

Wasserrechtlicher Planfeststellungsantrag für die Errichtung eines FSRU-Schiffsanlegers mit Liegewanne und Zufahrtbereich

LNG Voslapper Groden Nord 2

**Teil B - Antragsunterlagen
14 Nautische Studien und Risikobewertung
FSRU Wilhelmshaven GmbH**

19. September 2023

Kontakt

KERSTIN ZÜLCH
Senior Consultant
Genehmigungsverfahren

M +49 173 4102391
E kerstin.zuelch@arcadis.com

Arcadis Germany GmbH
EUREF-Campus 10
10829 Berlin
Deutschland

WEITERE BETEILIGTE
Georg Fank (extern)

Inhalt

14 Nautische Studien und Risikobewertung	5
14.1 Einleitung	5
14.2 Übersicht der Anlagen	5
14.3 Dynamisches Vertaukonzept/Mooringkonzept	6
14.3.1 Einleitung und Ziele	6
14.3.2 Methode und Ansatz	6
14.3.3 Eingabedaten	8
14.3.4 Simulationsergebnisse FSRU Vertäuanalyse	10
14.3.5 Simulationsergebnisse Schiff zu Schiff Vertäuanalyse	10
14.3.6 Auswahl der Quick Release Hooks (QRH) und Fender	12
14.3.7 Bemessungslasten beim Vertäuten Schiffen	12
14.3.8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	13
14.4 Nautische Risikoanalyse	14
14.4.1 Einleitung und Zielsetzung	14
14.4.2 Basisdaten	15
14.4.3 Bewertung der Fahrtrasse und der Manöverstrategie des LNG-Tankers	15
14.4.3.1 Einleitung	15
14.4.3.2 Lotsenpflicht	16
14.4.3.3 Trassenabschnitte	17
14.4.3.4 Anfahrt und Anlegen	17
14.4.4 Methodik zur nautischen Risikobewertung	18
14.4.4.1 Einleitung	18
14.4.4.2 Risikobewertung	18
14.4.5 Gefahrenidentifikation (HAZID)	20
14.4.6 Risk Assessment Matrix (RAM)	21
14.4.7 Kollisionsrisikoanalyse	23
14.4.7.1 Einleitung und Methodik	23
14.4.7.2 Schiffsverkehrsanalyse	24
14.4.7.3 Ergebnisse und Schlußfolgerungen	24
14.4.8 Empfehlungen und Fazit	25
14.4.8.1 Empfehlungen	25
14.4.8.2 Fazit	25

14.5	Nautitec Echtzeitsimulationsfahrt	26
14.5.1	Einleitung	26
14.5.2	Studie 2020	26
14.5.3	Studie im Februar 2023	26

Abbildungen

Abbildung 1: Modellierungsansatz für Mooring Studie	7
Abbildung 2: Schiffspanelisierung in AQWA (Simulationsprogramm)	8
Abbildung 3: Verbessertes Vertäuungslayout für den Schiff-zu-Schiff-Betrieb mit dem 177k-Moss-LNG-Tanker	12
Abbildung 4: Überblick über die Fahrtrasse von der Lotsenstation zum Schiffsanleger	16
Abbildung 5: Schlepperkonfiguration beim Anlegen im Hafen entlang der FSRU in Ebttide	17
Abbildung 6: Identifizierte Routen und deren Verkehrsverteilung	24
Abbildung 7: Vorschlag für ein Beleuchtungskonzept	27
Abbildung 8: Beispiel 1 Nautitec Simulationsfahrt	28
Abbildung 9: Beispiel 2 Nautitec Simulationsfahrt	28
Abbildung 10: Simulation Zufahrt zum HES Anleger 2/3	29

14 Nautische Studien und Risikobewertung

14.1 Einleitung

Bei der Planung des Vorhabens sind die nautischen Bedingungen und Auswirkungen von grundlegender Bedeutung. Die hier aufgeführten Studien, Gutachten und Untersuchungen dienen im Wesentlichen folgenden Zielen:

- Abstimmung des Vorhabens mit den beteiligten Fachbehörden und sonstigen Beteiligten wie WSA, WSV, Hafenbehörde
- Beschreibung der wesentlichen nautischen Rahmenbedingungen
- Bestimmung des Anlege- und Festmachkonzeptes für die FSRU und die LNG-Tanker
- Ermittlung der auftretenden Kräfte und Momente auf das Bauwerk, Trossen und Taue in Verbindung mit den Umweltbedingungen auch bei Extremwetterereignissen
- Überprüfung und Optimierung des vorgesehenen Designs des Schiffsanlegers, insbesondere der Anordnung und Dimensionierung der Dalben und Festmachpunkte
- Bestimmung des Bedarfes und der Leistungsauslegung der Schleppboote für die FSRU und die LNG-Tanker
- Bestimmung der Mindestabmessungen und Solltiefen für die Liegewanne und den Zufahrtsbereich einschließlich des Wendebereichs
- Bestimmung der Mindestabstände des Schiffsanlegers zur Fahrrinne und zum Fahrwasser sowie zu den Bestandsbauwerken
- Durchführung einer Risikobeurteilung hinsichtlich der Auswirkungen auf den bestehenden Schiffsverkehr, Festlegung von Risikominderungsmaßnahmen
- Überprüfung der Annahmen durch Simulationsfahrten im Schiffssimulator Leer
- Minimierung der morphologischen Auswirkungen.

Folgende Studien wurden durchgeführt:

1. Studienbericht zur Schiffsnavigation IMDC (nachrichtlich) ¹
2. Dynamisches Vertaukonzept/Mooringkonzept, siehe 14.3
3. Nautische Risikoanalyse, siehe 14.4
4. Nautitec Echtzeitsimulationsfahrt, siehe 14.5

14.2 Übersicht der Dokumente

Tabelle 1 Übersicht der Dokumente

Kap.	Pos	Bezeichnung	Seiten
14	00	14.00_Nautische Studien und Risikobewertung	31
	01	14.01_Bewertung dynamischer Vertäuung_2021.06	169
	02	14.02_Nautische Risikoanalyse_2018.05	79

¹ Die TdV hat IMDC mit der Erstellung einer Schiffsnavigation-Studie als Vorstudie für die Entwurfsplanung an der ursprünglich geplanten Position des Vorhabens beauftragt. Die Ergebnisse sind durch die Nautitec Echtzeitsimulationsfahrt an der eingereichten Position aktualisiert worden und müssen daher nicht weiter aufgeführt werden.

Kap.	Pos	Bezeichnung	Seiten
	03	14.03_Nautitec Präsentation Simulationsläufe Final	42
	04	14.04_Nautitec Abschlussbericht Simulationen	102

14.3 Dynamisches Vertaukonzept/Mooringkonzept

14.3.1 Einleitung und Ziele

Die FSRU wird voraussichtlich die gesamte Betriebszeit von 5 Jahren am Schiffsanleger festgemacht sein. Unterbrechungen sind nur in Notfällen wie Extremwettersituationen oder Haverien denkbar. Ein Werftaufenthalt ist nur bei größeren ungeplanten technischen Maßnahmen erforderlich. Das Vertaukonzept muss deshalb auf diese Rahmenbedingungen abgestimmt sein. Die TdV hat IMDC hierzu mit der Erstellung einer Mooring-Studie beauftragt. In dieser Studie wird das Konzept zum Anlegen und Festmachen der FSRU und der LNGC am neuen Schiffsanleger beschrieben:

„14.01_Bericht zur Bewertung dynamischer Vertäuung_2021.06“.

Ziel der Studie ist es, dass ursprünglich vom Vercharterer der FSRU vorgeschlagene Vertäuungslayout zu verbessern, indem die Entwurflasten des Vertäuungssystems bestimmt und die Schiffsbewegungen mit Hilfe einer dynamischen Vertäuungsanalyse (Dynamic Mooring Analysis; DMA) für verschiedene Vertäuungskonfigurationen und unter verschiedenen Umweltbedingungen bewertet werden. Es werden zwei Konfigurationen bewertet werden: 1) FSRU allein 2) FSRU mit LNG-Tanker Seite an Seite. Die folgenden Teilziele werden formuliert:

Für die FSRU:

- Verbesserung der Vertäuungskonfiguration, um unter extremen Bedingungen, vorzugsweise bei einem Jahrhundertereignis, eine sichere Vertäuung sicherzustellen.
- Bestimmung der limitierenden Umgebungsgrenzbedingungen, unter denen die FSRU sicher am Liegeplatz bleiben kann.
- Bestimmung der Wahrscheinlichkeit der Überschreitung der Umgebungsgrenzbedingungen sowie der erwarteten Häufigkeit, mit der die FSRU den Liegeplatz aufgrund des erwarteten Risikos der Überschreitung von Bewegungen und/oder Belastungen in den Festmacherleinen verlassen muss.

Für die FSRU mit seitlich festgemachtem LNG-Tanker:

- Bestimmung der Umgebungsgrenzbedingungen für den Schiff- zu Schiff-Betrieb;
- Bestimmung der Umgebungsgrenzbedingungen für einen sicheren Aufenthalt am Liegeplatz.
- Ableitung der Überschreitungswahrscheinlichkeit von Umgebungsgrenzbedingungen.

14.3.2 Methode und Ansatz

Mithilfe der Software Aktis DMA wurde eine dynamische Vertäuungsanalyse (Dynamic Mooring Analysis; DMA) durchgeführt, um die Bemessung des aktuellen Vertäuungssystems zu verbessern und die Grenzbedingungen für das FSRU-Terminal zu bestimmen. Aktis DMA ist ein Paket zur Simulation von Schiffsbewegungen innerhalb der sechs Freiheitsgrade, das im Zeitbereich uneingeschränkt arbeitet. Es berücksichtigt Wellenkräfte 1. und 2. Ordnung, Windkräfte, Strömungskräfte, die hydrodynamische Interaktion mit anderen Objekten und dem Meeresboden sowie alle nichtlinearen Arten von Vertäuungs- und Fendereigenschaften.

Für das sichere und effiziente Löschen bzw. Beladen der vertäuten FSRU – bei Vertäuung entweder allein oder Seite an Seite mit dem anliegenden LNG-Tanker – wurde eine Vielzahl von Umgebungsverhältnissen simuliert (Wind, Wellen, Wasserstand und Strömungen) und anhand von Leinenlast- und Bewegungskriterien bewertet, um davon ausgehend die Umgebungsgrenzbedingungen und die Wahrscheinlichkeit von deren Überschreitung abzuleiten. Werden die Bewegungskriterien überschritten, so führen diese Bedingungen zu Betriebsausfällen, und ihre kombinierte Überschreitungswahrscheinlichkeit bestimmt den Zeitraum, in dem der Lade-/Löschbetrieb ausgesetzt werden muss. Werden die Grenzen der Leinenlasten überschritten, so besteht das Risiko von Leinenbrüchen.

In Abbildung 1 wird der Modellierungsansatz schematisch dargestellt. Zu den Eingabedaten gehören unter anderem die Eigenschaften des vertäuten Schiffs und des Liegeplatzes, die Vertäuungsanordnungen, die Umgebungsverhältnisse sowie die Schiffshydrodynamik und die Grenzkriterien. Aktis DMA liefert die Ansprech- und Vertäukräfte des Schiffs, aus denen sich die metoceanen Grenzbedingungen und Ausfallzeiten ableiten lassen.

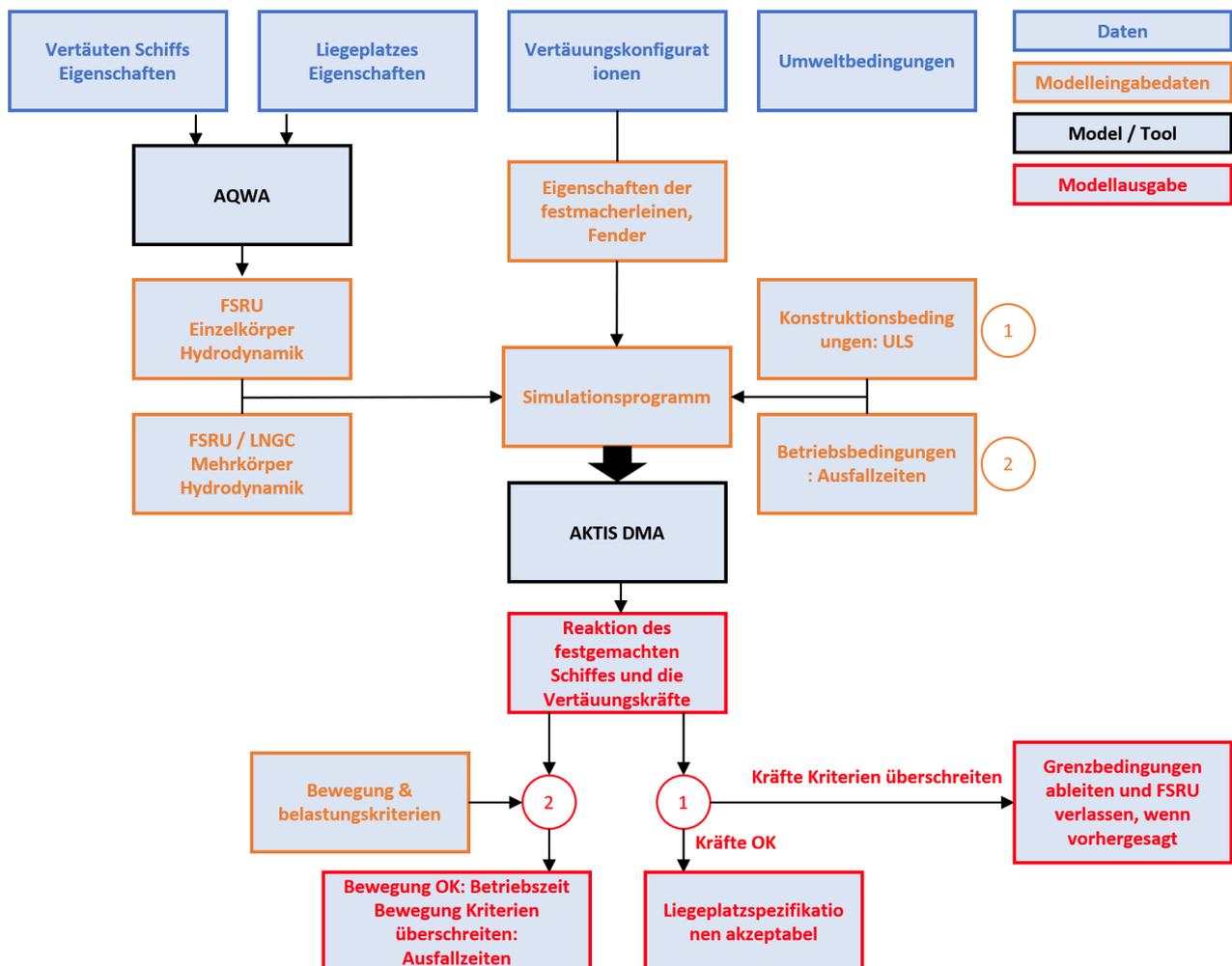


Abbildung 1: Modellierungsansatz für Mooring Studie

Die Modellierung der Schiffe umfasst die hydrodynamischen und hydrostatischen Reaktionseigenschaften des Schiffs (Stabilität, zusätzliche Masse und Dämpfung) sowie die Wellenkräfte 1. und 2. Ordnung, die Windkräfte und die Strömungskräfte, die am Schiff wirken. Die hydrodynamischen Reaktionseigenschaften des Schiffs und die Wellenkräfte werden mit der branchenüblichen Software ANSYS AQWA mit einer 3D-Panel-Methode berechnet. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die Panelisierung in AQWA.

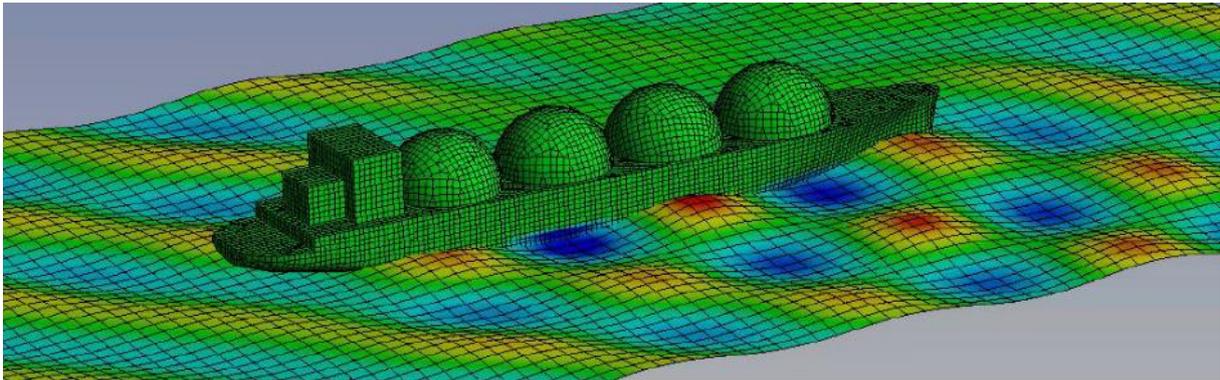


Abbildung 2: Schiffspanelisierung in AQWA (Simulationsprogramm)

14.3.3 Eingabedaten

Die metoceanen Bedingungen am Projektstandort, einschließlich der Extremwertanalyse, sind in „12.01_Bericht über die Umweltbedingungen_2014.07“ beschrieben, siehe Kap „12 Umweltbedingungen und Hydrodynamische Studien“

Daten zur FSRU sind in „14.02_Nautische Risikoanalyse_2018.05“ aufgeführt, vgl. 14.3. Das Schiff wird in der Analyse in Ballast und beladenem Zustand bewertet.

Die Hauptabmessungen der untersuchten anliegenden LNG-Tanker sind in Tabelle 3-5 angegeben. Die Schiffe werden in der Analyse in Ballast (an die beladene FSRU vertäut) und in beladenem Zustand (an die FSRU in Ballast vertäut) bewertet.

Die Anlegerdaten für die Optimierung, Daten zum Vertäusystem wie Dalben, Fender, Schnelllösehaken (Quick Release Hooks) sowie sonstige Bewertungskriterien wie maximal zulässige Bewegungen im Betrieb, maximal zulässige Lasten (Kräfte), Vertäuleinen finden sich im Bericht.

Tabelle 2: Hauptmerkmale des LNG-Tankers in Ballast und beladenem Zustand

Parameter	Einheit		LNG-Tanker m. Membrantank 170 Tsd.		LNG-Tanker m. Kugeltank (Moss) 177 Tsd.		LNG-Tanker m. Membrantank 138 Tsd.	
			in Ballast	beladen	in Ballast	beladen	in Ballast	beladen
Typ			LNGC		LNGC		LNGC	
Kapazität	m ³		170.200		177.200		138.000	
Länge über alles	Lüa	m	299,9		299,9		277	
Länge zwischen den Loten	Lpp	m	288		286		266	
Breite	B	m	45,8		48,9		43,4	
Seitenhöhe bis Hauptdeck	D	m	26		27		26	
Ladezustand in der Studie			in Ballast	beladen	in Ballast	beladen	in Ballast	beladen
Tiefgang für Studie	T	m	9,4	11,6	9,5	11,5	9,6	12,32
Verdrängung	Δ	t	95.150	120.520	92.507	115.752	82.257	108.832
Transversale metazentrische Höhe	GMT	m	7,9	3	11,61	2,88	11,7	2,46
Longitudinale metazentrische Höhe	GML	m	583	507,9	542,9	476,6	462,4	441,6
Trägheitsradius Rollen in der Luft	kxx	m	18,4	14,1	21	16,1	17,4	13,3
Trägheitsradius Stampfen in der Luft	kyy	m	73,6	66,5	65,6	70,2	68,8	61,5
Trägheitsradius Gieren in der Luft	kzz	m	74,5	66,8	67,3	70,2	68,8	61,5
Windabweichung längsschiffs	Awx	m ²	1.655	1.550	2.160	2.063	1.447	1.329
Windabweichung querschiffs	Awy	m ²	7.927	7.290	10.270	9.704	7.122	6.446

14.3.4 Simulationsergebnisse FSRU Vertäuanalyse

Die verbesserte Vertäuungsanordnung ist 4-3-2-3-4-4 (MD2-MD3-BD1-BD4-MD4-MD5);

Bezogen auf die Lasten im Vertäusystem bildet Wind die vorherrschende Kraft. Wellen haben eine geringere Wirkung, die deutlicher ausfällt, wenn die FSRU bei Wasserstand SKN in Ballast ist. Strömungen wirken sich schwächer aus.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit beträgt ausgehend vom normalen Windklima am Projektstandort gemäß der Zeitreihe 0,00 % für ein durchschnittliches Jahr. Die Vertäuung der FSRU hält hundertjährigen Wiederkehrintervallbedingungen für Winde aus 0–180° N und 300–330° N stand, in Kombination mit Wellen und Strömungen. Bezüglich der anderen Windrichtungen gilt:

- aus 210° N begrenzt auf 21 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 20 und 50 Jahren)
- 240° N ist begrenzt auf 21 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 10 und 20 Jahren)
- aus 270° N begrenzt auf 23 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 20 und 50 Jahren)

Die zu erwartende Häufigkeit, mit der die FSRU die Anlegestelle verlassen muss, ist gemäß den ermittelten Zeitreihen einmal alle paar Jahre.

Bewegungen beziehen sich auf absolute Bewegungen der Hochdrucksammelleitung (Steigleitung/Riser) bezogen auf die Ausgangsposition. Alle Simulationsbewegungen liegen innerhalb des geschätzten maximalen Betriebsbereichs von 3 m. Die ermittelte maximale betriebsinduzierte Schnellbewegung der Hochdrucksammelleitung beträgt 1,07 m, ihr maximaler betriebsinduzierter Versatz beträgt 1,08 m.

14.3.5 Simulationsergebnisse Schiff zu Schiff Vertäuanalyse

Ausgehend von der durchgeführten DMA ergeben sich folgende wesentlichen Schlussfolgerungen für den Schiff-zu-Schiff-Betrieb:

Die verbesserte Vertäueinrichtung stellt sich für die verschiedenen LNG-Tanker wie folgt dar:

- FSRU (4-3-2-3-4-4) + LNG-Tanker mit Membrantank 138 Tsd. (3-4-2-2-4-3)
- FSRU (4-3-2-3-4-4) + LNG-Tanker mit Membrantank 170 Tsd. (3-4-2-2-4-3)
- FSRU (4-3-2-3-4-4) + LNG-Tanker mit Kugeltank (Moss) 177 Tsd. (1-6-2-2-4-3)

Bezogen auf die Lasten im Vertäusystem bildet Wind die vorherrschende Kraft. In dieser Simulationsreihe sind die verwendeten Recker jedoch 11 m lang (in früheren Berichten waren es 22 m). Dies macht das Vertäusystem steifer und anfälliger für die auftreffenden Dünungswellen. Dadurch erhöhen sich unabhängig vom Wind die Leinenlasten. Strömungen wirken sich schwächer aus.

Der LNG-Tanker mit 138.000 m³-Membrantank ist am anfälligsten für Dünungswellen, hauptsächlich bei Wasserstand SKN. Zusammen mit Strömungen und Winden aus 30° N überschreiten die Leinenlasten unabhängig von der Windgeschwindigkeit die Grenzkriterien etwas.

Mit dem LNG-Tanker mit 138.000 m³-Membrantank hält das Vertäusystem hundertjährigen metoceanen Bedingungen aus allen Windrichtungen stand, in Kombination mit Wellen und Strömungen in allen Szenarien, außer im Folgenden: FSRU beladen und LNG-Tanker mit Membrantank 138 Tsd. in Ballast bei Wasserstand SKN. Zusammen mit Strömungen und Winden aus 30° N überschreiten die Leinenlasten in diesem Szenario unabhängig von der Windgeschwindigkeit die Grenzkriterien etwas. Das Vertäusystem hält in diesem Szenario hundertjährigen Bedingungen für Winde aus 60–120° N und 180–210° N stand. Bezüglich der anderen Windrichtungen gilt:

- aus 0° N begrenzt auf 18 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,01 % für ein durchschnittliches Jahr.

- aus 150° N begrenzt auf 13 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 240° N begrenzt auf 18 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 270° N begrenzt auf 14 m/s (Wiederkehrintervall unter 1 Jahr) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,43 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 330° N begrenzt auf 20 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,01 % für ein durchschnittliches Jahr.

Mit dem LNG-Tanker 170.000 m³-Membrantank hält das Vertäusystem hundertjährigen Wiederkehrintervallbedingungen für Winde aus 30–210° N und 270–300° N stand, in Kombination mit Wellen und Strömungen. Bezüglich der anderen Windrichtungen gilt:

- aus 0° N begrenzt auf 19 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,01 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 240° N begrenzt auf 20 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,01 % für ein durchschnittliches Jahr
- aus 330° N begrenzt auf 18 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,03 % für ein durchschnittliches Jahr.

Mit dem LNG-Tanker mit 177.000 m³-Kugeltank (Moss) hält das Vertäusystem hundertjährigen Wiederkehrintervallbedingungen für Winde aus 0–180° N stand, in Kombination mit Wellen und Strömungen. Bezüglich der anderen Windrichtungen gilt:

- aus 210° N begrenzt auf 15 m/s (Wiederkehrintervall unter 1 Jahr) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,06 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 240° N begrenzt auf 15 m/s (Wiederkehrintervall unter 1 Jahr) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,17 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 270° N begrenzt auf 14 m/s (Wiederkehrintervall unter 1 Jahr) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,43 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 300° N begrenzt auf 20 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 2 und 5 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,01 % für ein durchschnittliches Jahr.
- aus 330° N begrenzt auf 18 m/s (Wiederkehrintervall zwischen 1 und 2 Jahren) und Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,03 % für ein durchschnittliches Jahr.

Mit Bewegungen sind sowohl die absoluten Bewegungen der Hochdrucksammelleitung in Bezug auf die Anfangsposition gemeint als auch die relativen Spitze-Spitze-Bewegungen von Schlauchanschlussstationen während des Schiff-zu-Schiff-Betriebs. Im Hinblick auf die Hochdrucksammelleitung liegen alle Simulationsbewegungen innerhalb des ermittelten maximalen Betriebsbereichs von 3 m. Die ermittelte maximale betriebsinduzierte Schnellbewegung der Hochdrucksammelleitung beträgt 1,25 m, und ihr maximaler betriebsinduzierter Versatz beträgt 0,98 m. Im Hinblick auf die relativen Schiff-zu-Schiff-Bewegungen liegen alle Simulationsbewegungen innerhalb des ermittelten Betriebsbereichs von 2 m Schnellen und 1 m Versetzen. Die ermittelte maximale betriebsinduzierte Schnellbewegung beträgt 1,68 m, der maximale betriebsinduzierte relative Versatz beträgt 0,91 m.

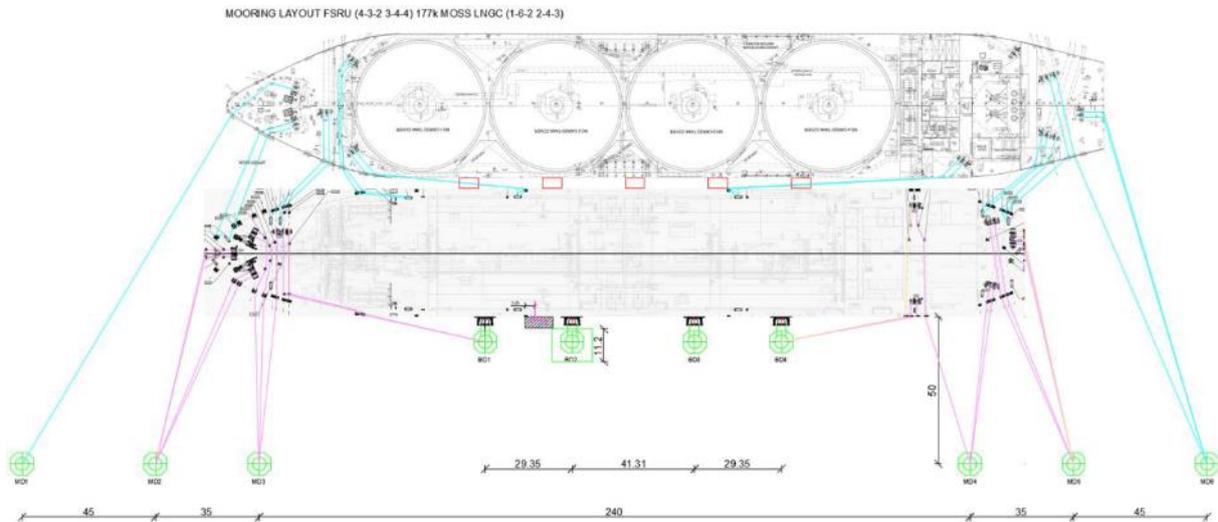


Abbildung 3: Verbessertes Vertäuungslayout für den Schiff-zu-Schiff-Betrieb mit dem 177k-Moss-LNG-Tanker

14.3.6 Auswahl der Quick Release Hooks (QRH) und Fender

Die Auswahl und Dimensionierung der Schnelllösehaken (Quick Release Hooks) und Fender (Pufferelemente zum Schutz der Schiffshülle beim Anlegen) erfolgt gemäß den Normen und gesetzlichen Bestimmungen, vgl. 6.1 zum Bericht.

Die QRH und Fender sind auf eine Dauer von 50 Jahren ausgelegt.

Die Kräfte an den Haken werden über Wägezellen (Kraftmesseinrichtungen) überwacht und im Kontrollraum der FSRU angezeigt und automatisch überwacht.

Weitere Details sind dem Bericht zu entnehmen.

14.3.7 Bemessungslasten beim Vertäuten Schiffen

In der DMA sind gemäß den Richtlinien und Normen wie z.B. OCIMF-Leitlinien MEG4 und EAU 2020 die Bemessungslasten (Kräfte) an den Vertäupunkten und in den Leinen ermittelt worden. Diese Kräfte sind Basis für die Dimensionierung und Auslegung des Anlegers und der Vertäusysteme.

Tabelle 3: Aus der DMA für jede Windrichtung entnommene maximale QRH-Lasten

	Maximale QRH-Lasten [kN]										
	TR	MD1	MD2	MD3	BD1	BD2	BD3	BD4	MD4	MD5	MD6
0 N	100	0	1124	654	109	0	0	843	893	741	0
30 N	100	0	954	628	230	0	0	370	773	772	0
60 N	100	0	942	652	267	0	0	243	685	708	0
90 N	100	0	989	756	442	0	0	39	575	681	0
120 N	100	0	898	716	516	0	0	57	659	781	0
150 N	100	0	829	644	490	0	0	140	918	1039	0
180 N	100	0	876	784	870	0	0	173	1890	2070	0
210 N	20	0	1613	1298	530	0	0	362	2220	2146	0
	100	0	1984	1616	699	0	0	460	2828	2750	0
240 N	10	0	2217	1704	401	0	0	425	2217	2050	0
	100	0	3334	2544	554	0	0	604	3153	2893	0
270 N	20	0	2321	1619	308	0	0	600	1923	1683	0
	100	0	3040	2156	372	0	0	839	2357	1967	0
300 N	100	0	1762	1035	219	0	0	1518	1321	966	0
330 N	100	0	1346	710	90	0	0	1338	960	714	0

Weitere Details können der dynamische Vertäuanalyse entnommen werden.

14.3.8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Auf Grundlage der Ergebnisse aus der DMA wurden die folgenden zentralen Schlussfolgerungen gezogen:

Die endgültigen Vertäuanordnungen sind für die allein liegende FSRU in Abschnitt 4.3 und für die FSRU in Kombination mit LNG-Tanker in Abschnitt 5.2 des Berichts dargestellt.

Die Spezifikationen und Platzierungseigenschaften der Vertäu- und Anlegedalben sind definiert

- Die MDs sind jeweils mit Vierfach-QRH ausgestattet und die äußeren BDs mit Dreifach-QRH.
- Die Nutzlast-Kapazität der Haken beträgt SWL = 150 t.
- Abstände und Positionen der QRH sind bestimmt.
- Der Abstand zwischen mittschiffs, definiert in Längsrichtung bei halber Lpp (Länge zwischen den Loten), und BD2 beträgt 6,41 m.

Bei der DMA wurden richtungsabhängige Extrembedingungen einbezogen. Zur Berücksichtigung des Geländeprofiles (Landrauheit), insbesondere bei Wind aus West und Südwest, wurde die Analyse der Winddaten vom Standort Leuchtturm Alte Weser ausgehend von den Modelldaten auf den Projektstandort übertragen.

Vor der Untersuchung der Bemessungsbedingungen und der Grenzbedingungen für das sichere Verbleiben an der Anlegestelle wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Vertäuanordnung wurde entsprechend verbessert.

Grenzbedingungen für das Vertäusystem wurden ermittelt, sowohl für FSRU als auch die FSRU mit LNG-Tankern.

Nachrichtlich: Bewegungen der Hochdrucksammelleitung sind ermittelt. Die Simulationsbewegungen liegen innerhalb des ermittelten maximalen Betriebsbereichs von 3 m. Im Hinblick auf die relativen Schiff-zu-Schiff-Bewegungen liegen alle Simulationsbewegungen innerhalb des ermittelten Betriebsbereichs von 2 m Schnellen und 1 m Versetzen.

Die TdV wird die Empfehlungen der Dynamischen Vertäustudie beachten:

- Die FSRU muss in der Lage sein, abzulegen, sobald eine Vorhersage der hergeleiteten Grenzbedingungen für das vorhandene Vertäusystem ergeht.
- Der Schiff-zu-Schiff-Betrieb muss eingestellt werden und der angelegte Tanker muss rechtzeitig ablegen, sobald die hergeleiteten Grenzbedingungen vorhergesagt werden.
- Es muss ein funktionsfähiges Vorhersagesystem für Umgebungsdaten (Wind, Wasserstände, Wellen und Strömungen) eingeführt werden, um rechtzeitig handeln zu können, wenn Grenzbedingungen erwartet werden.
- Zur Überwachung der Leinenlasten und damit auch die Vorspannung der Leinen sollte ein entsprechendes System eingerichtet werden. Es sollte stets eine Vorspannung von mindestens 7,5 % MBL (entspricht etwa 9 t Vorspannung) erreicht werden. Mit einer niedrigeren Vorspannung kommt es zu stärkeren Schiffsbewegungen und damit zu einer höheren Last auf das Vertäusystem.
- Sobald die zulässigen Bewegungsbereiche der tatsächlich verwendeten flexiblen Schläuche für die FSRU und zwischen FSRU und LNG-Tanker bekannt sind, sollten die angelegten Bewegungskriterien überprüft werden.
- Das Vertäusystem benötigt einen detaillierten Inspektionsplan: Da die FSRU permanent vertäut ist, unterliegen die Vertäuleinen und Fender einem höheren Risiko von Ermüdungsschäden. Zusätzlich zu den durchzuführenden Inspektionen sollte ein Wartungs- und Austauschplan für das Vertäusystem aufgestellt werden. Ziel ist, sicherzustellen, dass die Komponenten des Vertäusystems nicht zu stark verschleißern und damit weniger belastbar sind.

14.4 Nautische Risikoanalyse

14.4.1 Einleitung und Zielsetzung

Die TdV hat IMDC mit der Erstellung einer nautischen Risikoanalyse beauftragt. Hierin werden die unterschiedlichen nautischen Situationen beschrieben und einer Risikoanalyse unterzogen. Die ermittelten Risiken werden bewertet und es werden Maßnahmen zur Minimierung vorgestellt.

„14.02_Nautische Risikoanalyse_2018.05“

Die Studie zum nautischen Risiko gliedert sich in zwei Teile:

- 1) Verkehrsanalyse zur Quantifizierung des Risikos von Kollisionen und Anfahrungen im Zusammenhang mit der FSRU
- 2) Qualitative Risikobewertung zur Beurteilung der nautischen Risiken.

Ziele der nautischen Risikostudie sind:

- Bewertung des mit der Anfahrt an die FSRU und dem Ablegen von der FSRU verbundenen Risikos mittels einer qualitativen Risikobewertung
- Beurteilung der Wahrscheinlichkeit eventueller Kollisionen zwischen vorbeifahrenden Schiffen und der FSRU
- Unterbreitung von Risikominderungsmaßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des nautischen Betriebs bei Bedarf.

Um die Ziele zu erreichen, wird folgender Ansatz angewandt:

- Bewertung der Fahrtrasse des LNG-Tankers;
- Bewertung der Manöverstrategie des LNG-Tankers;
- Identifizierung von Gefahren (Liste aller relevanten Unfallszenarien samt potenzieller Ursachen und Folgen);
- Risikobewertung (Beurteilung der Risikofaktoren);
- Unterbreitung von Risikokontroloptionen (Ausarbeitung von Regulierungsmaßnahmen zur Kontrolle und Minderung der identifizierten Risiken).

14.4.2 Basisdaten

Als Basisdaten werden u.a. verwendet:

- Bathymetriedaten der Hauptfahrrinnen
- Meteorologisch-ozeanographische Bedingungen
- Schlepperkapazitäten in WHV
- Informationen zu Bestehende Fahrtrassen und Schifffahrtsvorschriften
- Planungsdaten zum Vorhaben (Anleger, Liegewanne, Zufahrt)
- Informationen zur FSRU, den LNG-Tankern
- Historische Daten zu Schiffsbewegungen

14.4.3 Bewertung der Fahrtrasse und der Manöverstrategie des LNG-Tankers

14.4.3.1 Einleitung

Die durchgeführte Bewertung im Hinblick auf das Manöver des LNG-Tankers vom Meer zur geplanten FSRU basiert auf Richtlinien und Gutachten. Zunächst wird der Bedarf an Unterstützung durch Schlepper geschätzt. Darauf folgt eine Bewertung der Fahrtrasse, und zuletzt eine Beurteilung der Einlauf- und Auslaufmanöver über die Tiefwasserfahrrinne.

Die Hilfe von Schleppern ist erforderlich, um seegängige Tanker zu unterstützen, wenn die Geschwindigkeit unter die minimale Manövergeschwindigkeit von rund 4 Knoten fällt. Die Schlepper sind notwendig, um den LNG-Tanker beim Wenden und Anlegen neben der FSRU zu manövrieren. Für Soforthilfe für den LNG-Tanker während des Wendens und Anlegens entlang der Fender der FSRU sind Hochleistungsschlepper erforderlich. Besonders gut geeignet für derartige Hilfsmanöver sind Schlepper mit Azimut-Heckantrieb (ASD), Azimut-Traktorantrieb (ATD) oder Rotortug-Schlepper (Dreifach-Azimut-Antrieb), die mit Render-Recover-Winden ausgestattet sind.

Zum sicheren Manövrieren benötigt das Bemessungsschiff (FSRU) zwei ASD- oder ATD-80-tbp-Leinenschlepper, von denen einer vorne und der andere achtern befestigt ist. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung eines 80-tbp-Rotortug-Leinenschleppers vorne und eines 68-tbp-ASD-Leinenschleppers achtern; dies hat sich auch bei den Simulationen mit dem Schiffsführungssimulator (Full-Mission-Bridge-Simulator) als ausreichend erwiesen.

Nachrichtlich: Der Schlepperdienst in Wilhelmshaven wird von mehreren Marinedienstleistern erbracht. Die im Hafen von Wilhelmshaven derzeit stationierten Schlepper sind unten aufgeführt. Die TdV bzw. die beteiligten Projektpartner sind derzeit in Gesprächen und Verhandlungen zur Erweiterung der Schlepperkapazitäten in Wilhelmshaven.

Tabelle 4: In Wilhelmshaven verkehrende Schlepper

Bezeichnung	Antrieb	Gesamtleistung	Pfahlzug (tbp)	Bugstrahlruder	Max. Tiefgang
Bugsier 3	ATD	2 x 2050 kW	63 Tonnen	-	6,7 m
Bugsier 8	ATD	2 x 2249 kW	72 Tonnen	-	6,2 m
Corvin	ASD	2 x 2030 kW	71 Tonnen	-	5,4 m
Fairplay 31	ASD	5302 kW	90 voraus / 85 rückwärts	1 x 200 kW	6,3 m
Stella	Voith-Schneider	3690 kW	51 Tonnen	-	5,2 m
VB Emoe	Rotortug		Über 90 Tonnen	-	6,1 m
VB Bremen	Voith-Schneider		60 Tonnen	-	5,5 m
RT Pioneer	Rotortug		84/82 Tonnen	-	5,9 m

14.4.3.2 Lotsenpflicht

Schiffe, die unter § 30 Abs. 1 Seeschiffsstraßen-Ordnung (SeeSchStrO, s. u.) fallen, sind verpflichtet, den Revierlotsen bereits im Verkehrstrennungsgebiet „Jade Approach“ (zwischen Feuerschiff „GB“ und Tonne „TG18“) an Bord zu nehmen. Der Lotse erreicht das Schiff auf einem Lotsenversetzboot. Je nach Wetterlage und/oder Anforderung kann der Lotse auch per Hubschrauber versetzt werden. Die Entfernung bei der Versetzung von der Lotsenstation zur FSRU, wie beträgt rund 41 Seemeilen wie in Abbildung 4 gezeigt.

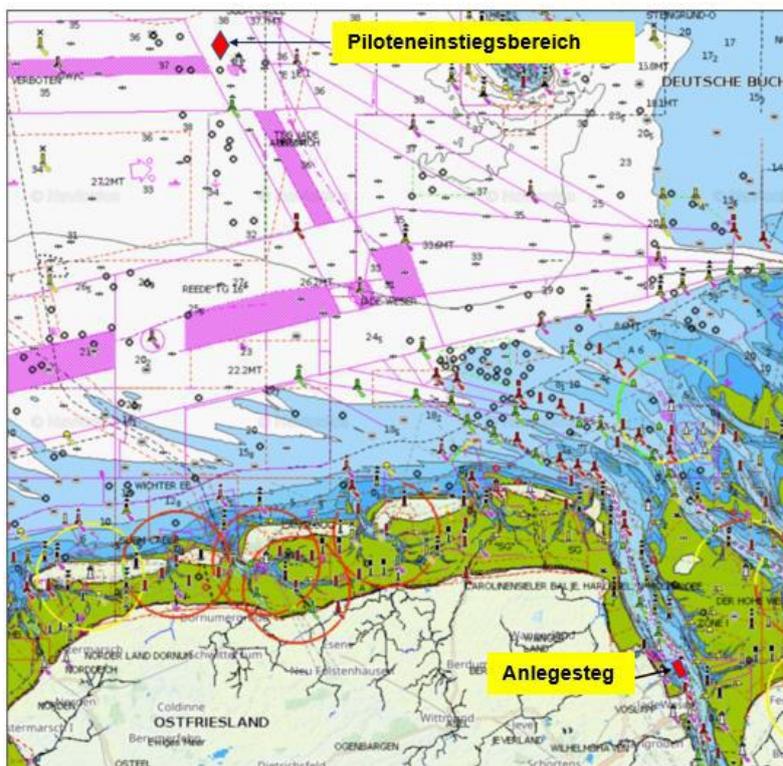


Abbildung 4: Überblick über die Fahrtrasse von der Lotsenstation zum Schiffsanleger

14.4.3.3 Trassenabschnitte

Die Fahrstrecke bis zum Anleger ist in sechs Trassenabschnitte eingeteilt. In der Risikoanalyse werden für jeden einzelnen Abschnitt die nautischen Randbedingungen und die darauf abgestimmte Manöverstrategie beschrieben. Dies beinhaltet u.A. Geschwindigkeit des LNG-Tankers, erforderliche Schlepperanzahl, -Typ und -Leistung, Drehpunkte und Manövrierradien.

Tabelle 5 Trassendetails

Trasse	Wangerooger & Olde-Ooge Rinne Tonne Nummer	Kurs über Grund	Entfernung NM	Min. Breite (m) bei SKN-17,6 m	Kurs über Grund	Radius NM
1	1	130–310°	1,6	300 – 600	014°	1
2	3/4 –15/16	116 - 296°	7,46	300	019°	1
3	15/16 –17/18	097- 277°	0,93	300 - 450	036°	0,9
	Olde-Ooge- Rinne Tonne Nummer					
4	17/18 –19/20	133 – 313°	1,38	660 – 730	032°	1
5	19/20 – 33/34	165 – 345°	6,47	300–430	019°	1
	Schillig-Reede Tonne Nummer					
6	33/34 – 41	146 – 326°	3,67	300	032°	1

14.4.3.4 Anfahrt und Anlegen

Der LNG-Tanker fährt aus südöstlicher Richtung an die FSRU heran. Alle vier Schlepper sind untereinander verbunden. Der LNG-Tanker wird in einem Abstand von etwa einer Schiffsbreite parallel zur FSRU über Grund angehalten.

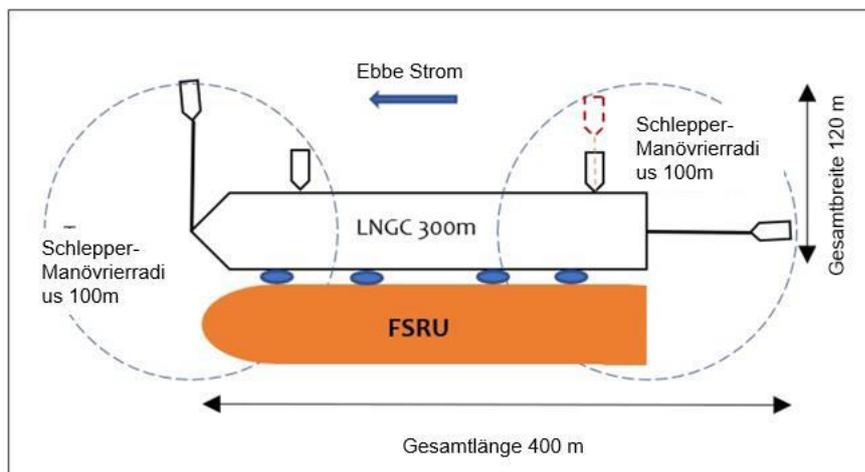


Abbildung 5: Schlepperkonfiguration beim Anlegen im Hafen entlang der FSRU in Ebttide

14.4.4 Methodik zur nautischen Risikobewertung

14.4.4.1 Einleitung

Die Risikobewertung erfolgt in Anlehnung zu Richtlinien der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO) für formelle Risikoabschätzungen (formal safety assessment FSA). Innerhalb einer FSA werden alle möglichen Gefahren strukturiert und systematisch identifiziert und bewertet. Das Verfahren besteht im Wesentlichen aus fünf Schritten:

1. Identifizierung von Gefahren (Liste aller relevanten Unfallszenarien samt potenzieller Ursachen und Folgen),
2. Risikobewertung (Beurteilung der Risikofaktoren),
3. Risikokontrolloptionen (Ausarbeitung von Regulierungsmaßnahmen zur Kontrolle und Minderung der identifizierten Risiken),
4. Kosten-Nutzen-Bewertung (Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Risikokontrollmaßnahmen) und
5. Empfehlungen für die Entscheidungsfindung (Informationen über die Gefahren, die damit verbundenen Risiken und die Wirtschaftlichkeit alternativer Risikokontrollmaßnahmen).

Die Studie konzentriert sich auf die Risiken des LNG-Tankers, die mit dem Fahren von der und zur FSRU verbunden sind, und auf die Risiken von Kollisionen vorbeifahrender Schiffe mit der FSRU. In der vorliegenden Studie wurden die ersten drei FSA-Schritte durchgeführt, also eine Identifizierung von Gefahren, eine Risikobewertung und eine Evaluierung der Risikokontrolloptionen.

Nachrichtlich: Sicherheitsbetrachtungen und Risikoabschätzungen beim Betrieb der FSRU einschließlich dem Beladen von LMG sind Bestandteil des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens.

14.4.4.2 Risikobewertung

Nach der Gefahrenidentifikation (HAZID) wurde eine Zuordnung der Häufigkeit ihres Eintretens vorgenommen. Zudem wurde die Schwere der Folgen bewertet. Mit der Häufigkeit und den Folgen lässt sich das Risiko bestimmen, das aus einer Gefahr herrührt. Die Einstufung der Gefahren erfolgte gemäß IMO- und PIANC-Richtlinien nach Häufigkeits- und Folgenklassen wie nachfolgend dargestellt.

Tabelle 6: Häufigkeitsklassen der Gefahren

A	B	C	D
In der Branche aufgetreten	Im Unternehmen aufgetreten oder mehr als einmal jährlich in der Branche	Am Standort aufgetreten oder mehr als einmal jährlich im Unternehmen	Mehr als einmal jährlich am Standort aufgetreten

Tabelle 7: Folgenklassen je Gefahrentyp

Schwere	Menschen	Sachen	Umwelt	Ruf
0	Keine Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Kein Schaden	Keine Beeinträchtigung	Keine Schädigung
1	Geringfügige Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Geringfügiger Schaden	Geringfügige Beeinträchtigung	Geringfügige Schädigung
2	Kleinere Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Kleinerer Schaden	Kleinere Beeinträchtigung	Begrenzte Schädigung
3	Größere Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Lokaler Schaden	Lokale Beeinträchtigung	Beträchtliche Schädigung
4	Einzelner Todesfall	Größerer Schaden	Größere Beeinträchtigung	Größere nationale Schädigung
5	Mehrere Todesfälle	Beträchtlicher Schaden	Erhebliche Beeinträchtigung	Erhebliche internationale Schädigung

Nachdem die beiden Skalen für Häufigkeit und Folge (Schwere) definiert sind, können die verschiedenen Szenarien ausgewertet und in einer Matrix veranschaulicht werden. Anschließend werden die wichtigsten identifizierten Risiken eingehend untersucht, um Risikominderungsmaßnahmen zu ergreifen.

Tabelle 8: Matrix zur qualitativen Risikobewertung

Folge					Zunehmende Wahrscheinlichkeit			
Schwere	Menschen	Sachen	Umwelt	Ruf	A	B	C	D
0	Keine Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Kein Schaden	Keine Beeinträchtigung	Keine Schädigung	Für kontinuierliche Verbesserung sorgen			
1	Geringfügige Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Geringfügiger Schaden	Geringfügige Beeinträchtigung	Geringfügige Schädigung				
2	Kleinere Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Kleinerer Schaden	Kleinere Beeinträchtigung	Begrenzte Schädigung				

3	Größere Verletzung oder gesundheitliche Folgen	Lokaler Schaden	Lokale Beeinträchtigung	Lokale Schädigung		Risikomindernde Maßnahmen einbeziehen	
4	Einzelner Todesfall	Größerer Schaden	Größere Beeinträchtigung	Größere nationale Schädigung			
5	Mehrere Todesfälle	Beträchtlicher Schaden	Erhebliche Beeinträchtigung	Erhebliche internationale Schädigung		Screening-Kriterien verfehlt	

Die in der Matrix dargestellten Farben werden in der Risikobewertung mittels der Risk Assessment Matrix (RAM) in der Studie verwendet. Für Risiken mit der Einstufung „gelb“ (mittel) werden risikomindernde Maßnahmen beschrieben. Hohe Risiken (rot) wurden keine festgestellt.

14.4.5 Gefahrenidentifikation (HAZID)

Die Risikoanalyse wurde für folgenden, wesentliche Manöverschritte durchgeführt:

- A. Fahrt vom Lotseneinstieg zum Jadezugang
- B. Versetzung durch Jade/Fahrinne
- C. Wenden
- D. Anfahrt an Liegeplatz
- E. Anlegen an FSRU
- F. Ablegen und Klarmachen der FSRU
- G. Risiko einer Anfahrt durch vorbeifahrende Schiffe beim Anlaufen des Anlandeterminals 2 der HES bzw. beim Verlassen

Die in der HAZID (Hazard Identification) ermittelten Gefahren sind tabellarisch dargestellt. Mögliche Ursachen, Folgen beim Eintritt und Minderungsmaßnahmen sind aufgeführt. Tabelle 9 zeigt ein Beispiel für Manöverschritt D.

Tabelle 9: HAZID für Anfahrt an den Liegeplatz

Nr.	Art des Versagens	Ursache	Folge	Minderung
D1	Position und Bewegung nicht gut unter Kontrolle	Fehleinschätzung verfügbarer Informationen Verlust der Lagekenntnis	Abseits vorgesehener Trasse zur FSRU-Position	Zu vorgesehener Position zurückkehren Schiffsposition und -geschwindigkeit überwachen. PPU-Prognosemodus verwenden
D2	Schlepperausfall	Schlepper nicht unter Kontrolle	Schlepper kann nicht unterstützen	Anfahrtsmanöver abbrechen und an sicheren Ort fahren Anmerkung: Schlepper müssen wie ausgelegt

D3	Brechen der Schleppleine	Hohe Belastung auf Schleppleine	Schlepper kann nicht unterstützen	Anfahrt abbrechen. Schlepperkapitän schulen. Anmerkung: Unwahrscheinlich bei ASD-Schleppern (Schleppleine an Spannwinde)
D4	Versagen der Schlepperkommunikation	Keine Funkverbindung mit Schleppern.	Keine Kommunikation	Ersatzvorrichtung oder Schiffspfeife verwenden
D5	Instrumentenausfall	Technisches Versagen	Verlust der genauen Positionsbestimmung Abseits vorgesehener Trasse	Verfügbare Geräte verwenden, tragbares Gerät des Lotsen oder ECDIS. Falls nicht präzise, Vorgang abbrechen
D6	Ausfall des Hauptmotors/-ruders	Technisches Versagen	Schiff nicht unter Kontrolle	Manöver abbrechen und an sicheren Ort fahren. Schiff unter Schlepperkontrolle

14.4.6 Risk Assessment Matrix (RAM)

Für alle in der HAZID ermittelten Gefahren erfolgt die Einstufung der Einzelrisiken gemäß der oben beschriebenen Methode. Die Darstellung erfolgt tabellarisch in einer Risk Assessment Matrix. Nachfolgend ein Beispiel für Wenden, Anfahrt zum Liegeplatz und Anlegen.

Tabelle 10: Risikobewertungsmatrix für Wenden, Anfahrt zum Liegeplatz, Anlegen

Nr.	Art des Versagens	Wahrscheinlichkeit	Menschen	Sachen	Umwelt	Ruf	Punktzahl
C1	Wenden zu früh oder zu spät eingeleitet	C	0	2	2	2	
C2	Positionierungs- oder Orientierungsfehler	C	0	2	2	2	
C3	Brechen der Schleppleine vorwärts/achtern	A	3	2	2	2	
C4	Schlepperausfall	A	1	2	2	2	
C5	Versagen der Schlepperkommunikation	A	0	1	1	1	
C6	Instrumentenausfall	A	0	0	0	0	
C7	Ausfall des Hauptmotors/-rulers	A	1	3	3	2	
D: Anfahrt an Liegeplatz							
D1	Position und Bewegung nicht gut unter Kontrolle	B	0	4	3	3	
D2	Schlepperausfall	A	1	3	3	3	
D3	Brechen der Schleppleine	A	1	2	2	2	
D4	Versagen der Schlepperkommunikation	A	0	1	1	0	
D5	Instrumentenausfall	A	0	0	0	0	
D6	Ausfall des Hauptmotors/-rulers	A	1	3	3	2	
E: Anlegen							
E1	Position und Bewegung nicht gut unter Kontrolle	B	0	4	3	3	
E2	Ausfall des Seitenschleppers	B	0	2	2	1	
E3	Ausfall des Schleppers an der Schleppleine	A	0	3	3	3	
E4	Schlepp- oder Schiffsleine im Propeller	B	0	3	3	2	
E5	Ausfall des Leinenwerfers (Vertäuboot nicht betriebsbereit)	A	0	1	1	1	
E6	Versagen der Schlepperkommunikation	A	0	1	1	0	
E7	Versagen von Winden oder Leinen	A	0	1	1	0	

Als größte Risiken wurden identifiziert:

1. Position abseits der Trasse aufgrund von Wind/Strömung/Wellendrift während Versetzung durch Fluss (B3);
2. Positionierungs- oder Orientierungsfehler beim Wenden des LNG-Tankers (C2);
3. Schlechte Positions- und Bewegungskontrolle beim Anlaufen des FSRU-Liegeplatzes (E1);
4. Verfangen der Schlepp- oder Schiffsleine beim Anlegen im Propeller (E4).

Diese Risiken und mögliche Minderungsmaßnahmen werden in Abschnitt 6 in „14.02_Nautische Risikoanalyse_2018.05“ näher erörtert.

14.4.7 Kollisionsrisikoanalyse

14.4.7.1 Einleitung und Methodik

Die Errichtung von Offshore-Anlagen und dauerhaft vertäuten Anlagen, wie einer FSRU, die sich in stark befahrenen Schiffsverkehrsregionen wie Küstennähe oder Häfen befinden, macht eine quantitative Kollisionsrisikoanalyse erforderlich. Die FSRU in Wilhelmshaven wird möglichen Driftkollisionen oder Kollisionen unter Motor durch vorbeifahrende Schiffe ausgesetzt sein. Daher wird eine probabilistische Kollisionsrisikoanalyse durchgeführt. Dies erfolgt unter Verwendung des für FSRUs genutzten Softwaretools IWRAP MKII kombiniert mit einer Datenbank mit automatischem Identifikationssystem (AIS). Das Programm IWRAP ist ein Modellierungstool, das für die maritime Risikobewertung verwendet wird. Hiermit lässt sich die Häufigkeit von Kollisionen und Grundberührungen in einer bestimmten Wasserstraße abschätzen, basierend auf dem anzutreffenden Verkehrsaufkommen, der Route und der Bathymetrie. Betrachtet werden:

1. Kollision unter Motor
 - Schiffe, die den üblichen und direkten Schifffahrtswegen folgen. Aufgrund der Ungenauigkeit ihrer Navigation und/oder der zur Verfügung stehenden meteorologischen und hydrologischen Daten weisen Schiffe, die einen bestimmten Kurs verfolgen, eine gewisse laterale Verteilung auf.
 - Schiffe, denen es nicht gelingt, ihren Kurs an einem Wegpunkt zu ändern
2. Driftkollision
 - Zu einer Driftkollision kann es kommen, wenn bei einem Schiff der Antrieb oder die Steuerung ausfällt, und das Schiff unter dem Einfluss von Wind und Wellen auf die FSRU zutreibt.
 - Derartige Kollisionen treten am wahrscheinlichsten bei Extremwetterverhältnissen auf.

Tabelle 11: Driftparameter

Parameter		Werte von der IALA
Stromausfall-Häufigkeiten	Ro/Ro-Transporte und Passagierschiffe	0,1 pro Jahr
	Sonstige Schiffe	0,75 pro Jahr
Driftgeschwindigkeit		1,00 Knoten
Ankerwahrscheinlichkeit		0,7

14.4.7.2 Schiffsverkehrsanalyse

Die Schiffsverkehrsdaten, die als Input für die Schiffsverkehrsanalyse verwendet werden beruhen auf AIS-Daten. Bei der Verkehrsmodellierung wird die zeitliche und räumliche Verkehrsverteilung zu einer gedachten Mittellinie von Trassenabschnitten mathematisch beschrieben. Mittels von statistischen Methoden werden Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte Kollisionsereignisse berechnet.

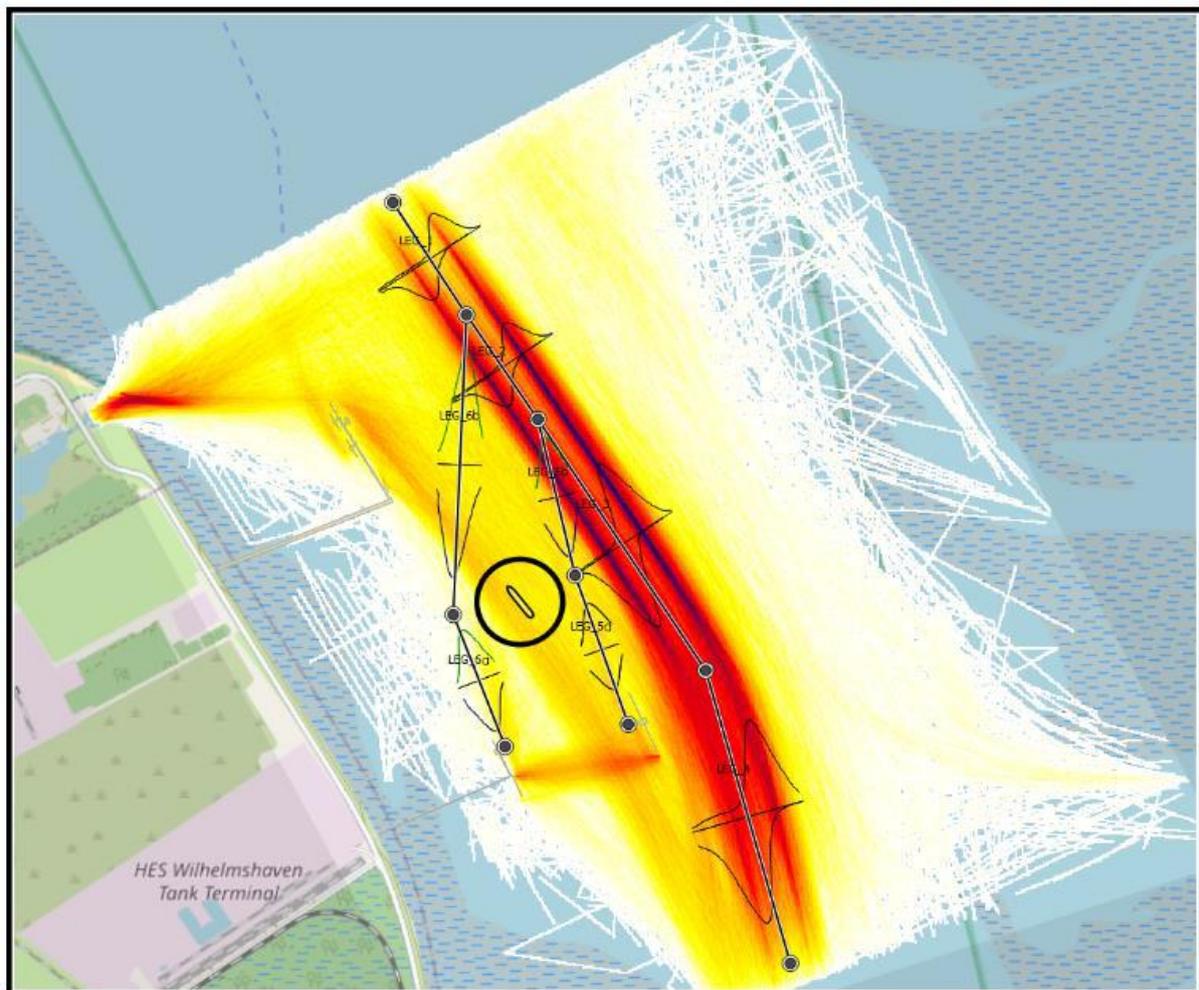


Abbildung 6: Identifizierte Routen und deren Verkehrsverteilung

14.4.7.3 Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der Kollisionsrisikoanalyse für die vorgesehene FSRU und das Eindringrisiko eines Schiffes in die Sperrzone (300-m-Umkreis) sind im Bericht beschrieben. Diese Wahrscheinlichkeiten wurden unter der Annahme berechnet, dass keine Risikominderungsmaßnahmen umgesetzt sind. Insofern handelt es sich um konservative Schätzungen. Das Hauptrisiko einer Kollision mit der FSRU geht von driftenden Schiffen aus und beträgt 0.00213 Vorfälle/Jahr was einem Wiederholungswert von ca. 470 Jahren entspricht.

Derartige driftende Schiffe gehören hauptsächlich zu den Kategorien der Unterstützungsschiffe und der sonstigen Schiffe. Diese beiden Schiffstypen machen ca. 73 % des geschätzten Risikos von Kollisionen mit der FSRU aus.

Gemäß der Häufigkeitsanalyse besteht im Untersuchungsgebiet ein geringes Risiko einer Kollision eines Schiffes mit der FSRU. Verkehr zwischen dem künftigen Anlandeterminal und der Küste sollte ausschließlich außerhalb der Sperrzone stattfinden

14.4.8 Empfehlungen und Fazit

14.4.8.1 Empfehlungen

Die Empfehlungen der nautischen Risikoanalyse werden von der TdV bei der Planung und dem Betrieb berücksichtigt und umgesetzt:

- Verpflichtende Verwendung eines tragbaren Lotsengeräts (PPU) während Fahrwasserversetzungen und Wendemanövern. PPU's sind unabhängige Quellen für Navigationsdaten. Die Verwendung dieser Geräte bietet den Lotsen nicht nur zusätzliche Informationen, sondern kann auch zur Verbesserung der Sicherheits-, Effizienz- und Betriebsparameter beitragen.
- Die Praktik der Passagenplanung muss angewandt werden. Schulungen in Marine Resource Management (MRM bzw. BRM) tragen zu optimaler Brückenkommunikation und -management bei.
- Verpflichtende Verwendung eines tragbaren Lotsengeräts (PPU) während Liegeplatzanfahrten und Anlegemanövern. Der „Docking“-Modus der PPU verbessert die Übersicht über das Anfahren der und Anlegen an der FSRU.
- Den Lotsen müssen genaue Strömungs- und Wetterinformationen vorliegen. Für die Liegeplatzanfahrten und Anlegemanöver könnte es auch eine Option sein, die FSRU mit einem Anlegehilfssystem mit Echtzeitinformationen auszustatten.
- Während des Anlegemanövers sollte der Motor bei Strömung von achtern nicht im Rückwärtsgang laufen. Zum Anhalten des LNG-Tankers während des Anlegens über Grund muss der Heckschlepper verwendet werden.
- Verkehr zwischen dem künftigen Anlandeterminal und der Küste sollte möglichst untersagt werden. Zumindest darf er nur außerhalb der Sperrzone stattfinden. Schiffe, die das innere Anlandeterminal 2 der HES mithilfe von Schleppern anlaufen, müssen an diesen befestigt sein, bevor sie die Sperrzone um die FSRU bzw. den LNG-Tanker passieren

14.4.8.2 Fazit

Angesichts der vorgenannten Minderungsmaßnahmen sind die verbleibenden Risiken „so niedrig, wie vernünftigerweise praktikabel“ (As Low As Reasonably Practicable, ALARP).

14.5 Nautitec Echtzeitsimulationsfahrt

14.5.1 Einleitung

In Abstimmung mit dem WSA hat die TdV weitere Echtzeitsimulationen beauftragt. Zu diesem Zweck wurde eine Simulation am Schiffsführungssimulator der Nautitec GmbH & Co.KG in Leer durchgeführt, um die Planungen für das Anlaufen des neuen Liegeplatzes für die FSRU und später für LNG-Tanker bis zur Q-Max Größe auf ihre Realisierbarkeit und Zweckmäßigkeit hin zu überprüfen.

Aufgrund der Lage der benachbarten Terminals von Vynova und HES war auch zu prüfen, ob die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs von- und zu diesen Anlagen durch das beantragte Vorhaben gestört werden.

„14.03_Nautitec Präsentation Simulationsläufe Final“

„14.04_Nautitec Abschlussbericht Simulationen“

14.5.2 Studie 2020

Im Zuge einer vorangegangenen Studie für ein FSRU-Projekt in unmittelbarer Nähe wurden am 11.06.2020 vier Simulationsläufe bezüglich des Befahrens des Jade Reviers mit LNG-Tankern durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

Die für ein Befahren der Jade auch mit Tankern der Größenordnung Q-Max notwendigen Voraussetzungen sind bereits jetzt vollumfänglich gegeben. Ein zusätzlicher Ausbau der Seeschiffahrtstraße wäre nicht erforderlich.

Ein zweischiffiger Begegnungs- und Überholverkehr erscheint grundsätzlich möglich, wobei für die Umfahrung von Minsener Oog gewisse Beschränkungen bereits jetzt bestehen.

Die hier gewonnenen Erkenntnisse haben sich in der Praxis nach Bericht des WSA Wilhelmshaven und der Lotsen der Lotsenbrüderschaft Weser 2/Jade bestätigt. Aus diesem Grund kann die erneute Betrachtung der Problematik im Detail für den vorliegenden Bericht entfallen.

14.5.3 Studie im Februar 2023

Im Februar 2023 wurden an 5 weiteren Tagen insgesamt 34 Simulationsläufe durchgeführt. Hierbei wurden bei unterschiedlichen Wetterlagen und Stromverhältnissen folgende Szenarien simuliert:

- An- und Ablegemanöver mit der FSRU
- An- und Ablegemanöver von LNG-Tankern an der FSRU
- Notmanöver (Maschinenausfall, Schlepperausfall)
- Evakuierung der FSRU Richtung Deutsche Bucht bei extremer Wetterlage

Hierzu wurde das Seegebiet der Jade im Schiffsführungssimulator des Auftragnehmers entsprechend den Vorgaben der TdV und mittels Peilplänen des WSA neugestaltet.

Ergebnisse:

Die durchgeführte Simulation bestätigt die grundsätzliche Machbarkeit des beantragten Vorhabens.

- Erwartungsgemäß verliefen die Läufe mit FSRU und Q- Max zur FSRU sicher und leicht.
- Die Verlegung der Zufahrt zu den Anlegern der HES (2 & 3) ist problemlos machbar.
- Manöver zur HES 1A sind problemlos durchführbar.

- Der zurzeit benutzte Zufahrtskorridor zu den Anlagen HES 2 & 3 verschiebt sich in Richtung des Vynova- Anlegers. Die Durchfahrt ist in der geplanten Konfiguration unter Beachtung der jeweiligen Sicherheitszonen jederzeit möglich.
- Infolge der Praxis, große LNG- Tanker jeweils 2 Stunden vor Hochwasser durch die Hafenslots anzunehmen werden Fragestellungen hinsichtlich der Verfügbarkeit einer genügenden Anzahl von Schleppern in Wilhelmshaven aufgeworfen. Es entstehen zeitgleiche Reedezeiten mit Anläufen zum Anleger der Firma UNIPER
- In der Praxis werden keine Anlegemanöver bei Ebbstrom durchgeführt. Dennoch wurden solche Fälle im Sinne von „Worst-Case-Szenarien“ in der Simulation durchgeführt.
- Die Auslegung des Mooringssystems auf dem geplanten Schiffsanleger sieht ein Evakuieren des Liegeplatzes durch die FSRU bei Windstärken von Bft 9 – 10 vor. Eine Evakuierung in Richtung Deutsche Bucht mit der kritischen Umfahrung von Minsener Oog sollte durch ein Ankern in Nähe des Anlegers ersetzt werden.
- Es wird empfohlen, die jetzige Fahrwassertonne 41 zu verlegen und als Tonne 39 neu auszulegen.
- Die vor dem HES-Anleger 2 & 3 liegende Kardinaltonne stellt kein Hindernis für die durch den Bau des Anlegers für die FSRU veränderte Manöverstrategie dar.
- Die verbliebene Tonne zur Kennzeichnung einer Muschelbank in der Nähe des Vynova-Anlegers sollte in Form einer Leuchttonne erhalten werden, da sie den Lotsen als optischer Orientierungspunkt dient.
- Die Kennzeichnung des geplanten Anlegers wird in einem noch vorzulegenden Beleuchtungskonzept näher erläutert. Da im Gegensatz zur Vynova die Anlage beiderseitig umfahren wird, wird schon jetzt die Installation eines Nebelsignals empfohlen. Ein entsprechender Entwurf zur Kennzeichnung der Anlage findet sich in der Studie.

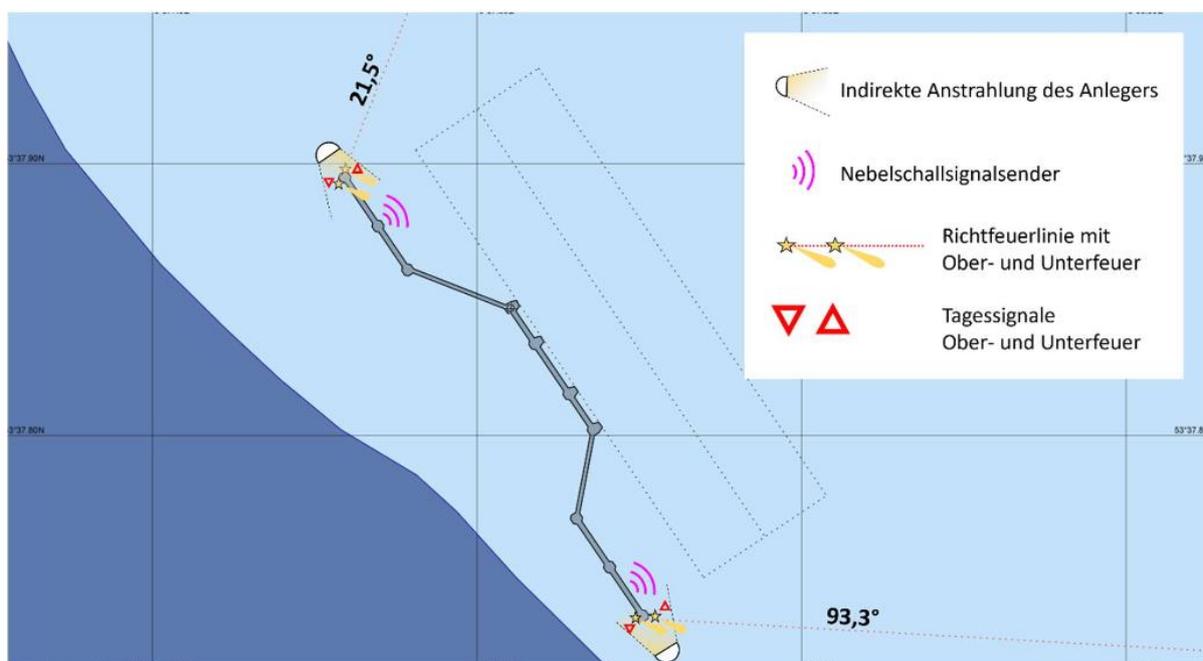


Abbildung 7: Vorschlag für ein Beleuchtungskonzept

Tag 2 – Lauf 6a - Einlaufen

Pilot

1 2 3 4 5

Tug master

1 2 3 4 5

Q-max (Länge 360m, Tfg: 12,10m)

Schiff LNG 13

Evaluation	
Laufzeit	00:40
Ergebnis plausibel	ja
Übungsziel erreicht	ja
Limit	nein

Umweltbedingungen	
Wind	ESE 6/7 (30kn)
Strom	343° 0,2 kn
Tide	Start 3,0m
Wellenhöhe	Windsee: 0,2m Schwell: -

Schlepperkonfiguration (80%)		Kriterien	
Vorschlepper	Rotor 1 (BP 80t)	Ausgerichtet	75m
Achterschlepper	ASD 7 (BP 67t)	Kursdifferenz	1°
Autotugs	ASD 2 (BP 80t)	Annäherung	0,1 kn

Anmerkungen:
 Maschine Q- Max läuft zeitweilig auf 80%, Lotsen raten 4 wegen des Maschineneinsatzes.
 Bug verlässt zeitweilig den Einlauftrichter.

Abbildung 8: Beispiel 1 Nautitec Simulationsfahrt

Tag 3 – Lauf 9a

Pilot

1 2 3 4 5

Tug master

1 2 3 4 5

Kvaerner Moss

Schiff LNG 1

Evaluation	
Laufzeit	00:38
Ergebnis plausibel	ja
Übungsziel erreicht	nein
Limit	nein

Umweltbedingungen	
Wind	ESE 6/7 (30kn)
Strom	350° 0,2 kn
Tide	Start 3,0m
Wellenhöhe	Windsee: 0,2m Schwell: -

Schlepperkonfiguration (80%)		Kriterien	
Vorschlepper	Rotor 1 (BP 80t)	Ausgerichtet	75m
Achterschlepper	ASD 7 (BP 67t)	Kursdifferenz	1°
Autotugs	ASD 2 (BP 80t)	Annäherung	0,1 kn

Anmerkungen:
 Anlaufgeschwindigkeit mit 9kn zu hoch; Schiff teils außerhalb des Anlauftrichters.
 Ebbmanöver sind nicht empfehlenswert.

Abbildung 9: Beispiel 2 Nautitec Simulationsfahrt

Tag 3 – Lauf 19, Ablegen HES 2

Pilot

1 2 3 4 5

Tug master

1 2 3 4 5

Chemikalentanker (150m T=8,5m)

Schiff

Evaluation

Laufzeit	00:24
Ergebnis plausibel	ja
Übungsziel erreicht	ja
Limit	nein

Umweltbedingungen

Wind	W 8 (38kn)
Strom	163° 2,5 kn
Tide	Start 3,0m
Wellenhöhe	Windsee: 0,2m Schwell: -

Schlepperkonfiguration (80%)		Kriterien	
Vorschlepper	Rotor 1 (BP 80t)	Ausgerichtet	75m
Achterschlepper	ASD 7 (BP 67t)	Kursdifferenz	1°
Autotugs	nil	Annäherung	0,1 kn

Anmerkungen:
Stromrichtung und -Stärke nach Angabe der Lotsen, da in der Praxis abweichend von der Datenbank der BAW!
Fahrtreduzierung in Höhe Kardinaltonne um den Windeinfluß besser beurteilen zu können.
Grounding Effekte des Simulators trotz ausreichender Wassertiefe (nicht relevant für die Auswertung).
Außergewöhnlich großes Fahrzeug für die HES 2 Anlage. Verhalten etwas schwerfälliger im Verhalten als erwartet.

Abbildung 10: Simulation Zufahrt zum HES Anleger 2/3

Impressum

WASSERRECHTLICHER PLANFESTSTELLUNGSANTRAG
FÜR DIE ERRICHTUNG EINES FSRU-SCHIFFSANLEGERS
MIT LIEGEWANNE UND ZUFAHRTBEREICH
LNG VOSSLAPPER GRODEN NORD 2
TEIL B - ANTRAGSUNTERLAGEN
14 NAUTISCHE STUDIEN UND RISIKOBEWERTUNG

AUFTRAGGEBER
FSRU Wilhelmshaven GmbH

AUTOR
Georg Fank (extern)

DATUM
19. September 2023

Über Arcadis

Arcadis ist das führende globale Planungs- und Beratungsunternehmen für die natürliche und die vom Menschen gestaltete Umwelt. Durch die weltweite Bündelung von lokalem Wissen und die Kombination unserer Expertise mit neusten digitalen Errungenschaften erzielen wir herausragende und nachhaltige Ergebnisse für unsere Kunden und deren Abnehmer. Wir sind 36.000 Menschen, die in mehr als 70 Ländern tätig sind und einen Umsatz von 4,2 Milliarden Euro erwirtschaften (basierend auf Pro-forma-Zahlen für das gesamte Jahr 2021). Wir unterstützen UN-Habitat mit Wissen und Expertise, um die Lebensqualität in schnell wachsenden Städten auf der ganzen Welt zu verbessern.

www.arcadis.com

Arcadis Germany GmbH

EUREF-Campus 10
10829 Berlin
Deutschland

T 030 767585900