

Inhaltsverzeichnis

1.	. Vorwort			
2.	Hintergrund / Ausgangssituation4 Regularien für die Binnenschifffahrt5 Wasserstofflagerung an Bord von Schiffen7			
3.				
4.				
5.	Zielorientierter Ansatz	9		
6.	Arbeitspaket 1, Darstellung der Vorschriftenlage	.11		
6.1.	Aufgabenstellung			
6.2.	Relevante Standards und Regularien			
6.2.1.	Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt (CESNI), Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN), Ausgabe 2021/1			
6.2.2.	Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Empfehlungen an die Schiffsuntersuchungskommission nach 2.19/§ 2.20 der Rheinschiffsuntersuchungsordnung	§		
6.2.3.	Abweichung und Gleichwertigkeit in Bezug auf die technischen Vorschriften des ES-TRIN [8] für bestimmte Fahrzeuge gemäß Richtlinie (EU) 2016/1629 [22]			
6.2.4.	Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels	15		
6.2.5.	ShipRight – Design and Construction – Additional Design Procedures – Risk Based Designs (RBD)			
6.2.6.	Europäisches Übereinkommen vom 26. Mai 2000 über die internationale Beförderung von gefährlichen Güauf Binnenwasserstraßen (ADN)			
6.2.7.	Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), Band I+II, S 1.1.2021			
6.2.8.	PD ISO/TR 15916:2015 Basic consideration for the safety of hydrogen systems	21		
6.2.9.	MSC.420(97) Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk			
	Normen für Kryo-Behälter und Gasflaschen			
6.3.	GAP Analyse			
6.4.	Schlussfolgerung / Empfehlung	23		
6.5.	Gliederungsvorschlag	. 27		
7.	Arbeitspaket 2, Entwurf technische Vorschriften für Binnenschiffe	.28		
7.1.	Aufgabenstellung	. 28		
7.2.	Regulatorischer Vorschlag	. 28		
8.	Arbeitspaket 4, Übertragung auf Vorschriftenentwicklung für Seeschiffe	.31		

8.1.	Aufgabenstellung	31
8.2.	Übertragung der Sicherheitskonzepte	31
	IGF Code und ES-TRIN	
8.2.2.	MSC 420(97) Interim recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk	36
8.3.	Schlussfolgerung / Empfehlung	48
9.	Management Summary	51
10.	Abbildungen	53
11.	Tabellen	53
12.	Abkürzungen	53
13.	Referenzierte Literatur	55

Vorwort 1.

Das 2017 gegründete Deutsche Maritime Zentrum e. V. (DMZ) ist ein unabhängiger, öffentlich finanzierter, branchenübergreifender Thinktank mit Sitz in Hamburg. Es setzt auf Zukunftsthemen, wie nicht-fossile Kraftstoffe, emissionsfreie Antriebe, moderne Sicherheitssysteme und autonome Schifffahrt. Den Kern bilden Fragen der Gestaltung sowie der Umsetzung von Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der maritimen Branche. Sie dienen dem Wissenszuwachs, der Weiterentwicklung des Standes der Technik und der Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit des Branchenstandorts Deutschland.

Lloyd's Register (LR) ist ein weltweit tätiges Unternehmen für Ingenieur-, Technik- und Unternehmensdienstleistungen, das sich vollständig im Besitz der Lloyd's Register Foundation befindet, einer Wohltätigkeitsorganisation, die sich der Forschung und Technik widmet. LR wurde 1760 als Marineklassifikationsgesellschaft gegründet und ist heute branchenübergreifend tätig und beschäftigt rund 8500 Mitarbeiter in 78 Ländern. LR hat einen langjährigen Ruf für Integrität, Unparteilichkeit und technische Exzellenz. Der Compliance-, Risiko- und technische Beratungsdienst gibt den Kunden von LR das Vertrauen, dass die Vermögenswerte ihres Unternehmens sicher, nachhaltig und zuverlässig sind. Durch seine globalen Technologiezentren und sein Forschungsnetzwerk steht LR an vorderster Front beim Verständnis der Anwendung neuer Technologien und Technologien, um das Geschäft unserer Kunden zukunftssicher zu machen.

Im Sommer 2021 hat das Deutsche Maritime Zentrum das Unternehmen Lloyds Register EMEA mit der "Erarbeitung eines Vorschlags für technische Vorschriften zum Einsatz von Wasserstoff als Brennstoff in der Binnenschifffahrt" beauftragt.

2. **Hintergrund / Ausgangssituation**

Die Umstellung von konventionellen auf erneuerbare Kraftstoffe ist im gesamten Verkehrssektor ein hochaktuelles Thema. Dieses gilt auch für die maritime Branche in der Seeschifffahrt ebenso wie für den Verkehr auf Binnenwasserstraßen. Bereits heute, Januar 2022, gibt es Pilotprojekte in denen Binnenschiffe mit Wasserstoff und Brennstoffzellen angetrieben werden. Diese Schiffe erhalten Sondergenehmigungen, da die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff in der europäischen Binnenschifffahrt noch grundsätzlich verboten ist.

Das Pariser Übereinkommen vom Dezember 2015 zielt auf eine Verlangsamung des Klimawandels durch Reduzierung der CO2-Emissionen ab. Die flächendeckende Reduzierung von Treibhausgas- und Schadstoffemissionen in der Binnenschifffahrt muss vorangetrieben werden. Die Verkehrsminister der Mitgliedstaaten der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR – Belgien, Deutschland, Frankreich, Niederlande und Schweiz) haben in der am 17. Oktober 2018 unterzeichneten Mannheimer Erklärung darüber hinaus das Ziel bekräftigt, den Ausstoß von Treibhausgasen und anderen Schadstoffen bis 2050 weitgehend zu beseitigen.

In der Erklärung wurde die Notwendigkeit zeitgemäßer, praktikabler und harmonisierter Umwelt- und Sicherheitsvorschriften in der Rhein- und Binnenschifffahrt hervorgehoben. Die ZKR wurde beauftragt, zur weiteren Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit der Binnenschifffahrt eine Roadmap zu entwickeln, um Emissionen von

- Treibhausgasen bis 2035 um 35% im Vergleich zu 2015 zu reduzieren,
- Schadstoffen bis 2035 um mindestens 35% gegenüber 2015 zu reduzieren,
- Treibhausgasen und sonstigen Schadstoffen bis 2050 weitestgehend zu beseitigen.

Es ist davon auszugehen, dass eine klare Regelung des Gesetzgebers zur Nutzung von alternativen Kraftstoffen die Industrie motivieren wird, Innovationen umzusetzen. Das setzt voraus, dass die Nutzung von Wasserstoff grundsätzlich möglich ist und entsprechende Sicherheitsvorschriften in Kraft gesetzt sind.

Für die Umsetzung potenzieller Innovationen werden verschiedene Wasserstoffprojekte im Binnenschiffsverkehr gefördert. Das Projekt "Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence" (RH2INE) soll marktreife Lösungen für eine Infrastruktur zur Nutzung von Wasserstoff in der Binnenverkehrskette, z.B. Binnenschifffahrt, Güterverkehr auf Straße und Schiene, entwickeln. In der Phase 1 des Projektes sollen 12 Binnenschiffe realisiert werden [1].

Im Bau beziehungsweise in der Planung befinden sich gegenwärtig die Binnenschiffsprojekte ELEKTRA, HADAG und MSC Maas. Für alle drei Projekte wird gasförmiger komprimierter Wasserstoff als Brennstoff genutzt. Zur Lagerung des Wasserstoffes an Bord werden wiederbefüllbare Gasflaschen genutzt. Diese werden in Bündeln zusammen gefasst. Es befinden sich jeweils mehrere austauschbare Bündel an Bord der Schiffe.

Diese Binnenschiffe sollen mit der folgenden Speicherkapazität für Wasserstoff ausgestattet sein:

- ELEKTRA, 6 Bündel á 125kg H2
- MSC Maas, 2 Bündel á 500kg H2
- HADAG Fähre, 2 Bündel á 125-150kg H2

Regularien für die Binnenschifffahrt 3.

Auf allen Binnenwasserstraßen der Europäischen Union gelten dieselben technischen Vorschriften. Grundlage für diese Harmonisierung ist die EU Richtlinie 2016/1629 zur Festlegung technischer Vorschriften für Binnenschiffe, zur Änderung der Richtlinie 2009/100/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/87/EG. Die im Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) enthaltenen einheitlichen technischen Vorschriften gewährleisten die Sicherheit der Binnenschiffe in Europa. Der Standard umfasst die harmonisierten technischen Vorschriften für die Rhein- und die europäische Binnenschifffahrt, auf die die Richtlinie (EU) 2016/1629 zur Festlegung technischer Vorschriften für Binnenschiffe und die Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) verweisen.

Für die Ausarbeitung der technischen Standards auf dem Gebiet der Binnenschifffahrt ist der Europäische Ausschuss für die Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt (CESNI) zuständig. Das Ziel dieses Gremiums ist, die Harmonisierung der technischen Standards im Binnenschifffahrtssektor in ganz Europa zu erleichtern. Laufende Aktualisierungen sollen sicherstellen, dass der wissenschaftliche und technische Fortschritt berücksichtigt werden kann und ein hohes Maß an Sicherheit und Effizienz in der Binnenschifffahrt gewährleistet wird.

Im von der CESNI veröffentlichen Merkblatt zur Beratung über Abweichungen und Gleichwertigkeiten in Bezug auf die Technischen Vorschriften des ES-TRIN wird berichtet, daß "In der Vergangenheit wurden die technischen Vorschriften für auf dem Rhein verkehrende Schiffe durch die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) erarbeitet. Dieses Gremium verfügt damit über umfangreiche Kenntnisse in Bezug auf die Entwicklung und Aktualisierung der technischen Vorschriften für Binnenschiffe. Die Teilnahme an der ZKR steht den Experten aller Mitgliedstaaten offen und die Federführung der ZKR stellt sicher, dass das gesammelte Fachwissen weiterhin uneingeschränkt zugunsten der Binnenwasserstraßen in der Union genutzt werden kann.

Fahrzeuge, die auf dem Rhein und auf Wasserstraßen der EU verkehren, müssen über ein Rheinschiffsattest oder ein Unionszeugnis für Binnenschiffe verfügen. Beide Zeugnisse werden von der nationalen zuständigen Behörde erteilt und bestätigen die vollständige Erfüllung der technischen Vorschriften des ES-TRIN durch das Fahrzeug. Das Ziel dieser Vorschriften besteht in der Gewährleistung eines hohen Sicherheitsniveaus in der Binnenschifffahrt sowie dem Schutz der Umwelt und der Personen an Bord.

Die Rechtsrahmen der ZKR und der EU gestatten in berechtigten Fällen Abweichungen von den technischen Vorschriften des ES-TRIN:

um Innovationen und die Nutzung neuer Technologien in der Binnenschifffahrt zu fördern;

wenn die technischen Vorschriften technisch schwierig anzuwenden sind oder ihre Anwendung unverhältnismäßige Kosten verursachen würde (Härtefallklausel).

In beiden Fällen muss der Schiffseigner bei der nationalen zuständigen Behörde eine Abweichung von den Bestimmungen des technischen Standards ES-TRIN beantragen. Die zuständige Behörde prüft den Antrag und entscheidet zusammen mit dem Schiffseiger, ob das Fahrzeug ein Schiffsattest oder ein Unionszeugnis erhalten soll. Dieser Entscheidung entsprechend, beantragt der jeweilige Mitgliedstaat bei der ZKR oder dem Ausschuss CESNI eine Genehmigung zur Abweichung von ES-TRIN. Die Abweichung wird von der Schiffsuntersuchungskommission auf der Grundlage entweder

- eines Durchführungsrechtsakts der Europäischen Kommission (EK) nach Stellungnahme des Ausschusses **CESNI** oder
- einer Empfehlung der ZKR

für ein einzelnes Fahrzeug genehmigt.

Bei einer Serie von Fahrzeugen mit den gleichen Abweichungen vom ES-TRIN muss für jedes Fahrzeug eine eigene Abweichungsgenehmigung beantragt werden. Nach Genehmigung durch die ZRK oder die EK werden die spezifischen Abweichungen von der nationalen zuständigen Behörde bei Erteilung in das Schiffsattest oder in das Unionszeugnis eingetragen. Des Weiteren ist auf der Website der ZKR ein Verzeichnis der seit 1996 durch die ZKR erteilten Abweichungsgenehmigungen verfügbar. Die Genehmigung einer Abweichung durch die ZKR wird bisweilen als "Empfehlung" bezeichnet." [2]

4. Wasserstofflagerung an Bord von Schiffen

Methoden der Wasserstoffspeicherung sind in der folgenden Tabelle 1 dargestellt. Als relevant für diese Studie wird die Speicherung von Wasserstoff in Druckbehältern und Tanks in komprimierter Form und in tiefkalter verflüssigter Form erachtet. In der Studie 'Hydrogen containment Systems' [3] wird die Speicherung von komprimierten Wasserstoff und tiefkaltem verflüssigten Wasserstoff unter Druck als die am weitesten entwickelte Speichertechnik erachtet. Materialbasierte Speichermethoden benötigen noch geschätzte 5-10 Jahre Entwicklung bevor diese Technologie im großen Umfang zur Verfügung stehen kann.

Storage method	Containment system	Pressure	Temperature	State of ag- gregation			
Physical-based							
Pressurized	Fixed: Pressure cylinders/tubes (type I,II,III & IV) Swappable: type I-IV cylinders/tubes in cylinder racks, or 20/40 ft ISO tube- or cylindercontainers.	200-500 bar	Ambient	Gas			
Liquid	Fixed: Super insulated tanks (IMO type C) Swappable (possibly¹): Super insulated ISO tank-containers	Atmospheric to 5 barg ²	-245 to -250 °C	Liquid			
Material-based							
Sodium borohy- dride (NaBH ₄)	Crystal: Storage similar to salt (plastic containers) Liquid: Plastic containers, IBC tanks, storage for corrosive liquids	Atmospheric	Ambient	Solid (crystal) Liquid (dis- solved in wa- ter)			
Ammonia	Insulated tanks	1. Atmospheric	134°C	1. Liquid			
,	Insulated pressure tanks	2. 10-30 bar	2. Ambient	2. Gas			
LOHC	Tanks similar to diesel tanks; ISO tank-containers, large (tailored) tanks	Atmospheric	Ambient	Liquid			
Methanol	Tanks similar to diesel tanks; ISO tank-containers, fixed carbon steel tanks CO ₂ tanks	1. Atmospheric 2. 12-25 bar	1. Ambient 235 °C to	Liquid Liquid			
			-15 °C				

Tabelle 1 Überblick über Wasserstoffspeichermethoden, Speichersysteme und physikalische Parameter für den **Einsatz in der Binnenschifffahrt [3]**

- (1) Austauschbare Flüssigwasserstoff-Tankcontainer werden aufgrund der mit dem Heben verbundenen Sicherheitsrisiken höchstwahrscheinlich nicht in der Schifffahrt eingesetzt. Dies wird im Sub-Activity-Bericht 1.1b [27] näher erläutert.
- (2) Durch Hitzeeinwirkung steigt der Druck in Flüssigwasserstofftanks aufgrund der Erzeugung von Boil-off-Gas. Der Druck wird noch weiter zunehmen, wenn der Motor kontinuierlich kein Gas verbraucht. In Abhängigkeit vom Öffnungsdruck des Sicherheitsventils steigt der Druck normalerweise auf 7 – 10 bar. 5 barg ist ein typischer Druck, den man für Kraftstofftanks für Binnenschiffe erwarten kann (basierend auf Expertenurteil und im Vergleich mit LNG-Kraftstofftanks)

Wasserstoff weist spezifische Eigenschaften auf, die für eine sichere Lagerung an Bord und für die Nutzung als Brennstoff zu berücksichtigen sind. Im Vergleich zu anderen Brennstoffen mit niedrigem Flammpunkt, wie zum Beispiel Methan, weist Wasserstoff eine geringe Dichte und einen geringeren Siedepunkt auf. Die Mindestzündenergie von Wasserstoff ist sehr gering und wird mit 0.017 Megajoule (mJ) angegeben, wobei der gesamte zündfähige Bereich mit einer unteren Zündgrenze von 3 vol.% und einer oberen Grenze von 75 vol.% äußerst ausgeprägt ist. Bezüglich der detaillierten Eigenschaften von Wasserstoff wird auf die spezifische Fachliteratur und Normen [4] verwiesen.

Aufgrund dieser spezifischen Eigenschaften müssen die sich ergebenden Risiken und Gefahren bei der Nutzung und dem Betrieb von Schiffen mit Wasserstoff als Brennstoff berücksichtigt werden. In der folgenden Abbildung 1 wird ein Bow-Tie Diagramm dargestellt, welches spezifische Ereignisse anführt, die zu einer potenziellen Freisetzung von Wasserstoff führen können. Demgegenüber gestellt sind die sich potenziell einstellenden Auswirkungen. Schutzmaßnahmen sind oder können notwendig sein, damit es nicht zu unakzeptablen Konsequenzen kommen kann.

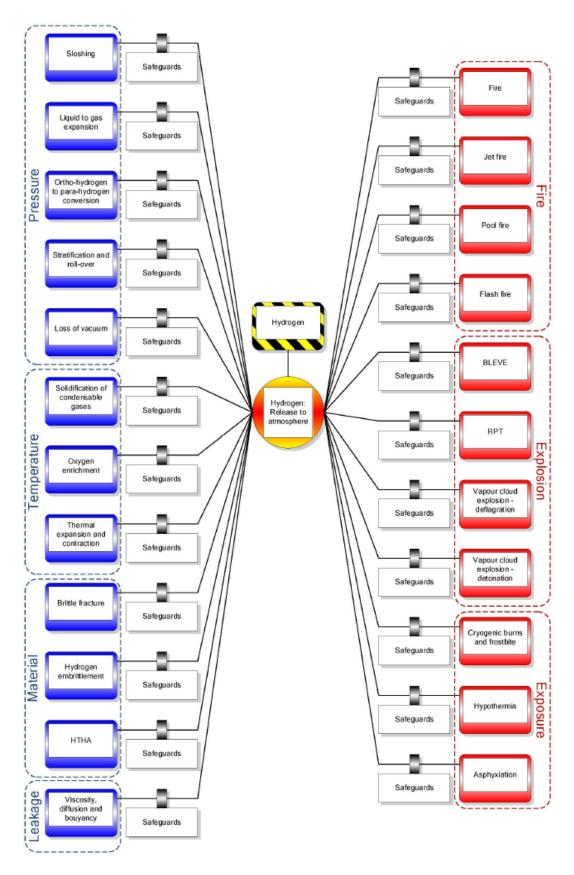


Abbildung 1 Freisetzung von Wasserstoff in die Atmosphäre – Einleitung gefährlicher Ereignisse und möglicher Folgen, die eine zusätzliche Berücksichtigung erfordern [5]

Zielorientierter Ansatz 5.

Regeln und Vorschriften können einem zielorientierten Ansatz, einem präskriptiven Ansatz oder einer Kombination aus beiden Ansätzen folgen. Mit einer Gegenüberstellung von präskriptiven Regularien und zielorientierten Regularien lassen sich die Unterschiede qualitativ hervorheben.

Präskriptive Regularien:	Zielorientierte Regularien:
Technische Lösungen werden über spezifische Anforderungen definiert	Aufsichtsbehörde definiert spezifische Ziele
Reaktiv, Weiterentwicklung durch die Unfallhistorie	Art der technischen Lösung ist offen
Aufsichtsbehörde ist aktiv in der Erstellung involviert	Eine Risikobewertung ist integrierbar
	Entscheidung kann auf Basis einer Kosten-Nutzen- Analyse erfolgen.

Tabelle 2 Gegenüberstellung von präskriptiven und zielorientierten Regularien

Zielorientierte Regularien sind entspechend der IMO ´Generic Guidelines for Developing IMO Goal-Based Standards´ [6] übergeordnete Standards und Verfahren, die durch die Anwendung von Vorschriften, Regeln und Normen, welche z.B. im maritimen Bereich für Schiffe erfüllt werden müssen. Zielorientierte Standards bestehen aus mindestens einem Ziel, die mit dem Ziel verbundenen funktionalen Anforderungen und der Konformitätsprüfung, dass die Vorschriften, Regeln und Normen die funktionalen Anforderungen und die Ziele erfüllen. Der Internationaler Code für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden (IGF Code), ist eine internationale Norm für Schiffe, die Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt verwenden. Die grundlegende Philosophie des IGF Codes [7] berücksichtigt die zielorientierte Vorgehensweise gemäß MSC.1/Circular 1394 'Generic Guidelines for Developing IMO Goal-Based Standards [6].

Die Zielsetzung des IGF Codes ist zum Beispiel, 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.

Funktionale Anforderungen liefern die Kriterien, die erfüllt werden müssen, um diese Ziele zu erreichen. Regeln und Vorschriften sind detaillierte Anforderungen zur Erfüllung der funktionalen Anforderungen und ihrer Ziele. Industriestandards, Richtlinien und anerkannte Regeln der Technik können bei Eignung für die Regeln und Vorschriften referenziert werden. Die Struktur des zielorientierten Ansatzes der International Maritime Organisation (IMO) ist dem MSC.1/Circular 1394 'Generic Guidelines for Developing IMO Goal-Based Standards' [6] entnommen und in der folgenden Abbildung 2 dargestellt. Regularien sollten nicht ausschließlich dem präskriptiven oder zielorientiertem Ansatz folgen, sondern beide Ansätze sollten sich jeweils ergänzend eingesetzt werden.

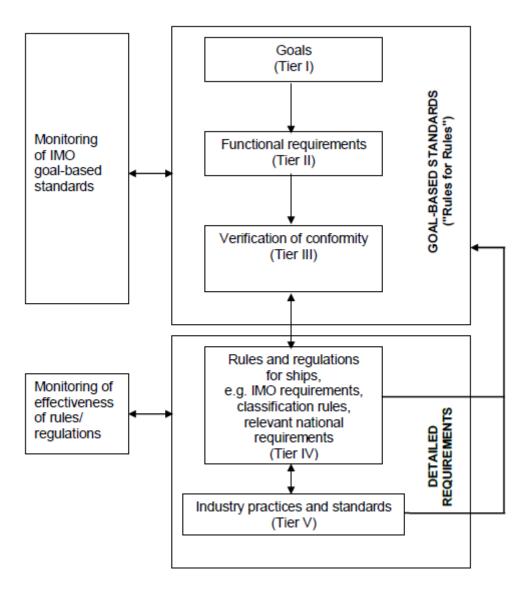


Abbildung 2 Rahmenbedingung der IMO für zielorientierter Regularien [6]

6. Arbeitspaket 1, Darstellung der Vorschriftenlage

6.1. Aufgabenstellung

Im Arbeitspaket 1 wird analysiert wie der Europäische Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) ergänzt werden muss, damit komprimierter oder kryogener Wasserstoff auf Binnenschiffen eingesetzt werden kann. Dazu werden sowohl relevante Standards und weitere Regelwerke als auch die Empfehlungen gemäß § 2.20 RheinSchUO, die im Rahmen von Pilotanwendungen zur Nutzung von Wasserstoff als Treibstoff in der Binnenschifffahrt erteilt wurden, ausgewertet.

Für die zu entwickelnde Vorschrift ES-TRIN Anlage 8, Abschnitt II Brennstofflagerung, Teil 2 Wasserstoff, wird eine vorläufige Gliederung erarbeitet und dem Auftraggeber vorgestellt. In dem folgenden Kapitel werden relevante Standards und Regularien für Binnenschiffe und für komprimierten oder kryogenen Wasserstoff aufgeführt.

6.2. Relevante Standards und Regularien

Im Folgenden werden Standards, Regularien und Vorschriften aufgeführt und aufgrund ihrer potenziellen Relevanz für Wasserstoff als Brennstoff für Binnenschiffe beschrieben. Ihre Relevanz wird hinsichtlich einer möglichen Ergänzung der ES-TRIN Anlage 8 beurteilt und das Ergebnis qualitativ dargestellt.

6.2.1. Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt (CESNI), Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN), Ausgabe 2021/1

Die technischen Vorschriften für Binnenschiffe [8] berücksichtigen im Kapitel 30 Brennstoffe mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter. Es dürfen Antriebs- und Hilfssysteme installiert werden, die Brennstoffe mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter nutzen, sofern die für diese Brennstoffe in Kapitel 30 und der Anlage 8 festgelegten Anforderungen eingehalten wurden. In der ES-TRIN Ausgabe 2021/1 Anlage 8 wird gegenwärtig als einziger Brennstoff Flüssigerdgas aufgeführt. Regularien für Brennstoffzellen und Methanol sind wie auch eine Umstrukturierung des Kapitel 30 und Anlage 8 in Vorbereitung. Und es ist zu erwarten, dass diese Änderungen in den kommenden Ausgaben der ES-TRIN Eingang finden werden. Spezifische Anforderungen für Wasserstoff als Brennstoff über die allgemeinen Anforderungen im Artikel 30 ´Sonderbestimmungen für Fahrzeuge, auf denen Antriebs- oder Hilfssysteme installiert sind, die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden ´ hinaus existieren nicht. Der Abschnitt I Flüssigerdgas der Anlage 8 adressiert gegenwärtig die folgenden Inhalte:

- Kapitel 1 Allgemeines
 - 1.1 Anwendungsbereich
 - 1.2 Begriffsbestimmungen
 - 1.3 Risikobewertung
 - 1.4 Allgemeines
 - 1.5 Kenntnisse des Technischen Dienstes
 - 1.6 Kennzeichnung

- Kapitel 2 Schiffsausrüstung, Schiffsbetrieb und Systemauslegung
 - 2.1 LNG-Behältersystem
 - 2.2 Maschinenräume
 - 2.3 Flüssigerdgas- (LNG) und Erdgasleitungssysteme
 - 2.4 Lenzsysteme
 - 2.5 Auffangwannen
 - 2.6 Eingänge und andere Öffnungen
 - 2.7 Lüftungssysteme
 - 2.8 LNG-Bunkersystem
 - 2.9 Befüllgrenze für LNG-Brennstofftanks
 - 2.10 Gasversorgungssystem
 - 2.11 Abgassystem und Abschaltung der Gasversorgung
- Kapitel 3 Brandschutz
 - 3.1 Allgemeines
 - 3.2 Feuermeldesystem
 - 3.3 Brandschutz
 - 3.4 Brandverhütung und Kühlung
 - 3.5 Feuerlöscher
- Kapitel 4 Elektrische Systeme
- Kapitel 5 Kontroll-, Überwachungs- und Sicherheitssysteme
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.2 Überwachung des LNG-Bunkersystems und des LNG-Behältersystems
 - 5.3 Überwachung des Motorbetriebs
 - 5.4 Gaswarneinrichtungen
 - 5.5 Sicherheitsfunktionen des Gasversorgungssystems

Der Artikel 30 ´Sonderbestimmungen für Fahrzeuge, auf denen Antriebs- oder Hilfssysteme installiert sind, die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden ´ fordert in Artikel 30.01 (5) (a) die Vorlage einer Risikobewertung nach Anlage 8. Das Grundkonzept der Anforderungen an die Risikobewertung für LNG lässt sich wie folgt zurückführen auf:

- Wann eine Risikoanalyse durchgeführt werden soll.
- Was das Ziel der Risikoanalyse ist.

- Welche Analysenmethodik angewendet werden soll.
- Was mindestens in dieser Risikoanalyse zu berücksichtigen ist.
- Was zusätzlich dokumentiert werden soll.

Die spezifischen Anforderungen an eine Risikobewertung nach Anlage 8 Kapitel 1.3 [8] sind wie folgt:

- Eine Risikobewertung ist für alle Konzepte und Konfigurationen, die neu sind oder erheblich geändert wurden, durchzuführen. Die durch die Verwendung von Flüssigerdgas (LNG) entstehenden Risiken, die sich für Personen an Bord, die Umwelt, die Tauglichkeit oder Sicherheit des Fahrzeugs ergeben, müssen berücksichtigt werden.
- Die mit der räumlichen Gestaltung, dem Betrieb und der Wartung zusammenhängenden Gefährdungen, die sich im Anschluss an einen Ausfall ergeben, sind nach vernünftigem Ermessen zu berücksichtigen.
- Die Risiken sind anhand einer von der Untersuchungskommission anerkannten Methode zur Risikoanalyse, wie z.B. Internationale Normen ISO 31000: 2018 [25] und ISO 31010: 2019 [26], zu bestimmen und zu bewerten.
- Dabei müssen zumindest Funktionsverlust, Schaden an den Komponenten, Feuer, Explosion, Überflutung des Tankraums, Sinken des Fahrzeugs und elektrische Überspannung einfließen.
- Die Analyse muss sicherstellen, dass Risiken so weit wie möglich beseitigt werden.
- Risiken, die nicht gänzlich beseitigt werden können, sind auf ein akzeptables Niveau zu verringern.
- Die wichtigsten Möglichkeiten und Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Verringerung der Risiken sind zu beschreiben.

Aus dem regulatorischen Konzept der technischen Vorschriften für Binnenschiffe mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter wird abgeleitet, dass, um eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten, neben den präskriptiven Anforderungen in Anhang 8 eine Risikobewertung gemäß Artikel 30 unter Berücksichtigung der in Anhang 8 angegebenen zielorientierten Kriterien durchgeführt werden muss.

Eine Bezugnahme auf eine geforderte Äquivalenz hinsichtlich der Sicherheit von mit konventionellen Brennstoffen betriebener Schiffe, wie z.B. gefordert durch die Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels [12], den IMO MSC.391(95) - Adoption of the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code) [14] und dem IGF Code, Internationaler Code für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden [7], konnte nicht identifiziert werden.

6.2.2. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Empfehlungen an die Schiffsuntersuchungskommission nach § 2.19/§ 2.20 der Rheinschiffsuntersuchungsordnung

Gemäß der Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) [16] kann die Untersuchungskommission Abweichungen zur ES-TRIN [8] gestatten, wenn sie aufgrund von Empfehlungen der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt als gleichwertig anerkannt sind. Siehe auch hierzu §2.20 der Bezugnahme Rheinschiffsuntersuchungsordnung auf die Empfehlungen die [16]. Mit Schiffsuntersuchungskommission nach §2.19/§2.20 der Rheinschiffsuntersuchungsordnung [9] wurden zwei Empfehlungen identifiziert, welche sich auf die Nutzung von Wasserstoff beziehen.

- Empfehlung Nr. 11/2012 vom 11. Dezember 2012, VINOTRA 10
- Empfehlung Nr. 8/2012 vom 13. Juni 2012, BORNEO

Bei beiden Schiffen wird sich auf Wasserstoff als gasförmiger Zusatz zum fossilen Kraftstoff für Generatoren beziehungsweise als Zusatz zum Dieselkraftstoff für den Hauptantriebsmotor mit einem Wasserelektrolysesystem bezogen. Für diesen Bericht wird vorausgesetzt, dass es sich um Wasserstoff als Zusatz zum Diesel als Brennstoff für Motoren handelt mit dem Ziel, Emissionen und Verbrauch zu reduzieren. Spezifische Bedingungen werden zum Beispiel für die Wasserstoffgenerierung, Speicherung, Transfer, Design und Überwachung in den Empfehlungen definiert.

Aufgrund der in der Empfehlung nicht weiter dargestellten technischen Details kann im Folgenden qualitativ festgehalten werden, dass die Bedingungen zur Empfehlung prinzipiell die Sicherheitsanforderungen an Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt widerspiegeln, wie sie zum Beispiel in den regulatorischen Anforderungen für Flüssigerdgas aufgeführt sind. Siehe hierzu zum Beispiel LR Rules for Gas-fuelled Ships [12] und ES-TRIN, Anhang 8 [8]. Als Bedingungen für eine hinreichende Sicherheit bei Beimischung von Wasserstoff wird genannt:

- Geeignete Belüftung
- Geeignetes Equipment
- Geprüftes Equipment
- Geeignete Auslegungsdrücke
- Geeignete Betriebsdrücke
- Begrenzung der Wasserstoffmenge
- Begrenzung der Tankvolumina

6.2.3. Abweichung und Gleichwertigkeit in Bezug auf die technischen Vorschriften des ES-TRIN [8] für bestimmte Fahrzeuge gemäß Richtlinie (EU) 2016/1629 [22]

Der Rechtsrahmen der Europäischen Union gestattet in berechtigten Fällen Abweichungen von den technischen Vorschriften des ES-TRIN [8], um Innovationen und die Nutzung neuer Technologien zu fördern. Das Binnenschubboot "Elektra" und das Containerschiff "MSC Maas" wurden diesem Genehmigungsprozess, wie er im Merkblatt zur Beratung über Abweichungen und Gleichwertigkeiten in Bezug auf die technischen Vorschriften des ES-TRIN für bestimmte Fahrzeuge [2] beschrieben ist, unterzogen.

Das Antriebssystem der Elektra basiert auf einem System aus Brennstoffzellen und Akkumulatoren mit Wasserstoff als Brennstoff. Die Brennstoffspeicher bestehen aus mehreren austauschbaren Flaschenbündeln. Das Konzept der Elektra wird in den Fachberichten [20] und [21] sowie in der Veröffentlichung 'Nachweis der Realisierbarkeit eines innovativen Antriebskonzeptes für Binnenschiffe in Bezug auf die Gefährdungspotentiale mittels des risikobasierten Entwurfes am Beispiel des Schubbootes ELEKTRA [28] beschrieben. Die sicherheitsrelevanten Konzepte wurden für das Wasserstoffsystem wie folgt beschrieben:

- Die Wasserstofftanks, die -regelstrecke und die Brennstoffzellen sind auf dem offenen Deck montiert. Die beim Tanktausch minimal austretenden Mengen an Wasserstoff aus den Schnellkupplungen verflüchtigen sich sofort an der frischen Luft.
- Sicherheitsventile sind mit einer Abblasleitung auf dem Schiff verbunden, sodass im Fall eines Überdrucks der Wasserstoff kontrolliert an einer Stelle, wo weder Mensch noch Maschine gefährdet sind, abgeblasen wird.
- Die Dispersion an der Abblasöffnung wurde bei starken Winden untersucht und es konnte gezeigt werden, dass keine Gefahr davon ausgeht.
- Sämtliche Wasserstoffleitungen sind technisch dauerhaft dicht ausgeführt.
- Das System ist redundant ausgeführt. Im Fall eines Defektes ist die Versorgung der Brennstoffzellen gesichert.
- Wasserstoffdetektoren erkennen sofort ungewöhnliche Zustände. Anschließend wird automatisch eine Sicherheitsroutine eingeleitet.

Für die Brennstoffversorgung der "Elektra" wurden 6 Flaschenbündel mit je 20 Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen vorgesehen. Die Gasflaschen entsprechen der Norm ISO 11119-3 [23] Typ IV mit einem Druck von 500 bar und einem Volumen von 211 Liter. Ein Flaschenbündel enthält 125 kg Wasserstoff. Für die "MSC Maas" wurden 2 Standard 40 ft Container mit je 7 Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen vorgesehen. Die Gasflaschen entsprechen der Norm ISO 11515 [24] Typ II mit einem Druck von 300 bar. Ein Container enthält 500 kg Wasserstoff.

6.2.4. Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels

Die 'Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships' [18] enthalten die geltenden Bestimmungen zur Klassifizierung von Schiffen. Schiffe, die in Übereinstimmung mit den Regeln und Vorschriften der Lloyd's Register Group Limited oder in Übereinstimmung mit gleichwertigen Anforderungen gebaut wurden, erhalten eine Klasse im sogenannten Registerbuch. Die Klasse wird aufrechterhalten, solange bei den vorgeschriebenen Besichtigungen die Übereinstimmung mit den geltenden Regeln nachgewiesen wird. Der IGF Code [14] wurde in die Regeln für gasbetriebene Schiffe von der Klassifikationsgesellschaften wie zum Beispiel die von Lloyd's Register übernommen. Die 'Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels' [12] definieren Anforderungen für Antriebsanlagen und Hilfsmaschinenanlagen, die als Treibstoff Methan nutzen. Das Ziel dieser Vorschriften ist, ein Sicherheitsniveau und eine Zuverlässigkeit zu erreichen, welche denen von Antrieben mit konventionellen Brennstoffen entsprechen. Die Klassifikationsvorschriften 'LR Rules and Regulations for the Classification of Ships' [18] werden zusätzlich zu den 'LR Rules for Gas Fuelled Ships' angewendet [12].

Der IGF Code [14] und die Lloyd's Register Klassifikationsvorschriften für gasbetriebene Schiffe [12] umfassen im Wesentlichen folgende Inhalte:

- Zielsetzung und funktionale Anforderungen, allgemeine Anforderungen
- Besondere Anforderungen für Schiffe, die Methan als Brennstoff verwenden
- Schiffsentwurf und Anordnung

- Brennstoffbehältersystem
- Werkstoff und allgemeine Auslegung der Rohrleitungen
- Energieerzeugung einschließlich Antriebs-Gasverbraucher und andere Gasverbraucher
- Explosionsverhütung
- Lüftung
- Elektrische Anlagen
- Kontroll-, Überwachungs- und Sicherheitssysteme
- Herstellung, Arbeitsausführung und Prüfung
- Ausbildung und Übungen für den Notfall

Die grundlegende Philosophie des IGF Codes [14] und der 'LR Rules for Gas Fuelled Ships' [12] ist eine zielorientierte Vorgehensweise (Goal Based Approach). Einzuhaltende Ziele und funktionale Anforderungen werden für jeden Abschnitt im Code dargelegt, um das Risiko für Schiff, Besatzung und Umgebung unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Brennstoffes zu minimieren. Dieses bildet die Grundlage für den Entwurf, die Konstruktion, den Bau und den Betrieb.

Die "Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels" [12] sind unterteilt in Teile A bis D. Wobei generische Anforderungen für alle Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt in den Teilen A und Daufgeführt sind und in den Teilen A-1, B-1 und C-1 Anforderungen für Methan als Brennstoff enthalten. Die Teile A-2, etc. müssen für weitere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt noch entwickelt werden.

Chapter reference	Chapter title	Notes
1:	PREAMBLE	Applicable to to all gaseous and low flashpoint fuels (unless otherwise stated)
Part A: General, GOAL AND FUNCTIONAL REQUIREMENTS, General Requirements		Applicable to to all gaseous and low flashpoint fuels (unless otherwise stated)
Part A-1:	Specific Requirement for Ships Using Natural Gas as Fuel	
Part B-1:	Manufacture, Workmanship and Testing	Not applicable to hydrogen: Parts A-1, B-1 and C-1 cover specific requirements for ships using natural gas as fuel
Part C-1:	Drills and Emergency Exercises, Operation, Annex	
Part D:	Training	Applicable to to all gaseous and low flashpoint fuels (unless otherwise stated)

Tabelle 3 Aufbau des IGF Codes und der Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels

Solange Anforderungen für weitere Brennstoffe noch nicht Eingang in die Regularien gefunden haben, müssen sie den Anforderungen des "Alternativen Design und Arrangements" (AD&A) entsprechen. Hierzu wird sowohl auf die 'Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Lowflashpoint Fuels' [12], Part A, (2.3) 'Alternative Design' als auch auf die Veröffentlichungen der Internationalem Maritimen Organisation verwiesen:

- IMO SOLAS Chapter II-1, Part F, Regulation 55 'Alternative Design and Arrangements': Alternative Ausführung und Anordnungen nach Regel II-1/55.
- IMO MSC.1/Circular.1455 ´Guidelines for the Approval of Alternatives and Equivalents as Provided for in Various IMO Instruments ´: Leitlinien für die Genehmigung von Alternativen und Äquivalenten, wie sie in verschiedenen IMO-Instrumenten vorgesehen sind.
- IMO MSC.1/Circular.1212 ´Guidelines on Alternative Design and Arrangements for SOLAS Chapters II-1 and III´: Richtlinien für alternative Ausführungen und Anforderungen im Hinblick auf SOLAS Kapitel II-1.

6.2.5. ShipRight - Design and Construction - Additional Design Procedures - Risk Based Designs (RBD)

Wie bereits angeführt, ist die grundlegende Philosophie des IGF Codes [14] eine zielorientierte Vorgehensweise (Goal Based Approach). Ein Risikobewertung soll durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass alle Risiken für Schiff, Besatzung und Umgebung unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Brennstoffes adressiert sind. Der LR RBD [13] Prozess unterstützt und bietet zusätzlich Anleitung zur Erfüllung dieser Anforderungen.

6.2.6. Europäisches Übereinkommen vom 26. Mai 2000 über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN)

Das Übereinkommen enthält Bestimmungen für gefährliche Stoffe und Gegenstände, ihre Beförderung in Versandstücken oder in loser Schüttung an Bord von Binnenschiffen oder Tankschiffen sowie Bestimmungen für den Bau und Betrieb solcher Schiffe. Sie umfasst ferner Vorschriften und Verfahren für die Untersuchungen, die Ausstellung der Zulassungszeugnisse, die Anerkennung der Klassifikationsgesellschaften, Abweichungen, Kontrollen als auch Ausbildung und Prüfung von Sachkundigen [10]. Der Teil 9 der Bestimmung betrifft Bauvorschriften für Trockengüterschiffe, bestimmte Seeschiffe und verschieden Tankschifftypen. Für Tankschiffe Typ G¹ werden Bauvorschriften in Kapitel 9.3 spezifiziert, die folgenden Inhalte adressieren:

- Bauwerkstoffe
- Klassifikation
- Schutz vor dem Eindringen gefährlicher Gase und dem Ausbreiten gefährlicher Flüssigkeiten
- Aufstellungsräume und Ladetanks
- Lüftung
- Stabilität
- Maschinenräume

¹ Ein Tankschiff, das für die Beförderung von Gasen unter Druck oder in tiefgekühltem Zustand bestimmt ist.

- Wohnungen und Betriebsräume
- Inertgasanlage
- Kofferdämme
- Sicherheits- und Kontrolleinrichtungen
- Öffnungen der Ladetanks
- Druckprüfung
- Druck- und Temperaturregelung der Ladung
- Restetanks und Restebehälter
- Pumpen und Leitungen
- Kühlanlage
- Berieselungsanlage
- Maschinen
- **Brennstofftanks**
- Abgasrohre
- Lenz- und Ballasteinrichtung
- Feuerlöscheinrichtungen
- Feuer und offenes Licht
- Ladungsheizungsanlage
- Oberflächentemperaturen von Anlagen und Geräten
- Art und Aufstellungsort der elektrischen Anlagen und Geräte
- Art und Aufstellungsort der elektrischen und nicht-elektrischen Anlagen und Geräte zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen
- Erdung
- Besondere Ausrüstung
- Ventil zum Entgasen an Annahmestellen
- Zutritt an Bord
- Rauchverbot, Verbot von Feuer und offenem Licht
- Notausgang

Für den Transport von gefährlichen Gütern definiert die ADN [10] umfassende und sehr spezifische Anforderungen an die Verpackung. Diese Anforderungen implizieren für Tankschiffe, dass es sich um ein Schiff handelt, welches für den Transport von Stoffen, wie in der ADN [10], Teil 3, Tabelle C aufgeführt, konzeptionell geeignet ist und im strukturellen Aufbau, z.B. Steuerhaus und Ladungsbereich, den Anforderungen entspricht. Ein typischer Aufbau eines Tankschiffes ist am Beispiel der Zoneneinteilung in der folgenden Abbildung 3 dargestellt.

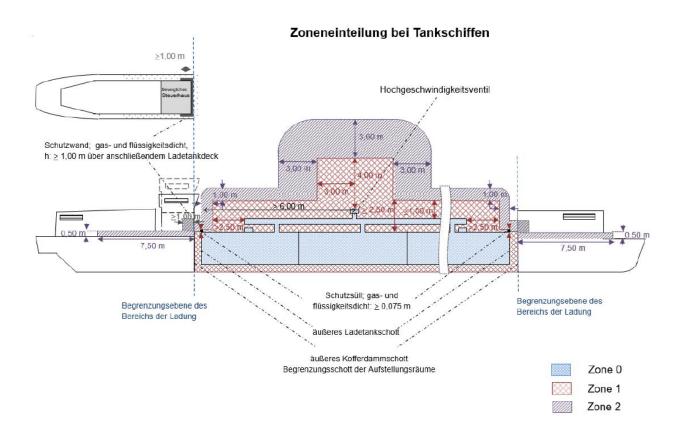


Abbildung 3 Zoneneinteilung bei Tankschiffen [10]

spezifizierten sicherheitsrelevanten Anforderungen berücksichtigen das Betriebsprofil, Ladungstransport und den Ladungstransfer eines Binnentankschiffes. Die schiffstechnischen Bereiche werden hinsichtlich ihrer Gefährdung getrennt, Ventilation kontrolliert und potenzielle explosionsgefährdete Bereiche festgelegt. Zudem werden die individuellen Eigenschaften des Ladegutes in den Anforderungen berücksichtigt und individuelle Vorgaben gemacht, wie z.B. eine erforderliche Inertisierung, der Zusatz von Stabilisatoren oder eine Begrenzung der maximalen oder minimalen Temperatur während des Transportes, Tankarten, etc.

Für Druckbehälter ist in 9.3.1.23.1 der ADN [10] z.B. festgelegt, dass die Lade- und Löschleitungen den Vorschriften für Druckbehälter entsprechen, die von der zuständigen Behörde oder einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft für die befördernden Stoffe erlassen worden ist.

Wasserstoff mit der Stoffnummer 1966 als tiefgekühlte und flüssige Ladung oder mit der Stoffnummer 1049 als verdichtete Ladung wird gegenwärtig nicht in dem Verzeichnis der zur Beförderung in Tankschiffen zugelassenen gefährlichen Güter der Tabelle C aufgeführt. Eine Eignung der regulatorischen Anforderungen für Wasserstoff kann aus diesem Grunde nicht vorausgesetzt werden.

Regulatorische Anforderungen können in der folgenden Form aus der ADN [10] abgeleitet werden:

- Schiffsausrüstung, Schiffsbetrieb und Systemauslegung
- Brandschutz
- Elektrische Systeme
- Kontroll-, Überwachungs- und Sicherheitssysteme

6.2.7. Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), Band I+II, Stand 1.1.2021

Das Übereinkommen enthält Bestimmungen für die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße. In diesem Übereinkommen werden allgemeine Vorschriften angegeben sowie Geltungsbereich und Anwendbarkeit definiert. Weiterhin werden die folgenden Inhalte adressiert:

- Klassifizierung
- Verzeichnis der gefährlichen Güter, Sondervorschriften und Freistellungen im Zusammenhang mit begrenzten und freigestellten Mengen
- Verwendung von Verpackungen, Großpackmitteln (IBC), Großverpackungen und Tanks
- Vorschriften für den Versand
- Bau- und Prüfvorschriften für Verpackungen, Großpackmittel (IBC), Großverpackungen, Tanks und Schüttgut-Container
- Vorschriften für die Beförderung, die Be- und Entladung und die Handhabung
- Vorschriften für die Fahrzeugbesatzungen, die Ausrüstung, den Betrieb der Fahrzeuge und die Dokumentation
- Vorschriften für den Bau und die Zulassung der Fahrzeuge

Im Verzeichnis der gefährlichen Güter ist Wasserstoff verdichtet, UN-Nummer 1049, und Wasserstoff tiefgekühlt und flüssig, UN-Nummer 1966, aufgeführt. Vorgaben für die Verpackung und ortsbewegliche Tanks können der im Kapitel 3.2 aufgeführten Tabelle A 'Verzeichnis der gefährlichen Güter' entnommen werden. Für die Verpackungen als auch für die ortsbeweglichen Tanks sind in den referenzierten Kapiteln in Teil 6 'Bau- und Prüfvorschriften für Verpackungen, Großpackungen (IBC), Großverpackungen, Tanks und Schüttgut-Containern' Anforderungen gegeben. Der Teil 6 'Bau- und Prüfvorschriften für Verpackungen, Großpackungen (IBC), Großverpackungen, Tanks und Schüttgut-Containern' der ADR [19] umfasst Anforderungen bezüglich:

- Bau- und Prüfvorschriften für Verpackungen
- Bau- und Prüfvorschriften für Druckgefäße, Druckgaspackungen, Gefäße, klein, mit Gas (Gaspatronen) und Brennstoffzellen-Kartuschen mit verflüssigtem entzündbarem Gas
- Bau- und Prüfvorschriften für Verpackungen für ansteckungsgefährliche Stoffe der Kategorie A der Klasse 6.2 (UN-Nummern 2814 und 2900)
- Vorschriften für den Bau, die Prüfung und die Zulassung von Versandstücken für radioaktive Stoffe sowie für die Zulassung solcher Stoffe

- Bau- und Prüfvorschriften für Großpackmittel (IBC)
- Bau- und Prüfvorschriften für Großverpackungen
- Vorschriften für die Auslegung, den Bau und die Prüfung von ortsbeweglichen Tanks und von UN-Gascontainern mit mehreren Elementen (MEGC)
- Vorschriften für den Bau, die Ausrüstung, die Zulassung des Baumusters, die Prüfung und die Kennzeichnung von festverbundenen Tanks (Tankfahrzeugen), Aufsetztanks, Tankcontainern und Tankwechselaufbauten (Tankwechselbehältern), deren Tankkörper aus metallenen Werkstoffen hergestellt sind, sowie von Batterie-Fahrzeugen und Gascontainern mit mehreren Elementen (MEGC)
- Vorschriften für die Auslegung, den Bau, die Ausrüstung, die Zulassung des Baumusters, die Prüfung und die Kennzeichnung von festverbundenen Tanks (Tankfahrzeugen), Aufsetztanks, Tankcontainern und Tankwechselaufbauten (Tankwechselbehältern) aus faserverstärkten Kunststoffen (FVK)
- Vorschriften für den Bau, die Ausrüstung, die Zulassung, die Prüfung und die Kennzeichnung von Saug-Druck-Tanks für Abfälle
- Vorschriften für die Auslegung, den Bau und die Prüfung von Schüttgut-Containern
- Vorschriften für den Bau, die Ausrüstung, die Zulassung des Baumusters, die Prüfung und die Kennzeichnung von Tanks, Schüttgut-Containern und besonderen Laderäumen für explosive Stoffe oder Gegenstände mit Explosivstoff in mobilen Einheiten zur Herstellung von explosiven Stoffen oder Gegenständen mit Explosivstoffen (MEMU)

6.2.8. PD ISO/TR 15916:2015 Basic consideration for the safety of hydrogen systems

Der technische Report PD ISO/TR 15916 'Grundsätzliche Betrachtungen zur Sicherheit von Wasserstoffsystemen' [4] liefert Grundlagen zu den Sicherheitsaspekten für gasförmigen und flüssigen Wasserstoff. Sicherheitsrelevante Eigenschaften von Wasserstoff, mit ihm verbundene Risiken und Gefährdungen werden beschrieben. Wasserstoffsysteme werden dargestellt und Maßnahmen zur Eindämmung und Kontrolle von Gefahren und Risiken werden angesprochen.

6.2.9. MSC.420(97) Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk

Schiffe für den Transport von verflüssigten Gasen müssen dem IGC Code [17] entsprechen, sofern sie in dessen Anwendungsbereich fallen. Mindestanforderungen sind dort für verschiedene spezifische Gase definiert, wobei für Wasserstoff noch keine Vorgaben bestehen. Die ´MSC.420(97) Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk´ [15] liefert Empfehlungen für den ausschließlichen Transport von flüssigem Wasserstoff, beschreibt die Eigenschaften und die mindestens zu berücksichtigenden Gefahren von Wasserstoff. Die Empfehlungen beziehen sich auf die folgenden Gefährdungen durch Wasserstoff:

- Niedrige Temperatur
- Wasserstoffversprödung
- Wasserstoffdurchlässigkeit
- Wasserstoffbrand

- Entflammbarkeit
- Druck, Expansion
- Entzündbarkeit
- Dichte und Diffusionsvermögen

6.2.10. Normen für Kryo-Behälter und Gasflaschen

Für Gasflaschen und kryogene Behälter existieren Normen. Diese Normen definieren Anforderungen an die verwendeten Materialien, an das Design, die Herstellung und die Prüfung. Beispielhaft sind Normen für Gasflaschen und kryogene Behälter in der Tabelle 4 ´Normen für Kryo-behälter und Gasflaschen ´ aufgeführt. Je nach Ausführung und Integration des Tankspeichersystems auf Binnenschiffen könnten die Wasserstoff-Speicher permanent oder als austauschbare (swappable) Tankbündel installiert sein. Die Eignung der Tanksysteme für die Speicherung von Wasserstoff auf Binnenschiffen ist über eine Risikobewertung nachzuweisen.

Norm	Titel
ISO TS 17519	Gasflaschen – Wiederbefüllbare festinstallierte Composite-Großflaschen für die Beförderung
EN ISO 9809 Serie	Gasflaschen – Auslegung, Herstellung und Prüfung von wiederbefüllbaren nahtlosen Gasflaschen aus Stahl
DIN EN ISO 11120	Gasflaschen – Wiederbefüllbare nahtlose Großflaschen aus Stahl mit einem Fassungsraum zwischen 150 l und 3000 l – Auslegung, Bau und Prüfung
ISO 11515	Gasflaschen – Wiederbefüllbare verstärkte Flaschen mit einer Kapazität zwischen 450 l und 3000 l – Gestaltung, Konstruktion und Prüfung
EN 12245	Ortsbewegliche Gasflaschen – Vollumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoffen
EN 17339	Ortsbewegliche Gasflaschen – Vollumwickelte Flaschen und Großflaschen aus Kohlenstoff–Verbundwerkstoffen für Wasserstoff
EN 13530 Serie	Kryo – Behälter – Große ortsbewegliche vakuum-isolierte Behälter
EN 13458 Serie	Kryo – Behälter – Ortsfeste, vakuum-isolierte Behälter
ISO 20421 Serie	Kryo – Behälter – Große ortsbewegliche vakuum-isolierte Behälter
ISO 21009 Serie	Kryo – Behälter – Stationäre vakuum-isolierte Behälter

Tabelle 4 Normen für Kryo-Behälter und Gasflaschen

6.3. **GAP Analyse**

Im Kapitel 7.2 wurden relevante Standards und Regularien für die Definition von regulatorischen Anforderungen für Wasserstoff als Brennstoff auf Binnenschiffen aufgeführt und beschrieben. Aufgrund des jeweiligen Anwendungsbereiches der jeweiligen Standards und Regularien ergibt sich ein unterschiedliches Bild in der möglichen Eignung als Grundlage für einen regulatorischen Vorschlag oder Ergänzung für Wasserstoff als Brennstoff. In der folgenden Tabelle 4 ist dieser Anwendungsbereich der Regelwerke qualitativ mit Bezug auf 'Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt', 'Eigenschaften von Wasserstoff', 'Wasserstoff als Brennstoff und 'Wasserstoff-Brennstoffbehältersystem' dargestellt.

Regularien	Anwendungsbereich	Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt	Eigenschaften von Wasserstoff	Wasserstoff als Brennstoff	Wasserstoff- Brennstoff- behältersystem
ES-TRIN Ausgabe 2021/1	Binnenschiffe	+	-	-	-
Empfehlungen an die Schiffsuntersuchungs- kommission	Binnenschiffe	+	-	+/-	+/-
Abweichung gemäß Richtlinie EU 2016/1629	Binnenschiffe	+		+	+
ADN (bezüglich Tankschiffe)	Binnenschiffe	-	-	-	-
ADR	Straße	+	-	-	+
LR/IGF Code, IMO Circulars, RBD Prozess	Seegehende Schiffe	+	-	-	-
MSC.420(97) H2 Carrier	Wasserstoff- Seegehende Tankschiffe		+		+/-
PD ISO/TR 15916	Allgemein H2	-	+	-	+/-

Tabelle 5 Qualitative Darstellung des Anwendungsbereiches

Schlussfolgerung / Empfehlung 6.4.

Regulatorische Anforderungen für Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt bestehen bereits für Binnenschiffe und seegehende Schiffe. Erfasst sind sie in der ES-TRIN und in den regulatorischen Anforderungen des IGF Codes. Als einziger Brennstoff ist zurzeit Methan aufgeführt. Wobei regulatorische Anforderungen für Methanol innerhalb der CESNI gegenwärtig entwickelt werden oder z.B. als vorläufige Leitlinien von der IMO bereits veröffentlich wurden. Unberücksichtigt hiervon haben die verschiedenen Klassifikationsgesellschaften weitere Empfehlungen veröffentlicht.

Unabhängig vom verwendeten Brennstoff kann vorausgesetzt werden, dass wesentliche Sicherheitsaspekte und insbesondere die zu regulierenden Bereiche auf alle Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt anwendbar sind, wie sie z.B. aus den Anforderungen für Methan aus der ES-TRIN oder dem IGF-Code entnehmbar sind und sich in den jeweiligen Kapiteln widerspiegeln.

Aufgrund der Neuartigkeit der Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt ist die grundlegende Philosophie des IGF Codes [14] und der 'LR Rules for Gas Fuelled Ships' [12] eine zielorientierte Vorgehensweise. Eine Risikoanalyse ist durchzuführen und das Ergebnis zu dokumentieren. Die Anforderungen an die Risikobewertung sind den jeweiligen Regularien zu entnehmen. Im IGF Code [14] ist gefordert, dass das zu erreichende Sicherheitsniveau und die Zuverlässigkeit denen von Antrieben mit konventionellen Brennstoffen entsprechen soll.

Die Anforderungen an den Bau und die Ausrüstung für die Lagerung von Wasserstoff werden in der ES-TRIN oder den regulatorischen Anforderungen der IMO noch nicht oder nur bedingt berücksichtigt. Besondere Eigenschaften von Wasserstoff und Grundlagen zu den Sicherheitsaspekten, Gefahren, Präventionsmaßnahmen und Detektion können der PD ISO/TR 15916 [4] entnommen werden.

Lloyd's Register, Guidance Notes for Fuel System Risk Assessments, Hazard Identification – Hydrogen and Ammonia [5] unterstützt bei der Gefährdungsbeurteilung und bei der Identifikation von Wasserstoff spezifischen Gefahren. Ereignisse und Konsequenzen, die ein vergleichbares oder zusätzliches Risiko im Vergleich zu Flüssigerdgas darstellen, sind in den folgenden Tabellen 5 und 6 aufgeführt. Die Eigenschaften von Wasserstoff im Vergleich zu Methan und typische Zündquellen sind in den Tabellen 7 und 8 dargestellt.

Für eine Ergänzung des Europäischen Standards der technischen Vorschriften für Binnenschiffe wird empfohlen, dass auf Basis der vorhandenen Struktur für Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt die Anforderungen hinsichtlich Wasserstoff ergänzt werden. Eine Grundlage für die Ergänzung kann zum Beispiel die PD ISO/TR 15916 [4], die Lloyd's Register Guidance Notes for Fuel System Risk Assessments, Hazard Identification – Hydrogen and Ammonia [5] und die Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk [15] sein. Die Ergänzung kann sowohl auf Basis präskriptiver regulatorischer Anforderungen als auch über eine zielorientierte Vorgehensweise oder aus einer Kombination von beiden erfolgen.

Initiating hazardous events			
Pressure related	Sloshing		
	Liquid to gas expansion		
	Ortho-hydrogen to para-hydrogen conversion		
	Stratification and roll-over		
	Loss of vacuum		
Temperature related	Solidification of condensable gases		
	Oxygen enrichment		
	Thermal expansion and contraction		
Material related	Brittle fracture		
	Hydrogen embrittlement		
	High Temperature Hydrogen Attack		
Leakage related	Viscosity, diffusion and buoyancy		

Tabelle 6 Freisetzung von Wasserstoff in die Atmosphäre - Initiierung gefährlicher Ereignisse, die zusätzlich zu berücksichtigen sind [5]

Consequences			
Fire related	Fire		
	Jet fire		
	Pool fire		
	Flash fire		
Explosion related	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion		
	Rapid Phase Transition		
	Vapour cloud explosion – deflagration		
	Vapour cloud explosion – detonation		
Exposure related	Cryogenic burns and frostbite		
	Hypothermia		
	Asphyxiation		

Tabelle 7 Freisetzung von Wasserstoff in die Atmosphäre – mögliche Folgen, die zusätzlich zu betrachten sind [5]

Property	Units	Hydrogen	Methane
Molecular Mass	g/mol	2	16
Equivalent volume of gas at NTP to liquid at NBP	-	845	640
Boiling temperature at NBP ¹	°C (K)	-252,85 (20,3)	-161,55 (111,6)

Liquid density at NBP1	kg/m ³	70,8	422,5
Gas density at NBP1	kg/m ³	1,34	1,82
Gas density at NTP ²	kg/m ³	0,09	0,65
Viscosity ²	g/cm.s x 10 ⁵	0,083	0,651
Diffusion coefficient in air ²	cm ² /s	0,61	0,16
Specific Heat at constant pressure ²	J/g.K	14,89	2,22
Minimum ignition energy in air ²	mJ	0,02	0,29
Minimum auto-ignition temperature ³	°C	585	540
Ignition limits in air ²	Vol %	4,0-75,0	5,3–15,0
Detonability limits in air ²	Vol %	13–65	6–13,5
Stoichiometric combustion in air ³	Vol %	29,5	9,5
Flame temperature in air ²	°C	2045	1875
Laminar burning velocity ³	m/s	2,37	0,42
Quenching gap ³	mm	0,6	2,0
Thermal energy radiated from flame to surroundings ²	%	5–10	10–33

Tabelle 8 Vergleich der Eigenschaften von Wasserstoff und Methan [5]

Ignition sources					
Electrical	Mechanical	Thermal			
Static discharge	Mechanical impact	Open flames			
Electrical arc	Friction, galling, fretting (e.g. ship contact)	Hot surfaces			
Charge accumulation and discharge	Metal fracture	Welding			
Short circuits, sparks and arcs	Tensile rupture	Exhaust from thermal IC engine			
Static electricity – two phase flow	Mechanical vibration	Explosive charges			
Static electricity - flow with solids (snow)		High velocity jet heating			
Lightning / charged atmosphere		Shock waves created by a rupture			
Electrical charge generated by equipment operation		Fragments from burst disc or vessel			

Tabelle 9 Zündquellen für Wasserstoff [5]

6.5. Gliederungsvorschlag

ANNEX 8 SUPPLEMENTARY PROVISIONS APPLICABLE TO CRAFT OPERATING ON FUELS WITH A FLASHPOINT EQUAL TO OR LOWER THAN 55 °C

Section II Fuel Storage

Part 2 Hydrogen

Chapter 1 General

1.1	Application
1.2	Definitions
1.3	Risk assessement
1.4	General Requirements
1.5	Knowledge of technical service
1.6	Marking

Chapter 2 Vessel Arrangements and System Design

2.1	Hydrogen containment system (tank and cylinder)
2.2	Hydrogen piping systems
2.3	Drainage systems
2.4	Drip trays
2.5	Arrangement of entrances and other openings
2.6	Ventilation systems
2.7	Hydrogen bunkering system
2.8	Filling limits of hydrogen fuel tanks
2.9	Fuel supply system
2.20	Exhaust system and fuel supply shut down

Chapter 3 Fire Safety

3.1	General
3.2	Fire alarm system
3.3	Fire protection
3.4	Fire prevention and cooling
3.5	Fire extinguishing

Chapter 4 Electrical Systems

Chapter 5 Control, Monitoring and Safety Systems

5.1	General
5.2	Hydrogen bunkering system and hydrogen system monitoring
5.3	Gas warning equipment
5.4	Safety functions of gas supply systems

7. Arbeitspaket 2, Entwurf technische Vorschriften für Binnenschiffe

7.1. Aufgabenstellung

Das Ziel des Auftrages ist, einen Vorschlag für technische Bestimmungen bzw. technische Anforderungen für Binnenschiffe zu entwickeln, die mit Wasserstoff als Energieträger betrieben werden. Dieser Vorschlag soll den Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe ergänzen und mit den existierenden Vorschriften für andere Brennstoffe kompatibel sein. Dieser Entwurf der Vorschriften für Binnenschiffe soll in den ES-TRIN als Anlage 8 "Zusätzliche Bestimmungen für Fahrzeuge die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55 °C oder darunter betrieben werden", Abschnitt I – "Begriffsbestimmungen", Abschnitt II "Brennstofflagerung", Teil 2 – "Wasserstoff" veröffentlicht werden.

7.2. Regulatorischer Vorschlag

Der regulatorische Vorschlag für Binnenschiffe, die mit Wasserstoff als Energieträger betrieben werden, wurde auf der Arbeitssitzung der nichtständigen Arbeitsgruppe CESNI/PT/FC vorgestellt. Gegenwärtig wird der Artikel 30 "Sonderbestimmungen für Fahrzeuge, auf denen Antriebs- oder Hilfssysteme installiert sind, die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55 °C oder darunter betrieben werden" und die Anlage 8 "Zusätzliche Bestimmungen für Fahrzeuge die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55 °C oder darunter betrieben werden" des Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe Ausgabe 2021/1 überarbeitet. Anforderungen sowohl für Brennstoffzellen als auch für Methanol als Brennstoff werden aktuell diskutiert. Der strukturelle Aufbau des regulatorischen Vorschlags für "Wasserstoff" basiert auf der ES-TRIN Ausgabe 2021/1.

Der Entwurf des Regelwerks wird innerhalb der vom CESNI anerkannten Verbände zirkuliert, die sich aktiv an den Arbeiten im Ausschuss und in den Arbeitsgruppen beteiligen. Die anerkannten Verbände können dem Ausschuss über das Sekretariat Informationen zur Verfügung stellen und weitere Vorschläge unterbreiten. Zusätzlich zu diesem Kommentierungsverfahren werden auch weitere Industrieunternehmen wie z.B. Tankhersteller eingeladen, die technischen Inhalte zu kommentieren.

Das CESNI Arbeitsdokument Entwurf Anlage 8, Abschnitt I – "Begriffsbestimmungen", Abschnitt II "Brennstofflagerung", Teil 2 – "Wasserstoff" kann bei dem deutschen, vom CESNI anerkannten fachwissenschaftlichen Verbänden angefordert werden. Dazu gehört der Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V., der Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V. und der Verein für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V.:

Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V.

Dammstraße 26 47119 Duisburg

Tel.: + 49 (0)2 03 / 8 00 06 – 50 Fax: + 49 (0)2 03 / 8 00 06 – 65 E-Mail: InfoBDB@Binnenschiff.de

Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V.

Herr Dr. Ralf Sören Marquardt Geschäftsführer Steinhöft 11 20459 Hamburg e-mail: marquardt@vsm.de

Verein für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V.

Geschäftstelle Haus Rhein Dammstraße 15-17 47119 Duisburg e-mail: info@vbw-ev.de

	Rule proposal	ES-TRIN 2021	Location based on restructured proposal CESNI/PT/FC (20) 11 rev.3 CESNIptfc20_11en_rev3_160721 gp.docx
	Annex 8	Annex 8	
	Supplementary provisions applicable to craft operating on fuels with a flashpoint equal to or lower than 55 °C	Supplementary provisions applicable to craft operating on fuels with a flashpoint equal to or lower than 55 °C	
	Section [] Hydrogen (H2) Chapter 1 General	Section I Liquefied Natural Gas (LNG) Chapter 1 General	
	General	General	
1.1	Application	Application	Article 30.01
1.1.1	The provisions of Section I apply to craft equipped with propulsion or auxiliary systems operating on hydrogen (Hz) according to ([] and 1.2.1) and address all areas that need special consideration for the usage of hydrogen (H2) as fuel. [Naming and abbreviation examples used for hydrogen: • ADR: 1049 hydrogen, compressed; 1966 hydrogen, refrigerated liquid • PD ISO/TR 15916: hydrogen (H2), gaseous hydrogen (GH2), liquid hydrogen (LH2) • ASME B31.12-2019: gaseous hydrogen (GH2), liquid hydrogen (LH2) • (EU) No 406/2010: liquid hydrogen, cryogenic hydrogen, gaseous hydrogen, pressurised hydrogen, hydrogen gas]		Article 30.01 (1)

Tabelle 10 Vorschau Regulatorischer Vorschlag

8. Arbeitspaket 4, Übertragung auf Vorschriftenentwicklung für Seeschiffe

8.1. Aufgabenstellung

Im Arbeitspaket 4 wird der regulatorische Vorschlag aus Arbeitspaket 2 für die Anlage 8 ES-TRIN – Wasserstoff – in Bezug auf die internationale Seeschifffahrt oder Küstenschiffe geprüft und im Bericht zur Studie dargestellt. Bisher wurden keine Regelungen zur Bunkerung und Lagerung von Wasserstoff durch die internationale Seeschifffahrtsorganisation (IMO) beschlossen. Die Ergebnisse und Erfahrungen aus Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 3 werden in Hinblick auf die Übertragung der Sicherheitskonzepte auf die bevorstehende Vorschriftenentwicklung für Seeschiffe in der IMO aufbereitet.

8.2. Übertragung der Sicherheitskonzepte

Der regulatorische Vorschlag für Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt in Arbeitspaket 2 basiert auf der vorhandenen Struktur der ES-TRIN [8] in Ausgabe 2021/1. Zur Einbindung von regulatorischen Anforderungen für Brennstoffzellen und Methanol als Brennstoff befindet sich der Europäische Standard für Binnenschiffe gegenwärtig in Überarbeitung. Ein restrukturierter und inhaltlich überarbeiteter Vorschlag bezüglich Kapitel 30 ´Sonderbestimmungen für Fahrzeuge, auf denen Antriebs- oder Hilfssysteme installiert sind, die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden ´ und bezüglich Anlage 8 ´Zusätzliche Bestimmungen für Fahrzeuge die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden ´ wird aktuell innerhalb des ´Europäischen Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt ´ (CESNI) diskutiert.

Zur Darstellung einer Übertragbarkeit von Sicherheitskonzepten wird im Folgenden auf die Zielsetzung und funktionalen Anforderungen der IMO MSC.391(95) ´Adoption of the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code) ´ [14] und der technischen Vorschriften für Binnenschiffe [8] eingegangen. Weiterhin werden die spezifischen Anforderungen aus der MSC 420(97) ´Interim recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk ´ [15] mit den Anforderungen des regulatorischen Vorschlags aus Arbeitspaket 2 verglichen. Im Gegensatz zur Binnenschifffahrt können hochseegehende Schiffe in großer Distanz des Küsteneinzugsgebietes operieren sowie bei weit aus ungünstigeren Wetterbedingungen, Wellenhöhen und Schiffsbeschleunigungen betrieben werden. Weiterhin ist je nach Schiffstyp und Betriebsprofil mit einer größeren Menge an zu lagernden Brennstoff zu rechnen. Dies kann in erhöhten Sicherheitsanforderungen resultieren.

8.2.1. IGF Code und ES-TRIN

Der durch die Klassifikationsgesellschaften integrierte IGF Code [14] für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden, impliziert eine zielorientierte Vorgehensweise (Goal Based Approach). Einzuhaltende Ziele und funktionale Anforderungen werden für jeden Abschnitt im Code dargelegt, um das Risiko für Schiff, Besatzung und Umgebung unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Brennstoffes zu minimieren. Generelle Anforderungen, Ziele und funktionalen Anforderungen für alle Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt sind in Teil A und Teil D aufgeführt. Spezifische Anforderungen, Ziele und funktionale Anforderungen begrenzt auf Erdgas als Brennstoff befinden sich in den Teilen A-1 'Besondere Anforderungen für Schiffe, die Erdgas als

Brennstoff verwenden´, B-1´Herstellung, Arbeitsausführung und Prüfung´ und C-1´Ausbildung und Übung für den Notfall´. Eine Risikobewertung wird mit einer notwendigen Begrenzung von Explosionsfolgen in Teil A Abschnitt 4 gefordert. Der IGF Code [14] wurde bei Lloyd's Register in die ´Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-Flashpoint Fuels´ [12] integriert.

Der Europäische Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe [8] berücksichtigt in seiner Ausgabe 2021/1 im Kapitel 30 'Sonderbestimmungen für Fahrzeuge, auf denen Antriebs- oder Hilfssysteme installiert sind, die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden'. 'Zusätzliche Bestimmungen für Fahrzeuge die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden' befinden sich in Anlage 8 für Flüssigerdgas. Spezifische Anforderungen, Ziele und funktionale Anforderungen begrenzt auf Erdgas als Brennstoff befinden sich in Anlage 8 Abschnitt I Kapitel 1.4 mit einer geforderten Risikobewertung nach Kapitel 1.3.

Sowohl der der IGF Code [14] als auch die ES-TRIN [8] spezifizieren einzuhaltende Ziele, funktionale Anforderungen und eine Begrenzung von Explosionsfolgen. Die Anforderungen im IGF Code [14] gehen gegenwärtig über die in der ES-TRIN [8] angegebenen Anforderungen hinaus. Die Ziele und funktionalen Anforderungen des IGF Codes [14] für alle Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt sind in der folgenden Tabelle 10 dargestellt. Die entsprechenden Ziele und funktionale Anforderungen der ES-TRIN [8] sind denen des IGF Codes [14] gegenübergestellt.

IGF-Code	ES-TRIN
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.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.2 Auslegung, Konstruktion, Installation, Wartung und Schutz des LNG-Systems müssen einen sicheren und verlässlichen Betrieb garantieren.
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	

IGF-Code	ES-TRIN
Mindestmaß zu begrenzen. Im Fall einer Gasleckage oder eines Versagens der Risikoverringernden Maßnahmen, müssen notwendige Schutzaktionen eingeleitet werden.	
3.2.3 Die Entwurfsphilosophie muss sicherstellen, dass Risiko verringernde Maßnahmen und Schutzaktionen für die Gasbrennstoff-Anlagen nicht zu einem unzulässigen Leistungsverlust führen.	Kapitel 30, Artikel 30.06 Das Fahrzeug muss im Falle einer automatischen Abschaltung des Antriebssystems oder eines Teils des Antriebssystems sich aus eigener Kraft fortbewegen können.
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.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.6 Die in den gefährdeten Bereichen installierte Ausrüstung ist auf das für den Betrieb erforderliche Mindestmaß zu reduzieren und muss in geeigneter und angemessener Form zertifiziert sein.
3.2.6 Eine unbeabsichtigte Ansammlung explosiver, entzündbarer oder giftiger Gaskonzentrationen ist zu verhindern.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.7 Die unbeabsichtigte Bildung explosionsfähiger oder brennbarer Gaskonzentrationen ist zu vermeiden.
3.2.7 Systembestandteile müssen gegen äußere Beschädigungen geschützt sein.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.3 Komponenten des LNG- Systems müssen vor äußeren Schäden geschützt werden.
3.2.8 Zündquellen in gefährdeten Bereichen sind zu minimieren, um die Wahrscheinlichkeit von Explosionen herabzusetzen.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.8 Zündquellen in gefährdeten Bereichen sind zur Verringerung der Explosions-wahrscheinlichkeit zu begrenzen.
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.	

IGF-Code	ES-TRIN
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.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.10 Ein durch Freisetzung von Gas entstandenes Feuer oder eine durch Gas entstandene Explosion in den Brennstoffbehältern und in den Maschinenräumen darf nicht die Funktionsfähigkeit betriebswichtiger Maschinen oder Ausrüstung in anderen Räumen gefährden.
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.	Kapitel 30, Artikel 30.01 (3) Antriebs- und Hilfssysteme nach Nummer 2 müssen unter Aufsicht der Untersuchungskommission gebaut und installiert sein. Kapitel 30, Artikel 30.01 (4) Die Untersuchungskommission kann sich zur Erfüllung von Aufgaben nach diesem Kapitel eines Technischen Dienstes nach Artikel 30.07 bedienen.

IGF-Code	ES-TRIN	
	Kapitel 30, Artikel 30.01 (5) Vor der ersten Inbetriebnahme eines Antriebs- oder Hilfssystems nach Nummer 2 müssen der Untersuchungskommission folgende Unterlagen vorgelegt werden: a) eine Risikobewertung nach Anlage 8, b) eine Beschreibung des Antriebs- oder Hilfssystems, c) Pläne des Antriebs- oder Hilfssystems, d) ein Plan über die Druck- und Temperaturverteilung innerhalb des Systems, e) ein Betriebshandbuch mit sämtlichen anwendbaren Verfahren, das für den praktischen Einsatz des Systems bestimmt ist, f) eine Sicherheitsrolle nach Artikel 30.03, g) eine Kopie der Bescheinigung über die Prüfung nach Artikel 30.02 Nummer 4.	
3.2.18 Ein einziger Fehler in einem technischen System oder Bestandteil darf nicht zu einer unsicheren oder unzuverlässigen Situation führen.	Anlage 8, Kapitel 1, 1.4.1 Ein einzelner Ausfall im LNG-System darf nicht zu einer unsicheren Situation führen.	
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		

IGF-Code	ES-TRIN
Übereinkommen und STCW-Code, in der jeweils geltenden Fassung, angemessen sind.	

Tabelle 11 Zielsetzung und funktionale Anforderungen des IGF Codes und der ES-TRIN

Die Zielsetzung des IGF Codes [14] 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. Mit dieser Zielsetzung und den funktionalen und allgemeinen Anforderungen werden grundlegende Kriterien für das innewohnende Sicherheitskonzept definiert. Eine Darstellung der zukünftigen Ziele, funktionalen Anforderungen und Begrenzungen der Explosionsfolgen in der ES-TRIN [8] und ein Vergleich mit denen des IGF Codes [14] wird empfohlen, um eine weitere Übertragbarkeit des Sicherheitskonzeptes zu beurteilen.

8.2.2. MSC 420(97) Interim recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk

Die vorläufigen Empfehlungen MSC 420(97) 'Interim recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk [15] für die Beförderung von verflüssigtem Wasserstoff als Massengut wurden auf der Grundlage ähnlicher Ladungen, zum Beispiel verflüssigtes Erdgas, entwickelt, wie sie in Kapitel 19 des IGC Codes [17] aufgeführt sind. In den Tabellen 1 und 2 der vorläufigen Empfehlung MSC 420(97) [15] sind allgemeine und spezielle Anforderungen hinsichtlich der Beförderung von verflüssigtem Wasserstoff aufgeführt. Der regulatorische Vorschlag aus Arbeitspaket 2 wird hinsichtlich einer Übereinstimmung mit den spezifischen Anforderungen der Empfehlung untersucht und qualitativ bewertet. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle 11 dargestellt.

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
1	Requirements for materials whose design temperature is lower than -165°C should be agreed with the Administration, paying attention to appropriate standards. Where minimum design temperature is lower than -196°C, property testing for insulation materials should be carried out with the		The LH2 fuel tank shall be an independent tank designed in accordance with the European Standards EN 13530 : 2002, EN 13458-2:2002 in combination with dynamic loads, or the IGC-Code (type C tank) [ISO 20421-1, ISO 21009-1]. [Acceptable standards for storage of GH2, including type 1, 2, 3, 4 and 5, to be discussed, e.g. EN ISO 9809, EN ISO 11120, ISO 11119, ISO 11515, ISO TS 17519]	partially met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule pi	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	appropriate medium, over a range of temperatures expected in service.		The inspection body can accept other equivalent standards of one of the Rhine riparian States and Belgium.	
2	Materials of construction and ancillary equipment such as insulation should be resistant to the effects of high oxygen concentrations caused by condensation and enrichment at the low temperatures attained in parts of the cargo system (refer to the requirement for nitrogen).			open
3	For cargo pipes containing liquid hydrogen and cold hydrogen vapour, measures should be taken to prevent the exposed surfaces from reaching -183°C. For places where preventive measures against low temperature are not sufficiently effective, such as cargo manifolds, other appropriate measures such as ventilation which avoids the formation of highly enriched oxygen and the installation of trays recovering liquid air may be permitted in lieu of the preventive measures. Insulation on liquid hydrogen piping systems exposing to air should be of non-combustible material and should be designed to have a seal in the outer covering to prevent the condensation of air and subsequent oxygen enrichment within the insulation.	2.1.15	It shall be possible to purge gas and vent hydrogen fuel tanks (after LH2 is fully evaporated to gas and same where LH2 is used in pipes (gas temp should > -210°C)) including gas piping systems. It shall be possible to perform inerting with an inert gas (e.g. nitrogen or argon) prior to venting with dry air, to exclude an explosion hazardous atmosphere in hydrogen fuel tanks and gas piping. Low temperature piping shall be thermally isolated from the adjacent hull structure, where necessary. Protection against accidental contact shall be provided.	partially met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule pi	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
4	Appropriate means, e.g. filtering, should be provided in cargo piping systems to remove impure substances condensed at low temperature.			open
5	Pressure relief systems should be suitably designed and constructed to prevent blockage due to formation of water or ice.	2.1.10	If condensation and icing due to cold surfaces of hydrogen fuel tanks may lead to safety or functional problems, appropriate preventive or remedial measures shall be taken. The space to which the hydrogen leaks should vent directly to the outside (to avoid under pressure). Hydrogen containment system's pressure and temperature shall be maintained at all times within their design range.	partially met
6	At places where contact with hydrogen is anticipated, suitable materials should be used to prevent any deterioration owing to hydrogen embrittlement, as necessary.	2.1.4 2.1.6 (b)	The LH2 fuel tank shall be an independent tank designed in accordance with the European Standards EN 13530: 2002, EN 13458-2:2002 in combination with dynamic loads, or the IGC-Code (type C tank) [ISO 20421-1, ISO 21009-1]. [Acceptable standards for storage of GH2, including type 1, 2, 3, 4 and 5, to be discussed, e.g. EN ISO 9809, EN ISO 11120, ISO 11119, ISO 11515, ISO TS 17519] The inspection body can accept other equivalent standards of one of the Rhine riparian States and Belgium. If tank connections are below the highest liquid level of the LH2 fuel tanks, drip trays shall be placed below the tanks that meet the following requirements: the material of the drip tray shall be suitable stainless steel.	partially met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
		2.1.8	If the secondary barrier of the hydrogen containment system is part of the hull structure it may be a boundary of the tank room subject to necessary precautions against leakage of cryogenic liquid.	
7	All welded joints of the shells of cargo tanks should be of the in-plane butt weld full penetration type. For dometo-shell connections only, tee welds of the full penetration type may be used depending on the results of the tests carried out at the approval of the welding procedure.			open
8	Double tube structures ensuring no leakage, or fixed hydrogen detectors being capable of detecting a hydrogen leak, should be provided for places where leakage of hydrogen may occur, such as cargo valves, flanges, and seals.	5.4.1	Hydrogen (H2) piping through other engine rooms or non-hazardous enclosed areas of the craft shall be enclosed in double wall piping or ventilated ducting. Gas warning equipment shall be designed, installed and tested in accordance with a recognized Standard, such as European Standard EN 60079-29-1: 2016.	met
		5.4.2 (a)- (h)	Permanently installed gas detectors (parts per million (PPM) type) shall be fitted in: tank connection areas including fuel tanks, pipe connections and first valves, ducts around gas piping, engine rooms containing gas piping, gas equipment or gas consuming equipment, the room containing the gas preparation system,	

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
			other enclosed rooms containing gas piping or other gas equipment without ducting, other enclosed or semi-enclosed rooms where gas vapours may accumulate including interbarrier spaces and tank rooms of independent hydrogen fuel tanks other than type C, air locks, and ventilation outlets to rooms in which gas vapours may accumulate.	
9	Helium or a mixture of 5% hydrogen and 95% nitrogen should be used as the tightness test medium for cargo tank and cargo piping.			open
10	The amount of carbon dioxide carried for a carbon dioxide fire-extinguishing system should be sufficient to provide a quantity of free gas equal to 75% or more of the gross volume of the cargo compressor and pump rooms in all cases.			open
11	When deterioration of insulation capability by single damage is possible, appropriate safety measures should be adopted taking into account the deterioration.			open
12	When vacuum insulation is used for a cargo containment system, the insulation performance	2.1.16	Hydrogen containment system's pressure and temperature shall be maintained at all times within their design range.	partially met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule pi	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	should be evaluated to the satisfaction of the Administration based on experiments, as necessary.	2.1.17	If the hydrogen system is switched off, the pressure in the LH2 fuel tank, shall be maintained below the maximum working pressure of the LH2 fuel tank for a period of 15 days. It shall be assumed that LH2 fuel tank was filled at filling limits according to 2.9 and that the craft remains in idle condition.	
13	Appropriate measures should be provided to prevent vents becoming blocked by accumulations of ice formed from moisture in the air.			open
14	Due consideration should be given to means for handling boil-off gas.	2.1.16	Hydrogen containment system's pressure and temperature shall be maintained at all times within their design range.	met
		2.1.17	If the hydrogen system is switched off, the pressure in the LH2 fuel tank, shall be maintained below the maximum working pressure of the LH2 fuel tank for a period of 15 days. It shall be assumed that LH2 fuel tank was filled at filling limits according to 2.9 and that the craft remains in idle condition.	
15	Due consideration should be given to static electricity associated with rotating or reciprocating machinery including the installation of conductive machinery belts and precautionary measures incorporated in operating and maintenance procedures. Anti-static			open

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	clothing and footwear, and a portable hydrogen detector should be provided for each crew member working in the cargo area.			
16	An operation manual for a liquefied hydrogen carrier should include limitations of various operations in relation to environmental conditions.	1.4.9	A detailed operating manual of the hydrogen system shall be provided on board craft using hydrogen as fuel and which as minimum: contains practical explanations about hydrogen bunkering system, hydrogen containment system, hydrogen piping system, Gas supply system, engine room, ventilation system, leakage prevention and control, monitoring and safety system, describes the bunkering operations, especially valves operation, purging, inerting and gas freeing. This may also include the exchange of hydrogen containment system, e.g. tanks or containm	met
17	An appropriate procedure should be established for warm-up, inert gas purge, gas-free, hydrogen purge and pre-cooling. The procedure should include: .1 selection of inert gas in relation to temperature limit;	1.4.9	A detailed operating manual of the hydrogen system shall be provided on board craft using hydrogen as fuel and which as minimum: contains practical explanations about hydrogen bunkering system, hydrogen containment system, hydrogen piping system, Gas supply system, engine room,	met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	.2 measurement of gas concentration; .3 measurement of temperature; .4 rates of supply of gases; .5 conditions for commencement, suspension, resuming and termination of each operation; .6 treatment of return gases; and .7 discharge of gases.		ventilation system, leakage prevention and control, monitoring and safety system, describes the bunkering operations, especially valves operation, purging, inerting and gas freeing. This may also include the exchange of hydrogen containment system, e.g. tanks or containers/racks with hydrogen tanks. describes the relevant method of electrical insulation during bunkering operations, describes the details of risks identified in the risk assessment as referred to in (1.3) and the means by which they are mitigated.	
18	Only almost pure parahydrogen (i.e. more than 95%) should be loaded in order to avoid excessive heating by ortho- to parahydrogen conversion.			open
19	Fire detectors for detecting hydrogen fire should be selected after due deliberation, taking into account the features of hydrogen fire, to the satisfaction of the Administration.	3.	Fire safety	met
20	At the design stage, dispersion of hydrogen from vent outlets should be analysed in order to minimize risk of ingress of flammable gas into accommodation spaces, service spaces, machinery spaces and control stations. Extension of hazardous	1.4.4	Hazardous areas shall be restricted, as far as practicable, to minimize the potential risks that might affect the safety of the craft, people on board, environment and equipment. In particular, hazardous areas are parts of the vessel not intended for passengers as referred to in Article 19.06(11).	met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	areas should be considered based on the results of the analysis.	1.4.5 1.4.7	Appropriate measures shall be taken to keep passengers away from hazardous areas. Unintended accumulation of explosive or flammable gas concentrations shall be prevented.	
		2.1.13	The exhaust outlets of the pressure relief valves shall be located not less than 2,00 m above the deck at a distance of not less than 1,50 m [and according safety distance calculation 1.6 kW/m2 limit or 4.7 kW/m2 with protective clothing for passing only] of any escape route, door opening, window (unless window are A30 equivalent), from the accommodation, passenger areas and work stations, which are located outside the hold or the cargo area.	
21	Due consideration should be given to appropriate safety measures to prevent formation of explosive mixture in the case of a leakage of hydrogen, including: 1 installation of hydrogen detectors in order to detect a possible ground-level travel of low temperature hydrogen gas, and at high points in spaces where warm hydrogen gas can be trapped; and	3.	Fire safety	partially met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule pi	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	.2 application of "best practice" for land-based liquid hydrogen storage taking into account appropriate guidance such as "Cryogenics Safety Manual – Fourth Edition (1998)".			
22	In the case that fusible elements are used as a means of fire detection required by paragraph 18.10.3.2 of the Code, flame detectors suitable for hydrogen flames should be provided in addition at the same locations. Appropriate means should be adopted to prevent the activation of ESD system owing to false alarm of flame detectors, e.g. avoiding activation of ESD system by single sensor (voting method).	3.2	Fire alarm system	met
23	Consideration should be given to enhance the ventilation capacity of the enclosed spaces subject to liquefied hydrogen leakage, taking into account the latent heat of vaporization, specific heat and the volume of hydrogen gas in relation to temperature and heat capacity of adjacent spaces.	2.7	Ventilation systems	met
24	Liquid and gas hydrogen pipes should not pass through enclosed spaces other than those referred to in paragraph 5.2.2.1.2 of the Code, unless:	2.3.1	Hydrogen (H2) piping through other engine rooms or non- hazardous enclosed areas of the craft shall be enclosed in double wall piping or ventilated ducting.	met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
	.1.1 the spaces are equipped with gas detection systems which activate the alarm at not more than 30% LFL and shut down the isolation valves, as appropriate, at not more than 60% LFL (see sections 16.4.2 and 16.4.8 of the Code); and .1.2 the spaces are adequately ventilated; or .2 the spaces are maintained in an inert condition. This requirement is not applicable to spaces constituting a part of a cargo containment system using vacuum insulation where the degree of vacuum is monitored.	2.3.7	Hydrogen (H2) piping through other engine rooms or non-hazardous enclosed areas of the craft shall be enclosed in double wall piping or ventilated ducting. Engine rooms	
25	A risk assessment should be conducted to ensure that risks arising from liquefied hydrogen cargo affecting persons on board, the environment, the structural strength or the integrity of the ship are addressed. Consideration should be given to the hazards associated with properties of liquefied hydrogen and hydrogen gas, physical layout, operation and maintenance, following any reasonably foreseeable	1.3.1	A risk assessment shall be conducted on all concepts and configurations which are new or have been significantly modified. The risks arising from the use hydrogen affecting people on board including passengers, the environment, the structural strength and the integrity of the craft shall be addressed. Reasonable consideration shall be given to the hazards associated with physical layout, operation, and maintenance, following a failure.	met

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule proposal Hydrogen (AP2)	Comment
	failure. For the risk assessment, appropriate methods, e.g. HAZID, HAZOP, FMEA/FMECA, whatif analysis, etc., should be adopted taking into account IEC/ISO 31010:2009 "Risk management – Risk assessment techniques"7) and SAE ARP 5580-2001 "Recommended failure modes and effects analysis (FMEA) practices for non-automobile applications".	1.3.2 The risks are to be determined and assessed using a risk analysis technique recognised by the inspection body, such as International Standards ISO 31000: 2018 and ISO 31010: 2019. Loss of function, component damage, fire, explosion, tank room flooding, vessel sinking and electric overvoltage shall as a minimum be considered. The analysis must help to ensure that risks are eliminated wherever possible. Risks which cannot be eliminated entirely are to be mitigated to an acceptable level. The major scenarios and measures for eliminating or mitigating risks shall be described.	
26	Relief valve sizing should be undertaken for the most onerous scenario. Whether this scenario is brought into existence due to fire or by loss of vacuum from the overall insulation system should be assessed and the resulting magnitude of the heat flux on the containment system considered in each case.	 2.1.11 Each LH2 fuel tank is to be fitted with at least two pressure relief valves that can prevent an overpressure if one of the valves is closed off due to malfunctioning, leakage or maintenance. [] Each GH2 fuel tank is to be fitted with at least one pressure relief valve and one TPRD that can prevent an overpressure if one of the valves is closed off due to malfunctioning, leakage or maintenance. [] For each GH2 containment system an additional TPRD is to be 	met
		an additional TPRD is to be provided that covers a fire exposure of the whole containment system. Containment systems too large to be protected by an additional TPRD, evidence is to be provided by testing for A60 fire that the GH2	

No.	MSC.420(97), Special Requirements	Rule p	roposal Hydrogen (AP2)	Comment
27	A filling limit exceeding 98% at reference temperature	2.9	containment system will be safely vented and not rupture. The inspection body can accept other equivalent standards for fire testing. [Application of land based bonfire testing procedures e.g.: FMVSS 304, SAE TIR J2579, EC 79/2009 and EU 406/2010, (AE J2579 covers whole H2 system), Global Technical Resolution (GTR-No. 13) with remark to H2 test gas to be discussed] Filling limits of LH2 fuel tanks	met
	should not be permitted.			
28	Bolted flange connections of hydrogen piping should be avoided where welded connections are feasible.			open
29	Due consideration should be given to the invisible nature of hydrogen fire.	3.2.2	Smoke detectors alone are not sufficient for rapid detection of a fire. There shall also be suitable UV and or IR flame detectors to rapid detect hydrogen fires for all rooms of the hydrogen system and on open decks where hydrogen fires cannot be excluded.	met

Tabelle 12 Anforderungen in MSC.420(97) und regulatorischer Vorschlag Wasserstoff

8.3. Schlussfolgerung / Empfehlung

Ein Übertrag des Sicherheitskonzeptes, wie es in der ES-TRIN [8] angewendet ist, wäre begrenzt möglich und nur unter besonderer Betrachtung der einzelnen Maßnahmen zur Risikominimierung in Verbindung mit der festgelegten Zielsetzung. In Kapitel 9.2.1 dieses Berichtes wird auf die Unterschiede zwischen IGF Code [14] und ES-TRIN [8] in der Zielsetzung und den funktionalen Anforderungen hingewiesen. Während der IGF Code [14] in seiner Zielsetzung fordert, dass ein einziger Fehler in einem technischen System oder Bestandteil nicht zu einer unsicheren oder unzuverlässigen Situation führen darf, betrifft unter der aktuellen ES-TRIN [8] für Flüssigerdgas und für Wasserstoff im regulatorischen Vorschlag dies lediglich den Ausfall eines Systems. Während der IGF Code [14] eine gleichwertige Sicherheit, Zuverlässigkeit und Systemstabilität vergleichbar mit konventionellen, mit Ölbrennstoff angetriebenen Haupt- und Hilfsmaschinenanlagen fordert, ist eine solche Anforderung in der gegenwärtigen ES-TRIN

[8] nicht gegeben. Von einer uneingeschränkten Übertragbarkeit des Gesamtkonzeptes kann aus diesem Grunde nicht ausgegangen werden.

Spezifische Maßnahmen zur Erreichung der funktionalen Ziele innerhalb der ES-TRIN [8] können jedoch als geeignet für einen Übertrag angesehen werden. Dies muss jedoch unter Berücksichtigung des erforderlichen Sicherheitsniveaus geschehen, welches der jeweiligen maritimen Anwendung zu Grunde gelegt und über eine Risikobewertung nachgewiesen wird. Ein Vergleich der speziellen Anforderung der MSC 420(97) 'Interim recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk' [15] mit den gegebenen Anforderungen im regulatorischen Vorschlag wurde im Kapitel 9.2.2 durchgeführt. Aus diesem Vergleich lässt sich entnehmen, dass sich hinsichtlich der jeweiligen speziellen Anforderungen durchweg Übereinstimmungen ergeben. Es lässt sich aber auch festhalten, wie in der folgenden Tabelle 12 dargestellt ist, dass bestimmte spezifische Anforderungen aus der Zwischenempfehlung für Tankschiffe für den Transport von Flüssigwasserstoff noch nicht im regulatorischen Vorschlag für Wasserstoff für Binnenschiffe adressiert sind.

Anforderung an	Nr.	Bezug	Entwurf ergänzende ES- TRIN Bestimmungen für Wasserstoff
Tanktyp und Auslegung	1	Herstellung und Prüfung	2.1.4
Sauerstoffanreicherung	2,3	Niedrige Temperatur	2.1.5
Filter in Produktleitungen	4	Niedrige Temperatur	
Blockiertes Sicherheitsventil	5	Niedrige Temperatur	2.1.10, 2.1.16
Tankschweißnähte	7	Herstellung und Prüfung	
Dichtheitsprüfung	9	Herstellung und Prüfung	
CO2 Löschmittel	10	Feuer	
Isolierung	11, 12	Niedrige Temperatur	2.1.6, 2.1.17
Ventilation	13	Niedrige Temperatur	
Elektrostatische Aufladung	15	Feuer	
Wasserstoffqualität	18	Druck	
Wasserstoffdetektion	21	Feuer	3.
Flanschverbindungen	28	Herstellung und Prüfung	

Tabelle 13 Gegenüberstellung der Anforderungen für Tankschiffe entsprechend MSC.420(97) und des Entwurfs für ergänzende ES-TRIN Bestimmungen für Wasserstoff

Maßgeblich nicht oder nur bedingt geeignet für einen Übertrag sind zum Beispiel spezifische Anforderungen im regulatorischen Vorschlag hinsichtlich:

- Tankarrangement und Abstände zur Schiffsaußenhaut,
- Auslegung, Bemessung und Prüfung der Wasserstoffspeicher,
- Abstände zu Ventilationsöffnungen und Sicherheitsventilauslässen,
- Abstände von Rohrleitungen zur Schiffsaußenhaut.

Eine Neubewertung dieser Anforderungen hinsichtlich der zu erwartenden Risiken, z.B. hinsichtlich Kollision oder Leckageszenarien und die damit verbundenen Konsequenzen bei hochseegehenden Schiffen, ist erforderlich.

9. **Management Summary**

Mit dieser Studie wurde ein Vorschlag für technische Bestimmungen für Binnenschiffe entwickelt, die mit Wasserstoff als Energieträger betrieben werden. Dieser Vorschlag soll den Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) ergänzen und mit den existierenden Vorschriften für andere Brennstoffe kompatibel sein. Das zuständige internationale Arbeitsgremium für diese Vorschriften ist der Europäische Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt. Derzeit befassen sich die geltenden Vorschriften für Binnenschiffe, die Brennstoffe mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter nutzen, lediglich mit Flüssigerdgas. In dieser Studie wird analysiert, wie technische Vorschriften für Binnenschiffe ergänzt werden müssten, damit komprimierter oder kryogener (tiefkalter) Wasserstoff als Brennstoff eingesetzt werden könnte. Zusätzlich wird untersucht, wie die technischen Grundlagen dieses Vorschriftenentwurfs potenziell auf Seeschiffe übertragen werden können.

Ein wichtiges Ziel der Europäischen Union ist es, mehr Güterverkehr mit Binnenschiffen auf Flüsse und Kanäle in der EU und dort auf emissionsfreie Schiffe zu verlagern. Dieser Transfer soll zugleich mit der Reduzierung von Treibhausgasen und sonstigen Schadstoffen bis zum Jahr 2050 erfolgen.

Die Energiewende ist für die Binnenschifffahrt ein komplexer und zeitumfassender Prozess, der als existenzielle Herausforderung verstanden werden kann. Nur wenn die Binnenschifffahrt den Übergang zu einem klimaneutralen Antrieb vollzieht, wird die Entwicklung dieses Sektors politisch unterstützt. Um regenerative einschließlich Wasserstoff auf Binnenschiffen alternative Kraftstoffe europaweit Sondergenehmigungen im Einzelfall einsetzen zu können, muss der Europäische Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe entsprechend angepasst werden.

Regularien für Flüssigerdgas als Brennstoff sind für den Europäischen Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt bereits entwickelt und mit dem Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe² veröffentlicht. Über Regularien für Brennstoffzellen und Methanol wird gegenwärtig innerhalb des Europäischen Ausschuss noch diskutiert, sie sollen in Kürze veröffentlicht werden. Bisher haben weder der Europäische Ausschuss noch die International Maritime Organisation (IMO) Regularien für Wasserstoff als Brennstoff entwickelt. Der aktualisierte Rechtsrahmen soll die regelmäßige Verwendung von alternativen Kraftstoffen an Bord von Binnenschiffen ermöglichen. Es gibt bereits einige Projekte, in denen der Einsatz von flüssigem, tiefkalten und komprimierten, gasförmigen Wasserstoff als Brennstoff für Schiffe erprobt wurde, bzw. die sich in der Erprobung befinden. Zahlreiche Projektergebnisse und Dokumente wurden veröffentlicht, die die besonderen Gefahren von Wasserstoff betrachten.

In dieser Studie wird analysiert, wie der Europäische Standard für Binnenschiffe ergänzt werden muss, damit komprimierter oder kryogener Wasserstoff auf Binnenschiffen eingesetzt werden kann. Dazu wurden Standards und weitere Regelwerke für den Transport und die Nutzung von Wasserstoff und Empfehlungen im Rahmen von Pilotanwendungen, die Wasserstoff als Treibstoff in der Binnenschifffahrt nutzen, auf ihre Relevanz untersucht. Das Resultat wird in einer Gap-Analyse qualitativ dargestellt. Für die neu zu entwickelnden Vorschriften wurde eine Gliederung erarbeitet, die die Definition der schiffsseitigen technische Anforderungen für das Bunkern und Lagern von tiefkaltem und unter Druck stehenden Wasserstoff und Vorschläge für die regulatorische Umsetzung umfasst. Die regulatorischen Anforderungen für kryogenen oder komprimierten Wasserstoff auf Binnenschiffen wurden in Bezug auf einen Übertrag von technischen Grundlagen, unabhängig vom Schiffstyp, geprüft.

Zur Erarbeitung des neuen Regeltextes werden neben der ES-TRIN die Empfehlungen der Zentralkommission der Rheinschifffahrt (ZKR), das Regelwerk der Klassifikationsgesellschaft Lloyd's Register, das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen,

² Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN), Edition 2021/1

Standards bezüglich Wasserstoff und Empfehlungen der International Maritime Organisation bewertet. Das Ergebnis ist in einer qualitativen Gap-Analyse grafisch dargestellt. Die betrachteten Regularien stellen in einem unterschiedliche Umfang Grundlagen zu den Eigenschaften von Wasserstoff, Speicherung von Wasserstoff und Wasserstoff als Brennstoff zur Verfügung.

Der vorliegende Entwurf des Regeltextes beschreibt den Anwendungsbereich und führt notwendige Definitionen auf. Es werden generelle Anforderungen, wie z.B. Anforderungen an die Anordnung auf dem Schiff und an das System Design, an den Brandschutz und an die elektrischen Systeme, sowie an die Kontrolle, an das Monitoring und an die Sicherheitssysteme dargestellt. Anforderungen an die Energiekonverter werden in diesem Vorschlag nicht erfasst. Der regulatorische Vorschlag bildet die Grundlage zur weiteren Diskussion für die temporäre CESNI Arbeitsgruppe `CESNI/PT/FC`.

Weiter wurde die Übertragbarkeit des Konzeptes auf Seeschiffe untersucht, die Zielsetzungen und funktionalen Anforderungen des IGF Codes³ wurden beschrieben und mit der ES-TRIN verglichen. Spezifische Anforderungen für den Transport von Wasserstoff, basierend auf den Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk⁴, werden mit den spezifischen Anforderungen des regulatorischen Vorschlags verglichen und qualitativ bewertet.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Europäische Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (auf Basis der vorhandenen Struktur für Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt und unter Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften und Gefährdungen) durch Wasserstoff ergänzt werden kann und empfiehlt die Umsetzung.

Die Ergänzungen könnten auf Basis präskriptiver Anforderungen oder zielorientierter Anforderungen oder in Kombination von beiden umgesetzt werden.

Basierend auf der ES-TRIN wird eine Gliederung vorgeschlagen. Diese folgt der gegenwärtigen Struktur der ergänzenden Anforderungen für Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt der ES-TRIN und kann als zielführend erachtet werden. Einen Übertrag dieser ergänzenden technischen Vorschriften auf die internationale Seeschifffahrt oder küstennahe Schifffahrt ist aufgrund des Sicherheitskonzeptes des IGF-Codes und des Konzeptes der ES-TRIN nur bedingt denkbar und kann nur unter besonderer Betrachtung der einzelnen Maßnahmen zur Risikominimierung erfolgen. Eine individuelle Bewertung der regulatorischen Vorschläge in Hinblick auf das oder die übergeordneten Ziele, der funktionalen Anforderungen und ihrer Erfüllung wird empfohlen. Zusätzliche spezifische Maßnahmen, die über den skizzierten regulatorischen Vorschlag hinausgehen, werden vorgestellt. Abschließend werden nicht oder nur bedingt geeignete spezifische Anforderungen im regulatorischen Vorschlag für einen Übertrag dargestellt.

Der vorgeschlagene Entwurf für ergänzende technische Vorschriften für Binnenschiffe - die Wasserstoff als Brennstoff mit niedrigem Flammpunkt verwenden - wird den Übergang zu weiteren klimaneutralen Antrieben in der Binnenschifffahrt unterstützen und beschleunigen. Der Einsatz von Wasserstoff in der Binnenschifffahrt kann einen Beitrag zur Erreichung der im Pariser Abkommen und der Mannheimer Erklärung vereinbarten Ziele leisten.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, den Entwurf des Regeltextes entsprechenden Fachkreisen des europäischen Ausschusses zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt vorzustellen, gefolgt von einer weiterführenden inhaltlichen Diskussion und Präzisierung der Anforderungen.

³ IMO MSC.391(95) – Adoption of the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code), Adopted on 11 June 2015

⁴ IMO MSC.420(97) – INTERIM RECOMMENDATIONS FOR CARRIAGE OF LIQUEFIED HYDROGEN IN BULK, Adopted on 25 November 2016

10. Abbildungen

11.

12.

	eisetzung von Wasserstoff in die Atmosphäre – Einleitung gefährlicher Ereignisse und en, die eine zusätzliche Berücksichtigung erfordern [5][5]	8
Abbildung 2 Ra	ıhmenbedingung der IMO für zielorientierter Regularien [6]1	0
Abbildung 3 Zo	oneneinteilung bei Tankschiffen [10]1	9
Tabellen		
	blick über Wasserstoffspeichermethoden, Speichersysteme und physikalische den Einsatz in der Binnenschifffahrt [3]	7
Tabelle 2 Gege	nüberstellung von präskriptiven und zielorientierten Regularien	9
	au des IGF Codes und der Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification Gases or other Low-flashpoint Fuels1	6
Tabelle 4 Norm	nen für Kryo-Behälter und Gasflaschen2	2
Tabelle 5 Quali	tative Darstellung des Anwendungsbereiches2	3
	etzung von Wasserstoff in die Atmosphäre - Initiierung gefährlicher Ereignisse, die erücksichtigen sind [5]2	.5
	etzung von Wasserstoff in die Atmosphäre – mögliche Folgen, die zusätzlich zu d [5]2	.5
Tabelle 8 Vergl	eich der Eigenschaften von Wasserstoff und Methan [5]2	6
Tabelle 9 Zünd	quellen für Wasserstoff [5]2	6
Tabelle 10 Vors	schau Regulatorischer Vorschlag3	0
Tabelle 11 Ziel	setzung und funktionale Anforderungen des IGF Codes und der ES-TRIN3	6
Tabelle 12 Anfo	orderungen in MSC.420(97) und regulatorischer Vorschlag Wasserstoff4	8
	enüberstellung der Anforderungen für Tankschiffe entsprechend MSC.420(97) und des gänzende ES-TRIN Bestimmungen für Wasserstoff4	
Abkürzung	en	
ADN	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährli Gütern auf Binnenwasserstraßen	
ADR	Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straß	e
AD&A	Alternative Design and Arrangement	
AP	Arbeitspaket	
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion	

CESNI Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der

Binnenschifffahrt

DMZ Deutsches Maritime Zentrum e. V.

EK Europäische Kommission

EMEA Europe Middle East Africa

ES-TRIN Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe

EU Europäische Union

GH2 Gaseous Hydrogen

HDE Hydrogen Diesel Enrichment

HTHA High Temperature Hydrogen Attack

H2 Wasserstoff

IBC Intermediate Bulk Container, Großpackmittel, starre oder flexible, transportable

Verpackung gemäß ADR

IGC Code Internationaler Code für den Bau und Ausrüstung von Schiffen zur Beförderung

verflüssigter Gase als Massengut

IGF Code Internationaler Code für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe

mit niedrigem Flammpunkt verwenden

IMO International Maritime Organisation

ISO International Organisation for Standardization

IWT Inland Water Transport

LH2 Liquid hydrogen

LNG Liquefied Natural Gas

LR Lloyd's Register

MSC Maritime Safety Committee

RBD Risk Based Design

RheinSchUO Rheinschiffsuntersuchungsordnung

RPT Rapid Phase Transition

STCW Internationales Übereinkommen über Normen für die Ausbildung, die Erteilung von

Befähigungszeugnissen und den Wachdienst von Seeleuten

ZKR Zentralkommission der Rheinschifffahrt

13. Referenzierte Literatur

- [1] RH2INE Blueprint Kickstart H2 in IWT [Zugriff am 01.11.2021], verfügbar unter: https://www.rh2ine.eu/wp-content/uploads/2021/10/RH2INE-Blueprint-Kickstart-IWT.pdf
- [2] CESNI, Merkblatt zur Beratung über Abweichungen und Gleichwertigkeiten in Bezug auf die Technischen Vorschriften des ES-TRIN für bestimmte Fahrzeuge, März 2019
- [3] RH2INE Kickstart Study, Sub-study Hydrogen Containment Systems, [Zugriff am 01.11.2021], verfügbar unter: https://rh2ine.eu/rh2ine-kickstart-study/
- [4] PD ISO/TR 15916:2015, Basic considerations for the safety of hydrogen systems
- [5] Lloyd's Register, Guidance Notes for Fuel System Risk Assessments, Hazard Identification Hydrogen and Ammonia, May 2021
- [6] MSC.1/Circ. 1394/Rev.2, 8 July 2019, Generic Guidelines for Developing IMO Goal-Based Standards
- [7] IGF Code, Internationaler Code für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden (Entschließung MSC.391(95)), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Seeschifffahrt, Verkehrsblatt Dokument Nr. B8151
- [8] Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt (CESNI), Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN), Edition 2021/1
- [9] Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Empfehlungen an die Schiffsuntersuchungskommission nach § 2.19/§ 2.20 der Rheinschiffsuntersuchungsordnung, [Zugriff am 08.06.2021], verfügbar unter: https://ccr-zkr.org/files/documents/reglementRV/rv3d_rec_012021.pdf
- [10] ZKR, Zentralkommission für die Rheinschiff, ADN 2021, Europäisches Übereinkommen vom 26. Mai 2000 über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN)
- [11] Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Inland Waterways Ships, July 2021
- [12] Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Lowflashpoint Fuels, July 2021
- [13] Lloyd's Register, Ship Right, Design and Construction, Risk Based Design (RBD), February 2021
- [14] IMO MSC.391(95) Adoption of the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code), Adopted on 11 June 2015
- [15] IMO MSC.420(97) INTERIM RECOMMENDATIONS FOR CARRIAGE OF LIQUEFIED HYDROGEN IN BULK, Adopted on 25 November 2016
- [16] ZKR; Zentralkommision für die Rheinschiffahrt, Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO), 1. Januar 2020

- [17] RESOLUTION MSC.370(93), adopted on 22 May 2014, AMENDMENTS TO THE INTERNATIONAL CODE FOR THE CONSTRUCTION AND EQUIPMENT OF SHIPS CARRYING LIQUEFIED GASES IN BULK (IGC CODE)
- [18] Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2020
- [19] Bundesamt für Straßen, Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), Band I+II, Stand 1.1.2021, [Zugriff am 10.08.2021], verfügbar unter: https://tes.bam.de/TES/Content/DE/Standardartikel/Regelwerke/Gefahrgut/gefahrgutvorschr iften.html
- [20] G. Holbach, P. Segieth; Elektra ökologische Mobilität der Zukunft auf dem Wasser mittels Wasserstoff und elektrischem Strom, gwf Gas + Energie, 6/2019
- [21] M. Kräft, J. Andreas, P. Segieth; Vorzeige-Projekt für Wasserstoff-Technologie, Binnenschifffahrt, 09/2020
- [22] Richtlinie (EU) 2016/1629 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September 2016 zur Festlegung technischer Vorschriften für Binnenschiffe
- [23] ISO 11119-3 Gasflaschen Wiederbefüllbare Gasflaschen und Großflaschen aus Verbundwerkstoffen Auslegung, Bau und Prüfung Teil 3: Vollumwickelte faserverstärkte Gasflaschen und Großflaschen bis 450l aus Verbundwerkstoffen mit nicht lasttragenden metallischen oder nichtmetallischen Linern oder ohne Liner
- [24] ISO 11515 Gasflaschen Wiederbefüllbare verstärkte Flaschen mit einer Kapazität zwischen 450l und 3000l Auslegung, Konstruktion und Prüfung
- [25] ISO 31000 Risikomanagement Leitlinien
- [26] ISO 31010 Risikomanagement Verfahren zur Risikobeurteilung
- [27] RH2INE Kickstart Study, Sub-study Hydrogen Bunkering Scenarios [Zugriff am 01.11.2021], verfügbar unter: https://www.rh2ine.eu/wp-content/uploads/2021/10/RH2INE-Kickstart-Study-Scenario-building-Hydrogen-Bunkering-Scenarios.pdf
- [28] Dipl.-Ing. Anna Loewe, Nachweis der Realisierbarkeit eines innovativen Antriebskonzeptes für Binnenschiffe in Bezug auf die Gefährdungspotentiale mittels risikobasierten Entwurfes am Beispiel des Schubbootes ELEKTRA, 2020
- [29] DIN EN 13530 Kryo Behälter Große ortsbewegliche, vakuum-isolierte Behälter
- [30] DIN EN 13458-2 Kryo-Behälter Ortsfeste vakuum-isolierte Behälter Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung
- [31] ISO 20421-1 Kryo-Behälter Große ortsbewegliche vakuum-isolierte Behälter Teil1: Gestaltung, Herstellung, Inspektion und Prüfung
- [32] ISO 21009-1 Kryo-Behälter Stationäre vakuum-isolierte Behälter Teil 1: Konstruktion, Herstellung, Kontrolle und Prüfungen
- [33] DIN EN ISO 9809 Gasflaschen Auslegung, Herstellung und Prüfung von wiederbefüllbaren nahtlosen Gasflaschen aus Stahl

- [34] DIN EN ISO 11120 Gasflaschen Wiederbefüllbare nahtlose Großflaschen aus Stahl mit einem Fassungsraum zwischen 150 l und 3 000 l Auslegung, Bau und Prüfung
- [35] ISO 11119 Gasflaschen Wiederbefüllbare Flaschen und Großflaschen aus Verbundwerkstoffen Auslegung, Bau und Prüfungen
- [36] ISO 11515 Gasflaschen Wiederbefüllbare verstärkte Flaschen mit einer Kapazität zwischen 450 l und 3000 l Gestaltung, Konstruktion und Prüfung
- [37] ISO TS 17519 Gasflaschen Wiederbefüllbare festinstallierte Composite-Großflaschen für die Beförderung
- [38] DIN EN 60079-29-1 Explosionsfähige Atmosphäre Teil 29-1: Gasmessgeräte Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten für die Messung brennbarer Gase



Get in touch

Please visit www.lr.org for more information Or call +44(0)1224 398 398

Lloyd's Register EMEA Überseeallee 10 20457 Hamburg, Deutschland +49 (0)40 349700 10 100



Deutsches Maritimes Zentrum e.V. Herrmann-Blohm-Str. 3 20457 Hamburg, Deutschland +49 (0) 40 9999 698 - 40 Mail: Info@dmz-maritim.de www.dmz-maritim.de

Autor M.Eng., Dipl.-Ing.(FH) Torsten Hacker

Reviewer Dipl.-Ing. Manuel Ortuno

Version 1, 01.06.2022

Lloyd's Register and variants of it are trading names of Lloyd's Register Group Limited, its subsidiaries and affiliates. Lloyd's Register Group Services Limited is a limited company registered in England and Wales, registered number 6193893.

Registered office: 71 Fenchurch Street, London, EC3M 4BS, UK. A member of the Lloyd's Register group.

Lloyd's Register Group Limited, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are individually and collectively, referred to in this clause as 'Lloyd's Register'. Lloyd's Register assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.