigungssystem muss entsprechend Absatz 6.9.3.2 entworfen und berechnet sein. Das System muss in ausreichender Art und Weise bemessen sein, auch im Fall keines oder niedrigen Verbrauches.

6.9.3.2 Das Rückverflüssigungssystem muss nach einer der folgenden Methoden gestaltet sein:

- .1 Einem direkten System, bei dem der verdampfte Brennstoff verdichtet, kondensiert und den Brennstofftanks wieder zugeführt wird;
- .2 einem indirekten System, bei dem Brennstoff oder verdampfter Brennstoff durch ein Kältemittel gekühlt oder kondensiert wird, ohne verdichtet zu werden;
- .3 einem kombinierten System, bei dem verdampfter Brennstoff verdichtet und in einem Brennstoff-/Kältemittel-Wärmetauscher kondensiert wird und den Brennstofftanks wieder zugeführt wird; oder
- .4 wenn das Rückverflüssigungssystem einen Rückstandsstrom erzeugt, der während des Druckregelungsvorgangs innerhalb der Entwurfsanforderungen Methan enthält, müssen diese Rückstandsgase, soweit wie praktisch durchführbar, ohne Abblasen in die Atmosphäre entsorgt werden.

### 6.9.4 Thermische Oxidationssysteme

6.9.4.1 Thermische Oxidation kann entweder durch Verbrauch der Dämpfe entsprechend den in diesem Code beschriebenen Regelungen für Verbraucher oder in einer speziell dafür vorgesehenen Gasverbrennungsanlage erfolgen. Es ist nachzuweisen, dass die Leistungsfähigkeit des

Oxidationssystems ausreichend ist, um die nötige Menge von Dämpfen zu verbrauchen. In diesem Zusammenhang sind Zeiträume mit langsamer Fahrt und/oder ohne Verbrauch durch den Antrieb oder andere Einrichtungen des Schiffes zu berücksichtigen.

### 6.9.5 Verträglichkeit

Kältemittel oder Hilfsmittel, die für eine Rückverflüssigung oder Kühlung des Brennstoffs verwendet werden, müssen mit dem Brennstoff verträglich sein, mit dem sie in Kontakt kommen können (die keine gefährlichen Reaktionen oder übermäßig korrosive Produkte verursachen). Wenn mehrere Kältemittel oder Hilfsmittel eingesetzt werden, müssen diese außerdem miteinander verträglich sein.

### 6.9.6 Verfügbarkeit der Systeme

6.9.6.1 Die Verfügbarkeit des Systems und seiner unterstützenden Hilfseinrichtungen müssen so ausgelegt sein, dass im Fall eines einzigen Defektes (einer mechanischen nichtstatischen Komponente oder einer Komponente der Regelungssysteme) der Druck und die Temperatur des Brennstofftanks durch eine andere Einrichtung bzw. ein anderes System aufrechterhalten werden können.

6.9.6.2 Wärmetauscher, die ausschließlich für die Aufrechterhaltung des Drucks und der Temperatur der Brennstofftanks innerhalb ihres Auslegungsbereichs erforderlich sind, müssen einen Bereitschafts-Wärmetauscher haben, außer wenn sie eine Leistung von mehr als 25% der größten erforderlichen Leistung für die Druckregelung haben, und wenn sie an Bord ohne Hilfsmittel von außen repariert werden können.

### 6.10 Regelungen für atmosphärische Überwachung im Brennstoffbehältersystem

6.10.1 Es muss ein Rohrleitungssystem vorhanden sein, mit dem jeder Brennstofftank sicher gasfrei gemacht und nach dem Zustand der Gasfreiheit mit Brennstoff sicher gefüllt werden kann. Das System muss so angeordnet sein, dass die Möglichkeit der Bildung von Gas- oder Luftansammlungen, die nach einem Atmosphärenwechsel zurückbleiben, so gering wie möglich gehalten wird.

6.10.2 Das System muss so beschaffen sein, dass die Möglichkeit des Vorhandenseins eines entzündbaren Gemisches im Brennstofftank während jeder Stufe des Vorganges des Atmosphärenwechsels durch Verwendung eines inertisierenden Mittels als Zwischenstufe ausgeschlossen wird.

6.10.3 Jeder Brennstofftank muss mit Gas-Probenahmestellen ausgerüstet sein, um den Verlauf des Atmosphärenwechsels ausreichend überwachen zu können.

6.10.4 Inertgas, das für das Gasfreimachen von Brennstofftanks verwendet wird, kann von außerhalb zum Schiff geliefert werden.

### 6.11 Regelungen für die Überwachung der Atmosphäre in Laderäumen für Brennstofftanks (Brennstoffbehältersysteme mit Ausnahme von unabhängigen Typ C-Tanks)

6.11.1 Zwischenbarrierenräume und Laderäume für Brennstofftanks mit zugehörigen Behältersystemen für

verflüssigten Gasbrennstoff, die vollständige oder teilweise zweite Barrieren erfordern, müssen mit einem geeigneten trockenen Inertgas inertisiert sein und in einem inertisierten Zustand mit einem aufbereiteten Gas gehalten werden; das Gas wird entweder mit einem bordeigenen Inertgassystem erzeugt oder an Bord gespeichert, wobei die Speichermenge mindestens für einen normalen 30-tägigen Verbrauch ausreichend sein muss. In Abhängigkeit vom Einsatz des Schiffes können von der Verwaltung kürzere Zeiträume in Betracht gezogen werden.

6.11.2 Als Alternative können die in Absatz 6.11.1 genannten Räume, für die nur eine teilweise zweite Barriere erforderlich ist, mit trockener Luft gefüllt werden, vorausgesetzt, dass das Schiff eine gespeicherte Inertgas-Füllmenge mitführt oder mit einem Inertgas-Erzeugungssystem ausgerüstet ist, die ausreichen, um den größten dieser Räume zu inertisieren, und vorausgesetzt, dass die Bauform der Räume und die entsprechenden Gasspürsysteme zusammen mit der Leistungsfähigkeit der Inertisierungseinrichtungen sicherstellen, dass jede Leckage der Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff schnell aufgespürt und eine Inertisierung durchgeführt wird, bevor sich ein gefährlicher Zustand entwickeln kann. Es muss eine Anlage zur Lieferung ausreichender trockener Luft von geeigneter Qualität vorhanden sein, die den erwarteten Bedarf decken kann.

### 6.12 Regelungen für die Überwachung der Atmosphäre von Räumen, die unabhängige Typ C-Tanks umgeben

6.12.1 Räume, die Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff umgeben, müssen mit geeigneter trockener Luft gefüllt sein und in diesem Zustand durch trockene Luft, die mittels geeigneter Lufttrockner erzeugt wird, gehalten werden. Dieses ist nur bei Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff anwendbar, wo Kondensation und Vereisung bedingt durch kalte Oberflächen ein Thema ist.

### 6.13 Regelungen für die Inertisierung

6.13.1 Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, die einen Rückstrom von Brennstoffdämpfen in das Inertgassystem, wie nachfolgend festgelegt, verhindern.

6.13.2 Um eine Rückführung entzündbarer Gase in nichtgefährdete Bereiche zu verhindern, müssen in die Inertgasversorgungsleitung zwei hintereinander liegende Absperrventile mit einem dazwischen liegenden Entlüftungsventil (Doppelabsperr- und Entlüftungsventile) eingebaut sein. Zusätzlich muss zwischen der Doppelabsperr- und Entlüftungseinrichtung und dem Brennstoffsystem ein schließbares Rückschlagventil installiert sein. Diese Ventile müssen außerhalb nichtgefährdeter Bereiche angeordnet sein.

6.13.3 Wenn die Anschlüsse zu den Brennstoffrohrleitungssystemen nicht dauerhaft sind, können die nach Absatz 6.13.2 vorgeschriebenen Ventile durch zwei Rückschlagventile ersetzt werden.

6.13.4 Die Einrichtungen müssen so beschaffen sein, dass jeder inertisierte Raum abgesperrt werden kann, und die zur Überwachung des Druckes in diesen Räumen notwendigen Regelgeräte, Sicherheitsventile usw. müssen vorhanden sein.

6.13.5 Wenn Isolierräume ständig mit einem Inertgas als Teil eines Leck-Aufspürsystems versorgt werden, müssen Einrichtungen vorhanden sein, mit denen die Menge des Gases, mit dem die einzelnen Räume versorgt werden, überwacht wird.

### 6.14 Regelungen für Inertgaserzeugung und Lagerung an Bord

6.14.1 Die Anlage muss ein Inertgas erzeugen können, dessen Sauerstoffgehalt zu keinem Zeitpunkt mehr als 5 Volumenprozent beträgt. Ein ständig aufzeichnendes Sauerstoffmessgerät ist an die Inertgasleitung der Anlage anzuschließen, und das Messgerät muss mit einem Alarmgeber ausgerüstet sein, der auf einen maximalen Sauerstoffgehalt von 5 Volumenprozent eingestellt ist.

6.14.2 Ein Inertgassystem muss Druckregelungs- und Überwachungseinrichtungen haben, die für das Brennstoffbehältersystem zweckmäßig sind.

6.14.3 Wenn ein Stickstofferzeuger oder eine Stickstoff-Lagereinrichtung in einem separaten Raum außerhalb des Maschinenraums installiert ist, muss in dem separaten Raum ein unabhängiges mechanisches Absauglüftungssystem eingebaut sein, das einen mindestens sechsfachen Luftwechsel je Stunde gewährleistet. Es muss ein Alarmgeber für niedrigen Sauerstoffgehalt installiert sein.

6.14.4 Stickstoff-Rohrleitungen dürfen nur durch gut belüftete Räume geführt sein. Stickstoff-Rohrleitungen in geschlossenen Räumen

- müssen voll durchgeschweißt sein,
- dürfen nur ein Minimum von Flanschverbindungen haben, wie sie für den Einbau von Ventilen benötigt werden, und
- müssen so kurz wie möglich sein.

## 7 WERKSTOFF UND ALLGEMEINE AUSLEGGUNG DER ROHRLEITUNGEN

### 7.1 Zielsetzung

7.1.1 Das Ziel dieses Kapitels ist es, den sicheren Umgang mit Brennstoff unter allen Betriebsbedingungen sicherzustellen, um das Risiko für das Schiff, Personen und die Umwelt unter Berücksichtigung der Art der verwendeten Produkte herabzusetzen.

### 7.2 Funktionale Anforderungen

7.2.1 Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1, 3.2.5, 3.2.6, 3.2.8, 3.2.9 und 3.2.10. Insbesondere gilt das Folgende:

7.2.1.1 Die Brennstoffleitungen müssen thermische Ausdehnung oder Schrumpfung, die durch extreme Temperaturen des Brennstoffs verursacht werden, ohne die Entstehung erheblicher Spannungen aufnehmen können.

7.2.1.2 Es sind Vorkehrungen zu treffen, um die Rohrleitungen, das Rohrleitungssystem und das Rohrleitungszubehör sowie die Brennstofftanks gegen unzulässige Spannungen infolge thermisch bedingter Bewegungen und gegen Bewegungen des Brennstofftanks und der Schiffsverbände zu schützen.

7.2.1.3 Wenn das Brennstoffgas schwerere Bestandteile enthält, die in dem System kondensieren können, müssen Einrichtungen für das sichere Entfernen der Flüssigkeit eingebaut sein.

7.2.1.4 Tieftemperatur-Rohrleitungen müssen, wo erforderlich, von den angrenzenden Schiffsverbänden thermisch isoliert sein, damit die Temperatur der Schiffsverbände nicht unter die Entwurfstemperatur des Werkstoffes der Schiffsverbände absinken kann.

### 7.3 Regelungen für den allgemeinen Rohrleitungs-entwurf

#### 7.3.1 Allgemeines

7.3.1.1 Brennstoffleitungen und alle sonstigen Leitungen, die für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb und seine Aufrechterhaltung benötigt werden, müssen entsprechend einer Norm, die mindestens einer für die Organisation annehmbaren Norm gleichwertig ist, farblich gekennzeichnet sein<sup>13</sup>.

7.3.1.2 Werden Tanks oder Rohrleitungen vom Schiffskörper durch thermische Isolation getrennt, müssen Vorkehrungen für eine elektrische Erdung an die Schiffsverbände sowohl der Rohrleitungen als auch der Tanks getroffen werden. Alle mit Dichtungen versehenen Rohrverbindungen und Schlauchverbindungen müssen elektrisch geerdet sein.

7.3.1.3 Alle Rohrleitungen oder Komponenten, die in einem flüssigkeitvollen Zustand abgetrennt sein können, müssen mit Sicherheitsventilen ausgerüstet sein.

7.3.1.4 Ein Rohrleitungsnetz, das Brennstoff mit niedriger Temperatur enthalten kann, muss in einem Ausmaß thermisch isoliert sein, welches die Kondensation von Feuchtigkeit minimiert.

7.3.1.5 Mit Ausnahme von Brennstoffversorgungs-Leitungen können Rohrleitungen und Verkabelungen in doppelwandigen Rohrleitungen oder Kanälen angeordnet sein, vorausgesetzt, dass sie keine Zündquelle bilden oder die Unversehrtheit des doppelwandigen Rohres oder Kanals nicht beeinträchtigen. Das doppelwandige Rohr oder der Kanal dürfen nur Rohrleitungen oder Verkabelungen für betriebliche Zwecke enthalten.

#### 7.3.2 Wanddicke

7.3.2.1 Die Mindestwanddicke ist wie folgt zu berechnen:

$$t = (t_0 + b + c) / (1 - a/100) \text{ (mm)}$$

Dabei sind:

$t_0$  = theoretische Dicke

$$t_0 = P D / (2,0 K e + P) \text{ (mm)}$$

mit

$P$  = Entwurfsdruck (MPa) entsprechend Abschnitt 7.3.3,

$D$  = Außendurchmesser (mm),

$K$  = zulässige Spannung (N/mm<sup>2</sup>) entsprechend Abschnitt 7.3.4, und

$e$  = Gütefaktor, gleich 1,0 für nahtlose Rohre und für längsgeschweißte oder spiralförmig geschweißte Rohre, die von für die Herstellung geschweißter Rohre zugelassenen Firmen ausgeliefert werden und die als gleichwertig mit nahtlosen Rohren angesehen werden, wenn eine zerstörungsfreie Prüfung der Schweißungen in Übereinstimmung mit anerkannten Normen ausgeführt wird. In anderen Fällen kann ein Gütefaktor von weniger als 1,0 in Übereinstimmung mit anerkannten Normen in Abhängigkeit vom Herstellungsverfahren gefordert werden;

$b$  = Zuschlag für Bögen (mm). Der Wert von  $b$  ist so zu wählen, dass die nur infolge Innendrucks errechnete Spannung in dem Bogen nicht die zulässige Spannung überschreitet. Wenn ein solcher Nachweis nicht durchgeführt wird, ist  $b$  wie folgt zu bestimmen:

$$b = D t_0 / 2,5 r \text{ (mm)}$$

mit

$r$  = mittlerer Radius des Bogens (mm);

$c$  = Korrosionszuschlag (mm). Wenn Korrosion oder Erosion erwartet wird, ist die Wanddicke der Rohrleitung über die nach anderen Entwurfsregelungen ermittelte Dicke zu erhöhen. Dieser Zuschlag muss der erwarteten Lebensdauer der Rohrleitung entsprechen; und

$a$  = Herstellungs-Minustoleranz für die Wanddicke (%).

7.3.2.2 Die absolute Mindestwanddicke muss einer Norm entsprechen, die für die Verwaltung annehmbar ist.

#### 7.3.3 Entwurfsbedingungen

7.3.3.1 Soweit zutreffend, sind Rohrleitungen, Rohrleitungssysteme und Rohrleitungszubehör nach der härtesten der folgenden Entwurfsbedingungen zu bemessen:<sup>14, 15</sup>

1. Dem Dampfdruck bei 45 °C bei Systemen oder Zubehörteilen, die von ihren Sicherheitsventilen getrennt werden können und die jederzeit nur Dampf enthalten, dabei ist als Ausgangsbedingung anzunehmen, dass sich im System ein Dampf im Sättigungszustand bei Betriebsdruck und Betriebstemperatur des Systems befindet; oder

<sup>14</sup> Bezüglich der Entwurfsbedingung nach Absatz 7.3.3.1.1 können von der Verwaltung geringere Werte der Umgebungstemperatur für Schiffe mit eingeschränktem Fahrtbereich anerkannt werden. Umgekehrt können auch höhere Werte der Umgebungstemperatur gefordert werden.

<sup>15</sup> Bei Schiffen auf Reisen von begrenzter Dauer kann der Druck  $P_0$  auf der Grundlage des tatsächlichen Druckanstiegs während der Reise berechnet werden, und eine eventuell vorhandene thermische Isolierung des Tanks kann berücksichtigt werden. Auf die Anwendung der Änderungen zum Gastanker-Code betreffend Beladungsgrenzen für Typ C-Tanks (SIGTTO/IACS) wird verwiesen.

<sup>13</sup> Auf die Norm EN ISO 14726:2008 – Ships and marine technology – Identification colours for the content of piping systems – wird verwiesen.

- .2 dem MARVS der Brennstofftanks und der Brennstoffprozesssysteme; oder
- .3 dem Einstelldruck des Sicherheitsventils der angeschlossenen Pumpe oder des angeschlossenen Kompressors; oder
- .4 dem größten Gesamtdruck, dem das Brennstoff-Rohrleitungssystem während der Brennstoffübernahme oder -abgabe ausgesetzt ist, oder
- .5 dem Einstelldruck des Sicherheitsventils auf einem Rohrleitungssystem.

7.3.3.2 Rohrleitungen, Rohrleitungssysteme und Rohrleitungszubehör müssen für einen Mindest-Entwurfsdruck von 1,0 MPa bemessen sein, davon ausgenommen sind offene Rohrleitungen, bei denen der Druck nicht geringer als 0,5 MPa sein darf.

### 7.3.4 Zulässige Spannung

7.3.4.1 Für aus Stahl einschließlich nichtrostendem Stahl hergestellte Rohrleitungen ist für die zulässige Spannung, die in der Formel der Festigkeits-Dicke nach Absatz 7.3.2.1 zu berücksichtigen ist, der kleinere der folgenden Werte anzunehmen:

$$R_m/2,7 \text{ oder } R_e/1,8$$

Dabei sind:

$R_m$  = Mindestnennzugfestigkeit bei Raumtemperatur (N/mm<sup>2</sup>); und

$R_e$  = Mindestnennstreckgrenze bei Raumtemperatur (N/mm<sup>2</sup>). Falls das Spannungs-Dehnungsdiagramm keine ausgeprägte Streckgrenze zeigt, ist die 0,2%-Dehngrenze maßgeblich.

7.3.4.2 Die Wanddicke ist über das in Absatz 7.3.2 bestimmte Maß hinaus zu verstärken, wenn es aus Festigkeitsgründen erforderlich ist, um Beschädigung, Zusammenbruch, übermäßiges Durchhängen oder Beulen der Rohrleitungen infolge von überlagerten Belastungen zu verhindern; falls dieses nicht durchführbar ist oder zu unzulässig hohen örtlichen Spannungen führen würde, sind diese Belastungen durch andere bauliche Maßnahmen zu verringern oder zu beheben, oder es sind Schutzvorkehrungen gegen diese Belastungen zu treffen. Solche überlagerten Belastungen können durch Auflager, Schiffsdurchbiegungen, den plötzlichen Flüssigkeits-Druckanstieg während Umschlagsvorgängen, das Gewicht abgesperrter Ventile, Reaktionen auf Ladearm-Verbindungen oder andere Ursachen entstehen.

7.3.4.3 Für Rohrleitungen, die aus anderen Werkstoffen als Stahl hergestellt, ist die zulässige Spannung durch die Verwaltung zu prüfen.

7.3.4.4 Brennstoff-Rohrleitungssysteme unter Hochdruck müssen eine ausreichende konstruktive Festigkeit haben. Dieses ist durch die Durchführung einer Spannungsuntersuchung zu bestätigen, und dabei sind zu berücksichtigen:

- .1 Spannungen infolge des Gewichts der Rohrleitungen,
- .2 Beschleunigungslasten, falls wesentlich, und
- .3 Innendruck und Belastungen infolge Durchbiegung des Schiffskörpers (Hogging und Sagging).

7.3.4.5 Wenn die Entwurfstemperatur bei -110 °C oder darunter liegt, muss für jeden Zweig des Rohrleitungssystems eine vollständige Spannungsuntersuchung durchgeführt werden, wobei alle Spannungen infolge des Gewichts der Rohrleitungen einschließlich Beschleunigungslasten, falls von Einfluss, des Innendrucks, thermisch bedingter Schrumpfung und der Belastungen infolge Durchbiegung des Schiffskörpers (Hogging und Sagging) zu berücksichtigen sind.

### 7.3.5 Flexibilität der Rohrleitungen

7.3.5.1 Die Anordnung und Installation von Brennstoffleitungen müssen die erforderliche Flexibilität bieten, um die Unversehrtheit des Rohrleitungssystems bei den tatsächlichen Betriebsverhältnissen unter Berücksichtigung der Möglichkeit der Ermüdung aufrechtzuerhalten.

### 7.3.6 Herstellung der Rohrleitungen und Einzelheiten der Verbindungen

7.3.6.1 Flansche, Ventile und andere Zubehörteile müssen unter Berücksichtigung des in Absatz 7.3.3.1 definierten Entwurfsdruckes einer für die Verwaltung annehmbaren Norm entsprechen. Für Faltenbälge und Ausdehnungsverbindungen, die für die Gasphase benutzt werden, kann ein niedrigerer Mindest-Entwurfsdruck als der nach Absatz 7.3.3.1 definierte Druck anerkannt werden.

7.3.6.2 Alle Ventile und Ausdehnungsverbindungen, die in Hochdruck-Brennstoffleitungssystemen verwendet werden, müssen entsprechend einer für die Verwaltung annehmbaren Norm zugelassen sein.

7.3.6.3 Das Rohrleitungssystem ist durch Schweißverbindungen mit einem Minimum von Flanschverbindungen herzustellen. Flanschdichtungen müssen gegen Ausblasen geschützt sein.

7.3.6.4 Die Herstellung der Rohrleitungen und Einzelheiten der Verbindungen müssen das Folgende erfüllen:

#### 7.3.6.4.1 Direkte Verbindungen

- .1 Stumpfnahverbindungen mit vollständig durchgeschweißter Wurzel können für alle Anwendungsbereiche verwendet werden. Bei Entwurfstemperaturen unter -10 °C müssen Stumpfnähte entweder doppelseitig geschweißt sein oder einer doppelseitigen Schweißverbindung gleichwertig sein. Dieses kann durch die Verwendung eines Unterleggrings, einer aufschmelzenden Einlage (Schmelzverbindung) oder eines inneren Formier-Gasschutzes für die erste Lage erreicht werden. Bei Entwurfsdrücken über 1,0 MPa und Entwurfstemperaturen von -10 °C oder darunter müssen die Unterlegringe entfernt werden.
- .2 Muffenschweißverbindungen und die zugehörige Schweißung, die Abmessungen entsprechend anerkannten Normen haben, dürfen nur für Rohrleitungen von Instrumenten und offene Rohrleitungen mit einem Außendurchmesser von 50 mm oder weniger und Entwurfstemperaturen nicht unter -55 °C verwendet werden.
- .3 Schraubverbindungen, die anerkannten Normen entsprechen, dürfen nur für Hilfsleitungen und Leitungen für Messinstrumente mit Außendurchmessern von 25 mm oder weniger verwendet werden.

### 7.3.6.4.2 Flanschverbindungen

- .1 Flansche in Flanschverbindungen dürfen nur Vorschweißflansche, Überschiebflansche oder Einsteckschweißflansche sein; und
- .2 für alle Rohrleitungen gelten mit Ausnahme von offenen Rohrleitungen die folgenden Einschränkungen:
  - .1 Bei Entwurfstemperaturen unter  $-55^{\circ}\text{C}$  dürfen nur Vorschweißflansche verwendet werden; und
  - .2 bei Entwurfstemperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  dürfen bei Nennweiten über 100 mm keine Überschiebflansche und bei Nennweiten über 50 mm keine Einsteckschweißflansche verwendet werden.

### 7.3.6.4.3 Ausdehnungsverbindungen

Wenn Faltenbälge und Ausdehnungsverbindungen entsprechend Absatz 7.3.6.1 eingebaut sind, gilt das Folgende:

- .1 Falls erforderlich, sind Faltenbälge gegen Eisbildung zu schützen;
- .2 Schiebstopfbuchsen-Verbindungen dürfen nur in Lagertanks für verflüssigten Gasbrennstoff verwendet werden; und
- .3 Faltenbälge dürfen normalerweise nicht in geschlossenen Räumen angeordnet sein.

### 7.3.6.4.4 Andere Rohrverbindungen

Rohrverbindungen sind entsprechend den Absätzen 7.3.6.4.1 bis 7.3.6.4.3 zusammenzufügen; die Verwaltung kann jedoch für sonstige Ausnahmefälle alternative Maßnahmen berücksichtigen.

## 7.4 Regelungen für Werkstoffe

### 7.4.1 Metallische Werkstoffe

7.4.1.1 Werkstoffe für Brennstoffbehälter und Brennstoff-Rohrleitungssysteme müssen den in den folgenden Tabellen angegebenen Mindestregelungen entsprechen:

- .1 Tabelle 7.1: Bleche, Rohre (nahtlos und geschweißt), Formstähle und Schmiedestücke für Brennstofftanks und Prozessdruckbehälter für Entwurfstemperaturen nicht unter  $0^{\circ}\text{C}$ .
- .2 Tabelle 7.2: Bleche, Formstähle und Schmiedestücke für Brennstofftanks, zweite Barrieren und Prozessdruckbehälter für Entwurfstemperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $-55^{\circ}\text{C}$ .
- .3 Tabelle 7.3: Bleche, Formstähle und Schmiedestücke für Brennstofftanks, zweite Barrieren und Prozessdruckbehälter für Entwurfstemperaturen unter  $-55^{\circ}\text{C}$  bis  $-165^{\circ}\text{C}$ .
- .4 Tabelle 7.4: Rohre (nahtlos und geschweißt), Schmiedestücke und Gussteile für Brennstoff- und Prozessrohrleitungen für Entwurfstemperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $-165^{\circ}\text{C}$ .
- .5 Tabelle 7.5: Bleche und Formstähle für den Schiffskörper entsprechend den Anforderungen des Absatzes 6.4.13.1.1.2.

Tabelle 7.1

<b>Bleche, Rohre (nahtlos und geschweißt)<sup>1,2</sup>, Formstähle und Schmiedestücke für Brennstofftanks und Prozessdruckbehälter für Entwurfstemperaturen nicht unter 0 °C</b>		
CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG UND WÄRMEBEHANDLUNG		
◆ Kohlenstoff-Manganstahl		
◆ Vollberuhigter Feinkornstahl		
◆ Geringe Legierungszusätze mit Genehmigung der Verwaltung		
◆ Von der Verwaltung zu genehmigende Grenzwerte der chemischen Zusammensetzung		
◆ Normalgeglüht oder vergütet <sup>4</sup>		
PRÜFREGELUNGEN FÜR ZUG- UND ZÄHIGKEITVERSUCHE (KERBSCHLAGBIEGEVERSUCHE)		
Häufigkeit der Probenahme		
◆ Bleche	stückweise Prüfung	
◆ Formstähle und Schmiedeteile	losweise Prüfung	
Mechanische Eigenschaften		
◆ Zugeigenschaften	Der Nennwert der Mindeststreckgrenze darf 410 N/mm <sup>2</sup> nicht überschreiten <sup>5</sup>	
Zähigkeit (Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuch)		
◆ Bleche	Querprobestücke, Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) 27 J	
◆ Formstähle und Schmiedeteile	Längsprobestücke, Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) 41 J	
◆ Prüftemperatur	Dicke t (mm)	Prüftemperatur (°C)
	$t \leq 20$	0
	$20 < t \leq 40^3$	-20
Anmerkungen		
1 Für nahtlose Rohre und Fittings gilt das übliche Verfahren. Die Verwendung von längsnaht- oder spiralnahtgeschweißten Rohren muss von der Verwaltung besonders genehmigt werden.		
2 Für Rohre werden Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche nicht gefordert.		
3 Diese Tabelle ist allgemein gültig für Werkstoffdicken bis 40 mm. Anträge für größere Werkstoffdicken müssen von der Verwaltung genehmigt werden.		
4 Als Alternative kann ein kontrolliertes Walzverfahren oder ein thermomechanisch kontrolliertes Verfahren (TMCP) verwendet werden.		
5 Werkstoffe, deren Nennwert der Mindeststreckgrenze über 410 N/mm <sup>2</sup> liegt, können von der Verwaltung genehmigt werden. Bei diesen Werkstoffen ist besonders auf die Aufhärtung der geschweißten Zone und der Wärmeeinflusszone zu achten.		

Tabelle 7.2

<b>Bleche, Formstähle und Schmiedestücke<sup>1</sup> für Brennstofftanks, zweite Barrieren und Prozessdruckbehälter für Entwurfstemperaturen unter 0 °C bis -55 °C Größte Werkstoffdicke 25 mm<sup>2</sup></b>					
CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG UND WÄRMEBEHANDLUNG					
◆ Kohlenstoff-Manganstahl					
◆ Vollberuhigter Aluminium-behandelter Feinkornstahl					
◆ Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse)					
	C	Mn	Si	S	P
	0,16 % max. <sup>3</sup>	0,70 - 1,60 %	0,10 - 0,50 %	0,025 % max.	0,025 % max.
Wahlweise Zusätze: Legierungsbestandteile und feinkornbildende Elemente können im Allgemeinen den folgenden Angaben entsprechen:					
	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
	0,80 % max.	0,25 % max.	0,08 % max.	0,35 % max.	0,05 % max.
Al-Gehalt gesamt 0,02 % min. (säurelöslich 0,015 % min.)					
◆ Normalgeglüht oder vergütet <sup>4</sup>					
PRÜFREGELUNGEN FÜR ZUG- UND ZÄHIGKEITVERSUCHE (KERBSCHLAGBIEGEVERSUCHE)					
Häufigkeit der Probenahme					
◆ Bleche			stückweise Prüfung		
◆ Formstähle und Schmiedeteile			losweise Prüfung		
Mechanische Eigenschaften					
◆ Zugeigenschaften			Der Nennwert der Mindeststreckgrenze darf 410 N/mm <sup>2</sup> nicht überschreiten <sup>5</sup>		
Zähigkeit (Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuch)					
◆ Bleche			Querprobestücke, Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) 27 J		
◆ Formstähle und Schmiedeteile			Längsprobestücke, Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) 41 J		
◆ Prüftemperatur			5 °C unter der Entwurfstemperatur oder -20 °C, je nachdem, welcher Wert niedriger ist		

## Anmerkungen

- 1 Die Regelungen für die Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche und für die chemische Zusammensetzung von Schmiedestücken können von der Verwaltung besonders festgelegt werden.
- 2 Für Werkstoffdicken von mehr als 25 mm sind die Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche wie folgt durchzuführen:

Werkstoffdicke (mm)	Prüftemperatur (°C)
$25 < t \leq 30$	10 °C unter Entwurfstemperatur oder -20 °C, je nachdem, welcher Wert niedriger ist
$30 < t \leq 35$	15 °C unter Entwurfstemperatur oder -20 °C, je nachdem, welcher Wert niedriger ist
$35 < t \leq 40$	20 °C unter Entwurfstemperatur
$40 < t$	Von der Verwaltung genehmigte Temperatur

Der Kerbschlagwert der Schlagarbeit muss der Tabelle für die jeweils zutreffende Probenart entsprechen. Werkstoffe für Tanks oder Tankteile, die nach dem Schweißen vollständig spannungsarm gegläht werden, können bei einer Temperatur von 5 °C unterhalb der Entwurfstemperatur oder bei -20 °C geprüft werden, je nachdem, welche Temperatur niedriger ist.

Für spannungsarm geglähte Verstärkungen und andere Bauteile muss die Prüftemperatur die gleiche sein wie für die angrenzende Tankmanteldicke.

- 3 Mit besonderer Genehmigung der Verwaltung kann der Kohlenstoffgehalt auf maximal 0,18 % angehoben werden, vorausgesetzt, die Entwurfstemperatur liegt nicht unter -40 °C.
- 4 Als Alternative kann ein kontrolliertes Walzverfahren oder ein thermomechanisch kontrolliertes Verfahren (TMCP) verwendet werden.
- 5 Werkstoffe, deren Nennwert der Mindeststreckgrenze über 410 N/mm<sup>2</sup> liegt, können von der Verwaltung genehmigt werden. Bei diesen Werkstoffen ist besonders auf die Aufhärtung der geschweißten Zonen und der Wärmeeinflusszonen zu achten.

## Hinweis

Für Werkstoffe von mehr als 25 mm Dicke, deren Prüftemperatur -60 °C oder niedriger ist, kann die Anwendung besonders behandelter Stähle oder von Stählen nach Tabelle 7.3 erforderlich sein.

Tabelle 7.3

Bleche, Formstähle und Schmiedestücke <sup>1</sup> für Brennstofftanks, zweite Barrieren und Prozessdruckbehälter für Entwurfstemperaturen unter -55 °C bis -165 °C <sup>2</sup> Größte Werkstoffdicke 25 mm <sup>3,4</sup>		
Niedrigste Entwurfstemperatur (°C)	CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG <sup>5</sup> UND WÄRMEBEHANDLUNG	Temperatur für Kerbschlagbiegeversuch (°C)
-60	1,5 % Nickelstahl – normalgeglüht oder normalgeglüht und angelassen oder vergütet oder thermomechanisch kontrolliertes Verfahren (TMCP) <sup>6</sup>	-65
-65	2,25 % Nickelstahl – normalgeglüht oder normalgeglüht und angelassen oder vergütet oder thermomechanisch kontrolliertes Verfahren (TMCP) <sup>6,7</sup>	-70
-90	3,5 % Nickelstahl – normalgeglüht oder normalgeglüht und angelassen oder vergütet oder thermomechanisch kontrolliertes Verfahren (TMCP) <sup>6,7</sup>	-95
-105	5 % Nickelstahl – normalgeglüht oder normalgeglüht und angelassen oder vergütet <sup>6,7 und 8</sup>	-110
-165	9 % Nickelstahl – doppelt normalgeglüht und angelassen oder vergütet <sup>6</sup>	-196
-165	Austenitische Stähle, wie z. B Typ 304, 304L, 316, 316L, 321 und 347 lösungsgeglüht <sup>9</sup>	-196
-165	Aluminiumlegierungen, wie z. B Typ 5083 entspannt	nicht gefordert
-165	Austenitische Fe-Ni-Legierung (36 % Nickel), Wärmebehandlung nach Vereinbarung	nicht gefordert
PRÜFREGELUNGEN FÜR ZUG- UND ZÄHIGKEITVERSUCHE (KERBSCHLAGBIEGEVERSUCHE)		
Häufigkeit der Probenahme		
◆ Bleche	stückweise Prüfung	
◆ Formstähle und Schmiedeteile	losweise Prüfung	
Zähigkeit (Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuch)		
◆ Bleche	Querprobestücke, Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) 27 J	
◆ Formstähle und Schmiedeteile	Längsprobestücke, Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) 41 J	

## Anmerkungen

- 1 Die Kerbschlagbiegeversuche für Schmiedestücke in kritischen Anwendungsbereichen sind von der Verwaltung besonders zu prüfen.
- 2 Die Regelungen für Entwurfstemperaturen unter  $-165\text{ °C}$  sind mit der Verwaltung besonders zu vereinbaren.
- 3 Bei Werkstoffen 1,5 % Ni, 2,25 % Ni, 3,5 % Ni und 5% Ni von mehr als 25 mm Dicke sind die Kerbschlagbiegeversuche wie folgt durchzuführen.:

Werkstoffdicke (mm)	Prüftemperatur (°C)
$25 < t \leq 30$	10 °C unter Entwurfstemperatur
$30 < t \leq 35$	15 °C unter Entwurfstemperatur
$35 < t \leq 40$	20 °C unter Entwurfstemperatur

- Der Wert der Schlagarbeit muss der Tabelle für die jeweils zutreffende Probenart entsprechen. Für Werkstoffe von mehr als 40 mm Dicke müssen die Kerbschlagbiegewerte besonders festgelegt werden.
- 4 Bei Anwendung von 9 % Ni-Stählen, nichtrostenden austenitischen Stählen und Aluminiumlegierungen können größere Werkstoffdicken als 25 mm verwendet werden.
  - 5 Die Grenzwerte für die chemische Zusammensetzung müssen anerkannten Normen entsprechen.
  - 6 Nickelstähle nach dem thermomechanisch kontrollierten Verfahren (TMCP) unterliegen der Zustimmung der Verwaltung.
  - 7 Eine niedrigere Mindestentwurfstemperatur für vergütete Stähle kann mit der Verwaltung besonders vereinbart werden.
  - 8 Ein besonders wärmebehandelter 5 % Nickelstahl, z. B. ein dreifach wärmebehandelter 5 % Nickelstahl, kann bis  $-165\text{ °C}$  benutzt werden, vorausgesetzt, die Kerbschlagbiegeversuche werden bei  $-196\text{ °C}$  ausgeführt.
  - 9 Der Kerbschlagbiegeversuch kann nach Vereinbarung mit der Verwaltung entfallen.

Tabelle 7.4

<b>Rohre (nahtlos und geschweißt)<sup>1</sup>, Schmiedestücke<sup>2</sup> und Gussteile<sup>2</sup> für Brennstoff- und Prozessrohrleitungen für Entwurfstemperaturen unter 0 °C bis -165 °C<sup>3</sup> Größte Werkstoffdicke 25 mm</b>			
Niedrigste Entwurfstemperatur (°C)	CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG <sup>5</sup> UND WÄRMEBEHANDLUNG	Kerbschlagversuch	
		Prüftemperatur (°C)	Minstdurchschnittswert der Schlagarbeit (KV) (J)
-55	Kohlenstoff-Manganstahl – voll beruhigter Feinkornstahl, normalgeglüht oder wie vereinbart <sup>6</sup>	siehe 4	27
-65	2,25 % Nickelstahl – normalgeglüht, normalgeglüht und angelassen oder vergütet <sup>6</sup>	-70	34
-90	3,5 % Nickelstahl – normalgeglüht, normalgeglüht und angelassen oder vergütet <sup>6</sup>	-95	34
-165	9 % Nickelstahl <sup>7</sup> – doppelt normalgeglüht und angelassen oder vergütet	-196	41
	Austenitische Stähle, wie z. B Typ 304, 304L, 316, 316L, 321 und 347 lösungsgeglüht <sup>8</sup>	-196	41
	Aluminiumlegierungen, wie z. B Typ 5083 entspannt	--	nicht gefordert
<b>PRÜFREGELUNGEN FÜR ZUG- UND ZÄHIGKEITVERSUCHE (KERBSCHLAGBIEGEVERSUCHE)</b>			
Häufigkeit der Probenahme			
◆ losweise Prüfung			
Zähigkeit (Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuch)			
◆ Kerbschlagbiegeprüfung: Längsprobestücke			
Anmerkungen			
1	Die Verwendung längsnaht- oder spiralnahtgeschweißter Rohre muss von der Verwaltung besonders genehmigt werden.		
2	Die Regelungen für Schmiedestücke und Gussteile können einer besonderen Überprüfung durch die Verwaltung unterliegen.		
3	Die Regelungen für Entwurfstemperaturen unter -165 °C sind mit der Verwaltung besonders zu vereinbaren.		
4	Die Prüftemperatur muss 5 °C unter der Entwurfstemperatur oder bei -20 °C liegen, je nachdem, welcher Wert niedriger ist.		
5	Die Grenzwerte für die chemische Zusammensetzung müssen anerkannten Normen entsprechen.		
6	Für vergütete Werkstoffe kann eine niedrigere Entwurfstemperatur mit der Verwaltung besonders vereinbart werden.		
7	Diese chemische Zusammensetzung ist für Gussteile nicht geeignet.		
8	Die Kerbschlagbiegeversuche können nach Vereinbarung mit der Verwaltung entfallen.		

Tabelle 7.4

Bleche und Formstähle für den Schiffskörper entsprechend den Anforderungen des Absatzes 6.4.13.1.1.2.								
Niedrigste Entwurfstemperatur für den Schiffskörper (°C)	Größte Dicke (mm) für die Stahlgütegrade							
	A	B	D	E	AH	DH	EH	FH
0 und darüber	Anerkannte Normen							
bis -5	15	25	30	50	25	45	50	50
bis -10	X	20	25	50	20	40	50	50
bis -20	X	X	20	50	X	30	50	50
bis -30	X	X	X	40	X	20	40	50
unter -30	In Übereinstimmung mit Tabelle 7.2; es gelten jedoch nicht die in Tabelle 7.2 und in der Anmerkung 2 zu dieser Tabelle angegebenen Dickenbegrenzungen.							
Anmerkungen								
X bedeutet, dass der Gütegrad nicht zu verwenden ist.								

7.4.1.2 Werkstoffe mit einem Schmelzpunkt unter 925 °C dürfen nicht für Rohrleitungen außerhalb der Brennstoff-tanks benutzt werden.

7.4.1.3 Bei CNG-Tanks kann die Verwendung von Werkstoffen, die vorstehend nicht erfasst sind, durch der Verwaltung besonders berücksichtigt werden.

7.4.1.4 Soweit erforderlich, muss das äußere Rohr oder der äußere Kanal, das bzw. der Gas unter Hochdruck im inneren Rohr enthält, mindestens die Werkstoffregelungen für Rohrwerkstoffe mit einer Entwurfstemperatur bis -55 °C nach Tabelle 7.4 erfüllen.

7.4.1.5 Das äußere Rohr oder der Kanal, das bzw. der Rohrleitungen für verflüssigten Gasbrennstoff umschließt, muss mindestens die Werkstoffregelungen für Rohrwerkstoffe mit einer Entwurfstemperatur bis -165 °C nach Tabelle 7.4 erfüllen.

## 8 BUNKERN

### 8.1 Zielsetzung

8.1.1 Das Ziel dieses Kapitels ist es, geeignete Systeme an Bord des Schiffes einzubauen, um sicherzustellen, dass Bunkern ohne Verursachung eines Risikos für Personen, für die Umwelt und für das Schiff durchgeführt werden kann.

### 8.2 Funktionale Anforderungen

8.2.1 Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1 bis 3.2.11 und 3.2.13 bis 3.2.17. Insbesondere gilt das Folgende:

8.2.1.1 Das Rohrleitungssystem für die Übernahme von Brennstoff zum Lagertank muss baulich derart ausgeführt sein, dass irgendeine Leckage aus dem Rohrleitungssystem kein Risiko für Personen, für die Umwelt oder für das Schiff verursachen kann.

### 8.3 Regelungen für die Bunkerstation

#### 8.3.1 Allgemeines

8.3.1.1 Die Bunkerstation muss auf dem freien Deck angeordnet sein, damit eine ausreichende natürliche Lüftung vorhanden ist. Geschlossene oder halbgeschlossene Bunkerstationen sind einer besonderen Abwägung innerhalb der Risikobewertung zu unterziehen.

8.3.1.2 Anschlüsse und Rohrleitungen müssen so eingebaut und angeordnet sein, dass irgendeine Beschädigung der Brennstoffleitungen nicht eine Beschädigung des Brennstoffbehältersystems des Schiffes verursacht, die zu einem unkontrollierten Gasaustritt führt.

8.3.1.3 Es müssen Vorkehrungen für eine sichere Beseitigung jedes ausgelaufenen Brennstoffs getroffen sein.

8.3.1.4 Es müssen geeignete Einrichtungen zum Abbau des Druckes und zum Entfernen des Flüssigkeitsinhalts aus Pumpen-Ansaugstutzen und Bunkerleitungen vorhanden sein. Die Flüssigkeit muss in die Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff oder zu einer anderen geeigneten Stelle abgeführt werden.

8.3.1.5 Die umgebenden Verbände des Schiffskörpers oder des Decks dürfen einer unzulässigen Abkühlung im Fall einer Brennstoff-Leckage nicht ausgesetzt werden.

8.3.1.6 Bei CNG-Bunkerstationen sind Tieftemperatur-Stahlabschirmungen in Betracht zu ziehen, um festzustellen, ob das Ausströmen kalter Strahlen, die auf umgebende Schiffsverbände auftreffen, möglich ist.

#### 8.3.2 Brennstoffschläuche der Schiffe

8.3.2.1 Schläuche für Flüssigkeit und Dampf, die für die Übernahme von Brennstoff eingesetzt werden, müssen mit dem Brennstoff verträglich und für die Brennstofftemperatur geeignet sein.

8.3.2.2 Schläuche, die einem Tankdruck oder dem Ausströmdruck von Pumpen oder Dampfkompressoren ausgesetzt sind, müssen für einen Berstdruck ausgelegt sein, der mindestens dem Fünffachen des maximalen Drucks entspricht, dem der Schlauch während des Bunkerns ausgesetzt sein kann.

### 8.4 Regelungen für die Übergabestation

8.4.1 Die Übergabestation zum Bunkern muss so ausgelegt sein, dass sie den äußeren Belastungen während des Bunkerns standhält. Die Anschlüsse an der Bunkerstation müssen Kupplungen sein, bei deren Entkupplung kein Brennstoff austritt, und sie müssen mit zusätzlicher selbstschließender Schnelltrennkupplung mit Sollbruchstelle ausgerüstet sein. Die Kupplung muss von einer genormten Bauart sein.

### 8.5 Regelungen für Bunkersysteme

8.5.1 Es muss eine Einrichtung zum Durchspülen der Brennstoffbunkerleitungen mit Inertgas vorhanden sein.

8.5.2 Das Bunkersystem muss so eingerichtet sein, dass während des Befüllens der Lagertanks kein Gas in die Atmosphäre freigesetzt wird.

8.5.3 Ein handbedienbares Absperrventil und ein fernbedienbares Abschaltventil sind hintereinander oder ein kombiniertes handbedienbares und fernbedienbares Ventil ist in jede Bunkerleitung dicht an der Anschlussstelle einzubauen. Es muss möglich sein, das fernbedienbare Ventil von der Kontrollstelle für den Bunkerbetrieb aus und/oder von einer anderen sicheren Stelle aus zu bedienen.

8.5.4 Es müssen Einrichtungen zum Entleeren jeglichen Brennstoffes aus den Bunkerleitungen nach Abschluss des Vorganges vorhanden sein.

8.5.5 Bunkerleitungen müssen für Inertisieren und Gasfreimachen eingerichtet sein. Wenn die Leitungen nicht zum Bunkern eingesetzt sind, müssen die Bunkerleitungen frei von Gas sein, sofern nicht die Folgewirkungen des Nicht-Gasfreimachens bewertet und zugelassen sind.

8.5.6 Für den Fall, dass Bunkerleitungen mit einer Schiffsseiten-Umschaltung ausgerüstet sind, muss durch geeignete Trennvorrichtungen sichergestellt sein, dass kein Brennstoff versehentlich auf die Schiffsseite befördert wird, auf der kein Bunkern erfolgt.

8.5.7 Eine Schiff-Land-Verbindung oder eine gleichwertige Einrichtung für eine selbsttätige oder manuelle ESD-Kommunikation zur Bunkerbezugsquelle muss eingebaut sein.

8.5.8 Sofern nicht nachgewiesen ist, dass wegen der Berücksichtigung von Druckstößen ein höherer Wert erforderlich ist, muss eine entsprechend Absatz 16.7.3.7 berechnete Schließzeit vom Auslösen des Alarms bis zur vollständigen Schließung des nach Absatz 8.5.3 vorgeschriebenen fernbedienbaren Ventils eingestellt sein.

## 9 BRENNSTOFFVERSORGUNG DER VERBRAUCHER

### 9.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist es, eine sichere und zuverlässige Verteilung von Brennstoff zu den Verbrauchern sicherzustellen.

### 9.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1 bis 3.2.6, 3.2.8 bis 3.2.11 und 3.2.13 bis 3.2.17. Insbesondere gilt das Folgende:

- .1 Das Brennstoffversorgungs-System muss so angeordnet sein, dass die Auswirkungen eines Brennstoffaustritts minimiert werden, während ein sicherer Zugang für Betrieb und Besichtigung zur Verfügung steht;
- .2 das Rohrleitungs-System für die Brennstoffzuführung zu den Verbrauchern muss baulich derart ausgeführt sein, dass ein Versagen einer einzigen Barriere nicht zu einer Leckage vom Rohrleitungs-System in den umgebenden Bereich führen kann und ein Risiko für Personen, die Umwelt oder das Schiff verursacht; und
- .3 Brennstoffleitungen außerhalb der Maschinenräume müssen so installiert und geschützt sein, dass das Verletzungsrisiko für Personen und eine Beschädigung des Schiffes im Fall einer Leckage minimiert ist.

### 9.3 Regelungen über die Redundanz der Brennstoffversorgung

9.3.1 Bei Einrichtungen für einen einzigen Brennstoff muss das Brennstoffversorgungs-System baulich mit vollständiger Redundanz und Trennung über den gesamten Weg vom Brennstofftank bis zum Verbraucher ausgeführt sein, sodass eine Leckage in einem der Systeme nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führt.

9.3.2 Bei Einrichtungen für einen einzigen Brennstoff muss die Brennstofflagerung in zwei oder mehr Tanks aufgeteilt sein. Die Tanks müssen in getrennten Abteilungen untergebracht sein.

9.3.3 Bei Typ C-Tanks kann ein einziger Tank anerkannt werden, wenn zwei vollständig getrennte Tankanschlussräume für den einzigen Tank eingebaut sind.

### 9.4 Regelungen über Sicherheitsfunktionen des Gasversorgungs-Systems

9.4.1 Einlässe und Auslässe von Brennstoff-Lagertanks müssen mit Ventilen ausgerüstet sein, die so dicht wie möglich am Tank angebaut sind. Ventile, die während des normalen Betriebes<sup>16</sup> bedient werden müssen und die nicht zugänglich sind, müssen fernbedienbar sein. Tankventile, ob zugänglich oder nicht, müssen selbsttätig betätigt werden, wenn das nach Absatz 15.2.2 vorgeschriebene Sicherheitssystem aktiviert wird.

---

<sup>16</sup> In diesem Zusammenhang ist normaler Betrieb, wenn den Verbrauchern Gas zugeführt wird und während des Bunkerbetriebs.

9.4.2 Die Haupt-Gasversorgungsleitung zu jedem Gasverbraucher oder einer Reihe von Verbrauchern muss mit einem handbedienbaren Absperrventil und einem selbsttätig betriebenen „Haupt-Gasbrennstoffventil“ ausgerüstet sein, die hintereinander angeordnet oder in einem kombinierten handbedienbaren und fernbedienbaren Ventil vereint sind. Die Ventile müssen in dem Teil der Leitung angeordnet sein, der sich außerhalb des Maschinenraums befindet, der die Gasverbraucher enthält, und so nahe wie möglich an der Anlage zur Gasaufheizung, sofern vorhanden, eingebaut sein. Das Haupt-Gasbrennstoffventil muss die Gasversorgung selbsttätig unterbrechen, wenn es durch das nach Absatz 15.2.2 vorgeschriebene Sicherheitssystem aktiviert wird.

9.4.3 Das selbsttätige Haupt-Gasbrennstoffventil muss von einer sicheren Stelle aus an den Fluchtwegen innerhalb eines Maschinenraums, der einen Gasverbraucher enthält, vom Maschinenkontrollraum aus, sofern zutreffend, von außerhalb des Maschinenraums aus und von der Kommandobrücke aus bedienbar sein.

9.4.4 Jeder Gasverbraucher muss mit einer „Doppelabsperr- und Entlüftungsventil“-Einrichtung ausgerüstet sein. Diese Ventile müssen, wie in den Unterabsätzen .1 und .2 beschrieben, angeordnet sein, sodass, wenn das nach Absatz 15.2.2 vorgeschriebene Sicherheitssystem aktiviert wird, dieses dazu führt, dass die hintereinander angeordneten Absperrventile selbsttätig geschlossen werden und das Entlüftungsventil selbsttätig geöffnet wird, und

- .1 die zwei Absperrventile müssen sich hintereinander in der Gasbrennstoffleitung zur Gasverbraucher-Anlage befinden. Das Entlüftungsventil muss sich in einem Rohr befinden, das den Teil der Gasbrennstoffleitung, der zwischen den beiden hintereinander liegenden Ventilen liegt, zu einer sicheren Stelle hin ins Freie entlüftet; und
- .2 die Funktion eines der hintereinander liegenden Absperrventile und die des Entlüftungsventils können in einem Ventilkörper zusammengefasst werden; die Anordnung muss so erfolgen, dass der Volumenstrom zur Gasverbraucher-Anlage blockiert und die Lüftung geöffnet wird.

9.4.5 Die beiden Ventile müssen von einer Bauart sein, die bei Versagen schließt, während das Entlüftungsventil von einer Bauart ist, die bei Versagen öffnet.

9.4.6 Die Doppelabsperr- und Entlüftungsventile sind auch für das normale Abstellen der Maschine zu benutzen.

9.4.7 In Fällen, in denen das Haupt-Gasbrennstoffventil selbsttätig geschlossen wird, muss der vollständige Rohrteilabschnitt der Gasversorgung im Abstrom des Doppelabsperr- und Entlüftungsventils, wegen der Annahme eines Rückstroms von der Maschine zur Rohrleitung, selbsttätig entlüftet werden.

9.4.8 In der Gasversorgungsleitung zu jeder Maschine muss im Zustrom zu den Doppelabsperr- und Entlüftungsventilen ein handbedienbares Absperrventil vorhanden sein, um eine sichere Trennung während Instandhaltungsarbeiten an der Maschine zu gewährleisten.

9.4.9 Bei Anlagen mit einer einzigen Maschine und bei Anlagen mit mehreren Maschinen, bei denen ein separates Hauptventil für jede Maschine eingebaut ist, können die Funktionen des Haupt-Gasbrennstoffventils und des Doppelabsperr- und Entlüftungsventils kombiniert werden.

9.4.10 Für jede Haupt-Gasversorgungsleitung, die in einen ESD-geschützten Maschinenraum führt, und für jede Gasversorgungs-Leitung zu Hochdruckanlagen müssen Einrichtungen zum schnellen Aufspüren eines Defektes in der Gasleitung im Maschinenraum vorhanden sein. Wenn der Defekt entdeckt ist, muss ein Ventil selbsttätig schließen<sup>17</sup>. Dieses Ventil muss in der Gasversorgungs-Leitung eingebaut sein, bevor diese in den Maschinenraum führt, oder so dicht wie möglich an der Eintrittsstelle innerhalb des Maschinenraums. Es kann ein separates Ventil sein oder mit anderen Funktionen kombiniert sein, z. B. mit dem Hauptventil.

## 9.5 Regelungen für die Brennstoffverteilung außerhalb des Maschinenraums

9.5.1 Führen Brennstoffleitungen durch geschlossene Räume im Schiff, müssen sie durch eine zweite Umhüllung geschützt sein. Diese Umhüllung kann ein belüfteter Kanal oder ein doppelwandiges Rohrleitungs-System sein. Der Kanal oder das doppelwandige Rohrleitungs-System muss mechanisch unter Unterdruck mit 30 Luftwechseln je Stunde belüftet sein, und das nach Abschnitt 15.8 erforderliche Aufspüren von Gas muss vorhanden sein. Andere Lösungen, die ein gleichwertiges Sicherheitsniveau bieten, können ebenfalls von der Verwaltung anerkannt werden.

9.5.2 Die Vorschrift in Absatz 9.5.1 braucht für vollständig geschweißte Brennstoffgas-Entlüftungsleitungen, die durch mechanisch belüftete Räume geführt sind, nicht angewendet zu werden.

## 9.6 Regelungen für die Brennstoffversorgung zu Verbrauchern in gassicheren Maschinenräumen

9.6.1 Brennstoffleitungen in gassicheren Maschinenräumen müssen durch ein doppelwandiges Rohr oder einen Kanal vollständig umschlossen sein; dabei muss eine der folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- .1 Die Gasrohrleitungen müssen aus einem doppelwandigen Rohrleitungs-System bestehen, das im inneren Rohr den Gasbrennstoff enthält. Der Raum zwischen den konzentrischen Rohren ist mit Inertgas unter Druck zu setzen, dessen Druck höher ist als der Druck des Gasbrennstoffs. Es müssen geeignete Alarmgeber eingebaut sein, die einen Verlust des Inertgas-Druckes zwischen den Rohren anzeigen. Enthält das innere Rohr Gas unter Hochdruck, muss das System so eingerichtet sein, dass das Rohr zwischen dem Haupt-Gasbrennstoffventil und der Maschine selbsttätig mit Inertgas gespült wird, wenn das Haupt-Gasbrennstoffventil geschlossen wird; oder

<sup>17</sup> Das Schließen muss zeitlich verzögert erfolgen, um ein Schließen infolge kurzzeitiger Belastungsschwankungen zu verhindern.

- .2 die Gas-Brennstoffleitungen müssen innerhalb eines belüfteten Rohres oder Kanals installiert sein. Der Luftraum zwischen der Gas-Brennstoffleitung und der Wandung des äußeren Rohres oder des Kanals muss eine mechanische Unterdruck-Lüftung haben, die eine Leistungsfähigkeit von mindestens 30 Luftwechsel je Stunde hat. Diese Leistungsfähigkeit der Lüftung kann auf 10 Luftwechsel je Stunde unter der Voraussetzung herabgesetzt werden, dass Vorkehrungen für ein selbsttätiges Befüllen des Kanals mit Stickstoff nach dem Aufspüren von Gas getroffen sind. Die Lüftermotoren müssen dem erforderlichen Explosionsschutz im Einbaubereich entsprechen. Die Lüftungsausstrittsöffnung muss mit einem Schutzschirm ummantelt und an einer Stelle angeordnet sein, an der kein entzündbares Gas-Luft-Gemisch entzündet werden kann; oder
- .3 es können auch andere Lösungen, die ein gleichwertiges Sicherheitsniveau bieten, von der Verwaltung anerkannt werden.

9.6.2 Die Verbindung der Gasleitungen und der Kanalführung zu den Gaseinspritzventilen muss vollständig durch den Kanal umschlossen sein. Diese Anordnung muss den Austausch und/oder die Instandsetzung/Überholung der Einspritzventile und Zylinderdeckel ermöglichen. Die doppelwandige Kanalausführung ist ebenfalls für alle Gasleitungen an der Maschine selbst, bis das Gas in die Brennkammer eingespritzt wird, erforderlich<sup>18</sup>.

### 9.7 Regelungen für die Gas-Brennstoffversorgung zu Verbrauchern in ESD-geschützten Maschinenräumen

9.7.1 Der Druck im Gasbrennstoffversorgungs-System darf 1,0 MPa nicht überschreiten.

9.7.2 Die Gasbrennstoffversorgungs-Leitungen müssen einen Entwurfsdruck haben, der mindestens 1,0 MPa beträgt.

### 9.8 Regelungen für die Ausführung eines belüfteten Kanals und einer äußeren Rohrleitung gegen eine Gasleckage der inneren Rohrleitung

9.8.1 Der Entwurfsdruck des äußeren Rohres oder Kanals von Brennstoff-Systemen darf nicht geringer sein als der maximale Arbeitsdruck des inneren Rohres. Andererseits darf bei Brennstoffleitungs-Systemen mit einem Arbeitsdruck von mehr als 1,0 MPa der Entwurfsdruck des äußeren Rohres oder Kanals nicht geringer sein als der maximale aufgebaute Druck, der in dem ringförmigen Raum unter Berücksichtigung des örtlichen plötzlichen Spitzendrucks im Bereich eines Bruches und der Lüftungseinrichtungen entsteht.

9.8.2 Bei Hochdruck-Brennstoffleitungen ist für den Entwurfsdruck der Kanäle der höhere der folgenden Werte anzunehmen:

- .1 Der maximale aufgebaute Druck: Der statische Druck im Bereich des Bruches, der sich durch das in den ringförmigen Raum strömende Gas ergibt;
- .2 der örtliche plötzliche Spitzendruck im Bereich des Bruches: Dieser Druck ist als der kritische Druck anzunehmen, der sich nach der folgenden Formel ergibt:

$$p = p_0 \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Hierbei sind:

$p_0$  = maximaler Arbeitsdruck der inneren Leitung,

$k = C_p/C_v$ , spezifische Wärme bei konstantem Druck geteilt durch spezifische Wärme bei konstantem Volumen,

$k = 1,31$  für  $CH_4$ .

Die tangentielle Membranspannung eines geraden Rohres darf die Nennzugfestigkeit geteilt durch 1,5 (Rm/1,5) nicht überschreiten, wenn dieses Rohr dem vorstehend angegebenen Druck ausgesetzt ist. Die Nenndrücke aller anderen Rohrleitungs-Zubehörteile müssen das gleiche Festigkeitsniveau haben wie die geraden Rohrleitungen.

Als eine Alternative zur Verwendung des Spitzendrucks nach der vorstehenden Formel kann der aus repräsentativen Versuchen ermittelte Spitzendruck verwendet werden. Es müssen dann Prüfberichte vorgelegt werden.

9.8.3 Die Überprüfung der Festigkeit muss auf Berechnungen basieren, welche die Unversehrtheit des Kanals oder des Rohres nachweisen. Als Alternative zu den Berechnungen kann die Festigkeit durch repräsentative Versuche überprüft werden.

9.8.4 Bei Niederdruck-Brennstoffleitungen muss der Kanal für einen Entwurfsdruck bemessen werden, der mindestens dem maximalen Arbeitsdruck der Brennstoffleitungen entspricht. Der Kanal muss einer Druckprüfung unterzogen werden, um zu beweisen, dass er dem voraussichtlichen maximalen Druck bei Bruch der Brennstoffleitung widerstehen kann.

### 9.9 Regelungen für Kompressoren und Pumpen

9.9.1 Wenn Kompressoren oder Pumpen durch Wellenleitungen angetrieben werden, die durch ein Schott oder Deck führen, muss die Schottdurchführung oder Deckdurchführung von gasdichter Bauart sein.

9.9.2 Kompressoren und Pumpen müssen für ihren Verwendungszweck geeignet sein. Alle Anlagen und Maschinen müssen ausreichend geprüft sein, um die Eignung für die Verwendung in mariner Umgebung sicherzustellen. Solche zu berücksichtigenden Punkte würden unter anderem folgendes umfassen:

- .1 Umgebungsbedingungen,
- .2 Schwingungen und Beschleunigungen an Bord,
- .3 Auswirkungen von Stampf-, Tauch- und Rollbewegungen usw., und
- .4 Gaszusammensetzung.

<sup>18</sup> Wenn Gas in den Lufteinlass unmittelbar an jedem einzelnen Zylinder während des Luftansaugens zum Zylinder bei einem Niederdruck-Motor so einströmt, dass ein einziger Fehler nicht zum Freisetzen von Brennstoffgas in den Maschinenraum führt, kann eine doppelwandige Kanalausführung um die Lufteinlassleitung entfallen.

9.9.3 Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um sicherzustellen, dass unter keinen Umständen verflüssigtes Gas in den Gasregelungsabschnitt oder in gasbetriebene Maschinen einströmen kann, sofern die Maschinen nicht für den Betrieb mit Gas im verflüssigten Zustand ausgelegt sind.

9.9.4 Kompressoren und Pumpen müssen mit Zubehöerteilen und mit einer Instrumentierung ausgerüstet sein, die für eine wirksame und zuverlässige Funktion erforderlich sind.

## **10 ENERGIEERZEUGUNG EINSCHLIESSLICH ANTRIEBS-GASVERBRAUCHER UND ANDERE GASVERBRAUCHER**

### **10.1 Zielsetzung**

10.1.1 Das Ziel dieses Kapitels ist es, eine sichere und zuverlässige Lieferung mechanischer, elektrischer oder thermischer Energie zu bieten.

### **10.2 Funktionale Anforderungen**

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1, 3.2.11, 3.2.13, 3.2.16 und 3.2.17. Insbesondere gilt das Folgende:

- .1 Die Abgassysteme müssen so gebaut sein, dass jede Ansammlung von unverbranntem gasförmigen Brennstoff verhindert wird;
- .2 Maschinenteile oder -systeme, die ein entzündbares Gas und ein Luftgemisch enthalten oder wahrscheinlich enthalten, müssen mit geeigneten Druckentlastungssystemen ausgerüstet sein, sofern sie nicht eine Festigkeit haben, die dem höchsten Überdruck infolge von Verpuffungen durch Gaslecks standhalten. In Abhängigkeit von der jeweiligen Motorbauart kann dieses die Lufteintritts-Ansaugstutzen und Spülluft Räume einschließen;
- .3 die Explosionsentlüftung muss von Stellen weggeführt sein, an denen Personen normalerweise anwesend sein können; und
- .4 alle Gasverbraucher müssen ein separates Abgassystem haben.

### **10.3 Regelungen für Kolben-Verbrennungskraftmaschinen**

#### **10.3.1 Allgemeines**

10.3.1.1 Das Abgassystem muss mit einer Explosionsdruckentlastungs-Entlüftung ausgerüstet sein, die ausreichend bemessen ist, um einen übermäßigen Explosionsdruck im Falle eines Zündaussetzers eines Zylinders, gefolgt von der Zündung des unverbrannten Gases im System, zu verhindern.

10.3.1.2 Bei Motoren, bei denen der Raum unterhalb des Kolbens in direkter Verbindung mit dem Kurbelgehäuse ist, muss eine ausführliche Bewertung hinsichtlich des Gefährdungspotentials der Brennstoffgasansammlung im Kurbelgehäuse vorgenommen werden und im Sicherheitskonzept des Motors wiedergegeben sein.

10.3.1.3 Jeder Motor, mit Ausnahme von Zweitakt-Kreuzkopf-Dieselmotoren, muss mit von anderen Motoren unabhängigen Lüftungssystemen für Kurbelgehäuse und Ölwannen ausgerüstet sein.

10.3.1.4 Wenn Gas unmittelbar in das Medium von Hilfssystemen (Schmieröl, Kühlwasser) lecken kann, muss nach dem Motorauslass eine geeignete Einrichtung zum Absaugen von Gas eingebaut sein, um eine Verteilung des Gases zu verhindern. Das Gas, das aus den Medien von Hilfssystemen abgesaugt worden ist, muss an einer sicheren Stelle in die Atmosphäre entlüftet werden.

10.3.1.5 Bei Motoren, die mit Zündsystemen ausgerüstet sind, muss die Funktionsfähigkeit des Zündsystems von jeder Einheit überprüft werden.

10.3.1.6 Es muss eine Einrichtung zur Überwachung und Feststellung schlechter Verbrennung oder von Fehlzündungen vorhanden sein. Für den Fall, dass etwas festgestellt wird, kann ein Gasbetrieb unter der Voraussetzung zugelassen werden, dass die Gasversorgung zu dem betroffenen Zylinder abgestellt wird, und vorausgesetzt, dass der Betrieb des Motors mit einem abgeschalteten Zylinder in Beziehung zu Torsionsschwingungen akzeptierbar ist.

10.3.1.7 Bei Motoren, die mit nach diesem Code erfassten Brennstoffen angelassen werden, muss das Brennstoffversorgungsventil selbsttätig geschlossen werden, wenn durch das Motor-Überwachungssystem keine Verbrennung innerhalb einer motorspezifischen Zeit nach Öffnung des Brennstoffversorgungsventils festgestellt worden ist. Es muss eine Einrichtung vorhanden sein, die sicherstellt, dass ein unverbranntes Brennstoffgemisch aus dem Abgassystem abgeführt wird.

#### **10.3.2 Regelungen für Zweistoffmotoren**

10.3.2.1 Im Fall der Abschaltung der Gasbrennstoffversorgung müssen die Motoren nur mit Ölbrennstoff ohne Unterbrechung weiter betrieben werden können.

10.3.2.2 Es muss ein automatisches System eingebaut sein, das vom Gasbrennstoffbetrieb auf Ölbrennstoffbetrieb und umgekehrt mit einer minimalen Schwankung der Motorleistung umschaltet. Eine akzeptierbare Zuverlässigkeit muss durch Versuche nachgewiesen werden. Im Fall eines instabilen Betriebes von Motoren bei Gasverbrennung muss der Motor selbsttätig auf Ölbrennstoffbetrieb umschalten. Eine manuelle Aktivierung der Gassystem-Abschaltung muss jederzeit möglich sein.

10.3.2.3 Im Fall eines normalen Stopps oder einer Notabschaltung darf die Gasbrennstoffversorgung nicht später als die Zündquelle abgeschaltet werden. Es darf nicht möglich sein, die Zündquelle abzuschalten, ohne zuvor oder gleichzeitig die Gasversorgung zu jedem Zylinder oder zum gesamten Motor zu schließen.

#### **10.3.3 Regelungen für reine Gasmotoren**

Im Fall eines normalen Stopps oder einer Notabschaltung darf die Gasbrennstoffversorgung nicht später als die Zündquelle abgeschaltet werden. Es darf nicht möglich sein, die Zündquelle abzuschalten, ohne zuvor oder gleichzeitig die Gasversorgung zu jedem Zylinder oder zum gesamten Motor zu schließen.

#### **10.3.4 Regelungen für Mehrstoffmotoren**

10.3.4.1 Im Fall der Abschaltung einer Brennstoffversorgung müssen die Motoren mit einem Alternativ-Brennstoff bei einer minimalen Schwankung der Motorleistung weiter betrieben werden können.

Zündmedium	Nur Gasbetrieb		Zweistoffbetrieb	Mehrstoffbetrieb
	Zündfunke	Zündöl	Zündöl	nicht zutreffend
Hauptbrennstoff	Gasbrennstoff	Gasbrennstoff	Gas- und/oder Ölbrennstoff	Gas- und/oder Flüssigbrennstoff

10.3.4.2 Es muss ein automatisches System eingebaut sein, das vom Betrieb mit einem Brennstoff auf den Betrieb mit einem Alternativ-Brennstoff bei einer minimalen Schwankung der Motorleistung umschaltet. Eine akzeptierbare Zuverlässigkeit muss durch Versuche nachgewiesen werden. Im Fall eines instabilen Betriebes eines Motors bei Verwendung eines bestimmten Brennstoffs muss der Motor selbsttätig auf den Betrieb mit einem Alternativ-Brennstoff umschalten. Eine manuelle Aktivierung muss jederzeit möglich sein.

**10.4 Regelungen für Haupt- und Hilfskessel**

10.4.1 Jeder Kessel muss ein unabhängiges Zwangsbelüftungssystem haben. Zwischen den Kessel-Zwangsbelüftungssystemen kann eine Verbindung für den Notbetrieb eingebaut sein, vorausgesetzt, dass alle relevanten Sicherheitsfunktionen aufrechterhalten werden.

10.4.2 Die Feuerräume und Rauchgasabzüge der Kessel müssen so gebaut sein, dass jede Ansammlung von gasförmigem Brennstoff verhindert wird.

10.4.3 Die Brenner müssen so gebaut sein, dass unter allen Feuerungszuständen eine stabile Verbrennung aufrechterhalten wird.

10.4.4 Bei Haupt-/Antriebskesseln muss ein selbsttätiges System eingebaut sein, das vom Gasbrennstoffbetrieb auf Ölbrennstoffbetrieb ohne Unterbrechung der Kesselbeheizung umschaltet.

10.4.5 Die Gasdüsen und das Brenner-Überwachungssystem müssen so konfiguriert sein, dass der Gasbrennstoff nur durch eine vorhandene Ölbrennstoff-Flamme gezündet werden kann, sofern nicht der Kessel und die Verbrennungseinrichtung so gebaut und von der Verwaltung zugelassen sind, mit Gasbrennstoff zu zünden.

10.4.6 Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, die sicherstellen, dass der Gasbrennstoffzufluss zum Brenner selbsttätig unterbrochen wird, wenn eine ausreichende Zündung nicht stattgefunden hat und nicht aufrechterhalten wird.

10.4.7 In die Brennstoffleitung jedes Gasbrenners muss ein Handabsperrenteil eingebaut sein.

10.4.8 Es müssen Einrichtungen für das selbsttätige Spülen der Rohrleitungen für die Gasversorgung zu den Brennern mit einem Inertgas nach dem Erlöschen der Flamme dieser Brenner eingebaut sein.

10.4.9 Das nach Absatz 10.4.4 vorgeschriebene selbsttätige Brennstoff-Umschaltssystem muss mit Alarmgebern überwacht werden, um eine ständige Betriebsbereitschaft sicherzustellen.

10.4.10 Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, damit im Fall eines Flammenausfalls aller in Betrieb befindlichen

Brenner die Feuerräume der Kessel vor Wiederanfahren der Brenner selbsttätig gespült werden.

10.4.11 Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, mit denen die Spülablauffolge der Kessel manuell in Betrieb gesetzt werden kann.

**10.5 Regelungen für Gasturbinen**

10.5.1 Druckentlastungssysteme müssen angemessen ausgelegt und in das Abgassystem unter Berücksichtigung von Verpuffungen aufgrund von Gasbrennstoff-Leckagen eingebaut sein, sofern sie nicht eine Festigkeit haben, die den ungünstigsten Überdruck infolge entzündeter Gase von Lecks standhalten. Druckentlastungssysteme innerhalb der Abgaskanäle müssen zu einem sicheren Ort, fernab von Personen, geführt sein.

10.5.2 Die Gasturbine kann in einer gasdichten Umschließung eingebaut sein, die in Übereinstimmung mit dem in den Abschnitten 5.6 und 9.7 beschriebenen ESD-Prinzip angeordnet ist; in dieser Umschließung kann jedoch ein Druck oberhalb von 1,0 MPa in den Rohrleitungen für die Gasversorgung anerkannt werden.

10.5.3 Die Gasspürsysteme und Abschaltfunktionen müssen so sein, wie es für ESD-geschützte Maschinenräume angegeben ist.

10.5.4 Die Lüftung für die Umschließung muss so ausgelegt sein, wie es in Kapitel 13 für ESD-geschützte Maschinenräume angegeben ist, aber sie muss zusätzlich mit vollständiger Redundanz ausgeführt sein (2 x Lüfter mit 100% Leistungsfähigkeit von unterschiedlichen elektrischen Stromkreisen).

10.5.5 Mit Ausnahme von Gasturbinen für einen einzigen Brennstoff muss ein automatisches System eingebaut sein, das von Gasbrennstoffbetrieb auf Ölbrennstoffbetrieb und umgekehrt mit einer minimalen Schwankung der Motorleistung sicher und schnell umschaltet.

10.5.6 Es müssen Einrichtungen zur Überwachung und zur Entdeckung einer schlechten Verbrennung, die zu unverbranntem Gasbrennstoff im Abgassystem während des Betriebes führen kann, vorhanden sein. Im Fall einer Entdeckung muss die Gasbrennstoffversorgung abgesperrt werden.

10.5.7 Jede Turbine muss mit einer selbsttätigen Abschalt-Einrichtung für hohe Abgastemperaturen ausgerüstet sein.

**11 BRANDSICHERHEIT**

**11.1 Zielsetzung**

Das Ziel dieses Kapitels ist es, einen Brandschutz, eine Feueranzeige und Brandbekämpfung für alle Systemkomponenten im Zusammenhang mit der Lagerung, der

Aufbereitung, der Übernahme bzw. Übergabe und der Verwendung von Erdgas als Schiffsbrennstoff zu gewährleisten.

## 11.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.2, 3.2.4, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.12, 3.2.14, 3.2.15 und 3.2.17.

## 11.3 Regelungen für den Brandschutz

11.3.1 Jeder Raum, der Einrichtungen für die Brennstoffaufbereitung wie zum Beispiel Pumpen, Kompressoren, Wärmetauscher, Verdampfer und Druckbehälter enthält, ist für Zwecke des Brandschutzes als ein Maschinenraum der Kategorie A anzusehen.

11.3.2 Jede Begrenzung von Unterkunftsräumen, Wirtschaftsräumen, Kontrollstationen, Fluchtwegen und Maschinenräumen, die Brennstofftanks auf dem freien Deck zugewandt sind, müssen durch Trennflächen der Klasse A-60 abgeschildert sein. Die Trennflächen der Klasse A-60 müssen sich bis zur Unterseite des Decks der Kommandobrücke erstrecken, und jegliche Begrenzungen darüber, einschließlich der Fenster der Kommandobrücke, müssen Trennflächen der Klasse A-0 sein. Ferner müssen Brennstofftanks in Übereinstimmung mit den Vorschriften des International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG-Code) von der Ladung getrennt sein, wobei die Brennstofftanks als Massengut-Verpackung gelten. Für die Zwecke der Stau- und Trennvorschriften des IMDG-Codes gilt ein Brennstofftank auf dem freien Deck als eine Verpackung der Klasse 2.1.

11.3.3 Der Raum, der ein Brennstoffbehältersystem enthält, muss von den Maschinenräumen der Kategorie A oder anderen Räumen mit hohem Brandrisiko getrennt sein. Die Trennung ist durch einen mindestens 900 mm breiten Kofferdamm mit einer Isolierung der Klasse A-60 vorzunehmen. Bei der Bestimmung der Isolierung des Raumes, der ein Brennstoffbehältersystem enthält, zu anderen Räumen mit niedrigerem Brandrisiko, ist das Brennstoffbehältersystem entsprechend Regel II-2/9 SOLAS als ein Maschinenraum der Kategorie A anzusehen. Die Begrenzung zwischen Räumen, die Brennstoffbehältersysteme enthalten, muss entweder ein mindestens 900 mm breiter Kofferdamm oder eine Trennfläche der Klasse A-60 sein. Bei Typ C-Tanks kann der Laderaum für Brennstofftanks als ein Kofferdamm angesehen werden.

11.3.4 Der Laderaum für Brennstofftanks darf nicht für Maschinen oder Einrichtungen verwendet werden, die ein Brandrisiko haben können.

11.3.5 Der Brandschutz von Brennstoffleitungen, die durch Ro-Ro-Räume führen, ist in Abhängigkeit von der Verwendung und dem voraussichtlichen Druck in den Leitungen einer besonderen Überprüfung durch die Verwaltung zu unterziehen.

11.3.6 Die Bunkerstation muss durch Trennflächen der Klasse A-60 von Maschinenräumen der Kategorie A, Unterkünten, Kontrollstationen und Räumen mit hohem Brandrisiko getrennt sein; davon ausgenommen sind Räume wie beispielsweise Tanks, Leerräume, Hilfsmaschinenräume

mit geringem oder keinem Brandrisiko, Sanitärräume und ähnliche Räume, bei denen die Isolierung auf den Normwert der Klasse A-0 herabgesetzt werden kann.

11.3.7 Wenn ein ESD-geschützter Maschinenraum durch eine einzige Begrenzung abgetrennt ist, muss die Begrenzung eine Trennfläche der Klasse A-60 sein.

## 11.4 Regelungen für die Feuerlöschleitung

11.4.1 Das nachfolgend vorgeschriebene Wassersprühsystem kann ein Teil des Feuerlöschleitungs-Systems unter der Voraussetzung sein, dass der erforderliche Feuerlöschpumpen-Volumenstrom und der Arbeitsdruck für den gleichzeitigen Betrieb sowohl der vorgeschriebenen Anzahl von Anschlussstutzen und Schläuchen als auch des Wassersprühsystems ausreichend sind.

11.4.2 Wenn der Brennstofflagertank bzw. die Brennstofflagertanks auf dem freien Deck angeordnet ist bzw. sind, müssen in der Feuerlöschleitung Absperrventile eingebaut sein, um beschädigte Abschnitte der Feuerlöschleitung abzusperrern. Die Absperrung eines Teils der Feuerlöschleitung darf die Feuerlöschleitung vor dem abgesperrten Abschnitt von der Wasserversorgung nicht abschneiden.

## 11.5 Regelungen für ein Wassersprühsystem

11.5.1 Für die Kühlung und Brandverhütung muss ein Wassersprühsystem eingebaut sein, um freiliegende Teile des Brennstofflagertanks bzw. der Brennstofflagertanks, die auf dem freien Deck angeordnet sind, abzudecken.

11.5.2 Das Wassersprühsystem muss auch die Abdeckung der Begrenzungen von Aufbauten, von Kompressorräumen, Pumpenräumen, Ladekontrollstationen, Bunkerkontrollstationen, Bunkerstationen und anderen normalerweise besetzten Deckshäusern, die den Lagertanks auf dem freien Deck zugewandt sind, leisten, außer wenn der Tank 10 m oder mehr von den Begrenzungen entfernt angeordnet ist.

11.5.3 Das System muss so ausgelegt sein, dass alle vorstehend angegebenen Bereiche mit einer Wasserbeaufschlagung von 10 l/min m<sup>2</sup> für die größten waagerechten projizierten Oberflächen und von 4 l/min m<sup>2</sup> für senkrechte Oberflächen abgedeckt sind.

11.5.4 Zwecks Abtrennung beschädigter Abschnitte müssen in Abständen von nicht mehr als 40 m Absperrventile in die Hauptversorgungsleitung(en) des Wassersprühsystems eingebaut sein. Alternativ kann das System in zwei oder mehr Abschnitte unterteilt sein, die unabhängig voneinander betrieben werden können, vorausgesetzt, die notwendigen Bedienungseinrichtungen sind an einer leicht zugänglichen Stelle gemeinsam angeordnet, die im Fall eines Brandes in den geschützten Bereichen voraussichtlich nicht unzugänglich wird.

11.5.5 Die Förderleistung der Wassersprüh-Pumpe muss ausreichend sein, um die erforderliche Wassermenge zum hydraulisch am meisten abfordernden Bereich, wie vorstehend angegeben, in den geschützten Bereichen zu liefern.

11.5.6 Wenn das Wassersprühsystem kein Teil des Feuerlöschleitungs-Systems ist, muss eine Verbindung zur Feuerlöschleitung des Schiffes durch ein Absperrventil vorhanden sein.

11.5.7 Der Fernstart von Pumpen, die das Wassersprühsystem versorgen, und die Fernbedienung jeglicher normalerweise geschlossener Ventile zum System müssen an einer leicht zugänglichen Stelle angeordnet sein, die im Fall eines Brandes in den geschützten Bereichen voraussichtlich nicht unzugänglich wird.

11.5.8 Die Ventile müssen von einem zugelassenen Typ mit voll durchgängiger Bohrung sein, und sie müssen so angeordnet sein, dass eine wirksame Wasserverteilung im gesamten geschützten Raum sichergestellt ist.

### 11.6 Regelungen für ein Pulver-Feuerlöschsystem

11.6.1 Es muss ein fest eingebautes Pulver-Feuerlöschsystem im Bereich der Bunkerstation installiert sein, um alle möglichen Leckstellen abzudecken. Die Leistungsfähigkeit muss mindestens 3,5 kg/s über einen Zeitraum von 45 s betragen. Das System muss für eine einfache manuelle Auslösung von einer sicheren Stelle außerhalb des geschützten Bereiches aus eingerichtet sein.

11.6.2 Zusätzlich zu allen sonstigen tragbaren Feuerlöschern, die an anderer Stelle in IMO-Instrumenten vorgeschrieben sein können, muss ein tragbarer Pulverlöscher mit einer Löschmittelmenge von mindestens 5 kg in der Nähe der Bunkerstation angeordnet sein.

### 11.7 Regelungen für ein Feuermelde- und Feueranzeigesystem

11.7.1 Für die Laderäume für Brennstofftanks und den Lüftungskanal für das Brennstoffbehältersystem unter Deck sowie für alle anderen Räume des Gasbrennstoffsystems, in denen ein Brand nicht ausgeschlossen werden kann, muss ein fest eingebautes Feuermelde- und Feueranzeigesystem, das dem Code für Brandsicherheitssysteme entspricht, vorhanden sein.

11.7.2 Rauchmelder allein sind nicht als ausreichend für die schnelle Entdeckung eines Brandes anzusehen.

## 12 EXPLOSIONSVORHÜTUNG

### 12.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist es, Vorsorge für die Verhütung von Explosionen und die Begrenzung von Auswirkungen von Explosionen zu treffen.

### 12.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.2 bis 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8, 3.2.12 bis 3.2.14 und 3.2.17. Im Besonderen gilt das Folgende:

Die Wahrscheinlichkeit von Explosionen ist auf ein Minimum herabzusetzen durch:

- .1 Herabsetzung der Anzahl von Zündquellen, und
- .2 Herabsetzung der Wahrscheinlichkeit der Bildung entzündbarer Gemische.

### 12.3 Regelungen – Allgemeines

12.3.1 Gefährdete Bereiche auf dem freien Deck und andere Räume, die in diesem Kapitel nicht angesprochen sind, sind auf der Basis einer anerkannten Norm zu bestimmen<sup>19</sup>. Die elektrischen Einrichtungen, die in gefährdeten Bereichen installiert sind, müssen der gleichen Norm entsprechen.

12.3.2 Elektrische Betriebsmittel und Verkabelungen dürfen im Allgemeinen in gefährdeten Bereichen nicht installiert sein, sofern sie nicht für betriebswichtige Zwecke erforderlich sind, die auf einer anerkannten Norm basieren<sup>20</sup>.

12.3.3 Elektrische Betriebsmittel, die in ESD-geschützten Maschinenräumen eingebaut sind, müssen das Folgende erfüllen:

- .1 Zusätzlich zu Brandmeldern und Kohlenwasserstoff-Gasmeldern sowie Brand- und Gasalarmgebern müssen die Beleuchtung und die Lüfter als sicher für gefährdete Bereiche der Zone 1 zertifiziert sein, und
- .2 alle in einem gasbetriebene Maschinen enthaltenden Maschinenraum eingebauten elektrischen Betriebsmittel, die für die Zone 1 nicht zertifiziert sind, müssen selbsttätig abgeschaltet werden, wenn Gaskonzentrationen oberhalb von 40% LEL durch zwei Melder in dem Raum, der gasbetriebene Verbraucher enthält, festgestellt werden.

### 12.4 Regelungen für die Zoneneinteilung

12.4.1 Die Zoneneinteilung ist eine Methode zur Analyse und Einstufung der Bereiche, in denen eine explosionsfähige Gasatmosphäre auftreten kann. Der Zweck der Einstufung ist, die Auswahl elektrischer Betriebsmittel zu ermöglichen, die in diesen Bereichen sicher betrieben werden können.

12.4.2 Um die Auswahl passender elektrischer Betriebsmittel und die Ausführung geeigneter elektrischer Einrichtungen zu erleichtern, werden gefährdete Bereiche in die Zonen 0, 1 und 2 unterteilt. Siehe auch nachstehenden Abschnitt 12.5<sup>21</sup>.

12.4.3 Lüftungskanäle müssen die gleiche Zoneneinteilung haben wie der belüftete Raum.

### 12.5 Zonen der gefährdeten Bereiche

12.5.1 Gefährdeter Bereich der Zone 0

Diese Zone umfasst, ist aber nicht beschränkt auf die Innenräume von Brennstofftanks, jegliche Rohrleitungen von Druckentlastungssystemen oder anderen Lüftungssystemen für Brennstofftanks, Rohrleitungen und Einrichtungen, die Brennstoff enthalten.

<sup>19</sup> Auf die Norm IEC 60092-502:1999 - Electrical Installations in Ships - Tankers - Special Features - part 4.4 - Tankers carrying flammable liquefied gases as applicable - wird verwiesen.

<sup>20</sup> Auf die Normen IEC 60092-502:1999 - Electrical Installations in Ships - Tankers - Special Features - und IEC 60079-10-1:2008 - Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres - wird entsprechend der Zoneneinteilung verwiesen.

<sup>21</sup> Auf die Norm IEC 60079-10-1:2008 - Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres - und auf die in der Norm IEC 60092-502:1999 - Electrical Installations in Ships - Tankers - Special Features for tankers - angegebenen Hinweise und informativen Beispiele wird verwiesen.

12.5.2 Gefährdeter Bereich der Zone 1<sup>22</sup>

Diese Zone umfasst, ist aber nicht beschränkt auf:

- .1 Tankanschlussräume, Laderäume für Brennstofftanks<sup>23</sup> und Zwischenbarrierenräume;
- .2 den Brennstoff-Aufbereitungsraum, in dem ein Lüftungssystem nach Abschnitt 13.6 angeordnet ist;
- .3 Bereiche auf dem freien Deck, oder halbgeschlossene Räume auf dem Deck, innerhalb von 3 m um jede Brennstofftank-Austrittsöffnung, jede Gas- oder Dampf-Austrittsöffnung<sup>24</sup>, Ventile der Übergabestation zum Bunkern, andere Brennstoffventile, Flansche der Brennstoffleitungen, Lüftungs-Austrittsöffnungen des Brennstoff-Aufbereitungsraums und Öffnungen des Brennstofftanks für die Druckentlastung, die vorgesehen sind, um den durch thermische Schwankungen verursachten Ausfluss kleiner Volumen von Gas- oder Dampf-Gemischen zu ermöglichen;
- .4 Bereiche auf dem freien Deck, oder halbgeschlossene Räume auf dem Deck, innerhalb von 1,5 m um die Eingänge zum Brennstoff-Aufbereitungsraum, Lüftungseintrittsöffnungen des Brennstoff-Aufbereitungsraums und andere Öffnungen zu Räumen der Zone 1;
- .5 Bereiche auf dem freien Deck innerhalb von Überlaufschläuchen, die Ventile der Übergabestation zum Gas-Bunkern umschließen, und 3 m über diese hinaus bis zu einer Höhe von 2,4 m über dem Deck;
- .6 geschlossene oder halbgeschlossene Räume, in denen sich Brennstoff enthaltende Rohrleitungen befinden, z. B. Kanäle um Brennstoffleitungen, halbgeschlossene Bunkerstationen;
- .7 der ESD-geschützte Maschinenraum wird während des normalen Betriebes als ein nichtgefährdeter Bereich angesehen, aber er erfordert für Einrichtungen, die nach der Entdeckung einer Gasleckage funktionieren müssen, dass sie als geeignet für die Zone 1 zertifiziert sind;
- .8 ein Raum, der durch eine Gasschleuse geschützt ist, wird während des normalen Betriebes als ein nichtgefährdeter Bereich angesehen, aber er erfordert für Einrichtungen, die nach dem Verlust des Differenzdruckes zwischen dem geschützten Raum und dem gefährdeten Bereich funktionieren müssen, dass sie als geeignet für die Zone 1 zertifiziert sind; und
- .9 mit Ausnahme von Typ C-Tanks, ein Bereich innerhalb von 2,4 m von der Außenfläche eines Brennstoffbehältersystems entfernt, wenn eine solche Fläche dem Wetter ausgesetzt ist.

<sup>22</sup> Die in diesen Bereichen installierte Instrumentation und installierten elektrischen Betriebsmittel müssen von einer Bauart sein, die für die Zone 1 geeignet ist.

<sup>23</sup> Laderäume für Brennstofftanks von Typ C-Tanks sind normalerweise nicht als Zone 1 anzusehen.

<sup>24</sup> Solche Bereiche sind beispielsweise alle Bereiche innerhalb von 3 m um Brennstofftank-Luken, Ullageöffnungen oder Peilrohre von Brennstofftanks, die auf dem freien Deck angeordnet sind, und Gas- oder Dampf-Austrittsöffnungen.

12.5.3 Gefährdeter Bereich der Zone 2<sup>25</sup>

12.5.3.1 Diese Zone umfasst, ist aber nicht beschränkt auf Bereiche innerhalb von 1,5 m um offene oder halboffene Räume der Zone 1.

12.5.3.2 Ein Raum, der einen verschraubten Lukendeckel zu einem Tankanschlussraum enthält.

**13 LÜFTUNG****13.1 Zielsetzung**

Das Ziel dieses Kapitels ist es, Vorsorge für die Be- und Entlüftung zu treffen, die für einen sicheren Betrieb von gasbetriebenen Maschinen und Anlagen erforderlich ist.

**13.2 Funktionale Anforderungen**

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.2, 3.2.5, 3.2.8, 3.2.10, 3.2.12 bis 3.2.14 und 3.2.17.

**13.3 Regelungen – Allgemeines**

13.3.1 Jegliche Kanäle, die für die Lüftung gefährdeter Räume verwendet werden, müssen von denen, die für die Lüftung nichtgefährdeter Räume verwendet werden, getrennt sein. Die Lüftung muss bei allen Temperaturen und Umgebungsbedingungen, bei denen das Schiff in Betrieb ist, funktionieren.

13.3.2 Elektromotoren für Lüfter dürfen nicht in Lüftungskanälen für gefährdete Räume eingebaut sein, außer wenn die Motoren für die gleiche Gefährdungszone wie der versorgte Raum zertifiziert sind.

13.3.3 Die Bauart der Lüfter, die Gasquellen enthaltende Räume versorgen, muss das Folgende erfüllen:

- .1 Die Lüfter dürfen weder im belüfteten Raum noch in dem mit dem Raum verbundenen Lüftungssystem eine Gas-Zündquelle bilden. Die Lüfter und die Lüftungskanäle, nur im Bereich der Lüfter, müssen von nicht funkenbildender Bauart sein, wie nachfolgend festgelegt:
  - .1 Laufräder oder Gehäuse aus nichtmetallischem Werkstoff, wobei die Vermeidung elektrostatischer Elektrizität besonders zu beachten ist;
  - .2 Laufräder und Gehäuse aus Nichteisen-Metallen;
  - .3 Laufräder und Gehäuse aus austenitischem nichtrostendem Stahl;
  - .4 Laufräder aus Aluminiumlegierungen oder Magnesiumlegierungen und einem Gehäuse aus Eisen (einschließlich austenitischer nichtrostender Stahl), auf dem ein Ring geeigneter Dicke aus Nichteisen-Werkstoffen im Bereich des Laufrades angebracht ist, wobei die statische Elektrizität und die Korrosion zwischen Ring und Gehäuse besonders beachtet werden;
  - .5 jede Kombination von Laufrädern und Gehäusen aus Eisen (einschließlich austenitischer nichtrostender Stahl) mit einem Flügelspitzenabstand zum Gehäuse von mindestens 13 mm.

<sup>25</sup> Die in diesen Bereichen installierte Instrumentierung und installierten elektrischen Betriebsmittel müssen von einer Bauart sein, die für die Zone 2 geeignet ist.

- .2 In keinem Fall darf der radiale Luftspalt zwischen dem Laufrad und dem Gehäuse weniger als 0,1 des Durchmessers der Laufradwelle im Bereich des Lagers betragen, muss aber mindestens 2 mm betragen. Der Luftspalt braucht nicht mehr als 13 mm zu betragen.
- .3 Jede Kombination eines feststehenden oder rotierenden Bauteils aus Aluminium- oder Magnesiumlegierung und eines feststehenden oder rotierenden Bauteils aus Eisen ist, unabhängig vom Flügelspitzenabstand, wird als funkenbildende Gefährdung angesehen und darf an diesen Stellen nicht verwendet werden.

13.3.4 Lüftungssysteme, die für die Vermeidung jeglicher Gasansammlungen erforderlich sind, müssen aus unabhängigen Lüftern bestehen, jeder mit ausreichender Leistungsfähigkeit, soweit nicht in diesem Code etwas anderes angegeben ist.

13.3.5 Die Luftansaugung durch Eintrittsöffnungen für gefährdete geschlossene Räume muss aus Bereichen erfolgen, die – ohne die betrachtete Eintrittsöffnung – nicht gefährdet sein würden. Die Luftansaugung durch Eintrittsöffnungen für nichtgefährdete geschlossene Räume muss aus nichtgefährdeten Bereichen erfolgen, die mindestens 1,5 m von den Begrenzungen jedes gefährdeten Bereichs entfernt sind. Führt der Ansaugkanal durch einen gefährdeten Raum, so muss der Kanal gasdicht sein und im Verhältnis zu diesem Raum einen Überdruck haben.

13.3.6 Luftaustrittsöffnungen von nichtgefährdeten Räumen müssen außerhalb gefährdeter Bereiche angeordnet sein.

13.3.7 Luftaustrittsöffnungen von gefährdeten geschlossenen Räumen müssen in einem freien Bereich angeordnet sein, der – ohne die betrachtete Austrittsöffnung – von gleicher oder geringerer Gefährdung als der entlüftete Raum sein würde.

13.3.8 Die erforderliche Leistungsfähigkeit der Lüftungsanlage basiert normalerweise auf dem Gesamtvolumen des Raumes. Eine Erhöhung der erforderlichen Leistungsfähigkeit der Lüftung kann für Räume notwendig sein, die eine komplizierte Form haben.

13.3.9 Nichtgefährdete Räume mit Eingangsöffnungen zu einem gefährdeten Bereich müssen eine Gasschleuse haben und im Verhältnis zu dem äußeren gefährdeten Bereich unter Überdruck gehalten werden. Die Überdrucklüftung ist entsprechend dem Folgenden auszulegen:

- .1 Während der Erstinbetriebnahme oder nach dem Ausfall der Überdrucklüftung und bevor elektrische Anlagen, die ohne Unter-Druck-Setzung mit Energie nicht als sicher für den Raum zertifiziert sind, mit Energie versorgt werden, ist es erforderlich, dass
  - .1 das Spülen fortgesetzt wird (mindestens 5 Luftwechsel) oder durch Messung bestätigt wird, dass der Raum nichtgefährdet ist; und
  - .2 der Raum unter Druck gesetzt wird.
- .2 Der Betrieb der Überdrucklüftung muss überwacht werden und im Fall eines Ausfalls der Überdrucklüftung:
  - .1 muss an einer besetzten Stelle ein akustischer und optischer Alarm ausgelöst werden; und

- .2 wenn der Überdruck nicht unverzüglich wieder hergestellt werden kann, ist eine automatische oder programmierte Abschaltung der elektrischen Anlagen nach einer anerkannten Norm<sup>26</sup> erforderlich.

13.3.10 Nichtgefährdete Räume mit Eingangsöffnungen zu einem gefährdeten geschlossenen Raum müssen eine Gasschleuse haben und der gefährdete Raum muss im Verhältnis zum nichtgefährdeten Raum unter Unterdruck gehalten werden. Der Betrieb der Absauglüftung in dem gefährdeten Raum muss überwacht werden und im Fall eines Ausfalls der Absauglüftung:

- .1 muss an einer besetzten Stelle ein akustischer und optischer Alarm ausgelöst werden; und
- .2 wenn der Unterdruck nicht unverzüglich wieder hergestellt werden kann, ist eine automatische oder programmierte Abschaltung der elektrischen Anlagen nach einer anerkannten Norm in dem nichtgefährdeten Raum erforderlich.

### 13.4 Regelungen für den Tankanschlussraum

13.4.1 Der Tankanschlussraum muss mit einem wirksamen mechanischen Zwangslüftungssystem einer Absaugbauart ausgerüstet sein. Es muss eine Leistungsfähigkeit der Lüftung von mindestens 30 Luftwechsel je Stunde vorhanden sein. Die Rate der Luftwechsel kann herabgesetzt werden, wenn andere angemessene Mittel des Explosionsschutzes installiert sind. Die Gleichwertigkeit alternativer Einbauten muss durch eine Risikobewertung nachgewiesen werden.

13.4.2 In den Lüftungsschacht für den Tankanschlussraum müssen zugelassene selbsttätige betriebssichere Brandklappen eingebaut sein.

### 13.5 Regelungen für Maschinenräume

13.5.1 Das Lüftungssystem für Maschinenräume, die gasbetriebene Verbraucher enthalten, muss unabhängig von allen anderen Lüftungssystemen sein.

13.5.2 ESD-geschützte Maschinenräume müssen eine Lüftung mit einer Leistungsfähigkeit von mindestens 30 Luftwechsel je Stunde haben. Das Lüftungssystem muss in allen Räumen eine gute Luftzirkulation gewährleisten und insbesondere sicherstellen, dass jegliche Bildung von Gasblasen in dem Raum entdeckt wird. Als eine Alternative sind Regelungen zulässig, bei denen die Maschinenräume im Normalbetrieb mit mindestens 15 Luftwechsel je Stunde unter der Voraussetzung belüftet werden, dass die Anzahl der Luftwechsel automatisch auf 30 Luftwechsel je Stunde erhöht wird, wenn im Maschinenraum Gas festgestellt wird.

13.5.3 Bei ESD-geschützten Maschinenräumen müssen die Lüftungseinrichtungen eine ausreichende Redundanz haben, um einen hohen Grad an Lüftungsverfügbarkeit sicherzustellen, wie es in einer von der Organisation akzeptierbaren Norm<sup>27</sup> festgelegt ist.

<sup>26</sup> Auf die Norm IEC 60092-502:1999 Electrical Installations in Ships - Tankers - Special Features – Tabelle 5- wird verwiesen.

<sup>27</sup> Auf die Norm IEC 60079-10-1:2008 wird verwiesen.

13.5.4 Die Anzahl und Antriebsleistung von Lüftern für ESD-geschützte Maschinenräume und für Lüftungssysteme für doppelwandige Rohre für gassichere Maschinenräume müssen so sein, dass die Leistungsfähigkeit nicht um mehr als 50% der gesamten Lüftungs-Leistungsfähigkeit herabgesetzt wird, wenn ein Lüfter mit einem separaten Stromkreis von der Hauptschalttafel oder der Notschalttafel oder eine Gruppe von Lüftern mit einem gemeinsamen Stromkreis von der Hauptschalttafel oder der Notschalttafel nicht funktionsfähig ist.

### 13.6 Regelungen für den Brennstoff-Aufbereitungsraum

13.6.1 Brennstoff-Aufbereitungsräume müssen mit einem wirksamen mechanischen Lüftungssystem der Unterdruckbauart ausgerüstet sein, das eine Lüftungs-Leistungsfähigkeit von mindestens 30 Luftwechsel je Stunde hat.

13.6.2 Die Anzahl und Antriebsleistung der Lüfter müssen so sein, dass die Leistungsfähigkeit nicht um mehr als 50% herabgesetzt wird, wenn ein Lüfter mit einem separaten Stromkreis von der Hauptschalttafel oder der Notschalttafel oder eine Gruppe von Lüftern mit einem gemeinsamen Stromkreis von der Hauptschalttafel oder der Notschalttafel nicht funktionsfähig ist.

13.6.3 Lüftungssysteme für Brennstoff-Aufbereitungsräume müssen in Betrieb sein, wenn Pumpen oder Kompressoren in Betrieb sind.

### 13.7 Regelungen für die Bunkerstation

Bunkerstationen, die sich nicht auf dem freien Deck befinden, müssen angemessen belüftet werden, um sicherzustellen, dass während des Bunkerbetriebs freigesetzter Dampf nach draußen abgeführt wird. Wenn die natürliche Lüftung nicht ausreichend ist, muss eine mechanische Lüftung in Übereinstimmung mit der nach Absatz 8.3.1.1 vorgeschriebenen Risikobewertung vorgesehen sein.

### 13.8 Regelungen für Kanäle und doppelwandige Rohre

13.8.1 Kanäle und doppelwandige Rohre, die Brennstoffleitungen enthalten, müssen mit einem wirksamen mechanischen Lüftungssystem der Absaugbauart ausgerüstet sein, das eine Lüftungs-Leistungsfähigkeit von mindestens 30 Luftwechsel je Stunde hat. Dieses gilt nicht für doppelwandige Rohrleitungen in Maschinenräumen, wenn sie Absatz 9.6.1.1 erfüllen.

13.8.2 Das Lüftungssystem für doppelwandige Rohrleitungen und für Räume von Gas-Ventileinheiten in gassicheren Maschinenräumen muss von allen anderen Lüftungssystemen unabhängig sein.

13.8.3 Der Lüftungseintritt für doppelwandige Rohrleitungen oder Kanäle muss immer in einem nichtgefährdeten Bereich entfernt von Zündquellen liegen. Die Eintrittsöffnung muss mit einem geeigneten Maschendraht-Schutzgitter ausgerüstet und vor dem Eindringen von Wasser geschützt sein.

13.8.4 Die Leistungsfähigkeit der Lüftung für einen Rohrkanaal oder eine doppelwandige Rohrleitung darf weniger als 30 Luftwechsel je Stunde betragen, wenn eine Strömungs-

geschwindigkeit von mindestens 3 m/s gewährleistet ist. Die Strömungsgeschwindigkeit ist für den Kanal mit installierten Brennstoffleitungen und sonstigen installierten Bauteilen zu berechnen.

## 14 ELEKTRISCHE ANLAGEN

### 14.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist es, elektrische Anlagen einzubauen, die das Risiko einer Entzündung beim Vorhandensein einer entzündbaren Atmosphäre auf ein Minimum herabsetzen.

### 14.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1, 3.2.2, 3.2.4, 3.2.7, 3.2.8, 3.2.11, 3.2.13 und 3.2.16 bis 3.2.18. Im Besonderen gilt das Folgende:

Stromerzeugungssysteme und elektrische Verteilersysteme sowie zugehörige Regelungssysteme müssen so ausgelegt sein, dass ein einziger Defekt nicht den Verlust der Fähigkeit zur Folge hat, die Drücke der Brennstofftanks und die Temperatur der Schiffsverbände innerhalb der normalen Betriebsgrenzen aufrechtzuerhalten.

### 14.3 Regelungen – Allgemeines

14.3.1 Elektrische Anlagen müssen in Übereinstimmung mit einer Norm sein, die mindestens einer Norm gleichwertig ist, die für die Organisation annehmbar ist<sup>28</sup>.

14.3.2 Elektrische Betriebsmittel oder Verkabelungen dürfen in gefährdeten Bereichen nicht installiert werden, sofern nicht für betriebswichtige Zwecke oder eine Erhöhung der Sicherheit erforderlich.

14.3.3 Sind elektrische Betriebsmittel in gefährdeten Bereichen entsprechend Absatz 14.3.2 installiert, müssen sie in Übereinstimmung mit Normen ausgewählt, installiert und gewartet werden, die mindestens den Normen gleichwertig sind, die für die Organisation annehmbar sind<sup>29</sup>.

Betriebsmittel für gefährdete Bereiche müssen durch eine akkreditierte Prüfanstalt oder eine von der Verwaltung anerkannte benannte Stelle bewertet und zertifiziert oder gelistet sein.

14.3.4 Fehlerzustandsarten und Auswirkungen eines Einzelfehlers auf die Stromerzeugungssysteme und elektrischen Verteilersysteme nach Absatz 14.2 sind zu analysieren und zu dokumentieren, um mindestens denjenigen, die für die Organisation akzeptabel sind, gleichwertig zu sein<sup>30</sup>.

14.3.5 Die Beleuchtungsanlage in gefährdeten Bereichen ist auf mindestens zwei Teilstromkreise aufzuteilen. Sämtliche Schalter und Schutzeinrichtungen müssen allpolig oder

<sup>28</sup> Auf die Normenreihe IEC 60092, wie jeweils anwendbar, wird verwiesen.

<sup>29</sup> Auf die von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission veröffentlichte Empfehlung, insbesondere die Veröffentlichung IEC 60092-502:1999, wird verwiesen.

<sup>30</sup> Auf die Norm IEC 60812 wird verwiesen.

allphasig abschalten und müssen in einem nicht gefährdeten Bereich angeordnet sein.

14.3.6 Die Installation von Einheiten elektrischer Betriebsmittel an Bord muss derart vorgenommen werden, dass die sichere Erdung der Einheiten am Schiffskörper gewährleistet ist.

14.3.7 Es sind Vorkehrungen zu treffen, damit bei niedrigem Flüssigkeits-Füllstand ein Alarm ausgelöst wird und im Falle eines niedrigen Flüssigkeits-Füllstandes die Motoren selbsttätig abgeschaltet werden. Die selbsttätige Abschaltung kann durch Erfassung eines niedrigen Pumpen-Förderdruckes, eines niedrigen Motorstromes oder eines niedrigen Flüssigkeits-Füllstandes erreicht werden. Dieses Abschalten muss auf der Kommandobrücke, in der ständig besetzten zentralen Kontrollstation oder Sicherheitszentrale an Bord einen akustischen und optischen Alarm auslösen.

14.3.8 Tauch-Brennstoffpumpenmotoren und ihre Speisekabel können in Brennstoffbehältersystemen für verflüssigtes Gas installiert werden. Während des Gasfreimachens müssen die Brennstoffpumpenmotoren von ihrer Stromversorgung getrennt werden können.

14.3.9 Bei nichtgefährdeten Räumen mit einem Zugang von einem gefährdeten freien Deck, bei denen der Zugang durch eine Gasschleuse geschützt ist, müssen elektrische Betriebsmittel, die keine Explosionsschutzart haben, nach einem Abfall des Überdrucks in dem Raum spannungsfrei gemacht werden.

14.3.10 Elektrische Betriebsmittel für Antrieb, Energieerzeugung, Manövrierzwecke, Ankern und Festmachen sowie für Notfeuerlöschpumpen, die sich in Räumen befinden, die durch Gasschleusen geschützt sind, müssen eine Explosionsschutzart haben.

## 15 KONTROLL-, ÜBERWACHUNGS- UND SICHERHEITSSYSTEME

### 15.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die Anordnung von Kontroll-, Überwachungs- und Sicherheitssystemen zu gewährleisten, die einen leistungsfähigen und sicheren Betrieb der gasbetriebenen Einrichtung, wie sie in den anderen Kapiteln dieses Codes enthalten ist, unterstützen.

### 15.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1, 3.2.2, 3.2.11, 3.2.13 bis 3.2.15, 3.2.17 und 3.2.18. Im Besonderen gilt das Folgende:

- .1 Die Kontroll-, Überwachungs- und Sicherheitssysteme der gasbetriebenen Einrichtung sind so auszulegen, dass im Fall eines einzigen Fehlers die verbleibende Antriebsenergie und die Energieerzeugung in Übereinstimmung mit Absatz 9.3.1 ist;
- .2 ein Gas-Sicherheitssystem ist so auszulegen, dass es das Gasversorgungs-System nach einem Fehler in den in Tabelle 1 beschriebenen Systemen und nach anderen Fehlerzuständen, die sich für einen manuellen Eingriff zu schnell entwickeln können, selbsttätig schließt;

- .3 bei ESD-geschützten Maschinenkonfigurationen muss das Sicherheitssystem die Gasversorgung bei einer Gasleckage abschalten und zusätzlich alle nicht als explosionsgeschützt zertifizierten elektrischen Betriebsmittel im Maschinenraum ausschalten;
- .4 die Sicherheitsfunktionen müssen in einem speziell dafür vorgesehenen Gas-Sicherheitssystem zusammengefasst sein, das unabhängig von dem Gas-Kontrollsystem ist, um mögliche Fehler aufgrund einer gemeinsamen Ursache zu vermeiden. Dieses schließt Energieversorgungen sowie Eingangs- und Ausgangssignale mit ein;
- .5 das Sicherheitssystem einschließlich der Feldinstrumentation muss so ausgelegt sein, dass Fehlabschaltungen vermieden werden, z. B. als Folge eines fehlerhaften Gasspürgerätes oder eines Drahtbruches in einer Sensorschleife; und
- .6 wenn zwei oder mehr Gasversorgungs-Systeme erforderlich sind, um die Regelungen zu erfüllen, muss jedes System mit seinen eigenen unabhängigen Gaskontroll- und Gassicherheitssystemen ausgerüstet sein.

### 15.3 Regelungen – Allgemeines

15.3.1 Es muss eine geeignete Instrumentierung eingebaut sein, um eine örtliche Ablesung und eine Fernablesung wesentlicher Parameter zwecks Sicherstellung einer sicheren Handhabung der gesamten Gasbrennstoff-Einrichtung einschließlich Bunkern zu ermöglichen.

15.3.2 In jedem Tankanschlussraum eines unabhängigen Lagertanks für verflüssigtes Gas muss ein Lenzbrunnen mit einem Füllstandsanzeiger und einem Temperatursensor eingebaut sein. Bei hohem Füllstand im Lenzbrunnen muss ein Alarm ausgelöst werden. Eine niedrige Temperaturanzeige muss das Sicherheitssystem aktivieren.

15.3.3 Tanks, die nicht fest im Schiff eingebaut sind, müssen mit einem Überwachungssystem wie für fest eingebaute Tanks ausgerüstet sein.

### 15.4 Regelungen für das Bunkern und die Überwachung von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff

15.4.1 Füllstandsanzeiger für Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff:

- .1 Jeder Tank für verflüssigten Gasbrennstoff muss mit einem Füllstandsanzeiger (bzw. Füllstandsanzeigern) ausgerüstet sein, der so angeordnet ist, dass eine Füllstandsanzeige immer erhältlich ist, wenn der Tank für verflüssigten Gasbrennstoff betriebsfähig ist. Der Anzeiger (bzw. die Anzeiger) muss so bemessen sein, dass er über den gesamten Entwurfsdruck-Bereich des Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff und bei Temperaturen innerhalb des Betriebstemperatur-Bereichs des Brennstoffs arbeitet.
- .2 Wenn nur ein einziger Füllstandsanzeiger eingebaut ist, muss er so angeordnet sein, dass er im Betriebszustand ohne die Notwendigkeit, den Tank zu leeren oder gasfrei zu machen, gewartet werden kann.
- .3 Als Füllstandsanzeiger von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff können die folgenden Arten eingesetzt werden:

- .1 Indirekte Anzeigergeräte, welche die Brennstoffmenge durch Wiegen oder Inline-Durchflussmessung bestimmen;
- .2 geschlossene Anzeigergeräte, die den Tank für verflüssigten Gasbrennstoff nicht durchdringen, wie zum Beispiel Geräte, die mit Radioisotopen arbeiten, oder Ultraschallgeräte.

#### 15.4.2 Überfüllsicherung:

- .1 Jeder Tank für verflüssigten Gasbrennstoff muss mit einem Höchst-Füllstands-Alarmgeber ausgerüstet sein, der unabhängig von anderen Füllstandsanzeigern arbeitet und beim Ansprechen einen akustischen und optischen Alarm auslöst.
- .2 Ein zusätzlicher Sensor, der unabhängig vom Höchst-Füllstands-Alarmgeber arbeitet, muss selbsttätig ein Absperrventil derart betätigen, dass sowohl ein unzulässig hoher Flüssigkeitsdruck in der Bunkerleitung vermieden wird als auch ein maximales Befüllen des Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff verhindert wird.
- .3 Der Einbauort der Sensoren im Tank für verflüssigten Gasbrennstoff muss vor Inbetriebnahme überprüft werden können. Bei der ersten Gelegenheit einer vollen Beladung nach der Ablieferung und nach jedem Aufenthalt im Dock muss eine Überprüfung der Höchst-Füllstands-Alarmgeber durch Erhöhen des Brennstoff-Flüssigkeitsstandes im Tank für verflüssigten Gasbrennstoff bis zum Alarmpunkt durchgeführt werden.
- .4 Alle Elemente der Füllstands-Alarmgeber einschließlich des Stromkreises und des Sensors bzw. der Sensoren des Höchst-Füllstandsalarms und des Überfüllalarms müssen auf Funktion geprüft werden können. Die Systeme müssen vor der Brennstoffübernahme in Übereinstimmung mit Absatz 18.4.3 geprüft sein.
- .5 Wenn Einrichtungen für eine Überbrückung des Überlaufschutz-Systems vorgesehen sind, müssen diese so eingerichtet sein, dass eine unbeabsichtigte Betätigung verhindert wird. Wenn diese Überbrückung ausgelöst wird, muss eine ständige optische Anzeige auf der Kommandobrücke, in der ständig besetzten zentralen Kontrollstation oder Sicherheitszentrale an Bord erfolgen.

15.4.3 Der Dampfraum eines jeden Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff muss mit einem direkten Ablesegerät ausgerüstet sein. Zusätzlich muss eine indirekte Anzeige auf der Kommandobrücke, in der ständig besetzten zentralen Kontrollstation oder Sicherheitszentrale an Bord vorhanden sein.

15.4.4 Der Druckanzeiger muss mit dem höchsten und niedrigsten Druck, der in dem Tank für verflüssigten Gasbrennstoff zulässig ist, deutlich markiert sein.

15.4.5 Auf der Kommandobrücke und in der ständig besetzten zentralen Kontrollstation oder Sicherheitszentrale an Bord müssen ein Hochdruck-Alarmgeber und, falls ein Unterdruckschutz erforderlich ist, ein Niederdruck-Alarmgeber vorhanden sein. Die Alarme müssen ausgelöst werden, bevor die Einstelldrücke der Sicherheitsventile erreicht werden.

15.4.6 Jede Brennstoffpumpen-Druckleitung und jede Übergabestation für flüssigen oder dampfförmigen Brennstoff muss mit mindestens einem Druckanzeiger vor Ort ausgerüstet sein.

15.4.7 An der Übergabestation muss ein örtlich ablesbarer Druckanzeiger angeordnet sein, der den Druck zwischen den Absperrventilen der Übergabestation des Schiffes und den Schlauchverbindungen zum Land anzeigt.

15.4.8 Laderäume für Brennstofftanks und Zwischenbarrierenräume ohne offene Verbindung zur Atmosphäre müssen einen Druckanzeiger haben.

15.4.9 Mindestens einer der eingebauten Druckanzeiger muss den Betriebsdruck-Bereich durchgehend anzeigen können.

15.4.10 Bei Tauch-Brennstoffpumpenmotoren und ihren Speisekabeln sind Vorkehrungen zu treffen, damit bei niedrigem Flüssigkeits-Füllstand ein Alarm ausgelöst wird und im Falle eines niedrigen Flüssigkeits-Füllstandes die Motoren selbsttätig abgeschaltet werden. Die selbsttätige Abschaltung kann durch Erfassung eines niedrigen Pumpen-Förderdruckes, eines niedrigen Motorstromes oder eines niedrigen Flüssigkeits-Füllstandes erreicht werden. Dieses Abschalten muss auf der Kommandobrücke, in der ständig besetzten zentralen Kontrollstation oder Sicherheitszentrale an Bord einen akustischen und optischen Alarm auslösen.

15.4.11 Mit Ausnahme von unabhängigen Tanks des Typs C, die mit einem Vakuum-Isolierungssystem und einem Brennstoff-Überdruckventil ausgerüstet sind, muss jeder Brennstofftank mit Geräten zum Messen und Anzeigen der Temperatur des Brennstoffs an mindestens drei Stellen ausgerüstet sein, am Boden und in der Mitte des Tanks und auch im oberen Teil des Tanks unterhalb des höchsten zulässigen Flüssigkeits-Füllstandes.

#### 15.5 Regelungen für die Kontrolle des Bunkerns

15.5.1 Die Kontrolle des Bunkerns muss von einer entfernt von der Bunkerstation liegenden sicheren Stelle aus möglich sein. An dieser Stelle müssen der Tankdruck, die Tanktemperatur, falls nach Absatz 15.4.11 erforderlich, und der Füllstand des Tanks überwacht werden. Nach Absatz 8.5.3 und Absatz 11.5.7 erforderliche fernbedienbare Ventile müssen von dieser Stelle aus bedient werden können. Ein Überfüllalarm und eine selbsttätige Abschaltung müssen an dieser Stelle auch angezeigt werden.

15.5.2 Wenn die Lüftung in den Kanälen aussetzt, welche die Bunkerleitungen umschließen, muss an der Stelle der Bunkerungskontrolle ein akustischer und optischer Alarm ausgelöst werden; siehe auch Abschnitt 15.8.

15.5.3 Wenn in den Kanälen um die Bunkerleitungen Gas festgestellt wird, muss an der Stelle der Bunkerungskontrolle ein akustischer und optischer Alarm ausgelöst werden und eine Not-Abschaltung erfolgen.

#### 15.6 Regelungen für die Überwachung von Gas-Kompressoren

15.6.1 Gas-Kompressoren müssen mit akustischen und optischen Alarmgebern auf der Kommandobrücke und im Maschinenkontrollraum ausgerüstet sein. Die Alarmgeber

müssen mindestens niedrigen Gas-Eingangsdruck, niedrigen Gas-Ausgangsdruck, hohen Gas-Ausgangsdruck und Kompressor-Betrieb umfassen.

15.6.2 Für die Wellen-Stopfbuchsen am Schott und die Wellenlager muss eine Temperaturüberwachung vorhanden sein, die selbsttätig einen fortdauernden akustischen und optischen Alarm auf der Kommandobrücke oder in einer ständig besetzten zentralen Kontrollstation auslöst.

### 15.7 Regelungen für die Überwachung von Gasmotoren

Zusätzlich zu der entsprechend Teil C des Kapitels II-1 SOLAS vorgesehenen Instrumentierung müssen Anzeigergeräte auf der Kommandobrücke, im Maschinenkontrollraum und am Manövrierstand installiert sein für:

- .1 Den Betrieb des Motors im Fall von reinen Gasmotoren; oder
- .2 Betrieb und Betriebsart des Motors im Fall von Zweistoffmotoren.

### 15.8 Regelungen für das Aufspüren von Gas

15.8.1 Fest installierte Gasspürgeräte müssen eingebaut sein:

- .1 In den Tankanschlussräumen;
- .2 in allen Kanälen um Brennstoffleitungen;
- .3 in Maschinenräumen, die Gasleitungen, Gaseinrichtungen oder Gasverbraucher enthalten;
- .4 in Kompressorräumen und Brennstoff-Aufbereiteräumen;
- .5 in anderen geschlossenen Räumen, die Brennstoffleitungen oder andere Brennstoffeinrichtungen ohne umschließende Kanäle enthalten;
- .6 in anderen geschlossenen oder halb geschlossenen Räumen, in denen sich Brennstoffdämpfe ansammeln können, einschließlich Zwischenbarrierenräumen und Laderäumen für Brennstofftanks für unabhängige Tanks mit Ausnahme von Typ C-Tanks;
- .7 in Gasschleusen;
- .8 in Gas-Heizungskreislauf-Expansionstanks;
- .9 in Motorenräumen, die mit den Brennstoff-Systemen verbunden sind; und
- .10 an Lüftungs-Eintrittsöffnungen zu Unterküften und Maschinenräumen, falls erforderlich aufgrund der nach Abschnitt 4.2 vorgeschriebenen Risikobewertung.

15.8.2 In jedem ESD-geschützten Maschinenraum müssen redundante Gasspürsysteme eingebaut sein.

15.8.3 Die Anzahl der Gasspürgeräte in jedem Raum ist unter Berücksichtigung der Größe, der Gestaltung und der Belüftung des Raumes zu ermitteln.

15.8.4 Das Gasspürgerät muss dort angeordnet sein, wo sich Gas ansammeln kann, und in den Lüftungsaustrittsöffnungen. Um die beste Anordnung herauszufinden, sind eine Gasausbreitungs-Analyse oder ein technischer Rauchversuch zu verwenden.

15.8.5 Eine Gasspüreinrichtung muss in Übereinstimmung mit einer anerkannten Norm ausgelegt, installiert und geprüft sein<sup>31</sup>.

15.8.6 Bei einer Gas- bzw. Dampfkonzentration von 20 % der unteren Explosionsgrenze (LEL) muss ein akustischer und optischer Alarm ausgelöst werden. Das Sicherheitssystem muss bei 40% LEL an zwei Gasspürgeräten aktiviert werden (siehe Fußnote 1 zu Tabelle 1).

15.8.7 Bei Lüftungskanälen um Gasleitungen in den Maschinenräumen, die gasbetriebene Maschinen enthalten, kann die Alarmgrenze auf 30 % LEL eingestellt werden. Das Sicherheitssystem muss bei 60 % LEL an zwei Gasspürgeräten aktiviert werden (siehe Fußnote 1 zu Tabelle 1).

15.8.8 Akustische und optische Alarmgeber, die ihre Signale von der Gasspüreinrichtung erhalten, müssen auf der Kommandobrücke oder in der ständig besetzten zentralen Kontrollstation angeordnet sein.

15.8.9 Nach diesem Abschnitt vorgeschriebenes Gas aufspüren muss durchgehend ohne Verzögerung erfolgen.

### 15.9 Regelungen für die Feuermeldung

Erforderliche Sicherheitsaktionen bei einer Feuermeldung im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, und in Räumen, die unabhängige Tanks für Laderäume für Brennstofftanks enthalten, sind in nachfolgender Tabelle 1 angegeben.

### 15.10 Regelungen für die Lüftung

15.10.1 Jeder Abfall der erforderlichen Lüftungs-Leistungsfähigkeit muss einen akustischen und optischen Alarm auf der Kommandobrücke oder in einer ständig besetzten zentralen Kontrollstation oder Sicherheitszentrale auslösen.

15.10.2 Bei ESD-geschützten Maschinenräumen muss das Sicherheitssystem bei Ausfall der Lüftung im Maschinenraum aktiviert werden.

### 15.11 Regelungen über Sicherheitsfunktionen des Brennstoffversorgungs-Systems

15.11.1 Wenn die Brennstoffversorgung aufgrund der Aktivierung eines selbsttätigen Ventils abgesperrt wird, darf die Brennstoffversorgung nicht freigegeben werden, bis der Grund für die Abschaltung festgestellt ist und die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen worden sind. Ein leicht sichtbarer Aushang, der diesbezüglich Anweisungen gibt, muss an der Bedienstation für die Absperrventile in den Brennstoffversorgungs-Leitungen angebracht sein.

15.11.2 Wenn eine Brennstoff-Leckage auftritt, die zu einer Absperrung der Brennstoffversorgung führt, darf die Brennstoffversorgung nicht betrieben werden, bis die Leckage gefunden und beseitigt worden ist. Diesbezügliche Anweisungen müssen an einer auffälligen Stelle im Maschinenraum angebracht sein.

---

<sup>31</sup> Auf die Norm IEC 60079-29-1 – Explosive atmospheres – Gas detectors – Performance requirements of detectors for flammable gases – wird verwiesen.

15.11.3 Im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, muss eine Warntafel oder ein Warnschild fest angebracht sein, die angeben, dass eine Schwerlasthebung, welche die Gefahr einer Beschädigung der Brennstoffleitungen einschließt, nicht vorgenommen werden darf, wenn die Maschine (bzw. Maschinen) im Gasbetrieb läuft (bzw. laufen).

15.11.4 Kompressoren, Pumpen und Brennstoffversorgung müssen gegebenenfalls für eine manuelle fernbedienbare Notabschaltung von den folgenden Orten aus eingerichtet sein:

- .1 Kommandobrücke,
- .2 Ladekontrollraum,
- .3 Sicherheitszentrale an Bord,
- .4 Maschinenkontrollraum,
- .5 Feuerkontrollstation, und
- .6 neben dem Ausgang des Brennstoff-Aufbereitungsraumes.

Der Gas-Kompressor muss außerdem für eine manuelle örtliche Notabschaltung eingerichtet sein.

Tabelle 1: Überprüfung des Gasbrennstoffversorgungs-Systems für Maschinen

Parameter	Alarm	Selbsttätiges Schließen der Tankventile <sup>6)</sup>	Selbsttätiges Schließen der Gasversorgung zu gasbetriebene Maschinen enthaltenden Maschinenräumen	Bemerkungen
Aufspüren von Gas im Tankanschlussraum bei 20 % LEL	X			
Aufspüren von Gas von zwei Gasspürgeräten <sup>1)</sup> im Tankanschlussraum bei 40 % LEL	X	X		
Meldung eines Feuers im Laderaum für Brennstofftanks	X			
Meldung eines Feuers im Lüftungsschacht für ein Brennstoffbehältersystem unter Deck	X			
Hoher Füllstand des Lenzbrunnens im Tankanschlussraum	X			
Niedrige Temperatur des Lenzbrunnens im Tankanschlussraum	X	X		
Aufspüren von Gas im Kanal zwischen Tank und Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, bei 20 % LEL	X			
Aufspüren von Gas von zwei Gasspürgeräten <sup>1)</sup> im Kanal zwischen Tank und Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, bei 40 % LEL	X	X <sup>2)</sup>		
Aufspüren von Gas im Brennstoff-Aufbereitungsraum bei 20 % LEL	X			
Aufspüren von Gas von zwei Gasspürgeräten <sup>1)</sup> im Brennstoff-Aufbereitungsraum bei 40 % LEL	X	X <sup>2)</sup>		
Aufspüren von Gas im Kanal innerhalb eines Maschinenraums, der gasbetriebene Maschinen enthält, bei 30 % LEL	X			Wenn doppelwandiges Rohr im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, eingebaut ist
Aufspüren von Gas von zwei Gasspürgeräten <sup>1)</sup> im Kanal innerhalb eines Maschinenraums, der gasbetriebene Maschinen enthält, bei 60 % LEL	X		X <sup>3)</sup>	Wenn doppelwandiges Rohr im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, eingebaut ist
Aufspüren von Gas im ESD-geschützten Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, bei 20 % LEL	X			

Parameter	Alarm	Selbsttätiges Schließen der Tankventile <sup>6)</sup>	Selbsttätiges Schließen der Gasversorgung zu gasbetriebene Maschinen enthaltenden Maschinenräumen	Bemerkungen
Aufspüren von Gas von zwei Gasspürgeräten <sup>1)</sup> im ESD-geschützten Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, bei 40 % LEL	X		X	Es muss auch nicht-explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, ausschalten
Ausfall der Lüftung im Kanal zwischen Tank und Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält	X		X <sup>2)</sup>	
Ausfall der Lüftung im Kanal innerhalb eines Maschinenraums, der gasbetriebene Maschinen enthält <sup>5)</sup>	X		X <sup>3)</sup>	Wenn doppelwandiges Rohr im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält, eingebaut ist
Ausfall der Lüftung im ESD-geschützten Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält	X		X	
Meldung eines Feuers im Maschinenraum, der gasbetriebene Maschinen enthält	X			
Ungewöhnlicher Gasdruck in der Gasversorgungs-Leitung	X			
Versagen des aktivierenden Mediums der Ventilsteuerung	X		X <sup>4)</sup>	Zeitverzögert wie als notwendig befunden
Selbsttätige Abschaltung der Maschine (Motorschaden)	X		X <sup>4)</sup>	
Manuelle Aktivierung der Not-Abschaltung der Maschine	X		X	

- <sup>1)</sup> Zwei unabhängige Gasspürgeräte, dicht zueinander angeordnet, sind aus Gründen der Redundanz erforderlich. Wenn das Gasspürgerät selbstüberwachend ist, kann die Installation eines einzigen Gasspürgeräts zugelassen werden.
- <sup>2)</sup> Wenn der Tank mehr als eine Maschine mit Gas versorgt, und die verschiedenen Versorgungsleitungen vollständig getrennt und in getrennten Kanälen verlegt sind, und die Hauptventile außerhalb des Kanals angeordnet sind, muss nur das Hauptventil in der Versorgungsleitung, die in den Kanal führt, in dem Gas oder der Ausfall der Lüftung festgestellt wird, schließen.
- <sup>3)</sup> Wenn das Gas mehr als einer Maschine zugeführt wird, und die verschiedenen Versorgungsleitungen vollständig getrennt und in getrennten Kanälen verlegt sind, und die Hauptventile außerhalb des Kanals und außerhalb des Maschinenraums, der gasbetriebene Maschinen enthält, angeordnet sind, muss nur das Hauptventil in der Versorgungsleitung, die in den Kanal führt, in dem Gas oder der Ausfall der Lüftung festgestellt wird, schließen.
- <sup>4)</sup> Nur die Doppelabsper- und Entlüftungsventile müssen schließen.
- <sup>5)</sup> Wenn der Kanal durch Inertgas geschützt ist (siehe Absatz 9.6.1.1), dann muss der Verlust des Inertgas-Überdrucks zu den gleichen Vorgängen führen, wie sie in dieser Tabelle vorgegeben sind.
- <sup>6)</sup> Ventile nach Absatz 9.4.1.

## ANLAGE

## NORM FÜR DIE ANWENDUNG VON GRENZZUSTANDS-METHODOLOGIEN BEIM ENTWURF VON BRENNSTOFFBEHÄLTERSYSTEMEN NEUARTIGER BAUFORM

### 1 Allgemeines

1.1 Der Zweck dieser Norm ist, Verfahren und relevante Entwurfsparameter der Grenzzustands-Bemessung von Brennstoffbehältersystemen neuartiger Bauform in Übereinstimmung mit Abschnitt 6.4.16 zur Verfügung zu stellen.

1.2 Die Grenzzustands-Bemessung ist eine systematische Vorgehensweise, bei der jedes Konstruktionsteil hinsichtlich möglicher Schadensarten bezogen auf die in Absatz 6.4.1.6 festgelegten Entwurfsanforderungen bewertet wird. Ein Grenzzustand kann als ein Zustand definiert werden, außerhalb dessen die Konstruktion oder Teile einer Konstruktion die Anforderungen nicht mehr erfüllen.

1.3 Die Grenzzustände werden in die drei folgenden Kategorien unterteilt:

- .1 End-Grenzzustände (Ultimate Limit States – ULS), welche sich auf die maximale Belastbarkeit oder in einigen Fällen auf die maximale zutreffende Dehnung, Verformung oder Instabilität in der Konstruktion infolge Beulung und plastischen Versagens unter intakten (unbeschädigten) Zuständen beziehen;
- .2 Ermüdungs-Grenzzustände (Fatigue Limit States – FLS), welche sich auf eine Schwächung infolge der Wirkung zyklischer Belastung beziehen; und
- .3 Unfall-Grenzzustände (Accident Limit States – ALS), welche die Fähigkeit der Konstruktion betreffen, Unfallsituationen zu überstehen.

1.4 Soweit zutreffend, sind die Abschnitte 6.4.1 bis 6.4.14 in Abhängigkeit vom Konzept des Brennstoffbehältersystems einzuhalten.

### 2 Entwurfsformat

2.1 Das Entwurfsformat in dieser Norm basiert auf einem Last- und Widerstandsfaktor-Entwurfsformat (Load and Resistance Factor Design Format). Das Grundprinzip des Last- und Widerstandsfaktor-Entwurfsformats ist nachzuweisen, dass die Entwurfs-Belastungsauswirkungen  $L_d$  die Entwurfs-Festigkeitswiderstände  $R_d$  für alle betrachteten Schadensarten bei jedem Szenario nicht übersteigen:

$$L_d \leq R_d$$

Eine Entwurfsbelastung  $F_{dk}$  erhält man durch Multiplizieren der charakteristischen Belastung mit einem Lastfaktor, der für die gegebene Belastungskategorie maßgeblich ist:

$$F_{dk} = \gamma_f \cdot F_k$$

Hierbei ist:

- $\gamma_f$  der Lastfaktor, und  
 $F_k$  die charakteristische Belastung, wie sie in den Abschnitten 6.4.9 bis 6.4.12 angegeben ist.

Eine Entwurfs-Belastungsauswirkung  $L_d$  (z. B. Spannungen, Dehnungen, Verschiebungen und Schwingungen) ist die ungünstigste kombinierte Belastungsauswirkung, abgeleitet von den Entwurfs-Belastungen, und kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$L_d = q(F_{d1}, F_{d2}, \dots, F_{dN})$$

wobei  $q$  die funktionale Beziehung zwischen Belastung und Belastungsauswirkung bedeutet, die durch Strukturanalysen bestimmt werden.

Der Entwurfs-Festigkeitswiderstand  $R_d$  wird wie folgt bestimmt:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R \cdot \gamma_C}$$

Hierbei ist:

- $R_k$  der charakteristische Widerstand. Im Fall von Werkstoffen, die durch Kapitel 7 erfasst sind, kann es die Mindest-Nennstreckgrenze, die Mindest-Nennbruchfestigkeit, der plastische Widerstand von Querschnitten und die Beulfestigkeit sein, muss aber nicht darauf begrenzt sein;
- $\gamma_R$  der Widerstandsfaktor, definiert als  
 $\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_s$ ;
- $\gamma_m$  der Teil-Widerstandsfaktor zur Berücksichtigung der probabilistischen Verteilung der Werkstoffeigenschaften (Werkstofffaktor);
- $\gamma_s$  der Teil-Widerstandsfaktor zur Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der Leistungsfähigkeit der Struktur, wie zum Beispiel die Beschaffenheit der Konstruktion, das in Betracht gezogene Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit einschließlich Genauigkeit der Analyse; und
- $\gamma_C$  der Faktor der Auswirkungsklasse, der die möglichen Ergebnisse von Schäden hinsichtlich Brennstoffaustritt und möglicher menschlicher Verletzung ausweist.

2.2 Der Brennstoffbehälter-Entwurf muss die möglichen Schadensauswirkungen berücksichtigen. In Tabelle 1 sind Auswirkungsklassen definiert, um die Auswirkungen von Schäden genau anzugeben, wenn die Schadensart den End-Grenzzustand, den Ermüdungs-Grenzzustand oder den Unfall-Grenzzustand betrifft.

### 3 Erforderliche Analysen

3.1 Es sind Analysen nach der dreidimensionalen Methode der Finiten Elemente als ein integriertes Modell des Tanks und des Schiffskörpers einschließlich Aufla-

**Tabelle 1: Auswirkungsklassen**

Auswirkungsklasse	Definition
niedrig	Schaden bedeutet geringfügigen Austritt von Brennstoff
mittel	Schaden bedeutet Austritt von Brennstoff und Potential für menschliche Verletzung
hoch	Schaden bedeutet erheblichen Austritt von Brennstoff und hohes Potential für menschliche Verletzung/Todesopfer

ger-, Abstütz- und Verkeilungssystem, soweit anwendbar, durchzuführen. Alle Schadensarten müssen ermittelt werden, um unerwartete Schäden zu vermeiden. Es sind hydrodynamische Analysen durchzuführen, um die einzelnen Schiffsbeschleunigungen und -bewegungen im unregelmäßigen Seegang und das Verhalten des Schiffes und seines Brennstoffbehältersystems auf diese Kräfte und Bewegungen zu bestimmen.

3.2 Die Analysen der Beulfestigkeit von Ladetanks, die äußerem Druck und anderen Druckspannungen erzeugenden Belastungen ausgesetzt sind, ist entsprechend anerkannten Normen durchzuführen. Das Verfahren muss den Unterschied zwischen theoretischer und wirklicher Beulspannung infolge Ablagerung auf ebener Fläche, Kantenversatz, Geradheit, Unrundheit und Abweichung von der genauen kreisrunden Form über eine bestimmte Bogen- oder Sehnenlänge, soweit relevant, angemessen berücksichtigen.

3.3 Analyse der Ermüdung und des Rissfortschritts sind in Übereinstimmung mit Absatz 5.1 dieser Norm durchzuführen.

## 4 End-Grenzzustände

4.1 Der bauliche Widerstand kann durch Prüfung oder durch eine vollständige Analyse unter Berücksichtigung der elastischen und plastischen Werkstoffeigenschaften festgestellt werden. Sicherheitsspielräume für die Bruchfestigkeit sind durch Teil-Sicherheitsfaktoren unter Berücksichtigung des Beitrages stochastischer Art von Belastungen und Widerständen (dynamische Belastungen, Druckbelastungen, Schwerkraftbelastungen, Werkstofffestigkeit und Beulungsbelastbarkeit) einzuführen.

4.2 Geeignete Kombinationen von ständigen Belastungen, funktionalen Belastungen und umgebungsbedingten Belastungen einschließlich Belastungen durch Hin- und Herschwappen sind in der Analyse zu betrachten. Es müssen mindestens zwei Belastungskombinationen mit in Tabelle 2 angegebenen Teil-Lastfaktoren für die Beurteilung der End-Grenzzustände angewendet werden.

**Tabelle 2: Teil-Lastfaktoren**

Belastungs-Kombination	Ständige Belastungen	Funktionale Belastungen	Umgebungsbedingte Belastungen
'a'	1,1	1,1	0,7
'b'	1,0	1,0	1,3

Die Lastfaktoren für ständige und funktionale Belastungen in Belastungs-Kombination 'a' sind relevant für die normaler-

weise gut kontrollierten und/oder festgelegten Belastungen, die bei Brennstoffbehältersystemen, wie beispielsweise Dampfdruck, Brennstoffgewicht, System-Eigengewicht usw., anwendbar sind. Höhere Lastfaktoren können für ständige und funktionale Belastungen relevant sein, wenn die inhärente Variabilität und/oder Unsicherheiten in den Vorhersagemodellen höher sind.

4.3 Bei Belastungen durch Hin- und Herschwappen kann, in Abhängigkeit von der Zuverlässigkeit der Schätzungsmethode, von der Verwaltung ein höherer Lastfaktor vorgeschrieben werden.

4.4 In Fällen, in denen bei baulichen Schäden des Brennstoffbehältersystems angenommen wird, dass sie ein hohes Potential für menschliche Verletzung und erheblichen Austritt von Brennstoff nach sich ziehen, ist der Faktor der Auswirkungsklasse  $\gamma_C$  mit 1,2 anzunehmen. Dieser Wert kann verringert werden, wenn es durch eine Risikoanalyse und vorbehaltlich der Zustimmung durch die Verwaltung gerechtfertigt ist. Die Risikoanalyse muss Faktoren berücksichtigen, die den Einbau einer vollständigen oder teilweisen zweiten Barriere zum Schutz der Schiffsverbände vor Leckagen und geringer Gefährdung, die mit dem vorgesehenen Brennstoff verbundenen ist, einschließt, aber nicht darauf begrenzt ist. Umgekehrt können höhere Werte von der Verwaltung festgelegt werden, zum Beispiel für Schiffe, die gefährlicheren Brennstoff oder Brennstoff unter höherem Druck mitführen. Der Faktor der Auswirkungsklasse darf in keinem Fall geringer sein als 1,0.

4.5 Die verwendeten Lastfaktoren und die Widerstandsfaktoren müssen derart sein, dass das Sicherheitsniveau demjenigen der in den Absätzen 6.4.2.1 bis 6.4.2.5 beschriebenen Brennstoffbehältersysteme gleichwertig ist. Dieses kann durch Abgleichen der Faktoren mit bekannten bewährten Entwürfen erfolgen.

4.6 Der Werkstofffaktor  $\gamma_m$  muss im Allgemeinen die statistische Verteilung der mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes wiedergeben und muss in Kombination mit den festgelegten charakteristischen mechanischen Eigenschaften definiert werden. Für die in Kapitel 6 definierten Werkstoffe kann der Werkstofffaktor  $\gamma_m$  angenommen werden mit:

1,1 wenn die charakteristischen mechanischen Eigenschaften, die von der Verwaltung festgelegt sind, typischerweise das niedrigere 2,5 %-Quantil in der statistischen Verteilung der mechanischen Eigenschaften angeben; oder

1,0 wenn die charakteristischen mechanischen Eigenschaften, die von der Verwaltung festgelegt sind, ein ausreichend kleines Quantil derart angeben, dass die Wahrscheinlichkeit von niedrigeren mechanischen Eigenschaften als angegeben extrem niedrig ist und vernachlässigt werden kann.

4.7 Die Teil-Widerstandsfaktoren  $\gamma_{si}$  sind im Allgemeinen auf der Basis der Unsicherheiten bei der Leistungsfähigkeit der Struktur unter Berücksichtigung von Konstruktionstoleranzen, der Qualität der Konstruktion, der Genauigkeit der angewendeten Analyseverfahren usw. festzustellen.

4.7.1 Für eine Bemessung gegen übermäßige plastische Verformung unter Verwendung der in Abschnitt 4.8 dieser Norm angegebenen Grenzzustands-Kriterien sind die Teil-Widerstandsfaktoren  $\gamma_{si}$  wie folgt anzunehmen:

$$\gamma_{s1} = 0,76 \cdot \frac{B}{\kappa_1}$$

$$\gamma_{s2} = 0,76 \cdot \frac{D}{\kappa_2}$$

$$\kappa_1 = \text{Min} \left( \frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{B}{A}; 1,0 \right)$$

$$\kappa_2 = \text{Min} \left( \frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{D}{C}; 1,0 \right)$$

Die Faktoren A, B, C und D sind in Absatz 6.4.15.2.3.1 definiert. Die Werkstoffkennwerte  $R_m$  und  $R_e$  sind in Absatz 6.4.12.1.1.3 definiert.

Die vorstehend angegebenen Teil-Widerstandsfaktoren sind die Kalibrierungsergebnisse zu konventionellen unabhängigen Typ B-Tanks.

4.8 Bemessung gegen übermäßige plastische Verformung

4.8.1 Die nachfolgend angegebenen Spannungs-Zulässigkeitskriterien gelten für elastische Spannungsanalysen.

4.8.2 Teile von Brennstoffbehältersystemen, bei denen die Belastungen hauptsächlich durch Membran-Reaktion in der Konstruktion aufgenommen werden, müssen die folgenden Grenzzustands-Kriterien erfüllen:

$$\sigma_m \leq f$$

$$\sigma_L \leq 1,5f$$

$$\sigma_b \leq 1,5F$$

$$\sigma_L + \sigma_b \leq 1,5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq 1,5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g \leq 3,0F$$

$$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g \leq 3,0F$$

Hierbei sind:

- $\sigma_m$  = primäre allgemeine Membran-Vergleichsspannung,
- $\sigma_L$  = primäre örtliche Membran-Vergleichsspannung,
- $\sigma_b$  = primäre Biege-Vergleichsspannung,
- $\sigma_g$  = Sekundär-Vergleichsspannung,

$$f = \frac{R_e}{\gamma_{s1} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_c}$$

$$F = \frac{R_e}{\gamma_{s2} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_c}$$

**Anleitungshinweis:**

Die vorstehend beschriebene Spannungs-Summenbildung ist durch Zusammenfassung jeder Spannungskomponente ( $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ) vorzunehmen und danach ist die Vergleichsspannung auf der Basis der resultierenden Spannungskomponenten zu berechnen, wie in nachfolgendem Beispiel angegeben.

$$\sigma_L + \sigma_b = \sqrt{\frac{(\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})^2 - (\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})(\sigma_{Ly} + \sigma_{by}) + (\sigma_{Ly} + \sigma_{by})^2 + 3(\tau_{Lxy} + \tau_{bxy})^2}{}}$$

4.8.3 Teile von Brennstoffbehältersystemen, bei denen die Belastungen hauptsächlich durch Biegung von Trägern, Steifen und Platten aufgenommen werden, müssen die folgenden Grenzzustands-Kriterien erfüllen:

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} \leq 1,25F \quad (\text{siehe Anmerkungen 1 und 2})$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} \leq 1,25F \quad (\text{siehe Anmerkung 2})$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} + \sigma_{bt} + \sigma_g \leq 3,0F$$

Anmerkung 1: Die Summe der Querschnitts-Membran-Vergleichsspannung und der Membran-Vergleichsspannung in der Primärkonstruktion ( $\sigma_{ms} + \sigma_{bp}$ ) sind normalerweise unmittelbar von den Analysen nach der dreidimensionalen Methode der Finiten Elemente erhältlich.

Anmerkung 2: Der Koeffizient 1,25 kann durch die Verwaltung unter Berücksichtigung des Entwurfskonzeptes, der Gestaltung der Konstruktion und der angewendeten Methodik für die Berechnung der Spannungen geändert werden.

Hierbei sind:

- $\sigma_{ms}$  = Querschnitts-Membran-Vergleichsspannung in der Primärkonstruktion,
- $\sigma_{bp}$  = Membran-Vergleichsspannung in der Primärkonstruktion und Spannung in der Sekundär- und Tertiärkonstruktion, die durch Biegen der Primärkonstruktion verursacht ist,
- $\sigma_{bs}$  = Querschnitts-Biegespannung in der Sekundärkonstruktion und Spannung in der Tertiärkonstruktion, die durch Biegen der Sekundärkonstruktion verursacht ist,
- $\sigma_{bt}$  = Querschnitts-Biegespannung in der Tertiärkonstruktion,
- $\sigma_g$  = Sekundär-Vergleichsspannung,

$$f = \frac{R_e}{\gamma_{s1} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_c}$$

$$F = \frac{R_e}{\gamma_{s2} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_c}$$

Die Spannungen  $\sigma_{ms}$ ,  $\sigma_{bp}$ ,  $\sigma_{bs}$  und  $\sigma_{bt}$  sind in Abschnitt 4.8.4 definiert.

**Anleitungshinweis:**  
Die vorstehend beschriebene Spannungs-Summenbildung ist durch Zusammenfassung jeder Spannungskomponente ( $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ) vorzunehmen und danach ist die Vergleichsspannung auf der Basis der resultierenden Spannungskomponenten zu berechnen.

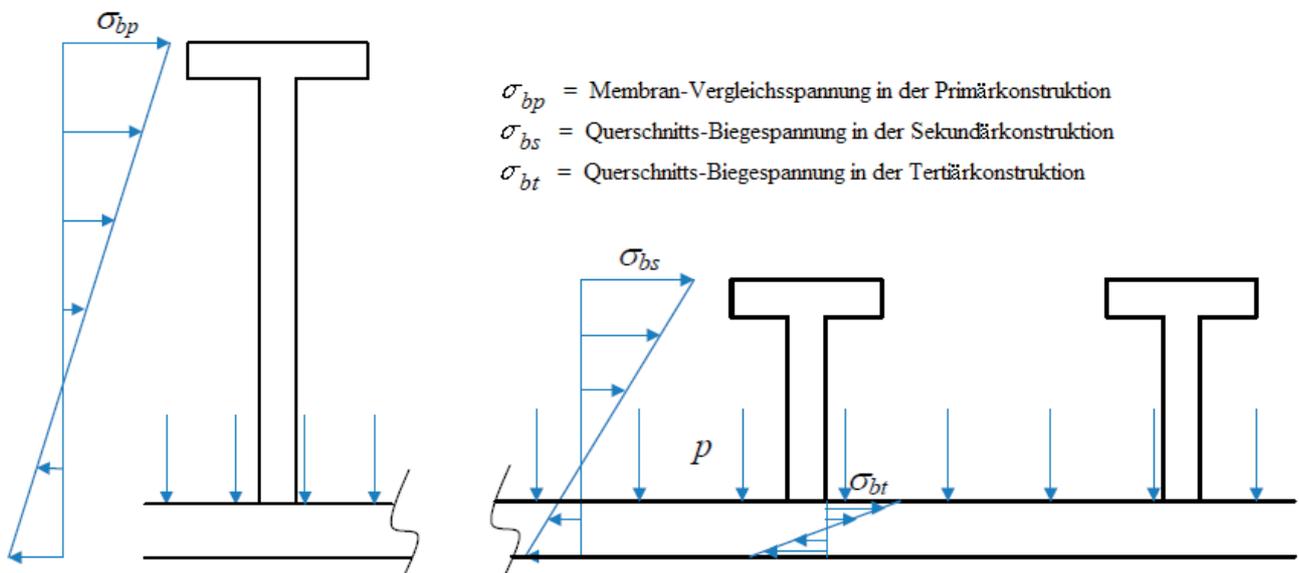
Die Beplattung ist in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Verwaltung zu bemessen. Wenn die Membranspannung erheblich ist, muss die Auswirkung der Membranspannung auf die Plattenbiegungs-Belastbarkeit zusätzlich entsprechend berücksichtigt werden.

4.8.4 Querschnitts-Spannungskategorien

Normalspannung ist die Komponente der Spannung senkrecht zur Bezugsebene.

Querschnitts-Membran-Vergleichsspannung ist die Komponente der Normalspannung, die gleichmäßig verteilt ist und dem Durchschnittswert der Spannung über den Querschnitt der unter Betrachtung stehenden Konstruktion entspricht. Wenn dieses ein einfacher Außenhautquerschnitt ist, ist die Querschnitts-Membranspannung identisch mit der in Absatz 4.8.2 dieser Norm definierten Membranspannung.

Querschnitts-Biegespannung ist die Komponente der Normalspannung, die linear über einen Profilquerschnitt verteilt ist, der einem Biegevorgang ausgesetzt wird; wie es in Abbildung 1 dargestellt ist.



**Abbildung 1: Definition der drei Querschnitts-Spannungskategorien**

(Die Spannungen  $\sigma_{bp}$  und  $\sigma_{bs}$  sind senkrecht zum gezeigten Querschnitt)

4.9 Sofern nicht anderweitig in der angewendeten anerkannten Norm für Beulung angegeben, sind für die Dimensionierung gegen Beulung die gleichen Faktoren  $\gamma_c$ ,  $\gamma_m$  und  $\gamma_{si}$  zu verwenden. In jedem Fall darf das Gesamtsicherheitsniveau nicht geringer sein, als das durch diese Faktoren angegebene Niveau.

**5 Ermüdungs-Grenzzustände**

5.1 Die Konstruktions-Ermüdungsanforderung, wie sie in Abschnitt 6.4.12.2 beschrieben ist, muss, soweit zutreffend, in Abhängigkeit vom Konzept des Brennstoffbehältersystems eingehalten werden. Eine Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit ist für das Brennstoffbehältersystem erforderlich, das nach Abschnitt 6.4.16 und dieser Norm ausgelegt ist.

5.2 Die Lastfaktoren für die Ermüdungs-Grenzzustände (FLS) sind für alle Belastungskategorien mit 1,0 anzunehmen.

5.3 Der Faktor der Auswirkungsklasse  $\gamma_c$  und der Widerstandsfaktor  $\gamma_R$  sind mit 1,0 anzunehmen.

5.4 Ein Ermüdungsschaden muss so berechnet werden, wie es in den Absätzen 6.4.12.2.2 bis 6.4.12.2.5 beschrieben ist. Das berechnete kumulative Ermüdungsschaden-Verhältnis für die Brennstoffbehältersysteme muss kleiner sein als die in Tabelle 3 angegebenen Werte oder diesen Werten gleich sein.

**Tabelle 3: Maximal zulässiges kumulatives Ermüdungsschaden-Verhältnis**

$C_w$	Auswirkungsklasse		
	niedrig	mottel	hoch
	1,0	0,5	0,5

\* Anmerkung: Entsprechend der Absätze 6.4.12.2.7 bis 6.4.12.2.9 ist in Abhängigkeit von der Feststellbarkeit eines Defektes oder Risses usw. ein niedrigerer Wert anzuwenden.

5.5 Geringere Werte können von der Verwaltung festgesetzt werden.

5.6 Die Untersuchungen des Rissfortschritts sind entsprechend den Absätzen 6.4.12.2.6 bis 6.4.12.2.9 erforderlich. Die Untersuchung ist in Übereinstimmung mit Methoden durchzuführen, die in einer von der Verwaltung anerkannten Norm festgelegt sind.

## 6 Unfall-Grenzzustände

6.1 Die Unfall-Konstruktionsanforderung, wie sie in Abschnitt 6.4.12.3 beschrieben ist, muss, soweit zutreffend, in Abhängigkeit vom Konzept des Brennstoffbehältersystems eingehalten werden.

6.2 Verglichen mit dem End-Grenzzustand können die Last- und Widerstandsfaktoren abgeschwächt werden, unter Berücksichtigung, dass Schäden und Verformungen akzeptiert werden können, solange dieses das Unfall-Szenario nicht ausweitet.

6.3 Die Lastfaktoren für die Unfall-Grenzzustände (ALS) sind für ständige Belastungen, funktionale Belastungen und umgebungsbedingte Belastungen mit 1,0 anzunehmen.

6.4 Die in Absatz 6.4.9.3.3.8 und in Abschnitt 6.4.9.5 genannten Belastungen brauchen nicht miteinander oder mit den in Abschnitt 6.4.9.4 definierten umweltbedingten Belastungen kombiniert zu werden.

6.5 Der Widerstandsfaktor  $\gamma_R$  ist generell mit 1,0 anzunehmen.

6.6 Die Faktoren der Auswirkungsklasse  $\gamma_C$  sind generell wie in Absatz 4.4 dieser Norm definiert anzunehmen, sie können jedoch unter Berücksichtigung der Art des Unfall-Szenarios abgeschwächt werden.

6.7 Der charakteristische Widerstand  $R_k$  ist generell wie für den End-Grenzzustand anzunehmen, er kann jedoch unter Berücksichtigung der Art des Unfall-Szenarios abgeschwächt werden.

6.8 Zusätzliche Unfallszenarien von Bedeutung sind auf der Basis einer Risikoanalyse festzulegen.

## 7 Prüfung

7.1 Brennstoffbehältersysteme, die entsprechend dieser Norm baulich ausgeführt sind, müssen im gleichen Umfang wie im Abschnitt 16.2 beschrieben, soweit anwendbar in Abhängigkeit vom Konzept des Brennstoffbehältersystems geprüft werden.

## TEIL B-1

*Brennstoff* im Zusammenhang mit den Regelungen in diesem Teil bedeutet Erdgas, entweder in seinem verflüssigten oder gasförmigen Zustand.

### 16 HERSTELLUNG, ARBEITSAUSFÜHRUNG UND PRÜFUNG

#### 16.1 Allgemeines

16.1.1 Die Herstellung, Prüfung, Sichtprüfung und Dokumentation müssen anerkannten Normen und den Regelungen in diesem Code entsprechen.

16.1.2 Wenn eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen angegeben oder gefordert ist, sind die Eigenschaften des Grundwerkstoffs im wärmebehandelten Zustand in Übereinstimmung mit den anwendbaren Tabellen des Kapitels 7 zu bestimmen, und die Eigenschaften der Schweißung im wärmebehandelten Zustand sind nach Abschnitt 16.3 zu bestimmen. In Fällen, in denen eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen angewendet wird, können die Prüfanforderungen nach dem Ermessen der Verwaltung geändert werden.

#### 16.2 Allgemeine Prüfregelungen und technische Bedingungen

##### 16.2.1 Zugversuch

16.2.1.1 Zugversuche sind in Übereinstimmung mit anerkannten Normen durchzuführen.

16.2.1.2 Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung müssen den Anforderungen der Verwaltung entsprechen. Für Kohlenstoff-Manganstahl und andere Werkstoffe mit ausgeprägter Streckgrenze ist eine Begrenzung des Verhältnisses Streckgrenze zu Zugfestigkeit in Betracht zu ziehen.

##### 16.2.2 Zähigkeitsversuch

16.2.2.1 Zulassungsprüfungen für metallische Werkstoffe müssen Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche einschließen, sofern die Verwaltung nichts anderes bestimmt. Die festgelegten Kennwerte der Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche sind Mindestmittelwerte der Schlagarbeit für drei Proben mit vollen Abmessungen (10 mm x 10 mm) und Mindesteinzelwerte der Schlagarbeit für Einzelproben. Abmessungen und Toleranzen der Charpy-V-Kerbproben müssen anerkannten Normen entsprechen. Die Prüfungen und Bestimmungen für Probestücke, die eine Größe von weniger als 5,0 mm haben, müssen anerkannten Normen entsprechen. Folgende Mindestmittelwerte gelten für Kleinproben:

Abmessungen der Charpy-V-Kerbproben (mm)	Mindestmittelwert der Schlagarbeit von drei Proben
10 x 10	KV
10 x 7,5	5/6 KV
10 x 5,0	2/3 KV

dabei ist:

KV = die in den Tabellen 7.1 bis 7.4 angegebene Schlagarbeit (J).

Es darf nur ein Einzelwert unter dem angegebenen Nennmittelwert liegen, sofern dieser Einzelwert nicht geringer als 70 % des Nennmittelwerts ist.

16.2.2.2 Für den Grundwerkstoff sind die für die Werkstoffdicke größtmöglichen Charpy-V-Proben so herauszuarbeiten, dass die Proben so nahe wie möglich an einem Punkt auf halber Strecke zwischen der Oberfläche und der Mitte der Werkstoffdicke liegen und die Länge der Kerbe rechtwinklig zur Oberfläche angeordnet ist, so wie es in Abbildung 16.1 dargestellt ist.

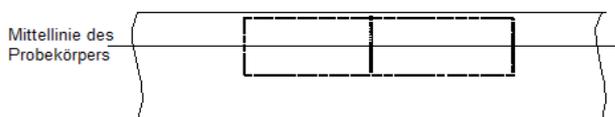


Abbildung 16.1 – Lage und Anordnung des Grundwerkstoff-Probekörpers

16.2.2.3 Für eine Schweißprobe sind die für die Werkstoffdicke größtmöglichen Charpy-V-Proben so herauszuarbeiten, dass die Proben so nahe wie möglich an einem Punkt auf halber Strecke zwischen der Oberfläche und der Mitte der Werkstoffdicke liegen. In allen Fällen muss der Abstand zwischen der Werkstoffoberfläche und der Außenkante des Probestücks etwa 1 mm oder mehr betragen. Darüber hinaus sind bei Doppel-V-Nähten die Probestücke näher zur Oberfläche des zuletzt geschweißten Bereichs herauszuarbeiten. Die Probestücke sind grundsätzlich an jeder der folgenden in Abbildung 16.2 dargestellten Stelle zu entnehmen: auf der Mittellinie der Schweißung, der Schmelzlinie und 1,0 mm, 3,0 mm und 5,0 mm von der Schmelzlinie entfernt.

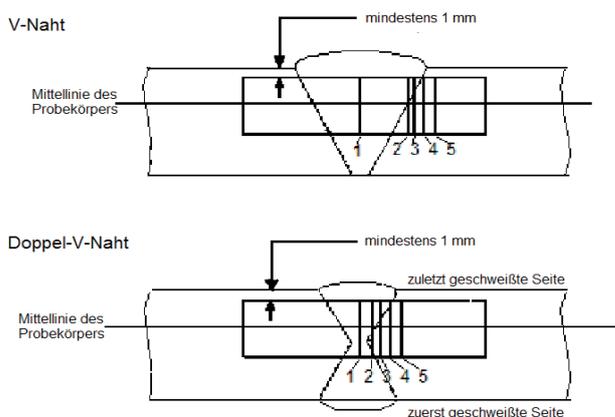


Abbildung 16.2 – Lage und Anordnung des Schweiß-Probekörpers

Anordnung der Kerbe in Abbildung 16.2:

- .1 Mittellinie der Schweißnaht,
- .2 auf der Schmelzlinie,

- .3 in der Wärmeeinflusszone, 1 mm von der Schmelzlinie entfernt,
- .4 in der Wärmeeinflusszone, 3 mm von der Schmelzlinie entfernt, und
- .5 in der Wärmeeinflusszone, 5 mm von der Schmelzlinie entfernt.

16.2.2.4 Falls der Mittelwert der drei ersten Charpy-V-Proben nicht die angegebenen Bestimmungen erfüllt oder der Wert von mehr als einer Probe unter dem geforderten Mittelwert liegt oder wenn der Wert einer Probe unterhalb des für eine Einzelprobe zulässigen Mindestwertes liegt, können drei weitere Proben von demselben Werkstoff geprüft werden, und die Ergebnisse können mit denen der vorangegangenen Versuche zusammengefasst werden, um einen neuen Mittelwert zu bilden. Wenn dieser neue Mittelwert den Bestimmungen entspricht, wenn nicht mehr als zwei Einzelergebnisse geringer als der geforderte Mittelwert sind und wenn nicht mehr als ein Einzelergebnis geringer als der für eine Einzelprobe geforderte Wert ist, kann das Stück oder das Prüfling anerkannt werden.

### 16.2.3 Biegeversuch

16.2.3.1 Auf den Biegeversuch kann bei einer Werkstoffabnahmeprüfung verzichtet werden, er ist jedoch bei Prüfungen von Schweißungen erforderlich. Wird ein Biegeversuch durchgeführt, ist dieser in Übereinstimmung mit anerkannten Normen durchzuführen.

16.2.3.2 Die Biegeversuche müssen Querbiegeversuche sein, die nach dem Ermessen der Verwaltung oberseitige, wurzelseitige oder Seiten-Biegeprüfungen sein können. Anstelle der Querbiegeversuche können jedoch Längsbiegeversuche gefordert werden, wenn der Grundwerkstoff und das Schweißgut unterschiedliche Festigkeiten haben.

### 16.2.4 Schliffbegutachtung und sonstige Prüfungen

Von der Verwaltung kann auch eine Begutachtung von Makroschliffen und Mikroschliffen sowie Härteprüfungen gefordert werden; diese sind gegebenenfalls in Übereinstimmung mit anerkannten Normen durchzuführen.

## 16.3 Schweißung metallischer Werkstoffe und zerstörungsfreie Prüfung für das Brennstoffbehälter-system

### 16.3.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt nur für erste und zweite Barrieren einschließlich der inneren Schiffshülle, wo diese die zweite Barriere bildet. Die Abnahmeprüfung ist für Kohlenstoff- und Kohlenstoffmanganstähle sowie nickellegierte und nicht-rostende Stähle festgelegt, aber diese Prüfungen können auch für andere Werkstoffe angepasst verwendet werden. Nach dem Ermessen der Verwaltung können Kerbschlagbiegeversuche für Schweißungen von rostfreien Stählen und Aluminiumlegierungen entfallen, und andere Prüfungen können für jeden Werkstoff besonders gefordert werden.

### 16.3.2 Schweißzusatzwerkstoffe

Zusatzwerkstoffe, die für Schweißungen an Brennstofftanks vorgesehen sind, müssen anerkannten Normen entsprechen. Für alle Zusatzwerkstoffe sind Schweißgutprüfungen und Stumpfnahmprüfungen erforderlich. Die Ergebnisse von

Zug- und Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuchen müssen anerkannten Normen entsprechen. Die chemische Zusammensetzung des eingebrachten Schweißgutes ist für Informationszwecke zu dokumentieren.

### 16.3.3 Schweißverfahrensprüfungen für Brennstoff-tanks und Prozessdruckbehälter

16.3.3.1 Schweißverfahrensprüfungen für Brennstofftanks und Prozessdruckbehälter werden für alle Stumpfnahmverbindungen gefordert.

16.3.3.2 Die Probenplatten müssen repräsentativ sein für:

- .1 Jeden Grundwerkstoff,
- .2 jede Art von Schweißzusatzwerkstoff und Schweißverfahren, und
- .3 jede Schweißposition.

16.3.3.3 Bei Stumpfnähten von Blechen sind die Probenplatten so herzurichten, dass die Walzrichtung parallel zur Schweißnahtrichtung liegt. Der Blechdickenbereich, der durch jede Schweißverfahrensprüfung abgedeckt wird, muss anerkannten Normen entsprechen. Durchstrahlungsprüfungen oder Ultraschallprüfungen können auf Verlangen des Herstellers durchgeführt werden.

16.3.3.4 Die folgenden Schweißverfahrensprüfungen für Brennstofftanks und Prozessdruckbehälter sind in Übereinstimmung mit Abschnitt 16.2 mit Proben aus jeder Probenplatte auszuführen:

- .1 Zugversuche quer zur Schweißnaht;
- .2 Stumpfnahm-Längsbiegeprüfung, sofern durch anerkannte Normen vorgeschrieben;
- .3 Querbiegeversuche, die oberseitige, wurzelseitige oder Seiten-Biegeprüfungen sein können. Jedoch können Längsbiegeversuche anstelle der Querbiegeversuche gefordert werden, wenn Grundwerkstoff und Schweißgut unterschiedliche Festigkeiten haben;
- .4 im Allgemeinen an jeder der folgenden Stellen, wie in Abbildung 16.2 angegeben, je ein Satz aus drei Charpy-V-Kerbschlagbiegeproben:
  - .1 Mittellinie der Schweißnaht,
  - .2 Schmelzlinie,
  - .3 1 mm von der Schmelzlinie entfernt,
  - .4 3 mm von der Schmelzlinie entfernt, und
  - .5 5 mm von der Schmelzlinie entfernt;
- .5 es können auch Makroschliffe, Mikroschliffe und eine Prüfung des Härteverlaufs gefordert werden.

16.3.3.5 Jede Prüfung muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

- .1 Zugversuche: Die Zugfestigkeit quer zur Schweißnaht darf nicht geringer sein als die festgelegte Nennzugfestigkeit des entsprechenden Grundwerkstoffes. Bei Aluminiumlegierungen ist hinsichtlich der Bestimmungen für die Festigkeit des Schweißgutes von unangepassten Schweißnähten (wo das Schweißgut eine geringere Bruchfestigkeit als der Grundwerkstoff hat) ein Hinweis

auf Absatz 6.4.12.1.1.3 vorzunehmen. In jedem Falle ist die Lage des Bruchs für Informationszwecke zu dokumentieren;

- .2 Biegeversuche: Nach Biegung um 180° über einen Dorn mit einem Durchmesser von 4-facher Dicke des Probestücks darf kein Bruch eintreten; und
- .3 Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche: Die Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche sind bei der für den zu verbindenden Grundwerkstoff vorgeschriebenen Temperatur durchzuführen. Die Ergebnisse der Kerbschlagbiegeversuche des Schweißgutes (Mindestmittelwerte der Schlagarbeit (KV)) dürfen nicht geringer als 27 J sein. Die Bestimmungen für das Schweißgut für Kleinproben und für die Einzelwerte der Schlagarbeit müssen Absatz 16.2.2 entsprechen. Die Ergebnisse von Kerbschlagbiegeversuchen im Bereich der Schmelzlinie und der Wärmeeinflusszone müssen einen Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) aufweisen, der den jeweiligen Quer- oder Längsbestimmungen des Grundwerkstoffes entspricht; für Kleinproben muss der Mindestmittelwert der Schlagarbeit (KV) Absatz 16.2.2 entsprechen. Falls die Werkstoffdicke die Herstellung von Proben in voller Größe oder von genormten Kleinproben nicht zulässt, müssen das Prüfverfahren und die Beurteilungsmaßstäbe anerkannten Normen entsprechen.

16.3.3.6 Verfahrensprüfungen für Kehlnahtschweißungen müssen anerkannten Normen entsprechen. In solchen Fällen müssen derartige Zusatzwerkstoffe ausgewählt werden, die zufriedenstellende Kerbschlagzähigkeitseigenschaften aufweisen.

#### **16.3.4 Schweißverfahrensprüfungen für Rohrleitungen**

Die Schweißverfahrensprüfungen für Rohrleitungen sind in Anlehnung an die für Brennstofftanks in Abschnitt 16.3.3 ausführlich beschriebenen Prüfungen durchzuführen.

#### **16.3.5 Produktionsschweißprüfungen**

16.3.5.1 Für alle Brennstofftanks und Prozessdruckbehälter, mit Ausnahme von Membrantanks, sind generell an Stumpfstößen etwa alle 50 m Produktionsschweißprüfungen auszuführen, und diese müssen repräsentativ für jede Schweißposition sein. Für zweite Barrieren sind Produktionsprüfungen in der gleichen Art auszuführen, wie sie für Primärtanks gefordert werden, mit der Ausnahme, dass die Anzahl der Prüfungen mit Zustimmung der Verwaltung verringert werden kann. Für Brennstofftanks oder zweite Barrieren können andere Prüfungen als die in den Absätzen 16.3.5.2 bis 16.3.5.5 angegebenen Prüfungen gefordert werden.

16.3.5.2 Die Produktionsprüfungen für unabhängige Typ A-Tanks und Typ B-Tanks müssen Biegeversuche und, falls für die Verfahrensprüfung erforderlich, einen Satz von drei Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuchen umfassen. Die Versuche sind für jeweils 50 m Schweißnaht zu machen. Die Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuche sind mit Proben durchzuführen, deren Kerbe wechselweise in der Mittellinie der Schweißung und in der Wärmeeinflusszone liegt (kritischste Stelle aufgrund der Ergebnisse der Verfahrensprüfung). Bei austenitischen nichtrostenden Stählen müssen alle Kerbe in der Mittellinie der Schweißnaht liegen.

16.3.5.3 Für unabhängige Typ C-Tanks und für Prozessdruckbehälter sind zusätzlich zu den in Absatz 16.3.5.2 aufgeführten Prüfungen Zugversuche quer zur Schweißnaht erforderlich. Die Zugversuche müssen die Bestimmungen des Absatzes 16.3.3.5 erfüllen.

16.3.5.4 Das Qualitätssicherungs- bzw. Qualitätsüberwachungs-Programm (QA/QC-Programm) muss die im Werkstoff-Qualitätshandbuch des Herstellers (QM) festgelegte kontinuierliche Konformität der Produktionsschweißnähte sicherstellen.

16.3.5.5 Die Prüfbestimmungen für Membrantanks sind die gleichen wie die in Abschnitt 16.3.3 aufgeführten maßgeblichen Prüfbestimmungen.

#### **16.3.6 Zerstörungsfreie Prüfung**

16.3.6.1 Alle Prüfverfahren und Abnahmeanforderungen müssen anerkannten Normen entsprechen, außer wenn der Konstrukteur eine höhere Anforderung festlegt, um Entwurfsannahmen einzuhalten. Es sind grundsätzlich Durchstrahlungsprüfungen einzusetzen, um innere Fehler aufzuspüren. Anstelle einer Durchstrahlungsprüfung kann jedoch eine genehmigte Ultraschallprüfung durchgeführt werden, aber zusätzlich muss eine ergänzende Durchstrahlungsprüfung an ausgewählten Stellen durchgeführt werden, um die Messwerte nachzuprüfen. Die Aufzeichnungen der Durchstrahlungsprüfungen und Ultraschallprüfungen müssen aufbewahrt werden.

16.3.6.2 Bei unabhängigen Typ A-Tanks, bei denen die Entwurfstemperatur unter -20°C liegt, und bei unabhängigen Typ B-Tanks ohne Berücksichtigung der Temperatur sind alle voll durchgeschweißten Stumpfnähte der Brennstofftankwandungen einer zerstörungsfreien Prüfung zu unterziehen, die geeignet ist, innere Fehler über ihrer vollen Länge aufzuspüren. Anstelle einer Durchstrahlungsprüfung kann eine Ultraschallprüfung unter den gleichen Bedingungen, wie sie in Absatz 16.3.6.1 beschrieben sind, durchgeführt werden.

16.3.6.3 In jedem Fall sind die übrigen Tankbauteile einschließlich der Schweißungen von Steifen, anderen Fittingen und Anbauten durch Magnetpulver- oder Farbeindringverfahren zu untersuchen, soweit es für erforderlich gehalten wird.

16.3.6.4 Für unabhängige Typ C-Tanks muss der Umfang der zerstörungsfreien Prüfung entsprechend anerkannten Normen vollständig oder teilweise sein; die durchzuführenden Überprüfungen dürfen jedoch nicht geringer sein als im Folgenden angegeben:

- .1 Vollständige zerstörungsfreie Prüfung entsprechend Absatz 6.4.15.3.2.1.3:
  - Durchstrahlungsprüfung:
    - .1 alle Stumpfnähte über ihre volle Länge.
  - Zerstörungsfreie Prüfung für das Auffinden von Oberflächenrissen:
    - .2 alle Schweißnähte über 10 % ihrer Länge;
    - .3 Verstärkungsringe um Ausschnitte, Stutzen usw. über ihre volle Länge.

Als Alternative kann die in Absatz 16.3.6.1 beschriebene Ultraschallprüfung als teilweiser Ersatz der Durchstrahlungsprüfung anerkannt werden. Zusätzlich kann die Verwaltung eine vollständige Ultraschallprüfung von Schweißungen an Verstärkungsringen um Ausschnitte, Stützen usw. fordern.

### .2 Teilweise zerstörungsfreie Prüfung entsprechend Absatz 6.4.15.3.2.1.3:

Durchstrahlungsprüfung:

- .1 alle stumpf geschweißten Nahtkreuzungen und mindestens 10 % der vollen Länge der Stumpfnähte an ausgewählten gleichmäßig verteilten Stellen.

Zerstörungsfreie Prüfung für das Auffinden von Oberflächenrissen:

- .2 Verstärkungsringe um Ausschnitte, Stützen usw. über ihre volle Länge.

Ultraschallprüfung:

- .3 wie sie von der Verwaltung in jedem Einzelfall gefordert werden kann.

16.3.6.5 Das Qualitätssicherungs- bzw. Qualitätsüberwachungs-Programm (QA/QC-Programm) muss die im Werkstoff-Qualitätshandbuch des Herstellers (QM) festgelegte kontinuierliche Konformität der zerstörungsfreien Prüfung der Schweißnähte sicherstellen.

16.3.6.6 Die Untersuchungen an Rohrleitungen sind entsprechend den Anforderungen des Kapitels 7 durchzuführen.

16.3.6.7 Soweit es für erforderlich gehalten wird, ist die zweite Barriere zerstörungsfrei auf innere Fehler zu überprüfen. Bildet die Außenhaut des Schiffes einen Teil der zweiten Barriere, so sind alle Stumpfnähte des Scheergangs und alle Kreuzungen von Stößen und Nähten der Außenhautbeplattung einer Durchstrahlungsprüfung zu unterziehen.

## 16.4 Sonstige Regelungen für Konstruktionen metallischer Werkstoffe

### 16.4.1 Allgemeines

Die Sichtprüfung und zerstörungsfreie Prüfung von Schweißnähten müssen den Bestimmungen in den Abschnitten 16.3.5 und 16.3.6 entsprechen. Wenn im Entwurf höhere Anforderungen oder Toleranzen angenommen werden, müssen sie ebenfalls erfüllt werden.

### 16.4.2 Unabhängige Tanks

Bei Typ C-Tanks und Typ B-Tanks, die hauptsächlich aus Rotationskörpern bestehen, müssen die Bautoleranzen in Bezug auf die Fertigung, wie beispielsweise Unrundheit, örtliche Abweichungen von der eigentlichen Form, Ausrichtung der Schweißverbindungen und Abstufung der Platten bei unterschiedlichen Plattendicken, anerkannten Normen entsprechen. Die Toleranzen müssen auch den in den Absätzen 6.4.15.2.3.1 und 6.4.15.3.3.2 angegebenen Beuluntersuchungen entsprechen.

### 16.4.3 Zweite Barrieren

Während der Bauausführung müssen die Regelungen für Prüfung und Sichtkontrolle von zweiten Barrieren von der

Verwaltung zugelassen oder genehmigt sein (siehe auch Absätze 6.4.4.5 und 6.4.4.6.).

### 16.4.4 Membrantanks

Das Qualitätssicherungs-/Qualitätskontrollprogramm (QA/QC-Programm) muss eine ständige Übereinstimmung mit der Schweißverfahrensprüfung, den Entwurfseinzelheiten, den Werkstoffen, der Konstruktion, der Sichtprüfung und der Fertigungsprüfung der Komponenten sicherstellen. Diese Normen und Verfahren sind während des Prototyp-Prüfprogramms zu entwickeln.

## 16.5 Prüfung

### 16.5.1 Prüfung und Sichtkontrollen während der Bauausführung

16.5.1.1 Alle Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff und Prozessdruckbehälter müssen einer hydrostatischen oder hydropneumatischen Druckprüfung entsprechend den Abschnitten 16.5.2 bis 16.5.5, wie jeweils für den Tanktyp anwendbar, unterzogen werden.

16.5.1.2 Alle Tanks müssen einer Dichtheitsprüfung unterzogen werden, die in Verbindung mit der in Abschnitt 16.5.5.1 angegebenen Druckprüfung durchgeführt werden kann.

16.5.1.3 Die Gasdichtheit des Brennstoffbehältersystems mit Bezug auf Absatz 6.3.3 muss geprüft werden.

16.5.1.4 Regelungen im Hinblick auf die Besichtigung von zweiten Barrieren müssen in jedem Einzelfall von der Verwaltung unter Berücksichtigung der Zugänglichkeit der Barriere festgelegt werden (siehe auch Absatz 6.4.4.).

16.5.1.5 Die Verwaltung kann vorschreiben, dass auf Schiffen mit neuartigen unabhängigen Typ B-Tanks oder nach Abschnitt 6.4.16 gebauten Tanks mindestens ein Prototyp-Tank und seine Auflager/Abstützungen mit Dehnungsmessstreifen oder anderen geeigneten Vorrichtungen zum Messen der Spannung während der nach Absatz 16.5.1.1 geforderten Prüfung versehen werden. Ähnliche Messeinrichtungen können für unabhängige Typ C-Tanks unter Berücksichtigung ihrer Form und der Anordnung ihrer Auflager/Abstützungen und Befestigungen vorgeschrieben werden.

16.5.1.6 Das Gesamtverhalten des Brennstoffbehältersystems muss, entsprechend den Anforderungen der Verwaltung, während der ersten LNG-Bunkerung auf Übereinstimmung mit den Entwurfparametern überprüft werden, wenn stabile Wärmezustände des verflüssigten Gasbrennstoffs erreicht sind. Aufzeichnungen über das Verhalten der Einzelbauteile und der Ausrüstung, die zur Bestätigung der Entwurfparameter wesentlich waren, müssen an Bord aufbewahrt werden und für die Verwaltung verfügbar sein.

16.5.1.7 Das Brennstoffbehältersystem muss während oder unmittelbar nach der ersten LNG-Bunkerung, wenn stabile Wärmezustände erreicht sind, auf kalte Stellen überprüft werden. Die Überprüfung der Unversehrtheit der Oberflächen der thermischen Isolierung, die nicht durch Sichtkontrolle überprüft werden können, muss entsprechend den Anforderungen der Verwaltung durchgeführt werden.

16.5.1.8 Sofern Heizeinrichtungen nach den Absätzen 6.4.13.1.1.3 und 6.4.13.1.1.4 eingebaut sind, müssen sie auf erforderliche Wärmeleistung und Wärmeverteilung überprüft werden.

### 16.5.2 *Unabhängige Typ A-Tanks*

Alle unabhängigen Typ A-Tanks müssen einer hydrostatischen oder hydropneumatischen Druckprüfung unterzogen werden. Diese Prüfung muss derart durchgeführt werden, dass die Spannungen, soweit wie praktisch durchführbar, den Entwurfsspannungen angenähert werden und dass der Druck an Oberkante Tank mindestens MARVS entspricht. Wenn eine hydropneumatische Prüfung durchgeführt wird, müssen die Bedingungen, soweit wie praktisch durchführbar, die Entwurfsbelastung des Tanks und seiner Auflager einschließlich dynamischer Komponenten simulieren; dabei sind Spannungen, die eine ständige Verformung verursachen könnten, zu vermeiden.

### 16.5.3 *Unabhängige Typ B-Tanks*

Unabhängige Typ B-Tanks müssen einer hydrostatischen oder hydropneumatischen Druckprüfung wie folgt unterzogen werden:

- .1 Die Prüfung muss so durchgeführt werden, wie sie in Absatz 16.5.2 für unabhängige Typ A-Tanks vorgeschrieben ist.
- .2 Darüber hinaus darf unter Prüfbedingungen die größte primäre Membranspannung oder die größte Biegespannung in den primären Bauteilen 90 % der Streckgrenze des Werkstoffs (im Lieferzustand) bei Prüftemperatur nicht überschreiten. Wenn durch Berechnungen festgestellt wird, dass diese Spannung 75 % der Streckgrenze überschreitet, muss zur Erfüllung dieser Bedingung die Erprobung des ersten Tanks einer Serie von baugleichen Tanks durch Messung mittels Dehnungsmessstreifen oder anderer geeigneter Vorrichtungen überwacht werden.

### 16.5.4 *Unabhängige Typ C-Tanks und andere Druckbehälter*

16.5.4.1 Jeder Druckbehälter muss einer hydrostatischen Prüfung unterzogen werden, wobei der an Oberkante Tank gemessene Druck nicht kleiner als  $1,5 P_o$  sein darf. Während der Druckprüfung darf in keinem Fall die rechnerische primäre Membranspannung an irgendeiner Stelle 90 % der Streckgrenze des Werkstoffs bei Prüftemperatur überschreiten. Wenn durch Berechnungen festgestellt wird, dass diese Spannung 0,75 mal die Streckgrenze überschreiten wird, muss zur Erfüllung dieser Bedingung die Erprobung des ersten Tanks einer Serie von baugleichen Tanks durch Messung mittels Dehnungsmessstreifen oder anderer geeigneter Vorrichtungen bei Druckbehältern, mit Ausnahme von einfachen zylindrischen und kugelförmigen Druckbehältern, überwacht werden.

16.5.4.2 Die Temperatur des Wassers, das bei der Prüfung benutzt wird, muss mindestens 30 °C über der NDT-Temperatur (nil-ductility transition temperature - Nullzähigkeitstemperatur) des Werkstoffes im Lieferzustand liegen.

16.5.4.3 Der Druck ist für die Dauer von 2 Stunden für je 25 mm Wanddicke, keinesfalls aber weniger als 2 Stunden, zu halten.

16.5.4.4 Sofern erforderlich, kann für Druckbehälter für verflüssigten Gasbrennstoff unter den in den Absätzen 16.5.4.1 bis 16.5.4.3 beschriebenen Bedingungen eine hydropneumatische Prüfung durchgeführt werden.

16.5.4.5 Für die Prüfung von Tanks, bei denen in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur höhere zulässige Spannungen verwendet werden, können besondere Überlegungen angestellt werden. Die Regelungen des Absatzes 16.5.4.1 sind jedoch in vollem Umfang einzuhalten.

16.5.4.6 Nach Fertigstellung und Zusammenbau muss jeder Druckbehälter einschließlich zugehöriger Fittings einer angemessenen Dichtheitsprüfung unterzogen werden, die in Kombination mit der in Absatz 16.5.4.1 oder 16.5.4.4, wie jeweils anwendbar, angegebenen Druckprüfung durchgeführt werden kann.

16.5.4.7 Eine pneumatische Prüfung von Druckbehältern, mit Ausnahme von Tanks für verflüssigten Gasbrennstoff, ist auf der Grundlage einer Einzelfallprüfung zu berücksichtigen. Eine solche Prüfung kann für derartige Behälter nur dann zugelassen werden, wenn sie so gebaut oder aufgelagert sind, dass sie mit Wasser nicht sicher befüllt werden können, oder für solche Behälter, die nicht getrocknet werden können und die bei einer Betriebsart eingesetzt werden müssen, bei der Spuren des Prüfmediums nicht hingenommen werden können.

### 16.5.5 *Membrantanks*

#### 16.5.5.1 Konstruktionsentwicklungs-Prüfung

16.5.5.1.1 Die nach Absatz 6.4.15.4.1.2 vorgeschriebene Konstruktionsentwicklungs-Prüfung muss eine Reihe von analytischen und physikalischen Modellen der ersten und zweiten Barrieren einschließlich der Ecken und Verbindungen umfassen, um durch Prüfung zu bestätigen, dass sie den zu erwartenden kombinierten Beanspruchungen infolge statischer, dynamischer und thermischer Belastungen bei allen Füllständen standhalten. Dieses wird in der Konstruktion eines Modells im Prototyp-Maßstab des vollständigen Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff kulminieren. Die Prüfbedingungen, die bei dem analytischen und physikalischen Modell betrachtet werden, müssen die härtesten Betriebsbedingungen wiedergeben, denen das Behältersystem für verflüssigten Gasbrennstoff während seiner Lebensdauer voraussichtlich ausgesetzt sein wird. Vorgeschlagene Zulassungskriterien für eine regelmäßige Überprüfung der in Abschnitt 6.4.4 vorgeschriebenen zweiten Barrieren können auf den Prüfungs-Ergebnissen basieren, die mit dem Modell im Prototyp-Maßstab durchgeführt wurden.

16.5.5.1.2 Das Ermüdungsverhalten des Membran-Werkstoffes und der maßgeblichen Schweiß- oder Klebeverbindungen in den Membranen ist durch Erprobungen zu bestimmen. Die Bruchfestigkeit und das Ermüdungsverhalten von Vorrichtungen zum Befestigen des thermischen Isolierungssystems an den Schiffsverbänden sind durch Untersuchungen oder Erprobungen zu ermitteln.

#### 16.5.5.2 Prüfung

- .1 Auf Schiffen mit Membran-Behältersystemen für verflüssigten Gasbrennstoff müssen alle Tanks und anderen

Räume, die normalerweise Flüssigkeit enthalten können und an Schiffsverbände angrenzen, welche die Membrane unterstützen, hydrostatisch geprüft werden.

- .2 Alle Bauteile von Laderäumen, welche die Membrane unterstützen, müssen vor dem Einbau des Behältersystems für verflüssigten Gasbrennstoff auf Dichtheit geprüft werden.
- .3 Rohrtunnel und andere Räume, die normalerweise keine Flüssigkeit enthalten, brauchen nicht hydrostatisch geprüft zu werden.

### 16.6 Schweißung, Wärmebehandlung nach dem Schweißen und zerstörungsfreie Prüfung

#### 16.6.1 *Allgemeines*

Die Schweißung ist entsprechend Abschnitt 16.3 auszuführen.

#### 16.6.2 *Wärmebehandlung nach dem Schweißen*

Eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist für alle Stumpfnähte an Rohren aus Kohlenstoff- und Kohlenstoffmangan-Stählen und niedrig legierten Stählen erforderlich. Die Verwaltung kann unter Berücksichtigung der Entwurfstemperatur und des Druckes des betreffenden Rohrleitungssystems auf die Vorschriften für Spannungsarmglühen der Rohre bei Wanddicken von weniger als 10 mm verzichten.

#### 16.6.3 *Zerstörungsfreie Prüfung*

Zusätzlich zu den normalen Kontrollen vor und während des Schweißens und zur Sichtprüfung der fertiggestellten Schweißverbindungen sind die folgenden Prüfungen zwecks Gewährleistung, dass die Schweißung fehlerlos und entsprechend den Regelungen dieses Abschnittes durchgeführt worden ist, erforderlich:

- .1 Eine 100%ige Durchstrahlungsprüfung oder Ultraschallprüfung der Stumpfnahverbindungen bei Rohrleitungssystemen mit
  - .1 Entwurfstemperaturen unter  $-10\text{ °C}$ , oder
  - .2 Entwurfsdruck von mehr als 1,0 MPa, oder
  - .3 Gasversorgungsleitungen in ESD-geschützten Maschinenräumen, oder
  - .4 Innendurchmessern von mehr als 75 mm, oder
  - .5 Wanddicken von mehr als 10 mm.
- .2 Wenn solche Stumpfnahverbindungen von Rohrleitungsabschnitten mittels automatischer Schweißverfahren, die von der Verwaltung zugelassen sind, gefertigt werden, dann kann einer schrittweisen Herabsetzung des Umfangs der Durchstrahlungsprüfung oder der Ultraschallprüfung zugestimmt werden, jedoch in keinem Falle auf weniger als 10% einer jeden Verbindung. Werden Fehler festgestellt, muss der Umfang der Prüfung auf 100% angehoben werden und muss auch die Prüfung bereits akzeptierter Schweißnähte umfassen. Diese Genehmigung kann nur erteilt werden, wenn gut dokumentierte Qualitätssicherungsmaßnahmen und Berichte verfügbar sind, deren Auswertung die Leistungsfähigkeit des Herstellers nachweist, dass er

durchgehend zufriedenstellende Schweißverbindungen herstellt.

- .3 Die Festlegung der Durchstrahlungsprüfung oder Ultraschallprüfung kann für Stumpfnahverbindungen im äußeren Rohr von doppelwandigen Brennstoffleitungen auf 10% herabgesetzt werden.
- .4 Bei anderen stumpfnahgeschweißten Rohrverbindungen, die nicht durch die Absätze 16.6.3.1 und 16.6.3.3 erfasst sind, ist eine stichprobenweise Durchstrahlungsprüfung oder Ultraschallprüfung oder andere zerstörungsfreie Prüfungen in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen, der Lage und dem Werkstoff durchzuführen. Im Allgemeinen sind mindestens 10% der Stumpfnahverbindungen von Rohren einer Durchstrahlungsprüfung oder Ultraschallprüfung zu unterziehen.

### 16.7 Prüfregelungen

#### 16.7.1 *Typenprüfungen für Rohrleitungszubehör*

Ventile

Jeder Typ des Rohrleitungszubehörs, der für den Einsatz bei einer Betriebstemperatur unterhalb von  $-55\text{ °C}$  vorgesehen ist, muss den folgenden Typenprüfungen unterzogen werden:

- .1 Jede Größe und jeder Typ ist einer Dichtheitsprüfung des Ventilsitzes über den vollen Bereich der Betriebsdrücke und -temperaturen in Abständen bis zum Nenn-Entwurfsdruck des Ventils zu unterziehen. Die zulässigen Leckraten müssen den Anforderungen der Verwaltung genügen. Während der Prüfung muss das zufriedenstellende Funktionieren des Ventils nachgewiesen werden.
- .2 Der Volumendurchfluss oder Volumenstrom ist nach einer anerkannten Norm für jede Größe und jeden Typ des Ventils zu zertifizieren.
- .3 Unter Druck stehende Komponenten sind einer Druckprüfung mit mindestens dem 1,5fachen des Entwurfsdrucks zu unterziehen.
- .4 Bei Not-Abschaltventilen, deren Werkstoffe eine Schmelztemperatur von weniger als  $925\text{ °C}$  haben, muss die Typenprüfung eine Brandprüfung nach einer Norm, die mindestens einer für die Organisation<sup>32</sup> annehmbaren Norm gleichwertig ist, umfassen.

#### 16.7.2 *Faltenbälge*

Die folgenden Typenprüfungen sind für jeden Faltenbalgtyp, der für die Verwendung in Brennstoffleitungen außerhalb von Brennstofftanks vorgesehen ist, weil nach Absatz 7.3.6.4.3. als akzeptabel befunden, und, falls von der Verwaltung gefordert, für solche Faltenbälge, die in den Brennstofftanks eingebaut sind, durchzuführen:

<sup>32</sup> Auf die Empfehlungen der Internationalen Organisation für Normung (ISO), insbesondere die Veröffentlichungen - ISO 19921:2005, Ships and marine technology – Fire resistance of metallic pipe components with resilient and elastomeric seals – Test methods, und - ISO 19922:2005, Ships and marine technology – Fire resistance of metallic pipe components with resilient and elastomeric seals – Requirements imposed on the test bench wird verwiesen.

- .1 Elemente der Faltenbälge, die nicht vorgespannt, aber axial eingespannt sind, sind mit einem Druck von nicht weniger als dem 5-fachen Entwurfsdruck zu prüfen, ohne dass sie dabei bersten. Die Prüfdauer darf nicht geringer als 5 Minuten sein.
- .2 Der Typ einer vollständigen Ausgleichsverbindung einschließlich aller Zubehörteile wie Flansche, Halterungsbolzen und Gelenke ist einer Druckprüfung bei der niedrigsten Entwurfstemperatur und beim 2-fachen Entwurfsdruck bei den vom Hersteller empfohlenen äußersten Ausdehnungsbedingungen zu unterziehen, ohne dass dabei bleibende Verformungen auftreten.
- .3 Mit einer vollständigen Ausgleichsverbindung ist eine Lastwechselprüfung (thermisch bedingte Verschiebungen) durchzuführen, wobei diese unter den Verhältnissen von Druck, Temperatur, axialer Verschiebung, Drehbewegung und Querverschiebung mindestens so vielen Lastwechseln standhalten muss, wie sie im wirklichen Betrieb zu erwarten sind. Eine Prüfung bei Umgebungstemperatur ist zulässig, wenn diese Prüfung mindestens so streng wie eine Prüfung bei der Betriebstemperatur ist.
- .4 Mit einer vollständigen Ausgleichsverbindung ist ein zyklischer Ermüdungstest (Schiffsverformung, Schiffsbeschleunigungen und Rohrleitungsschwingungen) ohne Innendruck durchzuführen, wobei die Bewegungen des Faltenbalges entsprechend der ausgeglichenen Rohrleitungslänge für mindestens 2.000.000 Lastwechsel bei einer Frequenz von nicht mehr als 5 Hz zu simulieren sind. Diese Prüfung ist nur dann erforderlich, wenn bei der Rohrleitungsanordnung Belastungen infolge Verformung des Schiffskörpers tatsächlich erwartet werden.

### 16.7.3 Prüfbestimmungen für Systeme

16.7.3.1 Die Bestimmungen für das Prüfen in diesem Abschnitt gelten für Brennstoffleitungen innerhalb und außerhalb der Brennstofftanks. Es können jedoch Erleichterungen von diesen Bestimmungen für Rohrleitungen innerhalb von Brennstofftanks und für offene Rohrleitungen von der Verwaltung anerkannt werden.

16.7.3.2 Nach dem Zusammenbau sind alle Brennstoffleitungen einer Festigkeitsprüfung mit einer geeigneten Flüssigkeit zu unterziehen. Der Prüfdruck muss bei Rohrleitungen für Flüssigkeiten mindestens das 1,5-fache des Entwurfsdrucks und bei Rohrleitungen für Dämpfe mindestens das 1,5-fache des höchsten System-Betriebsdrucks betragen. Wenn jedoch Rohrleitungssysteme oder Teile von Systemen vollständig beim Hersteller gefertigt und mit allen Zubehörteilen ausgerüstet sind, kann die Prüfung auch

vor dem Einbau an Bord des Schiffes erfolgen. An Bord geschweißte Verbindungen müssen mit einem Druck von mindestens dem 1,5-fachen Entwurfsdruck geprüft werden.

16.7.3.3 Nach dem Zusammenbau an Bord muss das Brennstoffleitungs-System einer Dichtheitsprüfung unter Benutzung von Luft oder einem anderen geeigneten Medium unterzogen werden, wobei der Druck in Abhängigkeit vom angewandten Verfahren für die Leck-Aufspürung zu wählen ist.

16.7.3.4 Bei doppelwandigen Brennstoffleitungs-Systemen muss das äußere Rohr oder der äußere Kanal ebenfalls einer Druckprüfung unterzogen werden, um nachzuweisen, dass das Rohr oder der Kanal dem erwarteten maximalen Druck bei einem Bruch der Leitung standhalten kann.

16.7.3.5 Alle Rohrleitungssysteme einschließlich Ventile, Fittinge und zugehöriger Ausrüstung für den Umschlag von Brennstoff oder Dämpfen sind unter normalen Betriebsbedingungen spätestens beim ersten Bunkern einer Funktionsprüfung in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Verwaltung zu unterziehen.

16.7.3.6 Die Not-Abschaltventile in Rohrleitungssystemen für verflüssigtes Gas müssen vollständig und ruckfrei innerhalb von 30 s nach Aktivierung schließen. Angaben über die Schließzeit der Ventile und ihr Betriebsverhalten müssen an Bord verfügbar sein, und die Schließzeit muss nachprüfbar und reproduzierbar sein.

16.7.3.7 Die Schließzeit des in den Absätzen 8.5.8 und 15.4.2.2 genannten Ventils (d. h. Zeit von der Auslösung des Schließsignals bis zum vollständigen Schließen des Ventils) darf nicht größer sein als:

$$\frac{3600U}{BR} \text{ (Sekunden)}$$

*BR*

Hierbei sind:

*U* = Freivolumen (m<sup>3</sup>) bei dem Füllstand, bei dem der Schließvorgang ausgelöst wird,

*BR* = größte Bunkerrate (m<sup>3</sup>/h), wie zwischen Schiff und Landanlage vereinbart, oder

5 Sekunden, je nachdem, welcher Wert kleiner ist.

Die Bunkerrate muss so angepasst sein, dass Druckstöße infolge Schließens des Ventils auf ein vertretbares Maß beschränkt bleiben; dabei sind gegebenenfalls der Bunkerschlauch oder -arm und die Rohrleitungssysteme des Schiffes und der Landanlage zu berücksichtigen.

## TEIL C-1

*Brennstoff* im Zusammenhang mit den Regelungen in diesem Teil bedeutet Erdgas, entweder in seinem verflüssigten oder gasförmigen Zustand.

### 17 AUSBILDUNG UND ÜBUNGEN FÜR DEN NOTFALL

Die Ausbildung und Übungen für den Notfall an Bord sind in regelmäßigen Zeitabständen durchzuführen.

Derartige gasbezogene Übungen könnten folgende Beispiele umfassen:

- .1 Übungen Planspiele,
- .2 Besprechung der Brennstoff-Übernahmeverfahren, die auf dem nach Absatz 18.2.3 vorgeschriebenen Handbuch über den Umschlag von Brennstoff basieren,
- .3 Reaktionen auf mögliche Notfälle,
- .4 Prüfungen von Einrichtungen, die für eine Reaktion auf einen Notfall vorgesehen sind, und
- .5 Überprüfungen, dass die beauftragten Seeleute dafür ausgebildet sind, die zugewiesenen Aufgaben während der Brennstoffübernahme und der Reaktion auf einen Notfall zu erfüllen.

Gasbezogene Übungen können in die nach SOLAS vorgeschriebenen regelmäßigen Übungen einbezogen werden.

Das Reaktions- und Sicherheitssystem gegen Gefahren und zur Unfallbeherrschung ist zu überprüfen und zu erproben.

### 18 BETRIEB

#### 18.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist es sicherzustellen, dass die betrieblichen Verfahren für die Beladung, die Lagerung, den Betrieb, die Instandhaltung und die Inspektion von Systemen für Gas oder Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt das Risiko für Personen, für das Schiff und für die Umwelt minimieren, und dass sie im Einklang mit den Praktiken eines konventionellen, mit Ölbrennstoff angetriebenen Schiffes unter Berücksichtigung der Eigenschaft des flüssigen oder gasförmigen Brennstoffs sind.

#### 18.2 Funktionale Anforderungen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die funktionalen Anforderungen in den Absätzen 3.2.1 bis 3.2.3, 3.2.9, 3.2.11, 3.2.15, 3.2.16 und 3.2.17. Insbesondere gilt das Folgende:

- .1 Jedes Schiff, das den Bestimmungen dieses Codes unterliegt, muss eine Ausfertigung dieses Codes oder der nationalen Vorschriften, welche die Bestimmungen dieses Codes enthalten, an Bord mitführen;
- .2 Instandhaltungsverfahren und Informationsmaterial für alle gasbezogenen Einrichtungen müssen an Bord verfügbar sein;
- .3 für das Schiff müssen Verfahren für den Betriebsablauf einschließlich eines angemessenen detaillierten

Handbuches über den Umgang mit Brennstoff derart vorgesehen sein, dass ausgebildete Personen Systeme zum Bunkern, zur Lagerung und für die Übernahme von Brennstoff sicher bedienen können, und

- .4 für das Schiff müssen geeignete Notfallverfahren vorgesehen sein.

#### 18.3 Regelungen für die Instandhaltung

18.3.1 Instandhaltungs- und Reparaturverfahren müssen Angaben bezüglich der Tankanordnung und der angrenzenden Räume enthalten (siehe Kapitel 5).

18.3.2 Eine Besichtigung im Betrieb, Instandhaltung und Prüfung des Brennstoffbehältersystems müssen in Übereinstimmung mit dem nach Absatz 6.4.1.8 vorgeschriebenen Inspektions/Besichtigungsplan durchgeführt werden.

18.3.3 Die Verfahren und Informationen müssen die elektrischen Einrichtungen einschließen, die in explosionsgefährdeten Räumen und Bereichen installiert sind. Die Inspektion und Instandhaltung elektrischer Einrichtungen in explosionsgefährdeten Räumen sind in Übereinstimmung mit einer anerkannten Norm<sup>33</sup> durchzuführen.

#### 18.4 Regelungen für den Bunkerbetrieb

##### 18.4.1 Verantwortlichkeiten

18.4.1.1 Bevor jeder Bunkerbetrieb beginnt, müssen der Kapitän des übernehmenden Schiffes oder sein Vertreter und der Vertreter der Bunkerbezugsquelle (verantwortliche Personen):

- .1 das Übernahmeverfahren einschließlich des Herunterkühlens und, falls notwendig, des Gasspülens, die maximale Bunkerrate während aller Phasen und das zu übernehmende Volumen schriftlich vereinbaren;
- .2 die in einem Notfall vorzunehmenden Maßnahmen schriftlich vereinbaren; und
- .3 die Bunkerungs-Sicherheits-Checkliste ausfüllen und unterzeichnen.

18.4.1.2 Nach Beendigung des Bunkerbetriebs muss die verantwortliche Person des Schiffes für den gelieferten Brennstoff einen Bunker-Lieferschein, der mindestens die im Anhang zum Teil C-1 aufgeführten Angaben enthält und von der verantwortlichen Person der Bunkerbezugsquelle ausgefüllt und unterzeichnet ist, erhalten und unterzeichnen.

##### 18.4.2 Übersicht der Kontroll-, Automatisierungs- und Sicherheitssysteme

18.4.2.1 Das nach Absatz 18.2.3 vorgeschriebene Hand-

<sup>33</sup> Auf die Norm IEC 60079 17:2007 Explosive atmospheres – part 17: Electrical installations inspection and maintenance – wird verwiesen.

buch über den Umgang mit Brennstoff muss das Folgende umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt:

- .1 Gesamtbetrieb des Schiffes von Dockung zu Dockung einschließlich Verfahren für das Herunterkühlen und Aufheizen mittels Systemen, das Bunkern und gegebenenfalls für Entleeren, Probenahme, Inertisieren und Gasfreimachen;
- .2 Bunkertemperatur und Druckregelung, Alarm und Sicherheitssysteme;
- .3 Systembegrenzungen, Raten des Herunterkühlens und maximale Temperaturen der Brennstofflagertanks vor dem Bunkern einschließlich Mindestbrennstofftemperaturen, maximale Tankdrücke, Bunkerraten, Füllgrenzen und Begrenzungen für Hin- und Herschwappen;
- .4 Betrieb der Inertgassysteme;
- .5 Brandbekämpfung und Notfallmaßnahmen: Betrieb und Instandhaltung der Brandbekämpfungssysteme bzw. Feuerlöschsysteme und Einsatz der Feuerlöschmittel;
- .6 bestimmte Brennstoffeigenschaften und Sondereinrichtungen, die für den sicheren Umgang mit dem speziellen Brennstoff benötigt werden;
- .7 Betrieb des fest eingebauten Gasspürsystems und des tragbaren Gasspürgeräts sowie deren Instandhaltung;
- .8 Not-Abschalt- und Not-Entlastungssysteme, sofern eingebaut, und
- .9 eine Beschreibung der verfahrensmäßigen Handlungen, die in einem Notfall, wie beispielsweise eine Leckage, ein Brand oder eine mögliche Brennstoff-Schichtenbildung, die einen Rollovereffekt zur Folge haben kann, vorzunehmen sind.

18.4.2.2 Ein Brennstoffsystem-Schaubild/Rohrleitungs- und Instrumentendiagramm (P&ID) sind nachzubilden und in der Bunkerkontrollstation des Schiffes und an der Bunkerstation ständig anzubringen.

#### **18.4.3 Bunkerungs-Vorprüfung**

18.4.3.1 Vor der Ausführung von Bunkerungstätigkeiten ist eine Bunkerungs-Vorprüfung, die das Folgende umfasst, aber nicht darauf beschränkt ist, durchzuführen und in der Bunkerungs-Sicherheits-Checkliste zu dokumentieren:

- .1 alle Kommunikations-Verfahren einschließlich Schiff-Land-Verbindung;
- .2 Funktionsfähigkeit der fest eingebauten Gasspüreinrichtung und des fest eingebauten Feuermeldesystems;
- .3 Funktionsfähigkeit der tragbaren Gasspürgeräte;
- .4 Funktionsfähigkeit der fernbetätigten Ventile; und
- .5 Inspektion von Schläuchen und Kupplungen.

18.4.3.2 Die Dokumentation einer erfolgreichen Überprüfung ist durch die einvernehmlich anerkannte und ausgefertigte Bunkerungs-Sicherheits-Checkliste, die von beiden verantwortlichen Personen unterzeichnet ist, zu bezeugen.

#### **18.4.4 Kommunikation zwischen Schiff und Bunkerbezugsquelle**

18.4.4.1 Zwischen der verantwortlichen Person des Schiffes und der verantwortlichen Person der Bunkerbezugsquelle muss während des Bunkerbetriebs eine ständige Kommunikation aufrechterhalten werden. Für den Fall, dass die Kommunikation nicht aufrechterhalten werden kann, muss das Bunkern unterbrochen werden und darf erst fortgesetzt werden, wenn die Kommunikation wieder hergestellt ist.

18.4.4.2 Kommunikations-Geräte, die beim Bunkern eingesetzt werden, müssen anerkannten Normen für solche Geräte entsprechen, die für die Verwaltung akzeptierbar sind.

18.4.4.3 Die verantwortlichen Personen müssen eine direkte und sofortige Kommunikations-Verbindung zu allen beim Bunkerbetrieb beteiligten Personen haben.

18.4.4.4 Die Schiff-Land-Verbindung oder eine gleichwertige Einrichtung zu einer Bunkerbezugsquelle, die für eine selbsttätige Not-Abschaltung eingerichtet ist, muss mit dem übernehmenden Schiff und dem Not-Abschalt-System der liefernden Einrichtung kompatibel sein<sup>34</sup>.

#### **18.4.5 Elektrische Verbindung**

Schläuche, Übergabearme, Rohrleitungen und Fittings, die durch die für das Bunkern eingesetzte liefernde Einrichtung zur Verfügung gestellt werden, müssen elektrisch durchgehend und geeignet isoliert sein und sie müssen ein Sicherheitsniveau bieten, das dem Niveau anerkannter Normen entspricht<sup>35</sup>.

#### **18.4.6 Bedingungen für die Übernahme**

18.4.6.1 An den Zugangsstellen zum Bunkerungsbereich müssen Warntafeln angebracht sein, auf denen Brandsicherheits-Vorkehrungen während der Brennstoffübernahme aufgeführt sind.

18.4.6.2 Während des Übernahmevorgangs müssen die Personen im Bereich der Übergabestation zum Bunkern auf die notwendigen Mitarbeiter begrenzt werden. Alle Mitarbeiter, die mit Aufgaben oder Arbeiten in der Nähe der Übernahmevorgänge beschäftigt sind, müssen eine geeignete persönliche Schutzausrüstung tragen (PPE). Ein Fehler zur Aufrechterhaltung der geforderten Bedingungen für eine Übernahme muss die Unterbrechung der Vorgänge auslösen, und die Übernahme darf erst fortgesetzt werden, wenn alle Bedingungen erfüllt sind.

18.4.6.3 Wenn das Bunkern durch den Einbau ortsbeweglicher Tanks erfolgt, muss das Verfahren ein gleichwertiges Sicherheitsniveau wie bei eingebauten Brennstofftanks und -systemen bieten. Ortsbewegliche Tanks müssen vor dem Verladen an Bord des Schiffes befüllt werden und müssen vor dem Anschluss an das Brennstoffsystem fachgerecht gesichert werden.

<sup>34</sup> Auf die Norm ISO 28460 – Ship-shore interface and port operations – wird verwiesen.

<sup>35</sup> Auf API RP 2003, ISGOTT: International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals wird verwiesen.

18.4.6.4 Bei Tanks, die nicht ständig im Schiff installiert sind, ist der Anschluss aller notwendigen Tanksysteme (Rohrleitungen, Regelungs/Bedienungseinrichtungen, Sicherheitssystem, Entlastungssystem usw.) an das Brennstoffsystem des Schiffes ein Teil des „Bunkerungs-Vorganges“, und er muss vor dem Ablegen des Schiffes von der Bunkerbezugsquelle abgeschlossen sein. Das Anschließen und Abkoppeln ortsbeweglicher Tanks während der Seereise oder des Manövrierens ist nicht zulässig.

### **18.5 Regelungen für den Zugang zu geschlossenen Räumen**

18.5.1 Unter normalen Betriebsverhältnissen dürfen Brennstofftanks, Laderäume für Brennstofftanks, Leerräume, Tankanschlussräume oder andere geschlossene Räume, in denen sich Gas oder entzündbare Dämpfe ansammeln können, von Personen nicht betreten werden, sofern nicht der Gasgehalt der Atmosphäre in einem solchen Raum durch fest eingebaute oder tragbare Geräte bestimmt ist, um ausreichenden Sauerstoffgehalt und das Nichtvorhandensein einer explosiven Atmosphäre sicherzustellen<sup>36</sup>.

18.5.2 Personen, die einen als gefährdeten Bereich eingestuften Raum betreten, dürfen keine möglichen Zündquellen in den Raum einbringen, sofern nicht vorher die Gasfreiheit bescheinigt worden ist und dieser Zustand beibehalten wird.

### **18.6 Regelungen für Inertisieren und Spülen der Brennstoffsysteme**

18.6.1 Das Hauptziel beim Inertisieren und Spülen der Brennstoffsysteme ist, die Bildung einer entzündbaren Atmosphäre in, in der Nähe von oder um Rohrleitungen des Brennstoffsystems, Tanks, Anlagen und angrenzenden Räumen zu verhindern.

18.6.2 Verfahren für das Inertisieren und Spülen von Brennstoffsystemen müssen sicherstellen, dass Rohrleitungen oder einem Tank, die eine Gasatmosphäre enthalten, keine Luft zugeführt wird, und dass der in Umschließungen oder Räumen in der Nähe von Brennstoffsystemen enthaltene Luft kein Gas zugeführt wird.

### **18.7 Regelungen für Schweiß- und Brennarbeiten an und in der Nähe von Brennstoffsystemen**

18.7.1 In der Nähe von Brennstofftanks, Brennstoffleitungen und Isoliersystemen, die entzündbar, mit Kohlenwasserstoffen kontaminiert sein können oder die giftige Dämpfe als Produkt einer Verbrennung abgeben können, dürfen Schweiß- und Brennarbeiten nur vorgenommen werden, nachdem der Bereich gesichert und als sicher für Schweiß- und Brennarbeiten nachgewiesen worden ist, und alle Genehmigungen eingeholt worden sind.

---

<sup>36</sup> Auf die Überarbeiteten Empfehlungen zum Begehen geschlossener Räume an Bord von Schiffen (Entschließung A.1050(27)) wird verwiesen.

## ANLAGE

LNG-Bunker-Lieferschein \*  
LNG als Brennstoff für

Schiffsname: \_\_\_\_\_ IMO-Nummer: \_\_\_\_\_

Lieferdatum: \_\_\_\_\_

## 1. LNG-Eigenschaften

Methanzahl**	--	
Unterer Heizwert	MJ/kg	
Oberer Heizwert	MJ/kg	
Wobbeindizes $W_s / W_i$	MJ/m <sup>3</sup>	
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	
Druck	MPa (abs)	
LNG-Temperatur bei Lieferung	°C	
LNG-Temperatur im/in Lagertank(s)	°C	
Druck im/in Lagertank(s)	MPa (abs)	

## 2. LNG-Zusammensetzung

Methan, CH <sub>4</sub>	% (kg/kg)	
Ethan, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	% (kg/kg)	
Propan, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	% (kg/kg)	
Isobutan, i C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	% (kg/kg)	
n-Butan, n C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	% (kg/kg)	
Pentan, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	% (kg/kg)	
Hexan, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	% (kg/kg)	
Heptan, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	% (kg/kg)	
Stickstoff, N <sub>2</sub>	% (kg/kg)	
Schwefel, S	% (kg/kg)	
<b>Vernachlässigbar &lt;5ppm:</b> Schwefelwasserstoff, Wasserstoff, Ammoniak, Chlor, Fluor, Wasser		

3. Nettogesamtmenge geliefert: \_\_\_\_\_ t, \_\_\_\_\_ MJ, \_\_\_\_\_ m  
Nettoflüssigkeitslieferung: \_\_\_\_\_ GJ

## 4. Unterschrift(en)

Name der Lieferfirma, Kontaktdaten: \_\_\_\_\_  
Unterschrift: \_\_\_\_\_ Ort/Hafen: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_  
Empfänger: \_\_\_\_\_

\* Die LNG-Eigenschaften und die Zusammensetzung ermöglichen dem Betreiber/der Bedienungsperson, in Übereinstimmung mit den bekannten Eigenschaften des Gases und jeglichen betrieblichen Beschränkungen, die damit verbunden sind, zu handeln.

\*\* Vorzugsweise oberhalb von 70 und mit Bezug auf das angewendete Methanzahl-Berechnungsverfahren nach der Norm DIN EN 16726. Dieses gibt nicht zwangsläufig die Methanzahl wieder, die der Maschine zugeführt wird.

**TEIL D**

**19 AUSBILDUNG**

**19.1 Zielsetzung**

Das Ziel dieses Kapitels ist es sicherzustellen, dass die Seeleute an Bord der Schiffe, auf die dieser Code anzuwenden ist, angemessen befähigt, ausgebildet und sachkundig sind.

**19.2 Funktionale Anforderungen**

Die Unternehmen müssen sicherstellen, dass Seeleute an Bord von Schiffen, die Gas oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden, eine vollständige Ausbildung abgeschlossen haben, um die Fähigkeiten zu erlangen, die für die auszufüllende Funktion und die zu übernehmenden Aufgaben und Verantwortlichkeiten unter Berücksichtigung der angegebenen Vorschriften im STCW-Übereinkommen und STCW-Code, in der jeweils geltenden Fassung, angemessen sind.