

LNG FSRU Import Terminal Wilhelmshaven

Abschluss Bericht (Version 2.0)



Nautitec, Leer, März 2023

erstellt im März 2023 durch:

Dipl. Wirtschafts-Ing. Kapitän Georg Haase

Prof. Kapitän Rudolf Kreuzer

Kapitän Andreas Schneider

Team NAUTITEC - Freunde der Simulation 😊

Inhaltsverzeichnis

0	PROJEKTZUSAMMENFASSUNG	10
1	AUFGABENBESCHREIBUNG	11
2	RAHMENBEDINGUNGEN	16
2.1	Simulationsaufbau	16
2.2	Verwendete LNG - Schiffsmodelle	19
2.2.1	FSRU	19
2.2.2	LNG-Tanker (Kvaerner Moss)	23
2.2.3	LNG-Tanker (Q-Max)	29
2.2.4	Bewertung der Schiffsmodelle anhand der Simulationsläufe	35
2.2.5	Manövrierverhalten der LNG-Tankschiffe während der Simulationsläufe	35
2.3	Schlepper und Schleppermanöver	36
2.3.1	Simulation mit Schleppern	37
2.3.2	Modelle mit 3 Freiheitsgraden	37
2.3.3	Modelle mit 6 Freiheitsgraden	38
2.3.4	Verwendete Schleppertypen	39
2.3.5	Bestimmung des notwendigen Pfahlzuges	45
2.4	Pfahlzug	46
2.4.1	Schlepper im Push / Pull Modus	46
2.4.2	Drehpunktlage des Schiffes beim Schleppen	48
2.4.3	Schlepperversorgung in Wilhelmshaven	49
2.5	Umweltmodell	50
2.5.1	Das Seegebiet der Jade im Bereich Heppenser Rinne	50
2.5.2	Liegeplatz der FSRU	52
2.5.3	Die Jade	55
2.5.4	Vorherrschende Windrichtungen und Windstärken auf der Jade	57
2.5.5	Vorherrschender Seegang auf der Jade	61
2.5.6	Gezeitenverhältnisse auf der Jade	63
2.6	Betrachtung der auftretenden Kräfte	66
2.6.1	Einfluss des Windes auf das Verhalten des Schiffes	66
2.6.2	Einfluss des Stromes auf das Verhalten des Schiffes	70
2.6.3	Einfluss Seegangs auf das Verhalten des Schiffes	71
2.6.4	Räumlicher Manöverbedarf (Swept Beam)	72
3	BEFAHREN DES REVIERS JADE	74
4	ERGEBNISSE DER SIMULATIONS-LÄUFE	76
4.1	Versuchsläufe	76

4.2	Laufliste	77
4.3	Kriterien für die Evaluierung der Simulationsläufe	78
4.3.1	Annäherungsgeschwindigkeit, Ausrichten und Abstand	79
4.4	Anlegen von LNG – Tankern an die FSRU	80
4.4.1	Ausrichten des Schiffes zur Pier in einem sicheren Abstand	82
4.4.2	Annäherungsgeschwindigkeit an die FSRU.....	82
4.4.3	Räumlicher Manöverbedarf.....	83
4.5	Ablegen von LNG – Tankern von der FSRU.....	84
4.5.1	Traversieren Richtung See bis zu einem sicheren Abstand	84
4.5.2	Räumlicher Manöverbedarf.....	85
4.6	Ausfall von Manövriereinrichtungen oder Schlepper beim Anlegen von LNG – Tankern.....	86
4.6.1	Ausfall des Vorschleppers.....	87
4.6.2	Ausfall von Manövriereinrichtungen des LNG - Tankers	89
4.7	Anläufe zu den Anlegern HES 1A und HES 2	90
4.7.1	Anleger HES 1A	90
4.7.2	Anleger HES 2	90
4.8	Aufweitung der Zufahrt zum Terminal	91
5	EVAKUIERUNG DER FSRU BEI EXTREMEN WETTERBEDINGUNGEN.....	92
5.1	Evakuierung der FSRU von der Pier.....	93
5.2	Evakuierung der FSRU nach See.....	93
6	EMPFEHLUNG ZUR VERLEGUNG DER TONNE 41	94
7	ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE	95
7.1	Befahren des Jade Reviere	96
7.2	An- und Ablegen von LNG-Tankern an die FSRU	96
7.3	Evakuierung der FSRU.....	96
7.4	Generelle Empfehlung	96
8	TEILNEHMERLISTE.....	97
9	BIBLIOGRAFIE.....	99
10	ANLAGEN.....	100
11	ABSCHLUSS.....	101

11.1 Erklärung 101

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
A_L	Laterale Überwasserfläche eines Schiffes
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
Bft	Beaufort; gemäß der Windskala nach Beaufort (1 - 12)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
ENC	Elektronische Navigationsseekarte (engl.: Electronic Navigational Chart)
FdW	Fahrt durch das Wasser, Bewegung des Schiffes relativ zur Wasseroberfläche
FüG	Fahrt über Grund, Bewegung des Schiffes relativ zum Meeresboden / Erdoberfläche (engl.: Speed over Ground (SoG))
H	Wassertiefe (LAT + Höhe der Gezeit)
HdG	Höhe der Gezeit, tidenbedingte Erhöhung des Wasserstandes
kn	Knoten (1.852 m / Stunde)
LAT	niedrigster Gezeitenwasserstand (englisch: Lowest Astronomical Tide (LAT))
Lpp	Länge zwischen den Loten (engl.: Length Between Perpendiculars (LPP, LBP))
mt	Metertonne; bezeichnet die Energiemenge, die notwendig ist, um einen Körper mit einer Masse von einer Tonne einen Meter hochzuheben.
nm	Nautische Meile
NW	Niedrigwasser
RoT	Drehgeschwindigkeit [°/min] (engl.: Rate of Turn)
SeeSchStrO	Seeschifffahrtsstraßen-Ordnung
SKN	Seekartennull; die Tiefenangaben in den nautischen Publikationen beziehen sich auf das Seekartennull (SKN) als Tiefenhorizont, hier das Niveau des niedrigsten Gezeitenwasserstandes (LAT)
sm	Seemeile (1.852 m)
T	Tiefgang des Schiffes [m]
tdw	höchstzulässige Tragfähigkeit eines Schiffes, angegeben in metrischen Tonnen, incl. Ladung, Passagiere, Treibstoff, Ausrüstung, Proviant, Besatzung etc. (engl.: tons deadweight)
v	Geschwindigkeit [kn]
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
Ywind	Querkraft, hervorgerufen durch Windeinfluss [t]

Glossar

Deutsch	Englisch	Beschreibung
Anluven		Als <i>anluven</i> wird die Richtungsänderung eines Segelschiffes nach Luv bezeichnet.
Blockkoeffizient	Block coefficient	Der <i>Blockkoeffizient</i> (C_B) bezeichnet das Verhältnis von Verdrängung zum Produkt aus Länge zwischen den Loten, Breite und Tiefgang des Schiffes.
Fahrrinne	Deep draft channel	Unter dem Begriff <i>Fahrrinne</i> wird der Teil eines Fahrwassers verstanden, in dem eine bestimmte – per Planfeststellungsbeschluss festgelegte – Mindesttiefe durch die WSV bereitgestellt wird.
Fahrwasser	Fairway	Gemäß § 2 Absatz 1 Nummer 1 SeeSchStrO werden unter dem Begriff <i>Fahrwasser</i> die Teile der Wasserflächen verstanden, die durch die Sichtzeichen B. 11 und B. 13 der Anlage I der SeeSchStrO begrenzt oder gekennzeichnet sind oder die, soweit dies nicht der Fall ist, auf den Binnenwasserstraßen für die durchgehende Schifffahrt bestimmt sind; die Fahrwasser gelten als enge Fahrwasser im Sinne der Kollisionsverhütungsregeln.
FSRU	FSRU	Floating Storage and Regasification Unit
Giermoment	Yawing Moment	Unter dem Begriff <i>Giermoment</i> wird die Drehbewegung des Schiffes um die Hochachse (z-Achse) in [mt] bzw. [kNm] verstanden.
Luv		Der Begriff <i>Luv</i> beschreibt die dem Wind zugekehrte Seite eines Schiffes
Tide	Tide	Unter dem Begriff <i>Tide</i> wird der Teil der Gezeit verstanden, der sich aus der Flut und der nachfolgenden Ebbe zusammensetzt, der also von einem Niedrigwasser bis zum folgenden Niedrigwasser reicht.
Querkraft	Lateral Force Sway force	Unter dem Begriff <i>Querkraft</i> wird diejenige Kraft verstanden, die senkrecht zur Schiffslängsachse (x-Achse) setzt, angegeben in [t] bzw. [kN].
Q-Max	Q-Max	Q-Max, auch Qatar-Max, ist eine Größenangabe für Schiffe. Sie bezieht sich auf Schiffe, die gerade noch den Hafen von Ras Laffan in Katar anlaufen können. Sie sind 345 m lang, 53,8 m breit und können 266.000 m ³ verflüssigtes LNG transportieren.
PPU	PPU	Portable Pilot Unit- PC- bzw. Tablet PC basierendes Informationssystem für Lotsen. Dient als Hilfsmittel bei der Ausführung einer Lotsung.
ASD	ASD	Azimuth Stern Drive Schlepper. Omnidirektionales Schlepperkonzept mit Antrieben achtern
ATD, Tractor	ATD	Azimuth Tractor Drive Schlepper. Omnidirektionales Schlepperkonzept mit Antrieben unter dem Vorschiff.
VWT	VWT	Voith Water Tractor. Omnidirektionales Schlepperkonzept mit Antrieben unter dem Vorschiff. Bei den Antrieben handelt es sich um Voith- Schneider Propeller.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

ABB. 1: SCHEMATISCHE ABBILDUNG TES PLANUNG.....	11
ABB. 2: ANLEGEN EINES TANKSCHIFFS AN DIE FSRU (BEISPIEL).....	12
ABB. 3: LNG-BELADUNG VON SCHIFF ZU SCHIFF ÜBER KRYOGENE SCHLÄUCHE (BEISPIEL).....	12
ABB. 4: SZENARIEN ANLEGEN DER FSRU.....	13
ABB. 5: SZENARIEN AN- UND ABLEGEN MIT Q-MAX UND KVAERNER MOSS LNG AN DER FSRU	14
ABB. 6: SZENARIEN EVAKUIERUNG FSRU VOM ANLEGER.....	14
ABB. 7: SZENARIEN NOTMANÖVER (BLACKOUT, LEINENBRUCH, RUDERVERSAGEN)	15
ABB. 8: ANLEGER TES, HES 1 & HES 2.....	15
ABB. 9: LAYOUT SIMULATOR.....	17
ABB. 10: PORTABLE PILOT UNIT	17
ABB. 11: PPU PILOT PLUG CONNECTOR.....	17
ABB. 12: SCREENSHOT PPU - ANLEGEN AN DER FSRU / TES- ANLEGER.....	18
ABB. 13: SIMULATORMODELL FSRU.....	20
ABB. 14: BEISPIEL STATIONÄRE EXCELARATE FSRU	20
ABB. 15: ÜBER- UND UNTERWASSERFLÄCHEN FSRU MODELL	20
ABB. 16: FSRU PILOT CARD.....	21
ABB. 17: FSRU-BRÜCKENPOSTER	22
ABB. 18: SIMULATORMODELL LNG TANKER (KVAERNER MOSS)	23
ABB. 19: LNG TANKER (KVAERNER MOSS)	24
ABB. 20: ÜBER- UND UNTERWASSERFLÄCHEN DES KVAERNER MOSS LNG TANKERS.....	24
ABB. 21: LNG KVAERNER MOSS PILOT CARD (BELADEN)	25
ABB. 22: LNG KVAERNER MOSS BRÜCKENPOSTER (BELADEN)	26
ABB. 23: LNG KVAERNER MOSS PILOT CARD (BALLAST)	27
ABB. 24: LNG KVAERNER MOSS BRÜCKENPOSTER (BALLAST)	28
ABB. 25: SIMULATORMODELL LNG TANKER (Q-MAX)	29
ABB. 26: LNG TANKER (Q-MAX)	30
ABB. 27: ÜBER- UND UNTERWASSERFLÄCHEN Q-MAX MODELL.....	30
ABB. 28: Q-MAX PILOT CARD (BELADEN)	31
ABB. 29: Q-MAX BRÜCKENPOSTER (BELADEN)	32
ABB. 30: Q-MAX PILOT CARD (BALLAST)	33
ABB. 31: Q-MAX BRÜCKENPOSTER (BALLAST)	34
ABB. 32: PHASEN DES SCHLEPPVORGANGS.....	37
ABB. 33: „AUTOTUG“ IM VERGLEICH ZU „REAL TUG“	38
ABB. 34: DIE 6 FREIHEITSGRADE (6-DOF)	38
ABB. 35: ASD-SCHLEPPERMODELL	39
ABB. 36: ASD-SCHLEPPER - ARBEITSWEISE UND LEISTUNGSGRENZEN.....	40
ABB. 37: VERHALTEN EINES ASD-SCHLEPPERS.....	41
ABB. 38: ROTORTUG-SCHLEPPERMODELL	42
ABB. 39: VERGLEICH DREHKREIS ROTORTUG UND ASD-SCHLEPPER	42
ABB. 40: ROTOR SCHLEPPER - ARBEITSWEISE UND LEISTUNGSGRENZEN	43
ABB. 41: AUFTRETENDE KRÄFTE BEIM SCHLEPPVORGANG	45
ABB. 42: VERLUSTLEISTUNG DURCH POSITIONIEREN AM SCHIFF	47
ABB. 43: DREHPUNKTLAGE BEIM SCHLEPPEN	48
ABB. 44: PEILPLAN HEPPENSER RINNE.....	50
ABB. 45: PEILPLAN MIT TERMINAL DER TES(AUSSCHNITT).....	51
ABB. 46: ZUFahrTEN LNG ANLEGER UNIPER UND HES- ANLEGER.....	51
ABB. 47: 3D ANSICHT DES INSELANLEGERS DER TES	52
ABB. 48: FSRU LIEGEPLATZ TES	53

ABB. 49: VORSCHLAG BELEUCHTUNGSKONZEPT TES- ANLEGER	54
ABB. 50: BESONDERE BEFAHRENSREGELUNGEN FÜR DIE JADE	56
ABB. 51: JANUAR WINDROSEN 1960 – 1994	58
ABB. 52: JULI WINDROSEN 1960 – 1994	58
ABB. 53: WINDROSE DER MESSDATEN VOM MINSENER OGG (2003-2017)	59
ABB. 54: WINDMESSDATEN MINSENER OOG (2003-2017), OBEN: WINDGESCHWINDIGKEIT (WS), UNTEN: WINDRICHTUNG (WD)	60
ABB. 55: SEEGANGSAUSBREITUNG IM JADE-WESER-ÄSTUAR BEI SCHWEREM NORDSTURM	61
ABB. 56: GEZEITENDATEN	63
ABB. 57: MINIMALE, MITTLERE UND MAXIMALE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITSGANGLINIE SOWIE DIE MITTLERE WASSERTIEFENGANGLINIE	64
ABB. 58: GEZEITENVERLAUF WILHELMSHAVEN	65
ABB. 59: KOORDINATENSYSTEM DES SCHIFFES	66
ABB. 60: KOORDINATEN, WINDKRÄFTE UND MOMENTE AM BEISPIEL EINES CONTAINERSCHIFFES	67
ABB. 61: DER KOEFFIZIENT CY AM BEISPIEL DES KVAERNER MOSS TYP	68
ABB. 62: WINDMOMENT LNG-TANKER	70
ABB. 63: EINFLUSS DES STROMS AUF DEN BAHNVERLAUF – BEISPIEL CONTAINERSCHIFF	71
ABB. 64: EINFLUSS DES WELLENGANGS AUF EINEN Q- MAX TANKER	72
ABB. 65: RÄUMLICHER MANÖVERBEDARF	73
ABB. 66: RISIKOBETRACHTUNG BEFAHREN DES JADE REVIERS	74
ABB. 67: SZENARIEN AN- UND ABLEGEN	80
ABB. 68: MANÖVRIERRAUM	83
ABB. 69: SZENARIEN AUSFALL MANÖVRIEREINRICHTUNGEN ODER SCHLEPPER BEIM ANLEGEN AN DIE FSRU	86
ABB. 70: SZENARIO „BLACK-OUT“ BEIM ABLEGEN VON DER FSRU	86
ABB. 71: SZENARIO - AUSFALL VORSCHLEPPER	87
ABB. 72: TRACK BLACKOUT Q-MAX NACH AUSFALL	89
ABB. 73: NEUPOSITIONIERUNG DER SCHLEPPER AM Q-MAX NACH AUSFALL	89
ABB. 74: ANLEGEMANÖVER AN DER FSRU MIT Q-MAX NACH AUSFALL	89
ABB. 75: SCREENSHOT ANLAUF HES 1A ABB. 76: HES 1A	90
ABB. 77: HES 2	91
ABB. 78: PEILPLAN BAUGEBIET DER TES VOR DERAUFWEITUNG	92
ABB. 79: SZENARIEN EVAKUIERUNG VOM ANLEGER	93
TABELLE 1: VERWENDETE SCHIFFSMODELLE	19
TABELLE 3: VERWENDETE SCHLEPERTYPEN	39
TABELLE 4: VERGLEICHSTABELLE SCHLEPERTYPEN	44
TABELLE 5: BENÖTIGTER PFAHLZUG NACH ÜBERSCHLÄGIGER BERECHNUNG	46
TABELLE 6: IN WHV EINGESETZTE SCHLEPPER IM MONAT MÄRZ	49
TABELLE 7: WINDSKALA	58
TABELLE 8: WINDRICHTUNGEN UND WINDSTÄRKEN AN- UND ABLEGEN	60
TABELLE 9: WINDRICHTUNGEN UND STÄRKEN BEI DER EVAKUIERUNG DER FSRU	61
TABELLE 10: : SEEGANG IN RELATION ZUR WINDSTÄRKE	62
TABELLE 13: WINDANGRIFFSFLÄCHEN DER LNG - TANKER	68
TABELLE 14: RISIKEN BEIM BEFAHREN DES REVIERS JADE	75
TABELLE 15: RESTRIKTIONEN – VERGLEICHSTERMINALS	79
TABELLE 16: RESTRIKTIONEN - BEISPIEL TERMPOL	79
TABELLE 17: SIMULATIONSBLÄUFE ANLEGEN AN DER FSRU	81
TABELLE 18: SIMULATIONSBLÄUFE ABLEGEN VON DER FSRU	84
TABELLE 19: SIMULATIONSBLÄUFE AUSFALL VON MANÖVRIEREINRICHTUNGEN ODER SCHLEPPERN	87
TABELLE 20: SIMULATIONSBLÄUFE – EVAKUIERUNG DER FSRU	92

0 Projektzusammenfassung

Die Firma Tree Energy Solutions (TES) plant die Inbetriebnahme einer weiteren FSRU am Standort Wilhelmshaven. Zu diesem Zweck wurde im Vorfeld eine Simulation am Schiffsführungssimulator der Firma Nautitec GmbH & Co.KG 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 der Vynova sowie der HES war auch zu prüfen, ob die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs von- und zu diesen Anlagen durch das Vorhaben der TES gestört wird.

Im Zuge einer vorangegangenen Studie für ein FSRU-Projekt in unmittelbarer Nähe wurden am 11.06.2020 4 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.

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 Firma TES und mittels Peilplänen des WSA neugestaltet.

1 Aufgabenbeschreibung

Die TES (Tree Energy Solutions) mit Sitz in Wilhelmshaven beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb eines weiteren LNG-Import-Terminals zur Anlandung und Regasifizierung von Flüssigerdgas (LNG) in Wilhelmshaven. Das LNG-Import-Terminal soll als LNG-Tankschiff mit Regasifizierungsanlage (FSRU) ausgeführt werden.

Die FSRU wird an einem neu zu errichtenden Anleger festgemacht, wobei der Anleger als sogenannter Inselanleger ohne Zugang vom Festland ausgeführt wird.



Abb. 1: Schematische Abbildung TES Planung



Abb. 2: Anlegen eines Tankschiffs an die FSRU (Beispiel)



Abb. 3: LNG-Beladung von Schiff zu Schiff über kryogene Schläuche (Beispiel)

Das importierte LNG wird temporär in der FSRU gelagert und bei Bedarf über eine Regasifizierungsanlage bei 60 bar(ü) bis 100 bar(ü) verdampft. Das so gewonnene Erdgas wird über Hochdruckgasverledearme von der FSRU in eine Erdgasleitung entladen und über eine Untersee-Gasleitung vom Anleger zum landseitigen Übergabepunkt zur Anbindungsleitung an das bestehende Fernleitungsnetz transportiert.

Im Rahmen der Umsetzung hat die Firma TES den Auftrag zur Durchführung einer Simulation an die Firma NAUTITEC GmbH & Co.KG vergeben, in der die geplante Verkehrsraumerweiterung sowie die Möglichkeit des An- und Ablegens auch unter schwierigen Bedingungen überprüft werden soll.

Die Ausschreibung umfasste die Fragestellung die nautischen Grenzbereiche für sichere Manöver in Bezug auf die folgenden Situationen zu ermitteln:

- Manövrieren der FSRU und von LNG-Tankern im Grenzbereich bei
 - starken auflandigen und ablandigen Winden
 - bei starkem Flut- bzw. Ebbsstrom sowie
- An- und Ablegen an den Anlegern HES 1A und 2 mit Standardtankern, die der in der Praxis vorkommenden Tonnage entspricht.

Die Manöversituationen und die damit verbundenen Problemstellungen können wie folgt charakterisiert werden:

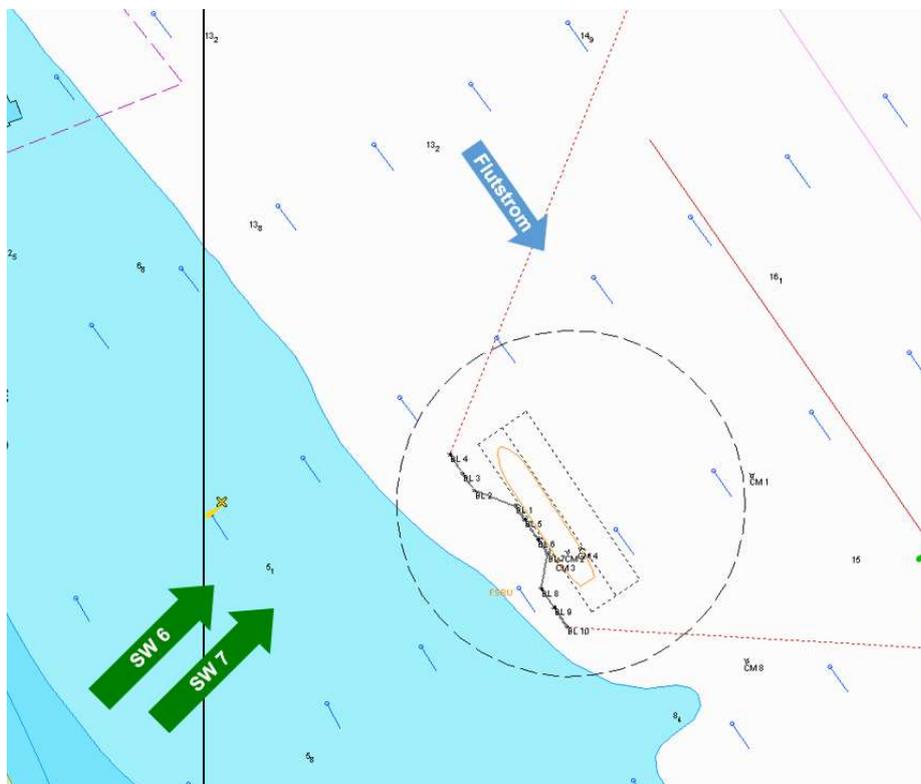


Abb. 4: Szenarien Anlegen der FSRU

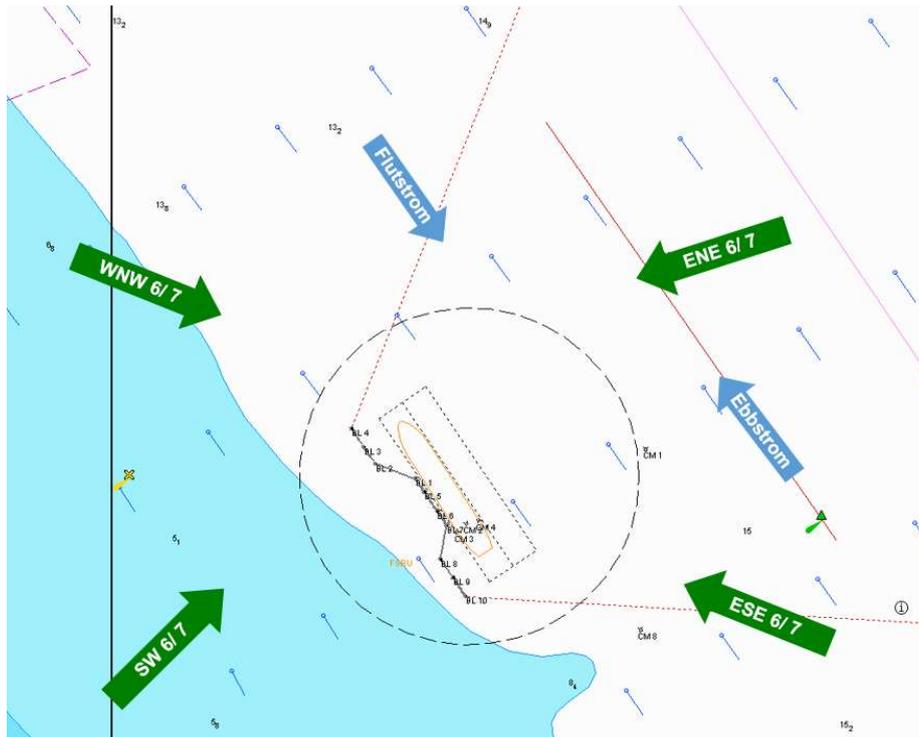


Abb. 5: Szenarien An- und Ablegen mit Q-Max und Kvaerner Moss LNG an der FSRU



Abb. 6: Szenarien Evakuierung FSRU vom Anleger

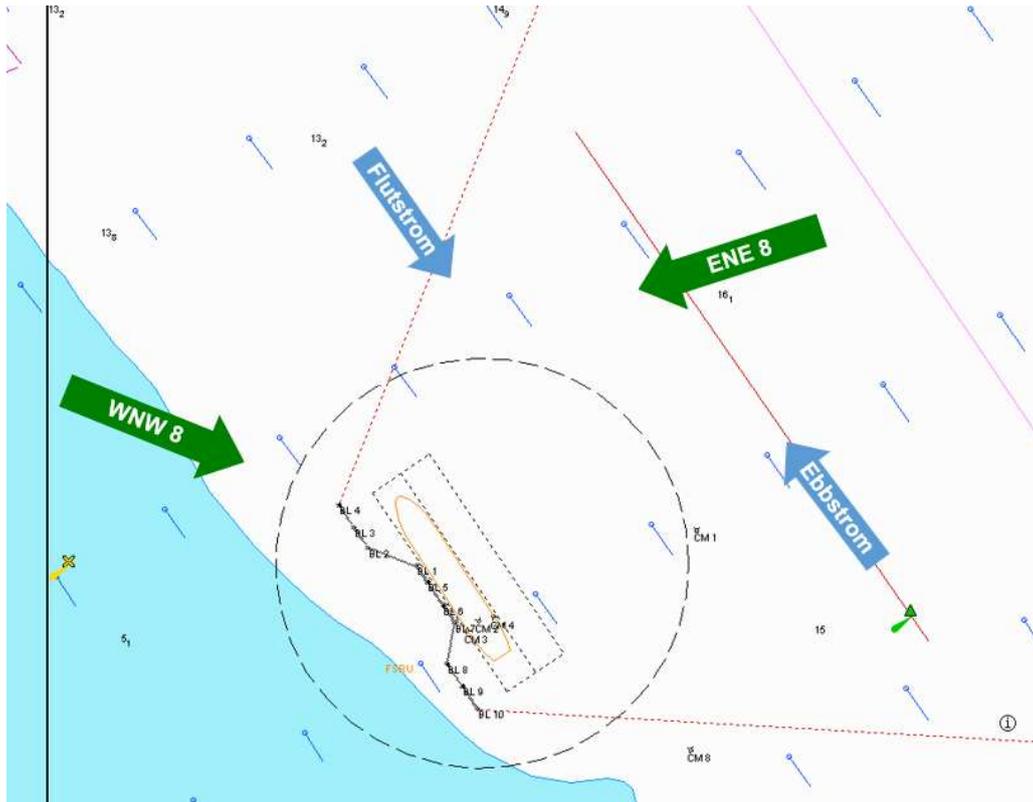


Abb. 7: Szenarien Notmanöver (Blackout, Leinenbruch, Ruderversagen)

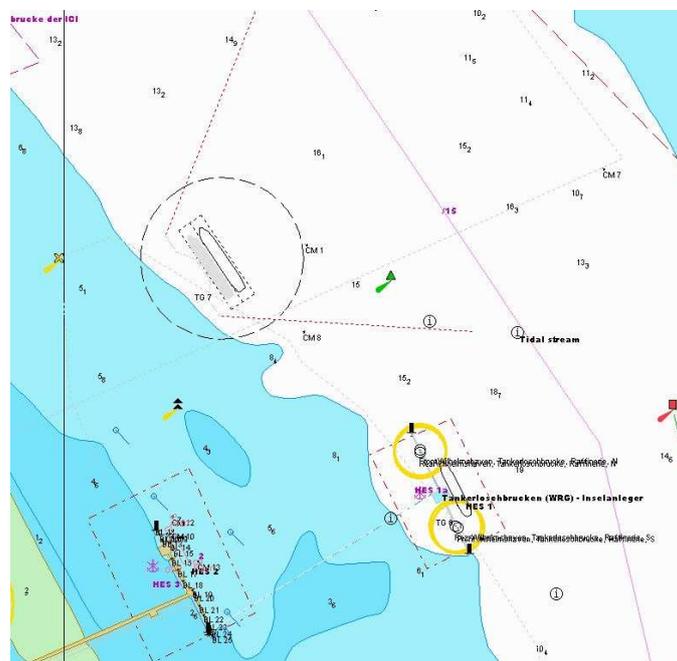


Abb. 8: Anleger TES, HES 1 & HES 2

2 Rahmenbedingungen

Im Rahmen der fünftägigen Simulation wurden insgesamt 28 Szenarien in 34 Simulationsläufen evaluiert¹. Die einzelnen Szenarien wurde mit jeweils einem LNG-Tanker (Eigenschiff), zwei Schleppern (Eigenschiffe) und mit zwei zusätzlichen Schleppern (Autotugs) gefahren. Die ebenfalls untersuchten Anläufe an die Anleger HES 1A und 2 wurden mit Tankschiffen von 130m bis 190m (Eigenschiff) und zwei Schleppern (Eigenschiff) durchgeführt. Insofern entspricht diese Studie vom Umfang her vergleichbaren Studien mit ähnlichen Fragestellungen.

Die FSRU und die LNG-Tanker wurden während der Simulationsläufe durch erfahrene und für das Revier der Jade bestellten Lotsen geführt. Diese waren die See- und Hafenlotsen Kapitän Bernhard Windscheid und Kapitän Stefan Arndt von der Lotsenbrüderschaft Jade/Weser II. In der Simulation konnte deutlich beobachtet werden, dass beide Kapitäne über sehr gute Erfahrungen mit dem Manövrieren großer Tanker im Revier der Jade verfügen. Außerdem wurde ein großer Zugewinn an Erfahrung insbesondere durch den benachbarten Anleger der UNIPER in den Simulationsläufen deutlich.

Die beiden Eigenschlepper wurden durch erfahrene Schlepperkapitäne geführt. Die Schlepperkapitäne verfügen langjährige Erfahrung auf den im Rahmen der Simulation verwendeten Antriebssystemen.

2.1 Simulationsaufbau

Das LNG-Eigenschiff und die Tanker wurden jeweils auf Brücke 1 geladen, die beiden Eigenschlepper jeweils in den Brücken 2 und 3. Diese beiden Brücken wurden speziell für den Schlepperbetrieb konfiguriert und verfügen zusätzlich über ein Winchmodul zur realistischen Nachbildung der Schleppleine und ihrer Funktionen im Schleppbetrieb.

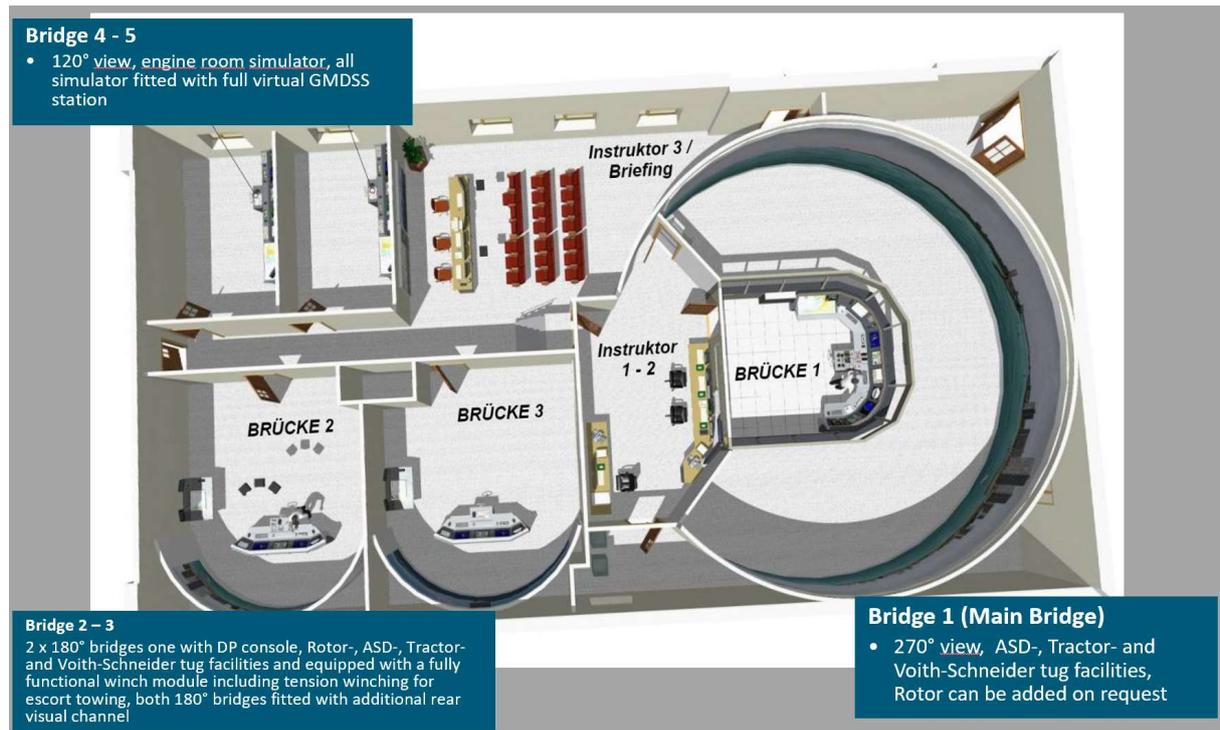


Abb. 9: Layout Simulator

Auf der Hauptbrücke (Brücke 1) standen den Lotsen alle Navigationsmittel des Schiffes zur Verfügung. Das Integrierte Navigationssystem (Transas MFD 4000) ermöglichte es an allen Stationen wahlweise ein ECDIS- oder Radarbild angezeigt zu bekommen. Über einen Pilot Plug am AIS-Gerät der Simulatorbrücke konnten die Lotsen eine PPU zur Unterstützung der Manöver anschließen (siehe 2.1.1.) Hierzu wurde durch den Kartendienst der Firma NAUTITEC eine spezielle Karte mit den geographischen Details des geplanten Terminals erstellt, die

An Bord eines Schiffes ist das AIS-Gerät mit einem Pilot Plug versehen. Hierbei handelt es sich um einen genormten Stecker, über den Datenprotokolle aus dem AIS-Gerät mittels eines Pilot Plug Connectors an eine PPU übertragen werden können. Bei diesen Daten handelt es sich um dynamische Dateninformationen (Position des Eigenschiffes und anderer Fahrzeuge in der Umgebung, Kurs über Grund, Fahrt über Grund, Kurs, Drehrate/RoT, Zeit und Status) und statische Informationen (Schiffsnamen, Rufzeichen, IMO Nr. und Dimensionen der Fahrzeuge).



Abb. 10: Portable Pilot Unit



Abb. 11: PPU Pilot Plug Connector

Den beteiligten Lotsen stand während der Simulationsläufe ihre auch in der Praxis eingesetzten PPUs ZUR Verfügung. Die Daten erhielt die PPU aus dem Pilot Plug der Simulatorbrücke. In Deutschland ist der Gebrauch einer PPU seit 2012 gesetzlich geregelt. Über das Seelotsgesetz (SeeLG) und die Allgemeine Lotsverordnung (ALV) ist die Nutzung einer PPU im Rahmen der Berufspflicht des Seelotsen verpflichtend geworden.

Da die FSRU ihre äußeren Abmessungen und Position im Protokoll des AIS aussendet, können diese auf der PPU abgebildet und als Referenz für die An- und Ablegemanöver verwendet werden. Hierzu wird in der Software der PPU eine sog. Fenderlinie gesetzt, die als Abstandsreferenz zwischen der FSRU und dem LNG- Tanker dient. Der Lotse kann so jederzeit die Annäherungsgeschwindigkeit und die Abstände zu der FSRU ablesen und mit der Sensorik des eigenen Schiffes vergleichen.

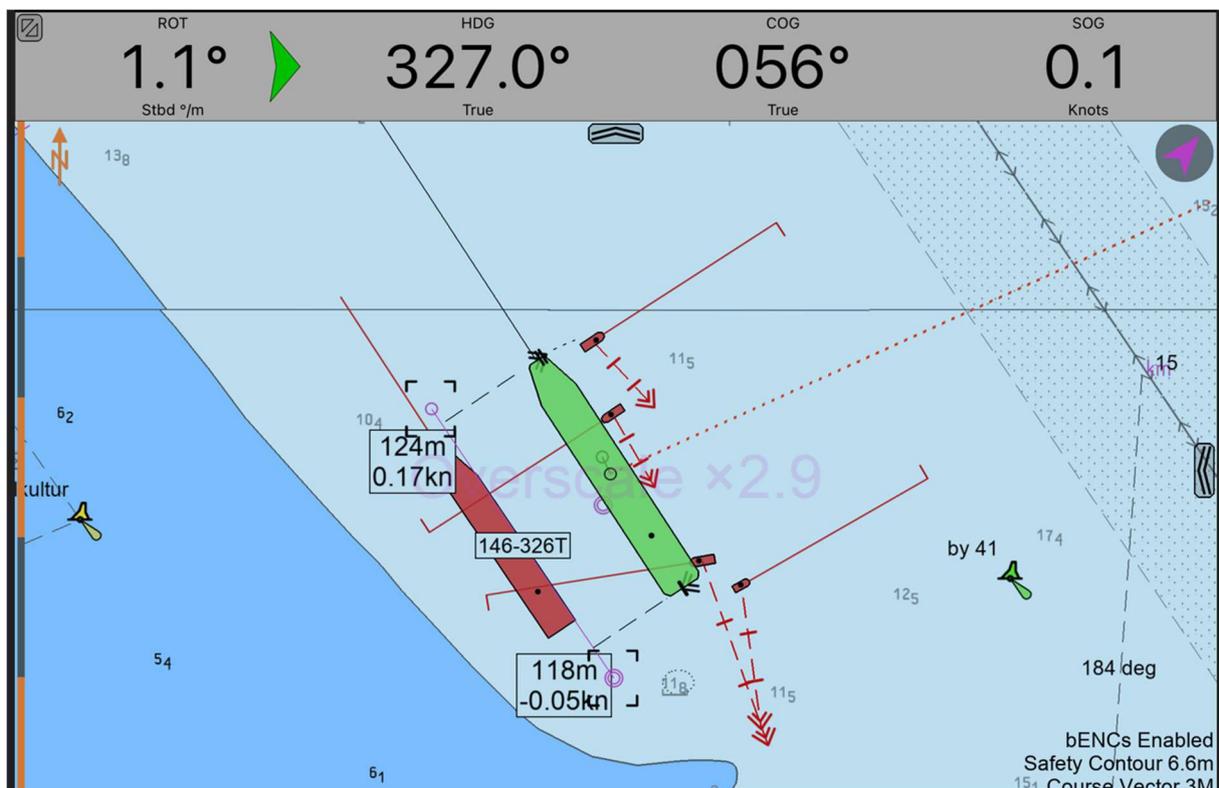


Abb. 12: Screenshot PPU - Anlegen an der FSRU / TES- Anleger

2.2 Verwendete LNG - Schiffsmodelle

Die Schiffsmodelle wurden in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Sie sollten einen repräsentativen Querschnitt der weltweiten LNG-Tankerflotte darstellen und auch neue Entwicklungen einschließen.

Mit dem Q-Max (LNG-Membrantanker) wurde der zurzeit größte LNG-Tankertyp ausgewählt. Das Kvaerner Moss Design in der verwendeten Größe ist ein häufig gewähltes Design, obwohl es insgesamt eher bei älteren Schiffen anzutreffen ist. Dieser Typ ist auf Grund seiner kugelförmigen Tanks bekannt für seine Windanfälligkeit.

Auf Grund des Layouts (Ein bzw. Zwei Schraubenschiff, Windverhalten) unterscheiden sich Kvaerner Moss und Membrantanker im Manövrierverhalten und wurden deshalb beide für diese Studie ausgewählt.

Basierend darauf wurden in den Simulationsläufen wurden die folgenden Schiffsmodelle eingesetzt:

Schiffstyp	Modell	Länge	Breite	Tiefgang	Verdrängung	Fassungsvermögen	Maschine
FSRU (Ballast)	FSRU_TE S_N1	277,00m	43,60 m	12,60m /	110.400 t	138.000 m ³	Dampfturbine
LNG (Beladen) Kvaerner Moss	Kvaerner Moss	297,50 m	45,97 m	10,75 m	108.959 t	137.573 m ³	Dampfturbine
LNG (Ballast) (Kvaerner Moss)	Kvaerner Moss	297,50 m	45,97 m	9,27 m	81.549 t	137.573 m ³	Dampfturbine
LNG (Beladen) Membran	LNG 14	294,60 m	46,66 m	11,15 m	109.623 t	157.000 m ³	2-Takt Diesel
LNG Q- Max Membran	LNG 13	360,00 m	55,00 m	12,00 m	88.395 t	183.106 m ³	2 x 17.490 kw Diesel

Tabelle 1: Verwendete Schiffsmodelle

2.2.1 FSRU

Bei einer FSRU² handelt es sich um einen LNG-Tanker, der sowohl als Tankschiff zum Transport von verflüssigtem LNG wie auch stationär zur Einspeisung von LNG bzw. Transfer von regasifiziertem LNG in Pipeline-Netze oder weitere Tankschiffe eingesetzt werden kann.

Die geplante und für die Simulation betrachtete FSRU ist ein Einschraubenschiff. Mit einer Länge von 277m ist die FSRU eher als relativ klein zu betrachten. Sie verfügt über eine Dampfturbine als Antrieb.

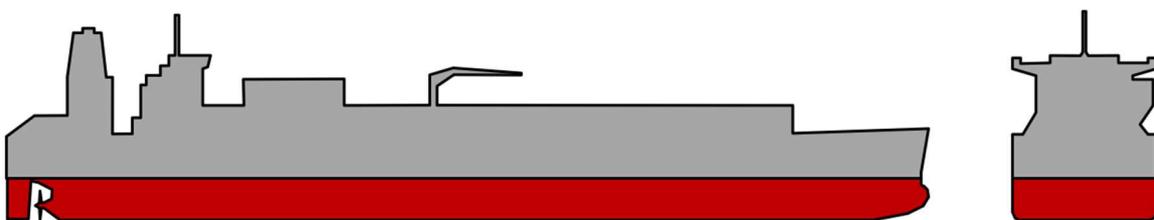
² FSRU = floating storage regasification unit



Abb. 13: Simulatormodell FSRU



Abb. 14: Beispiel stationäre Excelerate FSRU



Flächen für	T = 12.60
Lateral oben	6436 m ²
Lateral unten	3384 m ²
Transversal oben	1409 m ²
Transversal unten	492 m ²

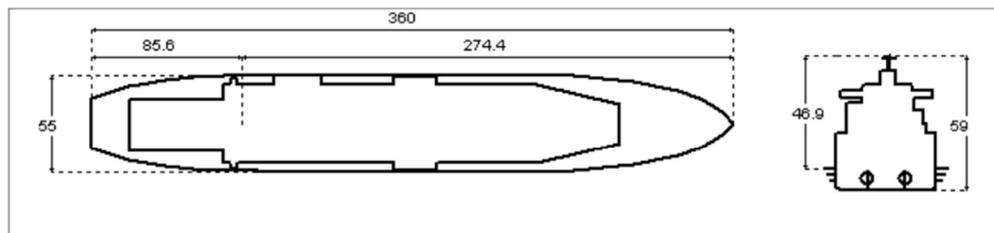
Abb. 15: Über- und Unterwasserflächen FSRU Modell

1.7.2020

Pilot Card : LNG_13_N2 (VSY: 2.93.3683.0, SMM_RD: 2.214.1678.167, Date: 01.07.2020:02.24)

PILOT CARD					
Ship name	LNG_13_N2 3.0.18.0 *		Date	01.07.2020	
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	N/A
Load Condition	Full Load				
Displacement	183106.98 tons	Draft forward	11.9 m / 39 ft 1 in		
Deadweight	68900 tons	Draft forward extreme	11.9 m / 39 ft 1 in		
Capacity	7728 m3	Draft after	12.1 m / 39 ft 9 in		
Air draft	46.9 m / 154 ft 3 in	Draft after extreme	12.1 m / 39 ft 9 in		

Ship's Particulars			
Length overall	360 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	55 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	17 / 17	(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	12 / 18		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 2	Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	35	Power	N/A
Rudder angle for neutral effect	0 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	12 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	1075.3 s	21.32 cbles	Advance	4.19 cbles
HAH to HAS	1315.1 s	19.97 cbles	Transfer	1.26 cbles
SAH to SAS	1571.4 s	16.5 cbles	Tactical diameter	2.71 cbles

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	2
Number of Main Engine(s)	2	Propeller rotation	Left/Right
Maximum power per shaft	2 x 17490 kW	Propeller type	FPP
Astern power	45.74 % ahead	Min. RPM	23
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	122.5 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"10"	19.7	31466	82.5	0.98
"8"	17.3	18286	70.1	0.98
"6"	13.6	9032	55.2	0.98
"4"	10	5793	45	0.98
"2"	6	1984	30	0.98
"-2"	-2.5	1518	-25.3	0.98

file:///G:/Pilot Card LNG13_N2/Pilot Card LNG_13_N2_Full Load.html

1/2

Abb. 16: FSRU Pilot Card

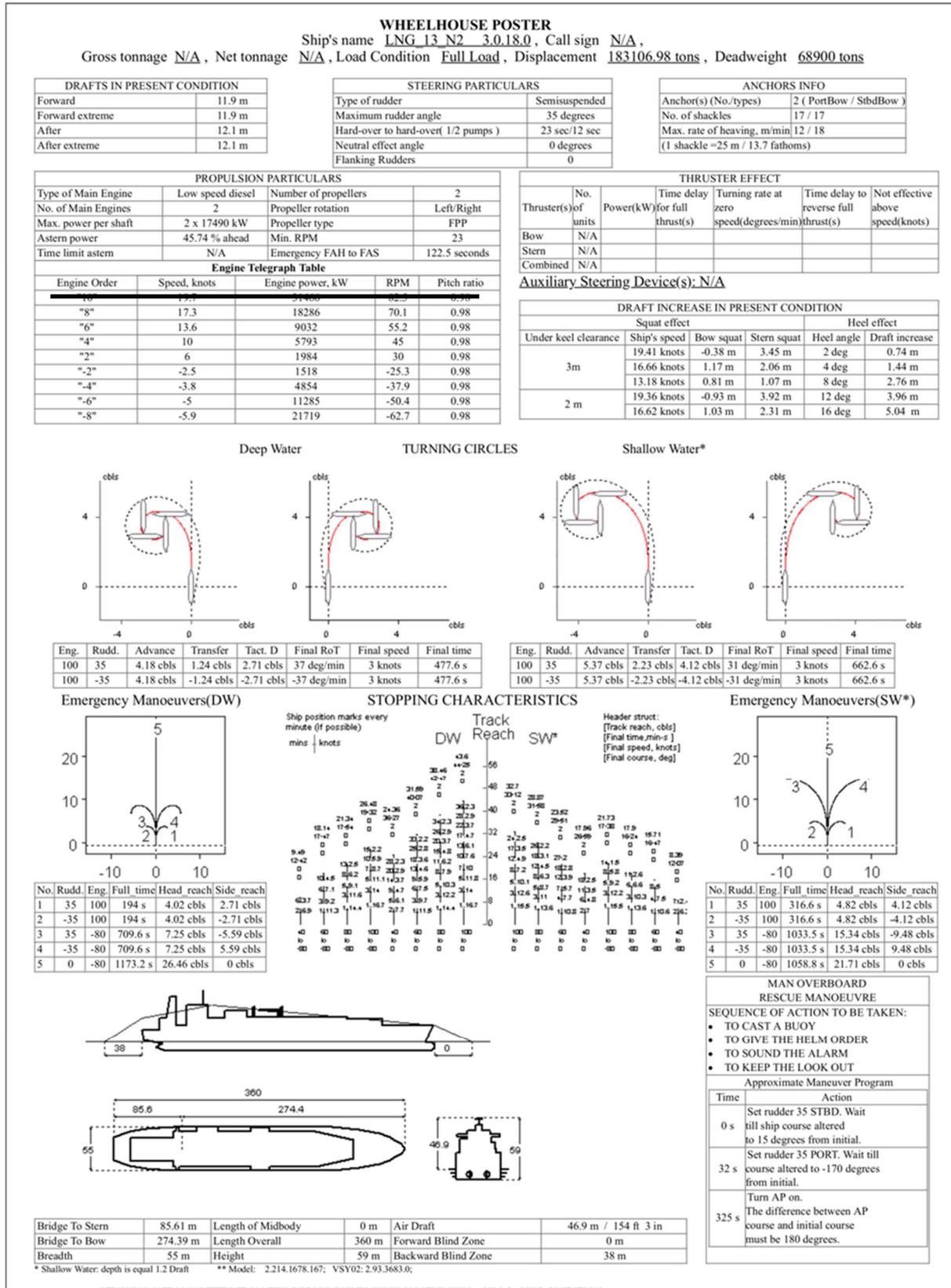


Abb. 17: FSRU-Brückenposter

2.2.2 LNG-Tanker (Kvaerner Moss)

Für die Simulation wurde ein typisches LNG Tanker Design basierend auf dem von Kvaerner Moss entwickeltem Design³ verwendet. Dieses Schiff hat eine Länge von 297m bei einer Breite von 45,9m. Beladen hat der Tanker einen Tiefgang von 10,75m, in Ballast von 9,27m.

In den vielen Fällen, insbesondere bei älteren Schiffen, wird ein Kvaerner Moss Tanker durch eine Dampfturbine angetrieben. Die Dampfturbine des verwendeten Schiffes hat eine Leistung von 26.800kw. Kennzeichnend für eine Dampfturbine ist seine schwache Leistung bei rückwärtslaufender Maschine. In diesem Fall beträgt die Maximalleistung auf „Zurück“ nur 41% der Nennleistung. Vorbild für das in der Datenbank des Simulators befindliche Modell ist der LNG-Tanker „Al Zubarah“.

Kvaerner Moss Tanker zählen wegen ihrer sphärischen Tanks und des Verhältnisses zwischen der Fläche des Unterwasserschiffs zu der Windfläche des Überwasserschiffes zu den LNG-Tankerschiffen mit der größten Windanfälligkeit.



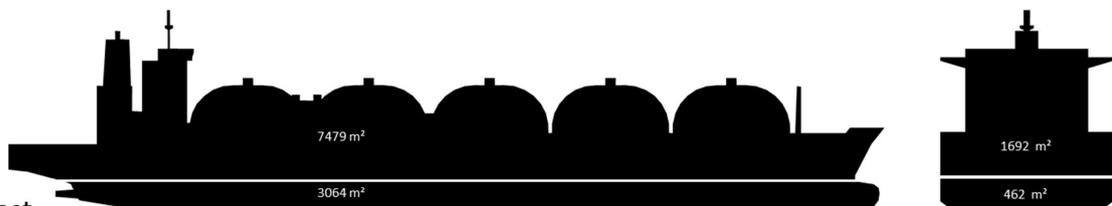
Abb. 18: Simulatormodell LNG Tanker (Kvaerner Moss)

³ <http://www.mossw.com/home/our-history/>



Abb. 19: LNG Tanker (Kvaerner Moss)⁴

Beladen



Ballast

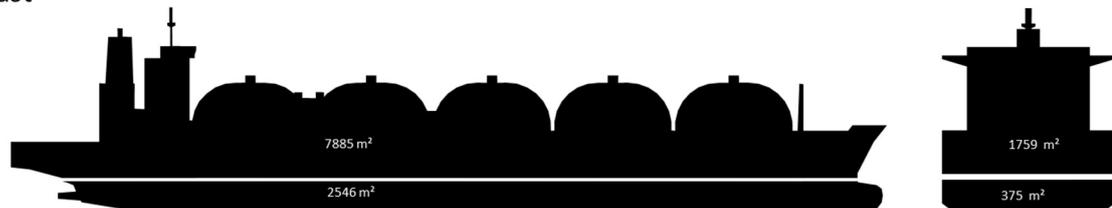
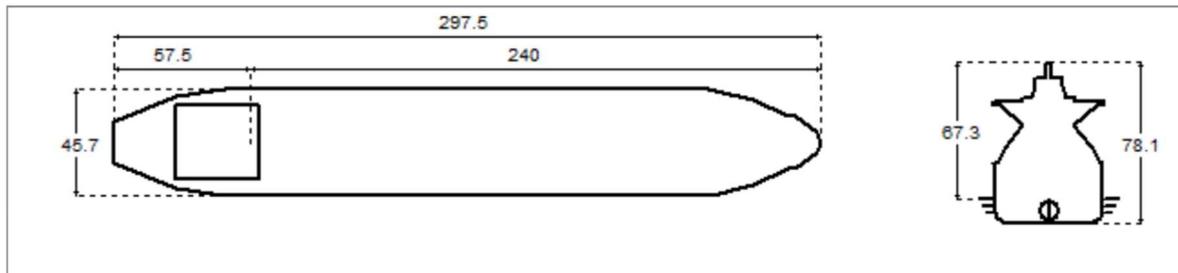


Abb. 20: Über- und Unterwasserflächen des Kvaerner Moss LNG Tankers

⁴ AL ZUBARAH, Flag: Japan

PILOT CARD					
Ship name	LNG 1 (Dis.108959t) TRANSAS 2.31.37.0 *		Date	02.02.2016	
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	N/A
Load Condition	Full load				
Displacement	108959 tons	Draft forward	10.75 m / 35 ft 4 in		
Deadweight	68200 tons	Draft forward extreme	10.75 m / 35 ft 4 in		
Capacity		Draft after	10.75 m / 35 ft 4 in		
Air draft	67.35 m / 221 ft 6 in	Draft after extreme	10.75 m / 35 ft 4 in		

Ship's Particulars			
Length overall	297.5 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	45.75 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	16 / 16	(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	12 / 12		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	2000 kW
Rudder angle for neutral effect	0.64 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	34 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	562.6 s	8.7 cbles	Advance	4.99 cbles
HAH to HAS	673.6 s	8.97 cbles	Transfer	2.18 cbles
SAH to SAS	793.6 s	8.4 cbles	Tactical diameter	5.07 cbles

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Steam turbine	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 26800 kW	Propeller type	FPP
Astern power	41 % ahead	Min. RPM	20
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	38.2 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	20.3	26800	87	0.84
"FAH"	11	7800	46.5	0.84
"HAH"	9.6	5690	40	0.84
"SAH"	7.6	3910	33	0.84
"DSAH"	5.7	264	24.5	0.84
"DSAS"	-3.3	1740	-24.5	0.84
"SAS"	-4.5	3220	-33	0.84
"HAS"	-5.7	4680	-40	0.84
"FAS"	-6.6	6410	-46.5	0.84
"FSAS"	-8.6	10700	-60	0.84

Abb. 21: LNG Kvaerner Moss Pilot Card (Beladen)

WHEELHOUSE POSTER

Ship's name LNG 1 (Dis.108959t) TRANSAS 2.31.37.0, Call sign N/A,
 Gross tonnage N/A, Net tonnage N/A, Load Condition Full load, Displacement 108959 tons, Deadweight 68200 tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	10.75 m
Forward extreme	10.75 m
After	10.75 m
After extreme	10.75 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Semisuspended
Maximum rudder angle	35 degrees
Hard-over to hard-over(1/2 pumps)	68 sec/34 sec
Neutral effect angle	0.64 degrees
Flanking Rudders	0

ANCHORS INFO	
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)
No. of shackles	16 / 16
Max. rate of heaving. m/min	12 / 12
(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Steam turbine	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Right
Max. power per shaft	1 x 26800 kW	Propeller type	FPP
Astern power	41 % ahead	Min. RPM	20
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	38.2 seconds

THRUSTER EFFECT						
Thruster (s)	No. of units	Power (kW)	Time delay for full thrust(s)	Turning rate at zero speed(degrees/min)	Time delay to reverse full thrust(s)	Not effective above speed (knots)
Bow	1	2000	9.5	13.31	19	6
Stern	N/A					
Combined	N/A					

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	20.3	26800	87	0.84
"FAH"	11	7800	46.5	0.84
"HAH"	9.6	5690	40	0.84
"SAH"	7.6	3910	33	0.84
"DSAH"	5.7	264	24.5	0.84
"DSAS"	-3.3	1740	-24.5	0.84
"SAS"	-4.5	3220	-33	0.84
"HAS"	-5.7	4680	-40	0.84
"FAS"	-6.6	6410	-46.5	0.84
"FSAS"	-8.6	10700	-60	0.84

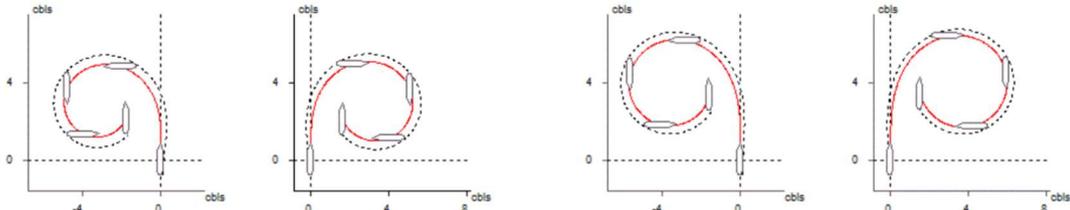
DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION					
Under keel clearance	Squat effect			Heel effect	
	Ship's speed	Bow squat	Stern squat	Heel angle	Draft increase
3m	17.9 knots	-0.08 m	1.22 m	2 deg	0.62 m
	10.96 knots	0.35 m	0.32 m	4 deg	1.21 m
	9.59 knots	0.25 m	0.25 m	8 deg	2.32 m
2 m	17.63 knots	-0.29 m	1.35 m	12 deg	3.33 m
	10.96 knots	0.39 m	0.35 m	16 deg	4.24 m

Auxiliary Steering Device(s): N/A

Deep Water

TURNING CIRCLES

Shallow Water*



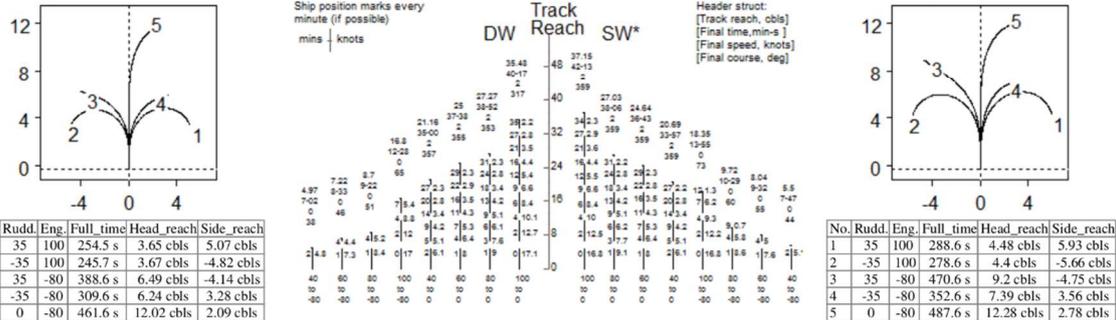
Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	4.98 cbls	2.17 cbls	5.07 cbls	42 deg/min	8 knots	510.6 s
100	-35	4.84 cbls	-2.09 cbls	-4.82 cbls	-44 deg/min	7 knots	490.6 s

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	6.41 cbls	2.96 cbls	5.93 cbls	42 deg/min	10 knots	546.6 s
100	-35	6.19 cbls	-2.85 cbls	-5.66 cbls	-43 deg/min	9 knots	528.6 s

Emergency Manoeuvres(DW)

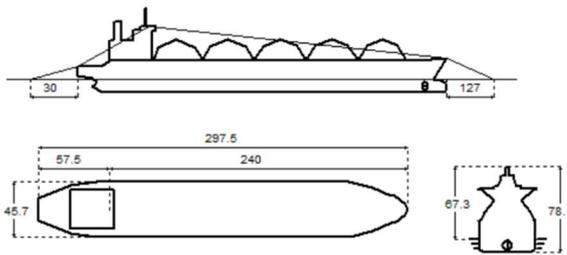
STOPPING CHARACTERISTICS

Emergency Manoeuvres(SW*)



No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	254.5 s	3.65 cbls	5.07 cbls
2	-35	100	245.7 s	3.67 cbls	-4.82 cbls
3	35	-80	388.6 s	6.49 cbls	-4.14 cbls
4	-35	-80	309.6 s	6.24 cbls	3.28 cbls
5	0	-80	461.6 s	12.02 cbls	2.09 cbls

MAN OVERBOARD RESCUE MANOEUVRE	
SEQUENCE OF ACTION TO BE TAKEN:	
<ul style="list-style-type: none"> • TO CAST A BUOY • TO GIVE THE HELM ORDER • TO SOUND THE ALARM • TO KEEP THE LOOK OUT 	
Approximate Maneuver Program	
Time	Action
0 s	Set rudder 35 STBD. Wait till ship course altered to 27.5 degrees from initial.
53 s	Set rudder 35 PORT. Wait till course altered to -170 degrees from initial.
392 s	Turn AP on. (The difference between AP course and initial course must be 180 degrees.)



Bridge To Stern(A)	57.5 m	Length of Midbody(D)	223.13 m	Air Draft(G)	67.35 m / 221 ft 6 in
Bridge To Bow(B)	240 m	Length Overall(E)	297.5 m	Forward Blind Zone(I)	127 m
Breadth(C)	45.75 m	Height(F)	78.1 m	Backward Blind Zone(J)	30 m

* Shallow Water: depth is equal 2 Draft ** Model: 2.166.1432.129; VSY02: 2.91.3084.0
 PERFORMANCE MAY DIFFER FROM THIS RECORD DUE TO ENVIRONMENT, HULL AND LOADING CONDITION

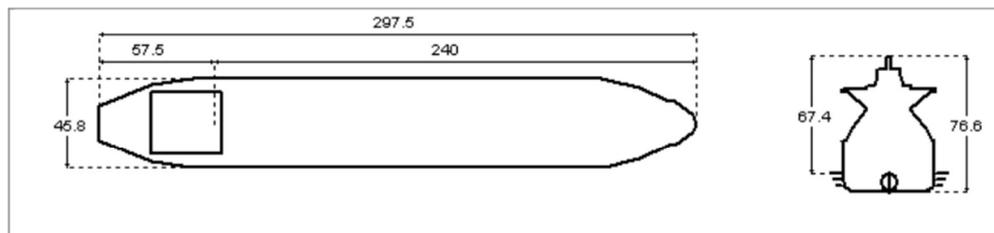
Abb. 22: LNG Kvaerner Moss Brückenposter (Beladen)

3.7.2020

Pilot Card

PILOT CARD					
Ship name	LNG 1 (Dis.81549t) bl. N1 v31.1.VSY			Date	03.07.20
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	N/A
Load Condition	Ballast				
Displacement	81549 tons		Draft forward	9.27 m / 30 ft 5 in	
Deadweight	N/A tons		Draft forward extreme	9.27 m / 30 ft 5 in	
Capacity			Draft after	9.27 m / 30 ft 5 in	
Air draft	67.35 m / 221 ft 6 in		Draft after extreme	9.27 m / 30 ft 5 in	

Ship's Particulars			
Length overall	297.5 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	45.75 m	Type of stern	Transom
Anchor Chain(Port)	15 shackles		
Anchor Chain(Starboard)	15 shackles		
Anchor Chain(Stern)	N/A shackles	(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)	



Steering characteristics			
Rudder(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	2000 kW
Rudder angle for neutral effect	0.12 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	14 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)		Auxiliary Steering Device(s)	

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	442 s	7.23 cbles	Advance	4.63 cbles
HAH to HAS	516 s	7.21 cbles	Transfer	2.02 cbles
SAH to SAS	602.5 s	6.77 cbles	Tactical diameter	4.83 cbles

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Steam turbine	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 26800 kW	Propeller type	FPP
Astern power	41 % ahead	Min. RPM	20
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	18 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
100 %	21.2	26800	89	0.84
80 %	11.5	7800	48	0.84
60 %	10	5690	41	0.84
40 %	8	3910	34	0.84
20 %	6	2110	25	0.84
-20 %	-3.2	1740	-25	0.84

file:///G:/2020 Uniper V3/Pilot Card Lng1 BL.html

1/2

Abb. 23: LNG Kvaerner Moss Pilot Card (Ballast)

WHEELHOUSE POSTER

Ship's name LNG 1 (Dis.81549t) bl. N1 v31.1.VSY, Call sign N/A,
 Gross tonnage N/A, Net tonnage N/A, Load Condition Ballast, Displacement 81549 tons, Deadweight N/A tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	9.27 m
Forward extreme	9.27 m
After	9.27 m
After extreme	9.27 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Semisuspended
Maximum rudder angle	35 degrees
Hard-over to hard-over (1/2 pumps)	28 sec/14 sec
Neutral effect angle	0.12 degrees
Flanking Rudders	

ANCHOR CHAIN		
	No. of shackles	Max. rate of heaving
Port	15 shackles	12 m/min
Starboard	15 shackles	12 m/min
Stern	N/A shackles	N/A m/min
(1 shackle = 27.5 m / 15 fathoms)		

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Steam turbine	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Right
Max. power per shaft	1 x 26800 kW	Propeller type	FPP
Astern power	41 % ahead	Min. RPM	25
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	30 seconds

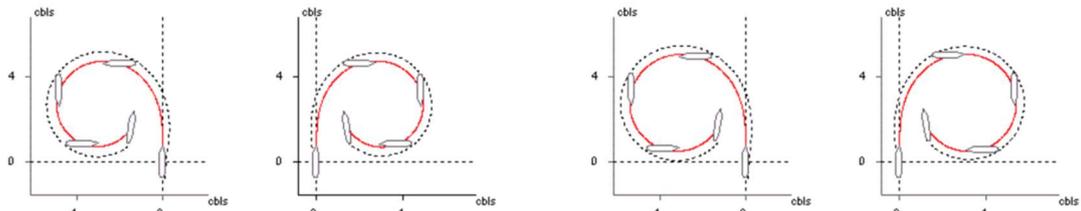
THRUSTER EFFECT						
Thruster(s) of	No. of units	Power(kW)	Time delay for full thrust(s)	Turning rate at zero speed(degrees/min)	Time delay to reverse full thrust(s)	Not effective above speed(knots)
Bow	1	2000	9.5	14.72	19	6
Stern	N/A					
Combined	N/A					

Engine Telegraph Table				
Engine order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
100 %	21.2	26800	89	0.84
80 %	11.5	7800	48	0.84
60 %	10	5690	41	0.84
40 %	8	3910	34	0.84
20 %	6	2110	25	0.84
-20 %	-3.2	1740	-25	0.84
-40 %	-4.3	3220	-34	0.84
-60 %	-5.4	4680	-41	0.84
-80 %	-6.2	6410	-48	0.84
-100 %	-8	10700	-62	0.84

DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION					
		Squat effect		Heel effect	
Under keel clearance	Ship's speed	Bow squat	Stern squat	Heel angle	Draft increase
3m	18.95 knots	-0.73 m	1.38 m	2 deg	0.61 m
	11.41 knots	0.31 m	0.3 m	4 deg	1.18 m
	9.94 knots	0.23 m	0.24 m	8 deg	2.27 m
2 m	18.87 knots	-0.88 m	1.44 m	12 deg	3.25 m
	11.44 knots	0.37 m	0.35 m	16 deg	4.14 m

Deep Water TURNING CIRCLES

Shallow Water*



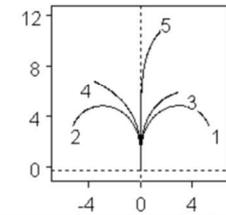
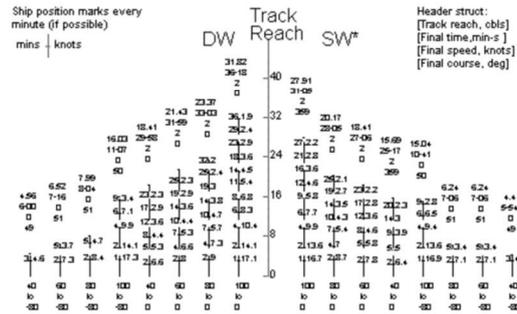
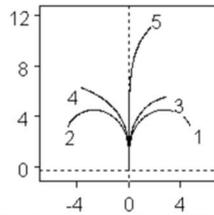
Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	4.63 cbls	2.02 cbls	4.83 cbls	47 deg/min	9 knots	447 s
100	-35	4.61 cbls	-2.01 cbls	-4.8 cbls	-47 deg/min	9 knots	444.5 s

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	4.98 cbls	2.32 cbls	5.33 cbls	44 deg/min	10 knots	482.5 s
100	-35	4.96 cbls	-2.31 cbls	-5.3 cbls	-44 deg/min	10 knots	480 s

Emergency Manoeuvres(DW)

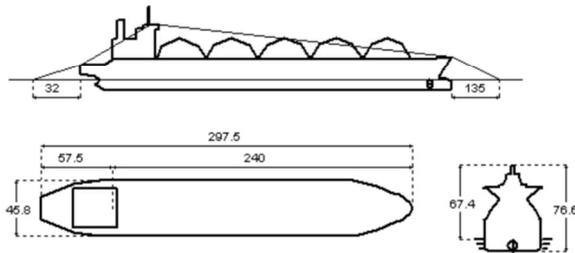
STOPPING CHARACTERISTICS

Emergency Manoeuvres(SW*)



No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	230 s	3.34 cbls	4.83 cbls
2	-35	100	230 s	3.32 cbls	-4.81 cbls
3	35	-80	280 s	5.83 cbls	2.91 cbls
4	-35	-80	360 s	6.47 cbls	-3.78 cbls
5	0	-80	430 s	11.59 cbls	1.93 cbls

No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	250 s	3.37 cbls	5.33 cbls
2	-35	100	248 s	3.39 cbls	-5.3 cbls
3	35	-80	296 s	6.17 cbls	2.97 cbls
4	-35	-80	372 s	7.06 cbls	-3.71 cbls
5	0	-80	430 s	11.32 cbls	1.77 cbls



Bridge To Stern	57.5 m	Length of Midbody	223.13 m	Air Draft	67.35 m / 221 ft 6 in
Bridge To Bow	240 m	Length Overall	297.5 m	Forward Blind Zone	135 m
Breadth	45.75 m	Height	76.62 m	Backward Blind Zone	32 m

* Shallow Water: depth is equal 3 Draft ** Model: ; VSY02; ;

PERFORMANCE MAY DIFFER FROM THIS RECORD DUE TO ENVIRONMENT, HULL AND LOADING CONDITION

MAN OVERBOARD RESCUE MANOEUVRE

- SEQUENCE OF ACTION TO BE TAKEN:
- TO CAST A BUOY
 - TO GIVE THE HELM ORDER
 - TO SOUND THE ALARM
 - TO KEEP THE LOOK OUT

Approximate Maneuver Program

Time	Action
0 s	Set rudder 35 STBD. Wait till ship course altered to 44.5 degrees from initial.
79 s	Set rudder 35 PORT. Wait till course altered to -170 degrees from initial.
394 s	Turn AP on. The difference between AP course and initial course must be 180 degrees.

Abb. 24: LNG Kvaerner Moss Brückenposter (Ballast)

2.2.3 LNG-Tanker (Q-Max)

Bei dem verwendeten Modell handelt es sich um eine leicht vergrößerte Version im Vergleich zum Standard Q-Max. Q-Max, auch Qatar-Max, ist eine Größenangabe für Schiffe⁵. Sie bezieht sich auf Schiffe, die gerade noch den Qatargas-2-Terminal von Ras Laffan in Katar⁶ anlaufen können. Diese Schiffe sind 360 m lang, 55 m breit und können mehr als 266.000 m³ verflüssigtes Erdgas transportieren. Bisher sind 14 Schiffe dieser Größe – die Nakilat Q-Max-Klasse – von den Bauwerften Samsung Heavy Industries, Hyundai und DSME an die Reederei Qatar Gas Transport Company abgeliefert worden.



Abb. 25: Simulatormodell LNG Tanker (Q-max)

Die Q-Max Tanker sind Doppelschraubenschiffe und mit einem Doppelruder ausgestattet. Laut Aussage von MOL und verschiedenen Kapitänen solcher Schiffe werden die Maschinen bis zur Fahrtstufe „Langsam voraus“ (ca. 40%) zum Manövrieren mit getrennten Maschinenmanövern gefahren. Das sogenannte „Twisten“ der Antriebe, bei denen eine Drehwirkung des Schiffes durch getrennte Manöver der beiden Maschinen jeweils voraus und zurück erzielt werden soll, ist jedoch bei diesen Schiffen nicht üblich. Insofern dient der doppelte Antrieb eher als Redundanz als zur Verbesserung der Manövrierfähigkeit.

⁵ Länge 345m, Breite 55m, Tiefgang 12m

⁶ Engl. Qatar



Abb. 26: LNG Tanker (Q-max)

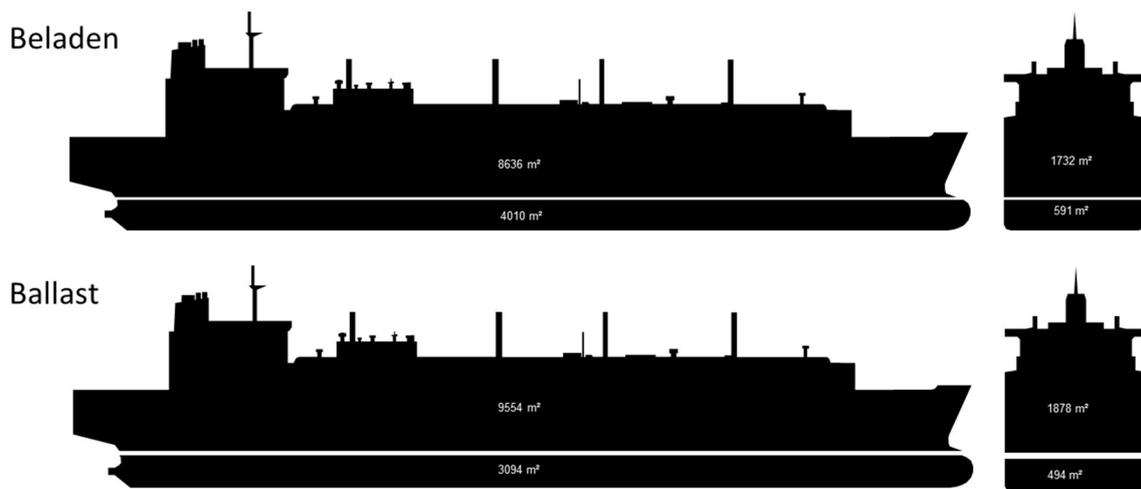


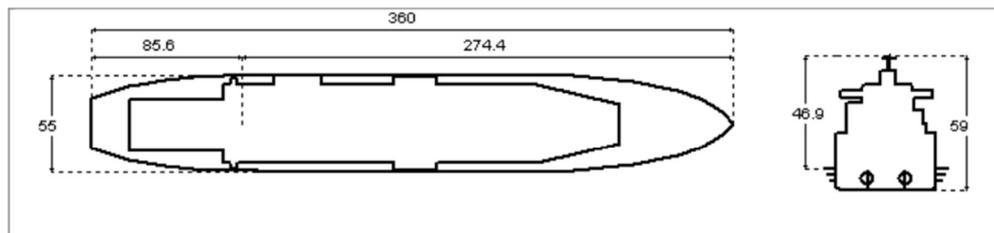
Abb. 27: Über- und Unterwasserflächen Q-Max Modell

1.7.2020

Pilot Card : LNG_13_N2 (VSY: 2.93.3683.0, SMM_RD: 2.214.1678.167, Date: 01.07.2020:02.24)

PILOT CARD					
Ship name	LNG_13_N2 3.0.18.0 *		Date	01.07.2020	
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	N/A
Load Condition	Full Load				
Displacement	183106.98 tons	Draft forward	11.9 m / 39 ft 1 in		
Deadweight	68900 tons	Draft forward extreme	11.9 m / 39 ft 1 in		
Capacity	7728 m3	Draft after	12.1 m / 39 ft 9 in		
Air draft	46.9 m / 154 ft 3 in	Draft after extreme	12.1 m / 39 ft 9 in		

Ship's Particulars			
Length overall	360 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	55 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	17 / 17	(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	12 / 18		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 2	Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	35	Power	N/A
Rudder angle for neutral effect	0 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	12 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	1075.3 s	21.32 cbles	Advance	4.19 cbles
HAH to HAS	1315.1 s	19.97 cbles	Transfer	1.26 cbles
SAH to SAS	1571.4 s	16.5 cbles	Tactical diameter	2.71 cbles

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	2
Number of Main Engine(s)	2	Propeller rotation	Left/Right
Maximum power per shaft	2 x 17490 kW	Propeller type	FPP
Astern power	45.74 % ahead	Min. RPM	23
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	122.5 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"10"	19.7	31466	82.5	0.98
"8"	17.3	18286	70.1	0.98
"6"	13.6	9032	55.2	0.98
"4"	10	5793	45	0.98
"2"	6	1984	30	0.98
"-2"	-2.5	1518	-25.3	0.98

file:///G:/Pilot Card LNG13_N2/Pilot Card LNG_13_N2_Full Load.html

1/2

Abb. 28: Q-Max Pilot Card (Beladen)

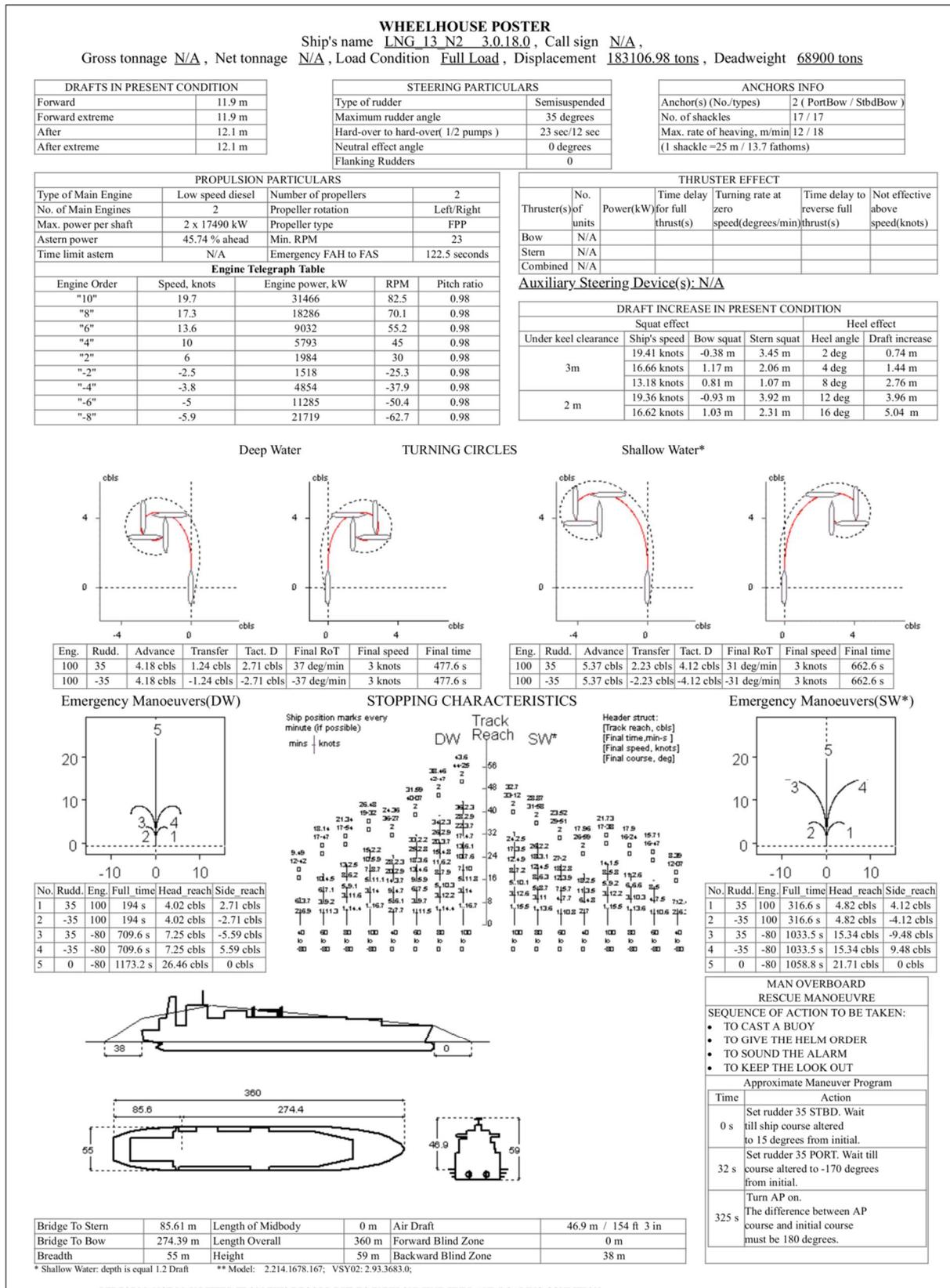


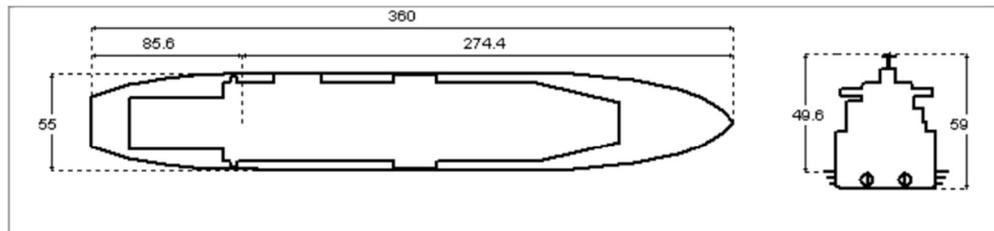
Abb. 29: Q-Max Brückenposter (Beladen)

1.7.2020

Pilot Card : LNG_13_N2 (VSY: 2.93.3683.0, SMM_RD: 2.214.1678.167, Date: 01.07.2020:02.22)

PILOT CARD			
Ship name	LNG_13_N2 3.0.18.0 *	Date	01.07.2020
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A
Year built			N/A
Load Condition	Real Ballast		
Displacement	129263.31 tons	Draft forward	9.2 m / 30 ft 3 in
Deadweight	68900 tons	Draft forward extreme	9.2 m / 30 ft 3 in
Capacity	7728 m3	Draft after	9.4 m / 30 ft 11 in
Air draft	49.6 m / 163 ft 1 in	Draft after extreme	9.4 m / 30 ft 11 in

Ship's Particulars			
Length overall	360 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	55 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	17 / 17	(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	12 / 18		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 2	Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	35	Power	N/A
Rudder angle for neutral effect	0 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	12 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	801.6 s	16.3 cbls	Advance	4.49 cbls
HAH to HAS	1036.8 s	16.18 cbls	Transfer	1.5 cbls
SAH to SAS	1174.3 s	12.66 cbls	Tactical diameter	3.38 cbls

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	2
Number of Main Engine(s)	2	Propeller rotation	Left/Right
Maximum power per shaft	2 x 17490 kW	Propeller type	FPP
Astern power	45.74 % ahead	Min. RPM	23
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	101.6 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"10"	20.3	30879	83	0.98
"8"	18.1	16632	70.3	0.98
"6"	14.5	8569	56.1	0.98
"4"	11	5272	45.4	0.98
"2"	6.6	1995	30.3	0.98
"-2"	-3	1528	-25.6	0.98

file:///G:/Pilot Card LNG13_N2/Pilot Card LNG_13_N2_Real Ballast.html

1/2

Abb. 30: Q-Max Pilot Card (Ballast)

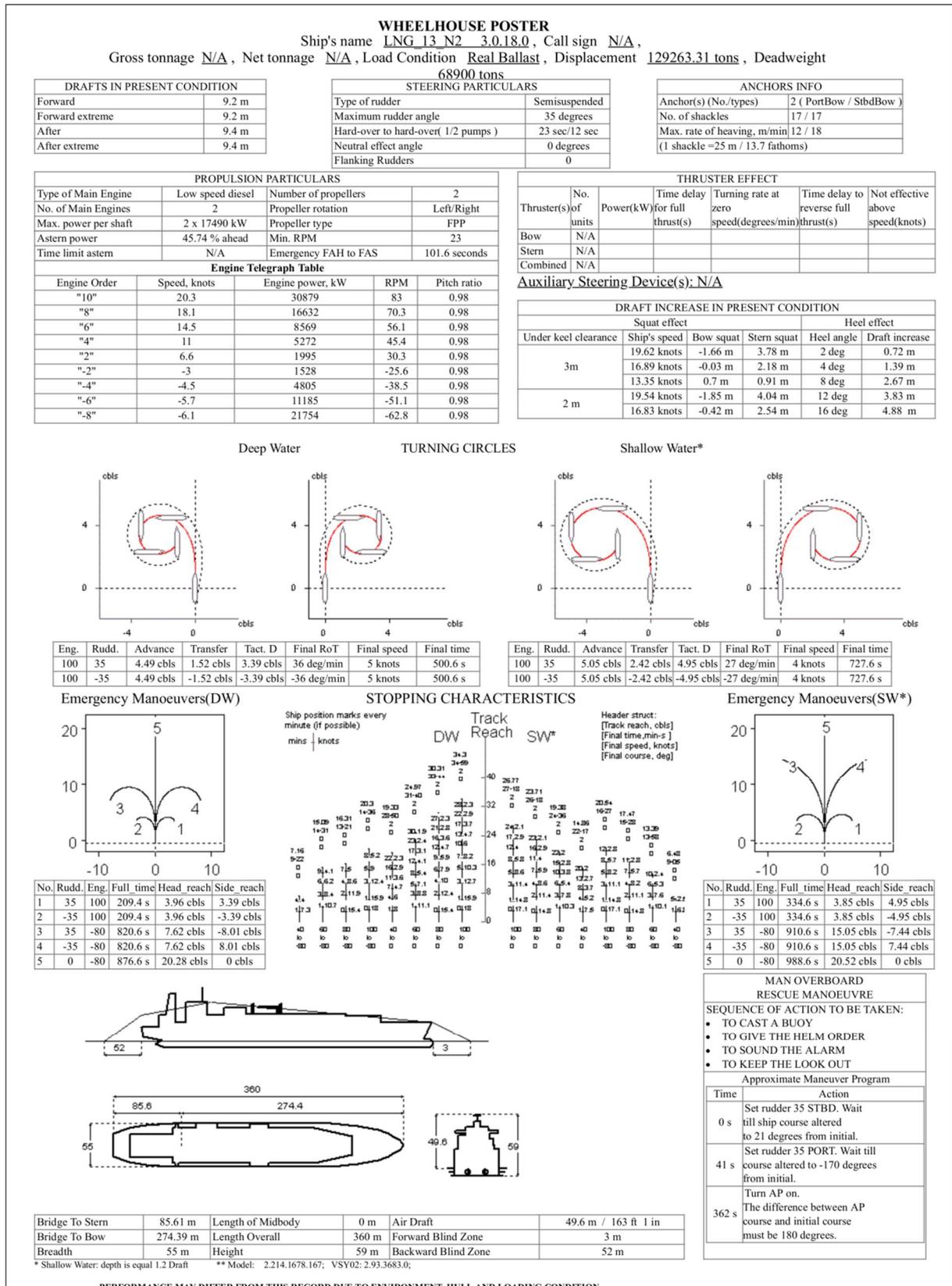


Abb. 31: Q-Max Brückenposter (Ballast)

2.2.4 Bewertung der Schiffsmodelle anhand der Simulationsläufe

Die verwendeten Schiffsmodelle wurden nach den einzelnen Simulationsläufen bezüglich ihres Fahrverhaltens von den jeweiligen Fahrzeugführern bewertet und für realitätsnah befunden.

2.2.5 Manörierverhalten der LNG-Tankschiffe während der Simulationsläufe

Generell zeigten alle LNG-Tanker während der Simulationsläufe ein annähernd ähnliches Fahrverhalten. Als Ergebnis kann festgehalten werden:

- **Das Manörierverhalten wird nicht über das Verhältnis von Länge und Breite bestimmt, sondern über die verfügbaren Manöriereinrichtungen und den jeweiligen Beladungszustand.**
- **Die Aufnahme von Geschwindigkeit erfolgt eher etwas träge und langsam.**
- **Aufgrund der großen Lateralfäche, bedingt durch die große Überwasserfläche, reagieren diese Schiffe, insbesondere das Kvaerner Moss Design, empfindlich auf seitlich einfallende Winde.**

2.3 Schlepper und Schleppermanöver

Die im Rahmen der Simulation eingesetzten Vor- und Achterschlepper waren Eigenschlepper, d.h. die Schlepper wurden von einer Schlepperbrücke aus gesteuert und die Schleppleine wurde über ein Windenpult gesteuert. Die Kommunikation mit dem Eigenschiff erfolgte über Funk.

Die in der Simulation an der Seite der Tanker arbeitenden Schlepper (Drückschlepper) waren sogenannte Autotugs, d.h. sie wurden durch den Instruktor von der Instrukorkonsole aus bedient.

Der zur Verfügung stehende Pfahlzug der eingesetzten Schlepper wurde beim An- und Ablegen auf 80% begrenzt, um eine entsprechende Reserve als Sicherheit gewährleisten zu können. Kurzfristiger Einsatz des maximalen Pfahlzuges (100%) war aber möglich und wurde entsprechend dokumentiert.

Bei den Notmanövern war der Einsatz von 100% Pfahlzug gestattet, da unter diesen Umständen eine Sicherheitsreserve nicht berücksichtigt werden kann.

In der Seeschiffsassistenten gibt es grundsätzlich drei Phasen. Im sogenannten „free sailing“- Modus fährt das Schiff mit einer Fahrt zwischen 15kn (bzw. voll voraus oder Manöver voll) und etwa 10kn. Bei dieser Geschwindigkeit ist das Schiff unter eigener Kontrolle. Sämtliche notwendigen Manöver können mit eigenen Manövriereinrichtungen sicher durchgeführt werden.

Wird die Fahrt weiter reduziert, kommt das Schiff in die sogenannte „Escorting-Phase“. Diese liegt im Bereich von etwa 10 – 4kn. Während dieser Phase der Geschwindigkeitsreduzierung verliert das Schiff mehr und mehr die Möglichkeit, die notwendigen Manöver aus eigener Kraft sicher auszuführen. Hier ist es geboten einen Achterschlepper anzunehmen, der sowohl als „Bremse“ als auch als Steuerschlepper wirken kann. Im oberen Geschwindigkeitsbereich dieser Phase wird üblicherweise mit der Methode des sogenannten „indirect towing“ gearbeitet. Dieses bedeutet, dass der Schlepper seine Bremskraft nicht aus dem direkten Einsatz von Motorleistung bezieht, sondern durch kontrollierten Einsatz des Widerstandes seines Unterwasserschiffes indirekt Kräfte auf die Schleppleine bringt. Dieses Manöver funktioniert je nach gewähltem Antriebskonzept des Schleppers unterschiedlich. Charakteristisch für einen Escort Schlepper ist aber jeweils ein Kiel mit großer Fläche, der sogenannte Skeg. Im indirekten Modus erzeugt der Schlepper einen deutlich höheren Pfahlzug als im direkten Modus. Je nach Antriebskonzept muss der Schlepper bei niedrigeren Geschwindigkeiten in den direkten Modus wechseln, um seine Effizienz auf hohem Niveau zu halten.

In der letzten Phase geht es im Geschwindigkeitsbereich zwischen 4 - 0kn um das reine Manövrieren. Je nach vorhandenen Manövriehilfen, wie zum Beispiel Bug- und Heckstrahler, bemisst sich die Anzahl der Schlepper, die zur Assistenz angenommen werden müssen.

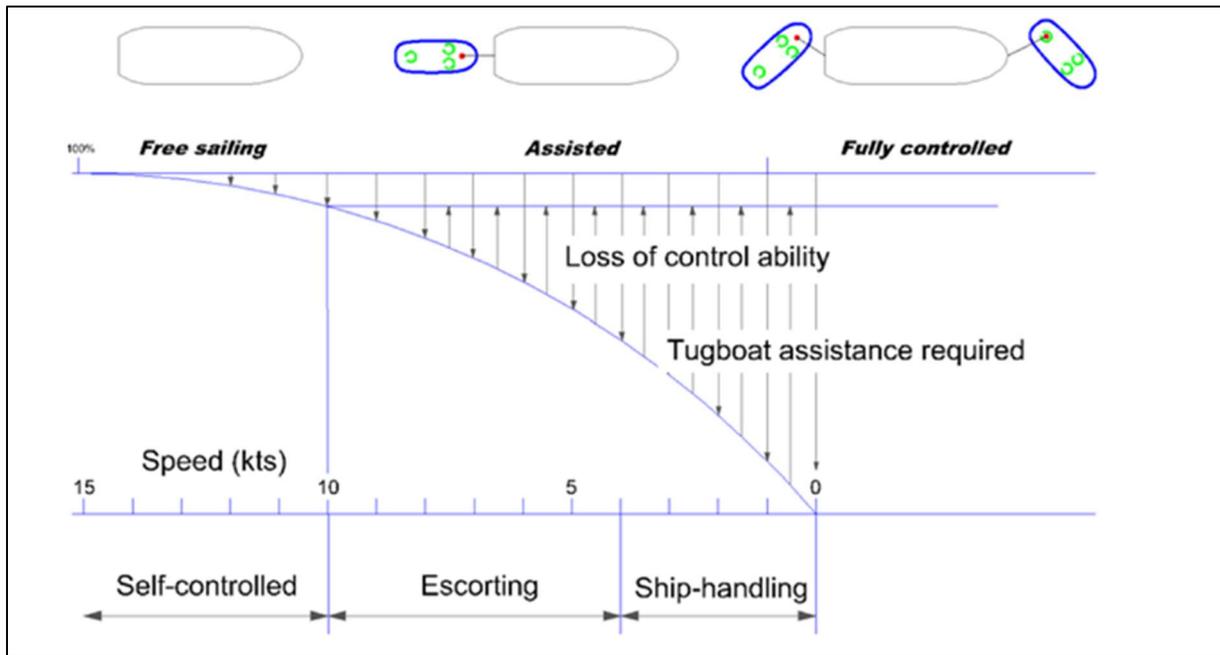


Abb. 32: Phasen des Schleppvorgangs

2.3.1 Simulation mit Schleppern

In der Simulation gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten Schlepper einzusetzen

- als Modell mit drei Freiheitsgraden (3-DoF)
- als Modell mit sechs Freiheitsgraden (6-DoF)

2.3.2 Modelle mit 3 Freiheitsgraden

Diese Schleppermodelle geben das echte Verhalten eines Schleppers nur bedingt wieder und reagieren nicht auf Umwelteinflüsse. Bei einem 3-DoF Schleppermodell werden die Leinenkräfte in Form von Vektoren dargestellt. Die Anwendung erfolgt unabhängig vom verwendeten Antriebssystem und berücksichtigt auch nicht die Energie die dadurch verloren geht, dass der Schlepper sich im Strom positionieren muss und Windeinflüssen ausgesetzt ist.

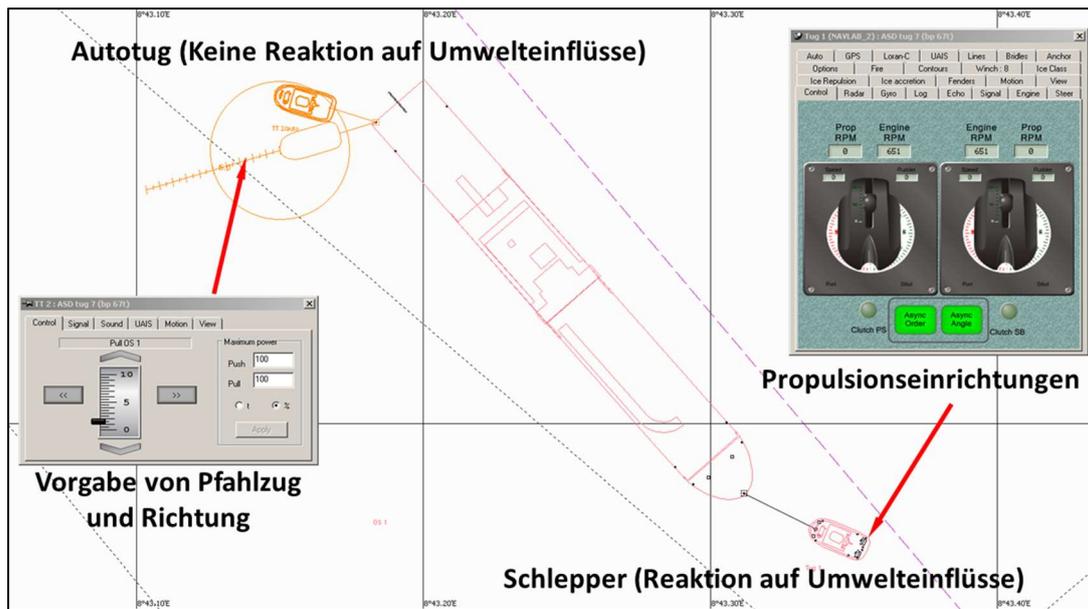


Abb. 33: „Autotug“ im Vergleich zu „Real Tug“

2.3.3 Modelle mit 6 Freiheitsgraden

6-DoF Modelle ermöglichen einen realitätsgetreueren Einsatz von Schleppern in Simulationen. Die Schlepper werden wie Eigenschiffe in der Simulation eingesetzt und gesteuert. D.h. sie verfügen über ein Windenmodul zum Steuern der Leinenlänge und werden von Schlepperkapitänen gesteuert. Die Kommunikation mit dem Eigenschiff erfolgt über Funk. Sie sind wie das Eigenschiff Strom und Wind ausgesetzt und müssen entsprechend manövrieren.

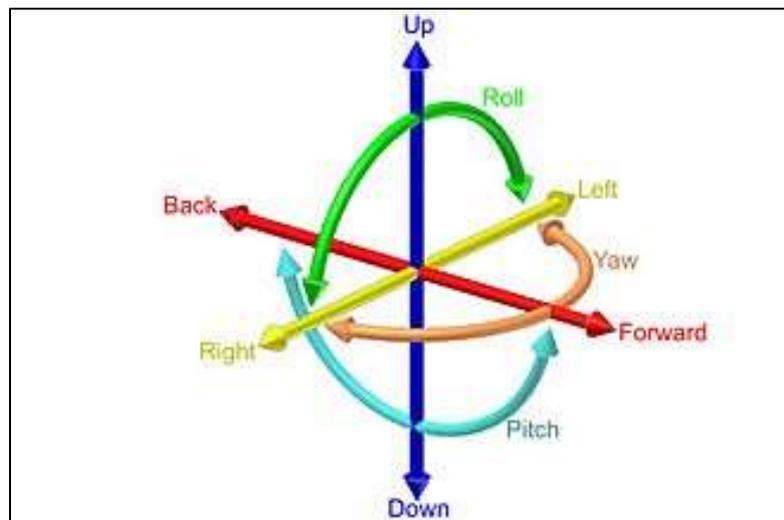


Abb. 34: Die 6 Freiheitsgrade (6-DoF)

Um einen hohen Grad an Realismus zu erreichen, verwendet NAUTITEC im Rahmen von Hafen- und Fahrwasserstudien ausschließlich 6-DoF Schlepper.

2.3.4 Verwendete Schleppertypen

Im Rahmen der Simulation wurden sowohl ASD⁷ – Schlepper wie auch Rotor-Schlepper eingesetzt.

Schleppertyp	Modell	Pfahlzug	Leistung	Tiefgang	Verdrängung	Autotug	Eigen-schlepper
Azimuth Stern Drive Tug	ASD tug 7	67 t	2 x 2090 kW	5,40 m	483 t		X
	ASD tug 2	78 t	2 x 2320 kW	4,90 m	1.050 t	X	
Rotortug	Rotortug 1	80 t	3 x 1768 kW	6,10 m	820 t		X

Tabelle 2: Verwendete Schleppertypen

2.3.4.1 Azimuth Stern Drive Schlepper (ASD)

Der ASD-Schlepper zeichnet sich dadurch aus, dass er über zwei Antriebseinheiten verfügt, die sich unter dem Achterschiff befinden und dort relativ weit achtern angeordnet sind. ASD- Schlepper haben sich in den letzten Jahren weltweit als Standard für den Einsatz als Hafenschlepper entwickelt.

Standarddesigns verfügen über eine Winde auf dem Vorschiff. Das bedeutet, dass über den Bug geschleppt wird. In einem solchen Fall spricht man von einem „Reverse Traktor“. Größter Nachteil dieses Konzeptes ist, dass der ASD im Einsatz als Vorschlepper über den Bug schleppt. Das bedeutet, dass er in der Anspannphase mit hoher Geschwindigkeit rückwärtslaufen muss und deshalb sein zumeist niedriges Heck gegen die See fährt. Überkommendes Wasser beeinflusst die Stabilität und Steuerfähigkeit des Schleppers negativ.



Abb. 35: ASD-Schleppermodell

Vereinzelte verfügen ASD-Schlepper zusätzlich über eine Winde am Heck. Wenn über die hintere Winde geschleppt wird, ist der ASD-Schlepper im Prinzip ein konventioneller Schlepper. Das ist aber wegen der räumlichen Nähe von Leinenpunkt und Antrieben nur bei Seeverschleppungen sinnvoll.

⁷ Azimuth Stern Drive tug

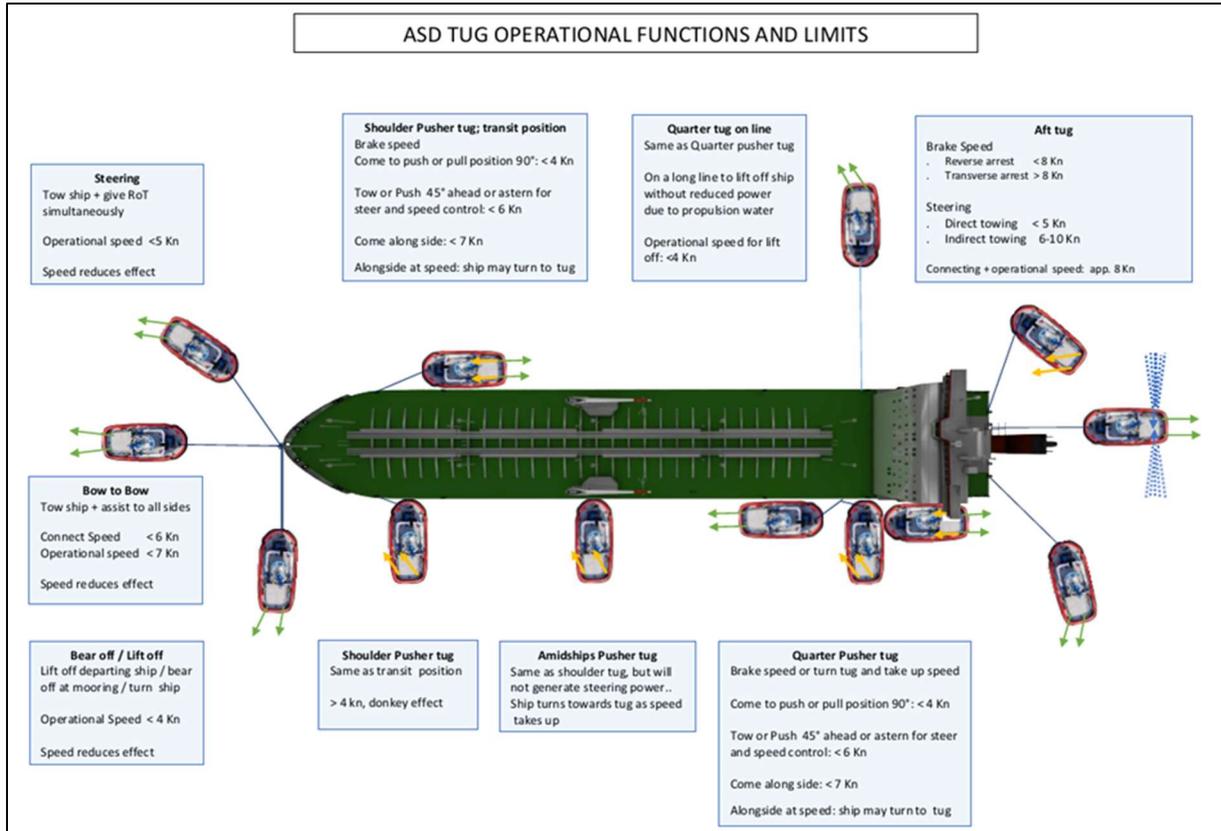


Abb. 36: ASD-Schlepper - Arbeitsweise und Leistungsgrenzen

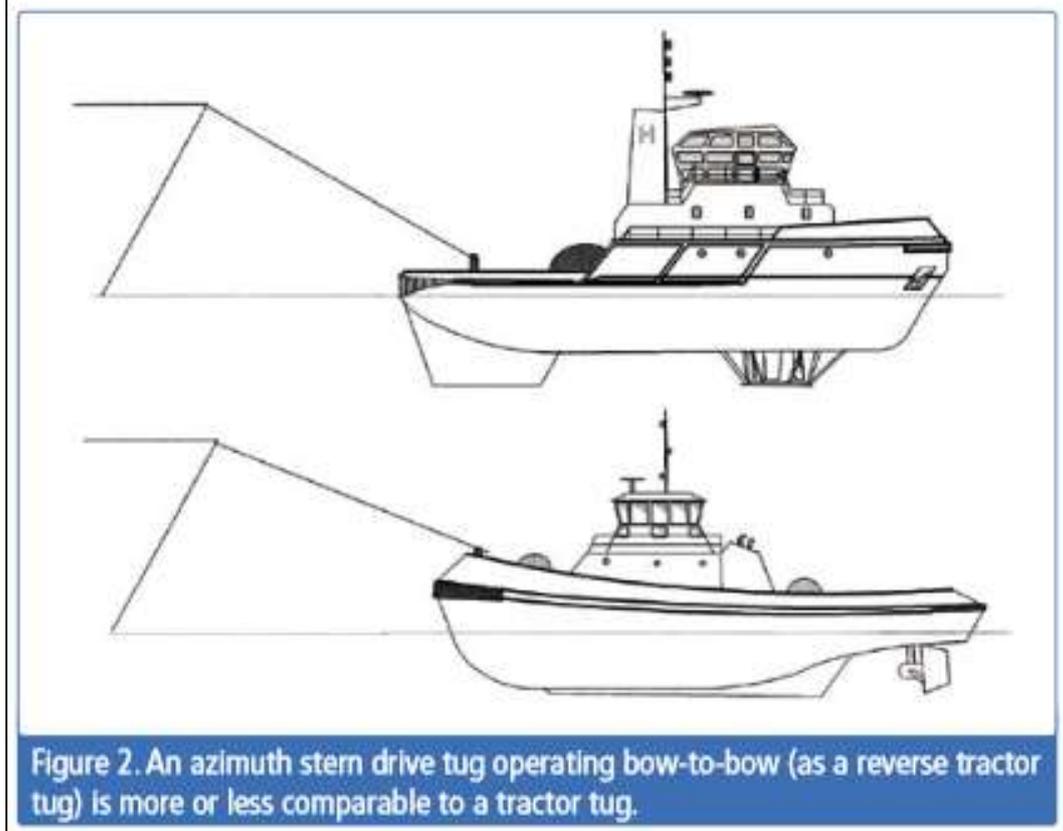
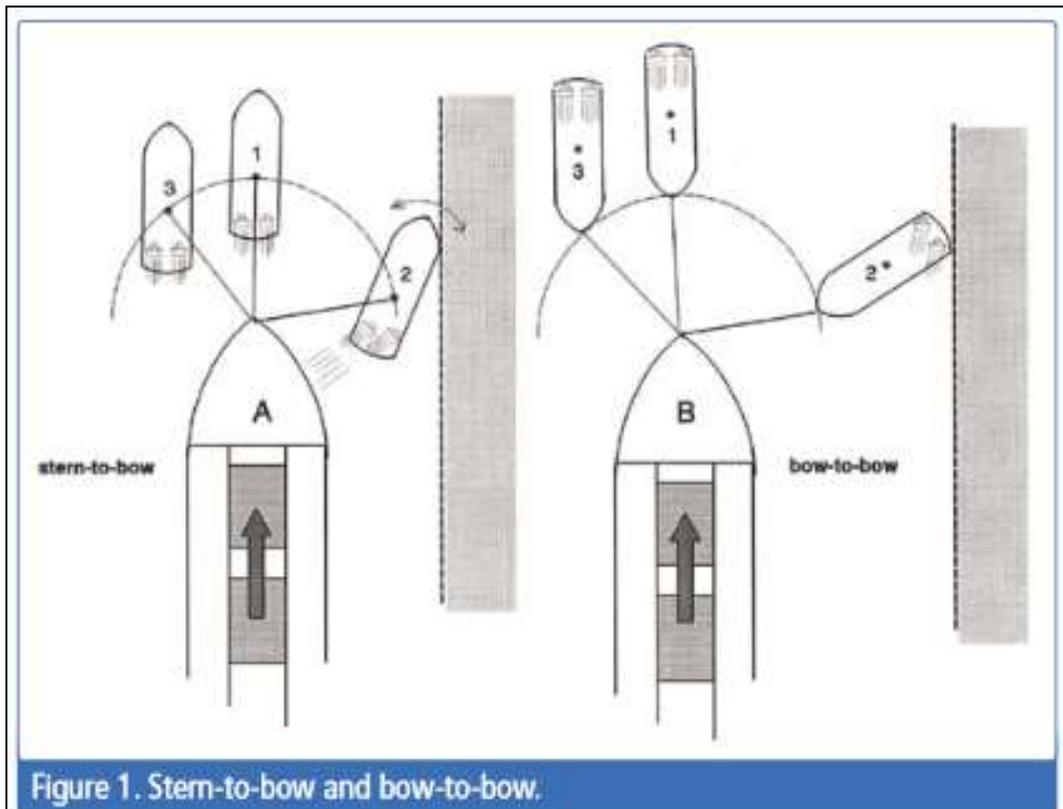


Abb. 37: Verhalten eines ASD-Schleppers⁸

⁸ Henk Hensen: "Bow Tug Operations with Azimuth Stern Drive Tugs: Risks and Effectiveness", The Nautical Institute, 2006

2.3.4.2 Rotortug

Weiterhin wurde der Rotortug eingesetzt. Beim Rotortug ist anstelle des Skegs im Achterschiff ein dritter Antrieb unter dem Rumpf angebracht. Dieser verleiht dem Schlepper eine äußerst wendige Charakteristik, die mit der Möglichkeit einhergeht, in praktisch jede Richtung eine konstante Kraft auf die Schleppleine zu bringen.

Rotortugs verfügen über jeweils eine Winde vorne und achtern, so dass nach Ausfall einer Winde ggfs. die Leinenverbindung über die zweite Winde hergestellt werden kann. Diese Möglichkeit, sowie die Fähigkeit auch bei Ausfall einer Antriebseinheit mit den verbleibenden beiden Antrieben ein Schleppmanöver sicher zu Ende zu führen, zeichnen den Rotortug als besonders für sensitive Einsätze -wie an LNG-Terminals- geeigneten Schleppertyp aus. Rotortugs befinden sich unter anderem auch am Gate Terminal in Rotterdam sowie am FLUXYS-LNG-Terminal in Zeebrügge im Einsatz.



Abb. 38: Rotortug-Schleppermodell

Als Besonderheit kann mit dem Rotortug das sogenannte „Rotoring- Manöver“ ausgeführt werden. Hiermit bezeichnet man die Möglichkeit des schnellen Wechsels zwischen dem Tauen eines Schiffes zum- und vom Liegeplatz ohne Verlust des Pfahlzugs auf engem Raum.



Abb. 39: Vergleich Drehkreis Rotortug und ASD-Schlepper

Diese Methode ist besonders deshalb interessant, weil hier ein theoretisches Einsparpotential an Druckschleppern insbesondere bei gemäßigten Wetterverhältnissen ohne Einbußen bei der Sicherheit besteht.

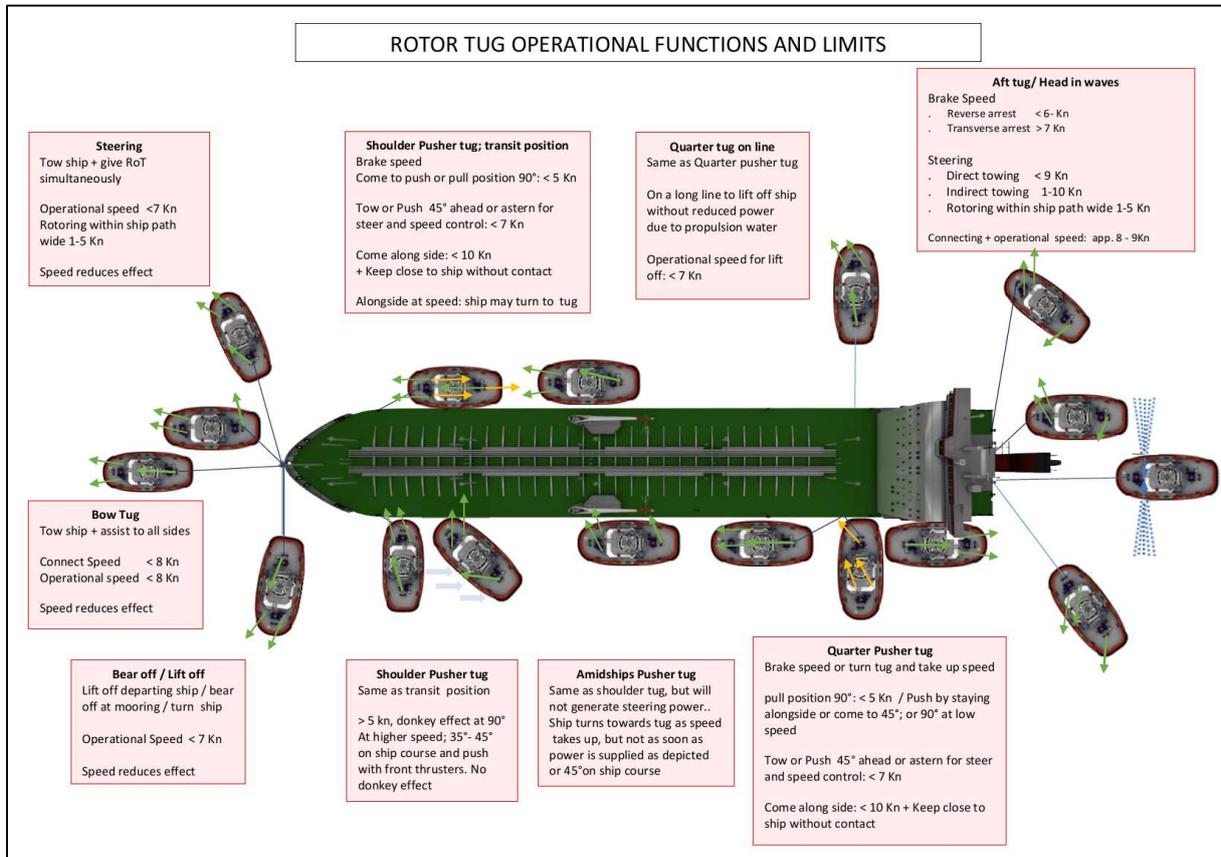


Abb. 40: Rotor Schlepper - Arbeitsweise und Leistungsgrenzen

2.3.4.3 Zusammenfassung Schleppertypen

Folgende Aufstellung gibt zusammenfassend die wesentlichen Leistungsmerkmale der einzelnen Schleppertypen wieder.

		Comparison table based on experience with the mentioned Tug types at same Bollard Pull (BP)		
		ASD - 2 azimuthing propellers	Tractor Tug - 2 azimuthing propellers	Rotortug - 3 azimuthing propellers
		AZIMUTH STERN DRIVE TUG	Tractor Tug (f.i. VS)	Rotor®Tug
1	Draught > 75 BP	less than Tractor Tug more than Rotor®Tug	more than ASD and more than Rotor®Tug	less than ASD and less than Tractor Tug
2	Draught < 75 BP	less than Tractor Tug and Rotor®Tug	more than ASD and more than Rotor®Tug	more than ASD and less than Tractor Tug
3	Safe towing points	1 safe towing point at the bow	1 safe towing point at the stern	2 safe towing points at stern as well as bow
4	Towing over stern	risk of capsizing by girting	safe	safe
5	Towing over bow	safe	not possible	safe
6	Push/Pull	good, safe over the bow	good, safe over the stern	good, safe over bow and stern
7	Safe connecting to stern of speeding ship in waves and current	good, safe over the bow	good, safe: if waves not too high	good, safe over bow
8	Safe connecting to bow of speeding ship in waves and current	unsafe, due to less control with waves on aft deck	good, safe over the stern	good, safe over stern
9	BP sideways (pushing with the side)	limited BP	limited BP	high, approx 80% of max pull
10	Side stepping	approx 3-4 knts	approx 3-4 knots	high, approx 6-7 knots
11	Towline control at mooring in confined or restricted areas	only in line with tow line due to one end propeller configuration see fig. 1	only in line with tow line due to one end propeller configuration see fig. 1	good, high pulling in any direction (rotoring) due to unique triangle thruster configuration see fig. 1
12	Towline control at narrow passages	goes outside path width need to reposition see fig. 2	goes outside path width need to reposition see fig. 2	stays within path width no need to reposition see fig. 2
13	Positioning in current without force on towline	not possible fig. 3	not possible fig. 3	good, thruster configuration makes dynamic positioning possible. Fig. 3
14	Escort capabilities	good, less when speed decreases	good, less when speed decreases, risk of capsizing at high speed (10 knots)	good, also when speed decreases
15	Propulsion or winch brake down when towing	assisting strongly restricted	assisting strongly restricted	still 66 pct BP, good manoeuvrability or via other winch
16	Behaviour in swell during assistance	risk of propeller ventilation fig. 4	no propeller ventilation fig. 4	good, no propeller ventilation. Extra: ability for wave damping with fwd thruster units during pushing fig. 4

■ = Negative
 ■ = Limited
 ■ = Positive
 = Not possible

Tabelle 3: Vergleichstabelle Schleppertypen⁹

⁹ <http://rotortug.com>

2.3.5 Bestimmung des notwendigen Pfahlzuges

Grundsätzlich gilt, dass der für ein Manöver notwendige Pfahlzug der Schlepper größer sein muss als die auftretenden Kräfte.



Abb. 41: Auftretende Kräfte beim Schleppvorgang

Die Bestimmung des notwendigen Pfahlzuges zum sicheren Assistieren eines Schiffes kann durch verschiedenste komplexe Rechenwege erfolgen. Zur einfachen Ermittlung kann jedoch folgende Faustformel herangezogen werden.

Notwendiger Pfahlzug

≥ Kräfte hervorgerufen durch Wind + Strom + Welle

Überschlagsmäßig lässt sich der notwendige Pfahlzug mit folgender Formel berechnen

$$\text{Pfahlzug (t)} = \frac{\text{Verdrängung}}{100.000} * 60 + 40$$

Diese Formel kommt ursprünglich aus dem Schiffbau und dient zur groben Berechnung des Schleppgeschirrs und der an Bord eingebauten Poller und Klüsen.

2.4 Pfahlzug

Der einem Schlepper attestierte Pfahlzug ist ein theoretischer Wert, der während einer Pfahlzugprobe unter optimalen Bedingungen bei Nutzung einer Maschinenleistung erzielt wird, die in der Regel über 100% hinausgeht und im praktischen Betrieb eigentlich nie zum Einsatz kommt. In der Praxis liegt der Pfahlzug eines Schleppers daher niedriger. Man spricht hier von der sogenannten Effizienz eines Schleppers. Diese liegt nach Erfahrungswerten bei 75% des attestierten Pfahlzuges. Dieser Wert wird beispielsweise auch von Versicherern bei der Berechnung notwendiger Schlepperkapazität angenommen.

Berücksichtigt sind in dieser Formel weder große laterale Seitenflächen der zu schleppenden Schiffe noch extreme Windstärken (z.B. Böen) am oberen Ende der Beaufort Skala. Wie weiter unten gezeigt wird, sind die auf diese Weise errechneten Pfahlzüge nicht auf die Simulation direkt anwendbar.

Schlepper	Verdrängung (t)	Pfahlzug (t)
FSRU	110.400 t	107 t
LNG (Q-Max)	183.106 t	150 t
LNG (Kvaerner Moss)	108.959 t	105 t

Tabelle 4: Benötigter Pfahlzug nach überschlägiger Berechnung

2.4.1 Schlepper im Push / Pull Modus

Generell lässt sich sagen, dass solange ein Schiff Fahrt durchs Wasser macht, ein Schlepper, der über eine Leine arbeitet, die größte Effektivität erzielt. Drückende Schlepper sind immer dann effektiv, wenn das Schiff keine Fahrt durchs Wasser macht und der Schlepper seine gesamte Kraft über die Fender in die Bordwand des Schiffes einbringt und dabei keine Leistung für das eigene Positionieren am Schiff abgeben muss.

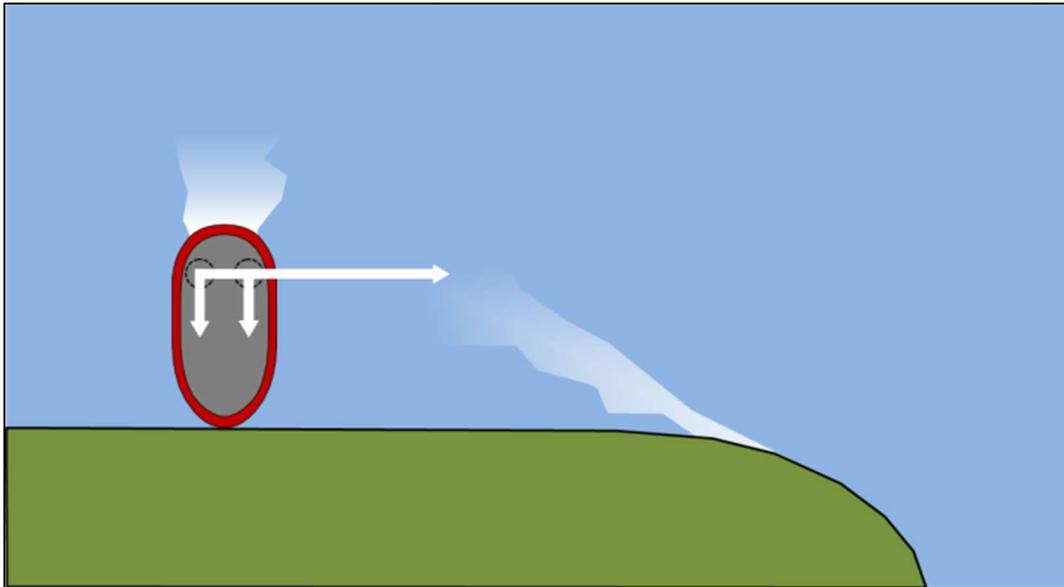


Abb. 42: Verlustleistung durch Positionieren am Schiff

Sobald ein Schlepper an einem Schiff drückt, das Fahrt durchs Wasser macht, entspricht der Fahrtstrom am Schiff einem Vektor, der auf die Seite des drückenden Schleppers wirkt. Diesen Vektor muss der Schlepperkapitän ausgleichen, indem er mindestens einen seiner Antriebe gegen die Einfallsrichtung der Kraft stellt. In der Summe der Kräfte bedeutet dieses einen Verlust an Effektivität. Hierbei muss erwähnt werden, dass auch starke Strömung am ruhenden Schiff im Prinzip als Fahrt durchs Wasser zu bezeichnen ist.

Je nach Antriebssystem ist der Verlust an Pfahlzug beim Drücken an einem Fahrzeug unterschiedlich. Trotzdem sind insbesondere in strömenden Gewässern Leinenmanöver dem Drücken vorzuziehen, insofern genügend Manövrierraum für den Schlepper vorhanden ist.

2.4.2 Drehpunktlage des Schiffes beim Schleppen

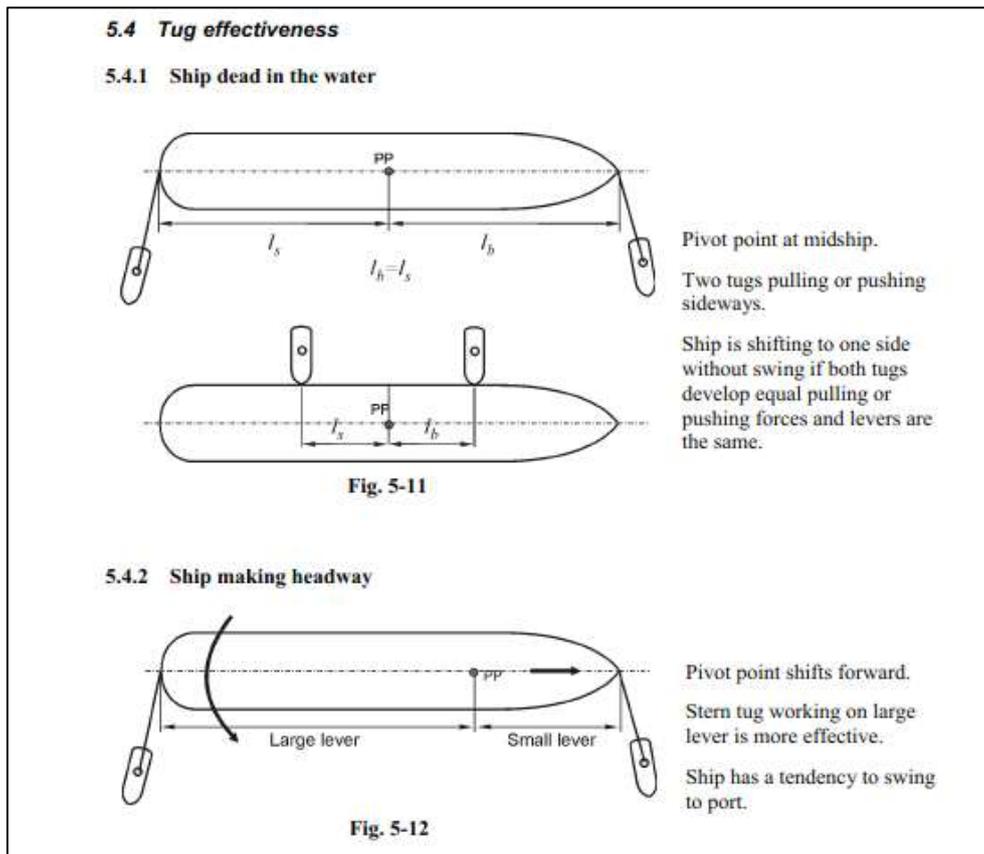


Abb. 43: Drehpunktlage beim Schleppen¹⁰

Die oben abgebildete Grafik beschreibt den Einfluss des Drehpunktes auf die Effektivität der eingesetzten Schlepper bzw. auch der Querstrahleinrichtungen. Bezugsebene für die Berechnung ist die Fahrt durch das Wasser.

$$\text{Drehmoment} = \text{Kraft} \times \text{Hebelarm}$$

Läuft das Schiff voraus, bzw. der Strom strömt das Schiff von vorne an, liegt der Drehpunkt vor der Mittschiffsebene. Läuft das Schiff achteraus bzw. strömt der Strom das Schiff vom Heck an, liegt der Drehpunkt hinter der Mittschiffsebene.

Vorausgesetzt es handelt sich vorne und achtern um zwei Schlepper mit identischem Pfahlzug gilt folgendes: bei Vorfahrt bzw. Strom von vorne erzielt der Achterschlepper ein höheres Drehmoment als der Vorschlepper. Bei Rückwärtsfahrt bzw. Strom von achtern verhält es sich genau andersherum.

Das bedeutet, dass durch den sich ändernden Hebelarm die Wirkung der eingesetzten Schlepper bei gleicher Leistung variiert, je nachdem wie der Strom auf das Schiff wirkt.

¹⁰ Henk Hensen: Tug use in Port, Nautical Institute, 2003

2.4.3 Schlepperversorgung in Wilhelmshaven

Für den Monat März hat NAUTITEC mit Hilfe der Datenbanken unseres Partners FLEETMON die Bewegungen und Liegeplätze der verfügbaren Schlepper im Hafen Wilhelmshaven analysiert. In dem Referenzmonat waren Schlepper aller Antriebssysteme in Wilhelmshaven verfügbar. Die in der Tabelle aufgeführten 12 Schlepper waren im März in Wilhelmshaven eingesetzt.

Name	Antrieb	Pfahlzug (BP)
Bugsier 1	Traktor	63 t
Fairplay 34	ASD Azimuth Stern Drive)	104 t
Fairplay 81	Tractor	72 t
ZP Boxer	Traktor	70 t
VB Emoe	Rotor	85 t
Corvin	ASD	72 t
Stella	VWT (Voith Water Tractor)	51 t
VB Berne	VWT	26 t

Tabelle 5: In WHV eingesetzte Schlepper im Monat März

Einige dieser Schlepper wurden gemäß dem Verkehrsaufkommen sowohl in Wilhelmshaven als auch in den Weserhäfen eingesetzt. Pro Tag befinden sich zwischen 8 und 10 Schlepper einsatzbereit in Wilhelmshaven. Diese Schlepper bedienen alle im Hafengebiet befindlichen Liegeplätze für Tanker und Bulkcarrier, sowie den Verkehr am Jade Weser Port. Generell ist in der Praxis zu beobachten, dass sich die Betreiber von LNG- Terminals mittels Schleppverträgen mit einer oder mehreren Schleppreedereien die benötigte Schleppleistung vertraglich sichern. Insofern reagieren die Schleppreedereien auf Veränderungen im Markt für den jeweiligen Hafen und stationieren entsprechend mehr oder weniger Tonnage am Ort.

Für die Schlepper werden ein Schlepperhafen am nördlichen Ende des Jade Weser Port (Entfernung zur geplanten FSRU ca. 1,5 nm) und Liegeplätze im Westen der vierten Einfahrt vorgehalten. Der Liegeplatz in der vierten Einfahrt befindet sich in ca. 6nm Distanz zur geplanten FSRU.

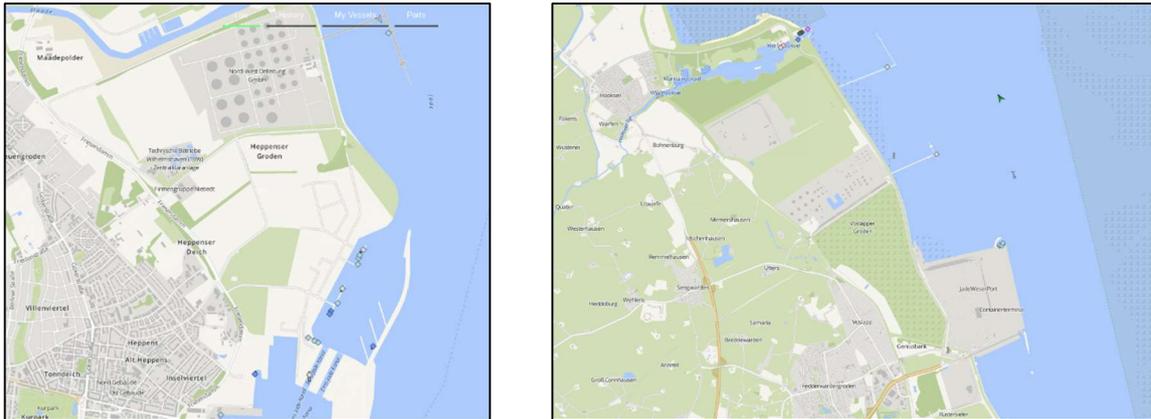


Abb. 36: Schlepperliegeplätze Wilhelmshaven

2.5 Umweltmodell

2.5.1 Das Seegebiet der Jade im Bereich Heggeniser Rinne

Für die Durchführung der Simulation wurde ein Seegebiet der Jade verwendet, welches durch NAUTITEC für den Zweck der Lotsenfortbildung und für bereits beendete Studien für ein bestehendes LNG-Terminal erstellt worden ist. Dieses Seegebiet befindet sich zum Zeitpunkt der Simulation für dieses Projekt auf neuestem Stand.

Die in dem Seegebiet definierten Wassertiefen entsprechen den Peilplänen der WSV.

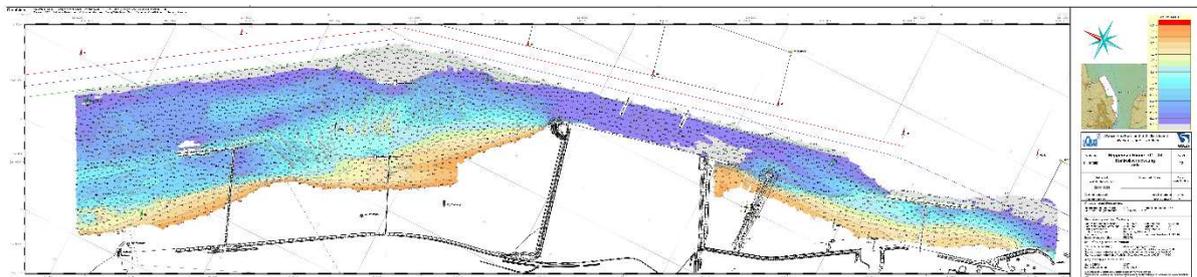


Abb. 44: Peilplan Heggeniser Rinne

Die Wasser- und Schifffahrtsämter vermessen im Rahmen der Fahrwasserunterhaltung die Wasserstraßen ihrer jeweiligen Zuständigkeitsbereiche. Die erzielbare Datenqualität ist dabei abhängig von dem eingesetzten Instrumentarium. Die Positionierung der Messschiffe erfolgt mittels PDGPS (Messunsicherheit 5 cm). Für die Tiefe wird eine Messunsicherheit von 2 dm + 1% der Tiefe eingehalten¹¹.

In das Seegebiet wurde die als Autocad-- Datei vorliegende Konstruktionszeichnung des Terminals anhand von Georeferenzpunkten eingepflegt und ausgerichtet. Anschließend wurden bekannte geographische Eckpunkte der Anlage mit den passenden Daten des Simulatormodells abgeglichen.

¹¹ Ecofys: "Morphologische Stabilitätskarte für die Kabelanbindung von Offshore-Windparks in den Flussmündungsbereichen von Elbe, Weser, Jade und Ems", 2009.

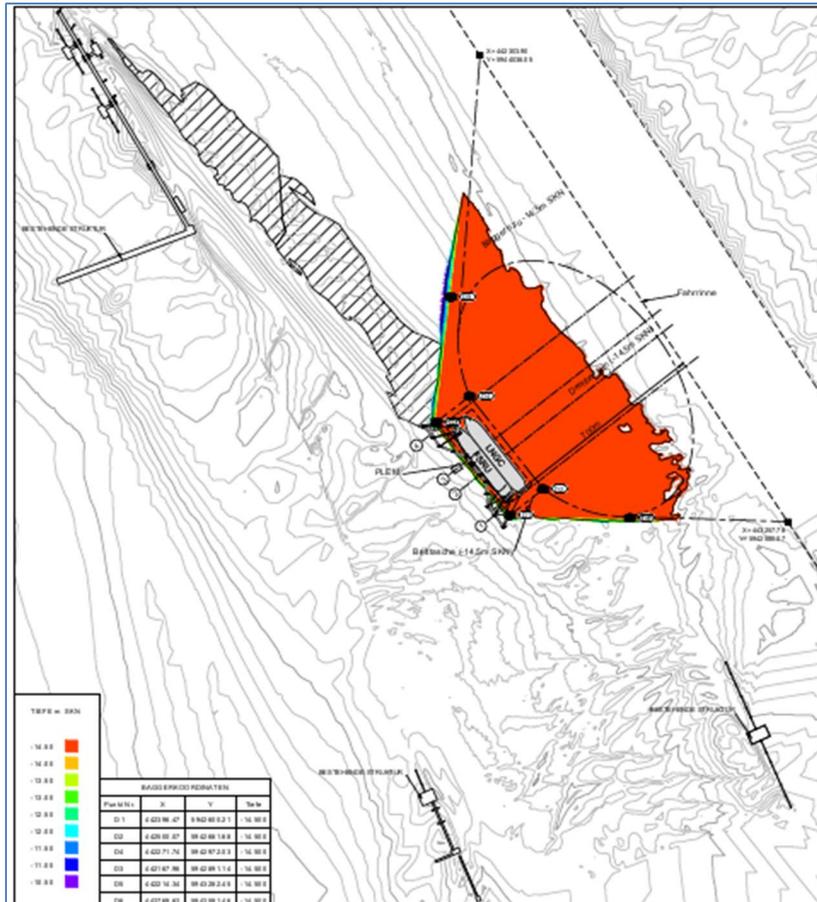


Abb. 45: Peilplan mit Terminal der TES(Ausschnitt)

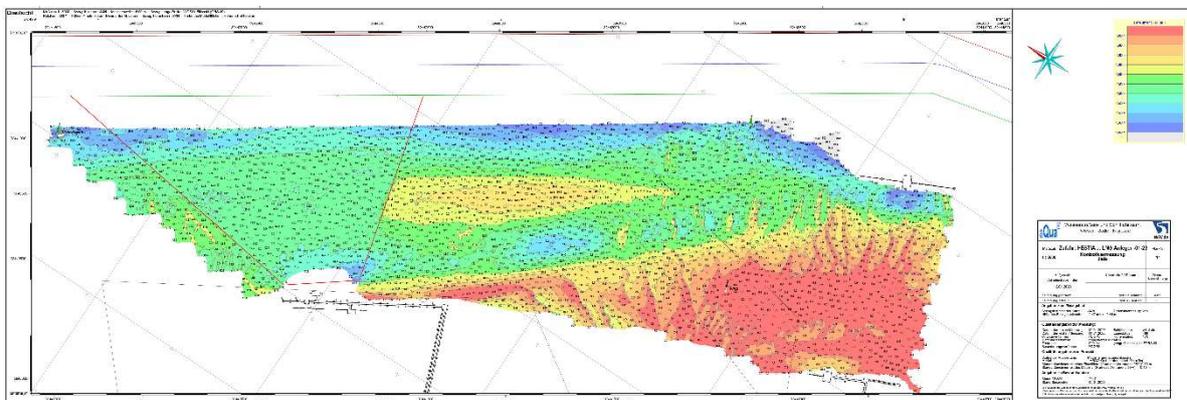


Abb. 46: Zufahrten LNG Anleger Uniper und HES- Anleger

2.5.2 Liegeplatz der FSRU

2.5.2.1 Modellierung des Liegeplatzes



Abb. 47: 3D Ansicht des Inselanlegers der TES

Im Rahmen der Simulationsläufe wurde der heutige Fahrwasserverlauf als Basis genommen und entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers angepasst.

Um ein sicheres Anlaufen des Liegeplatzes sicherzustellen, ist geplant einen trapezförmigen Bereich, den Zufahrtsbereich, zwischen dem Fahrwasser und dem Liegeplatz auf eine Kartentiefe von -14,50 m SKN auszubaggern.

Folgende Anpassungen wurden entsprechend den o.g. Vorgaben vorgenommen:

- ein gebaggerter Bereich, um ein sicheres Anlaufen der Außenseite des neuen Inselanlegers zu ermöglichen.

Dieser Bereich ist in der Karte als gestrichelte Linie kenntlich gemacht.

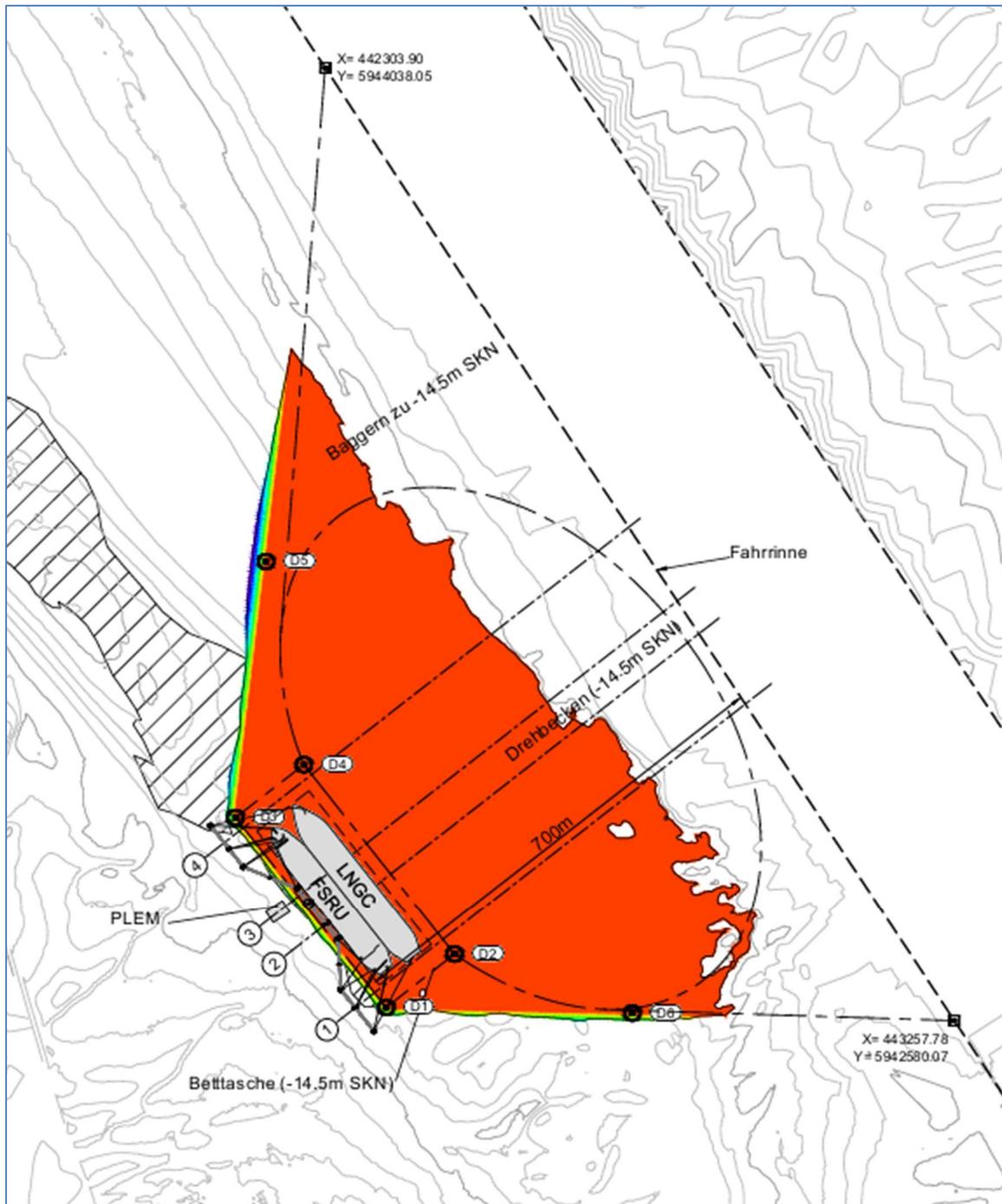


Abb. 48: FSRU Liegeplatz TES

In einem separaten Projekt wurde für den neuen Anleger ein Beleuchtungskonzept erarbeitet. Dieses Konzept sieht die indirekte Beleuchtung der Anlegerstruktur, Nebelschallsignalsender sowie die Markierung des gebaggerten Bereiches mit jeweils einer Richtfeuerlinie vor.

Des Weiteren sollte eine Anlage zur Messung der Annäherungsgeschwindigkeit eines LNGC an die FSRU installiert werden.

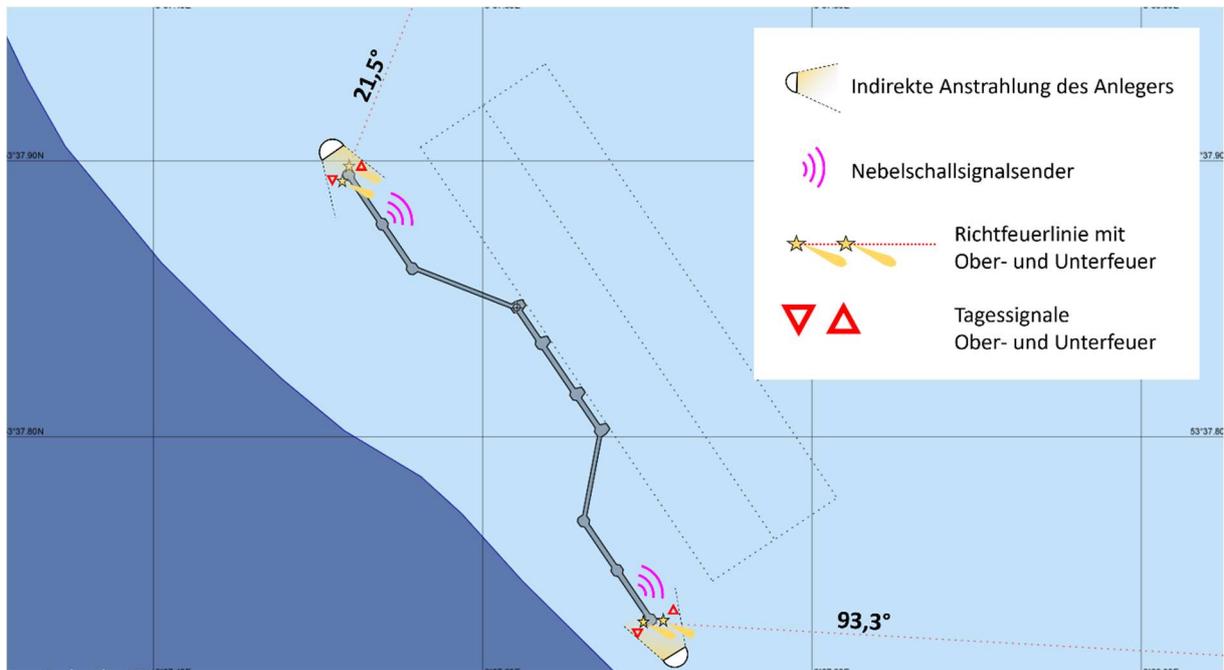


Abb. 49: Vorschlag Beleuchtungskonzept TES- Anlegers

2.5.3 Die Jade

Die Jade ist eine tief in das Festland einschneidende Meeresbucht, die im Laufe der Zeit durch Sturmfluteinbrüche der Nordsee in die friesische Marschenküste entstanden ist. Namensgeber ist das nichtschiffbare Flösschen Jade, das am südlichsten Punkt des Jadebusens durch das Wapeler Siel einmündet.

Das Jadegebiet gliedert sich in Außenjade, Innenjade und Jadebusen. Als Nordgrenze der Innenjade gilt die Linie Schillig-Mellum. Das Jedefahrwasser teilt sich südlich von Wilhelmshaven in mehrere Rinnen, die in den Jadebusen führen und dort bei abnehmenden Tiefen und Breiten in Priele übergehen.

- Revierfahrt von der Helikopter Versetzposition im Verkehrstrennungsgebiet „Jade Approach“ bis zum geplanten Liegeplatz der FSRU ca. 41 nm.
- Fahrwasserbreite¹²: ca. 660 m
- Breite der gebaggerten Trasse im Fahrwasser: 300 m
- Bemessungsschiff: tideabhängiger Tanker mit ca. 250.000 tdw, L = 350 m, B = 52 m, T bis 20 m

¹² Breite zwischen Fahrwassertonnen (Lateralbetonung)

2.5.3.1 Befahrensregelungen für die Jade

In der nachstehenden Grafik sind die derzeit geltenden Befahrensregelungen für die Jade dargestellt. Grundlage hierfür sind die SeeSchStrO und die Bekanntmachungen der WSD NW zur SeeSchStrO.

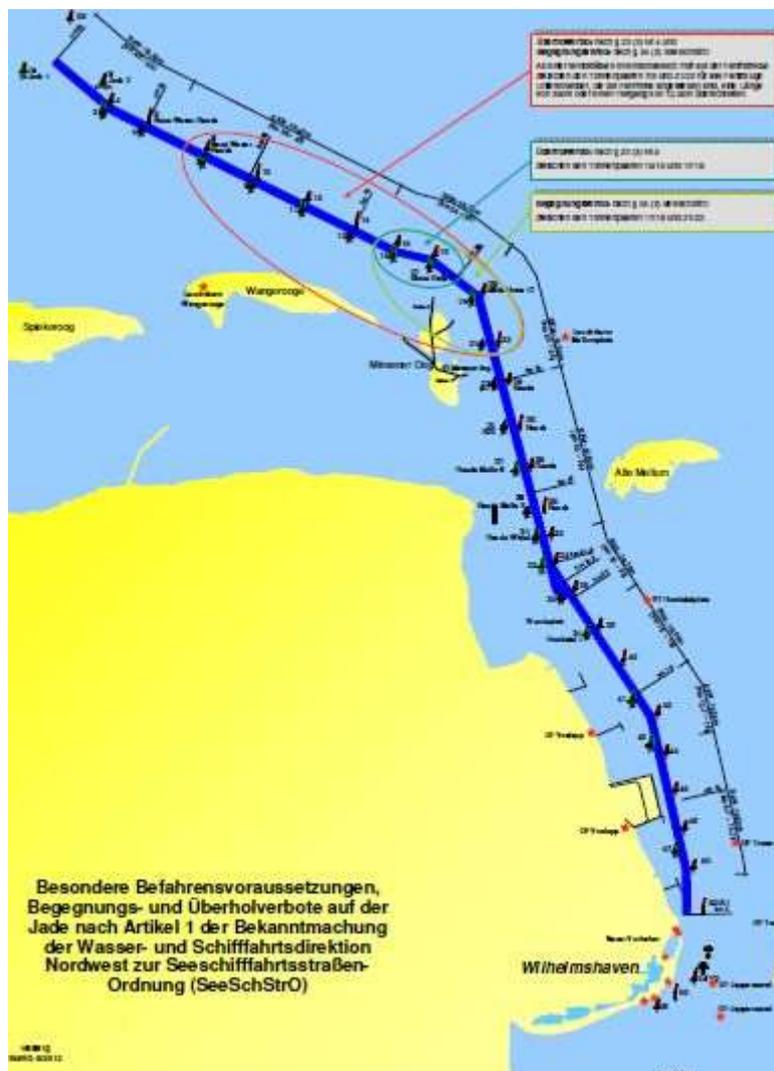


Abb. 50: Besondere Befahrensregelungen für die Jade

Für das Einlaufen in die Jade gibt es zum jetzigen Zeitpunkt keine Restriktionen bezüglich der Windstärke¹³.

Genehmigungspflichtig sind:

- Massengutfrachter ab 350 m Länge, 60m Breite und 18m Tfg. (einlaufend) bzw. 17m Tfg. (ausgehend),
- Alle anderen Fahrzeuge ab 430m Länge, 65m Breite und 18m Tfg. (einlaufend) bzw. 17m Tfg. (ausgehend),

¹³ Einzig das Überholen ab Windstärke 7 Bft. ist an bestimmtem Stellen für Schiffe, die auf die Fahr- rinne angewiesen sind, eine Länge von 350 m oder einen Tiefgang von 12,5 m überschreiten, nicht erlaubt.

- Für Tanker gelten die Restriktionen aus § 30 SeeSchStrO, d.h. in diesem Fall, dass beim Einlaufen in die Seeschiffahrtsstraße oder beim Verlassen einer Liegestelle eine Sicht von mehr als 1.000 Metern herrschen muss.

Für das Anlegen von Tankern an den Terminals gilt, dass diese ca. 2 Stunden vor Hochwasser an der Schlepperposition vor Liegeplatz ankommen sollen, um anschließend gedreht und dann festgemacht zu werden¹⁴.

So wird sichergestellt, dass der noch leicht auflaufende Strom das Drehmanöver unterstützt und das Schiff rechtzeitig vor Beginn des ablaufenden Wassers fest am Liegeplatz vertäut ist.

2.5.4 Vorherrschende Windrichtungen und Windstärken auf der Jade

Die Simulationsläufe wurden unter Berücksichtigung der vorherrschenden Windstärken und Windrichtungen im betrachteten Teil des Jadereviers durchgeführt. Die der Planung der Simulationsläufe zugrunde liegenden Winddaten wurden aus früheren Projekten im gleichen Untersuchungsgebiet übernommen. Hierbei wurden die Erfahrungen der seinerzeit durchgeführten Planungen mit denen der jetzt zur Verfügung stehenden praktischen Erfahrungen abgeglichen.

Die Windstärke wird international in verschiedenen Einheiten angegeben (s. nachfolgende Tabelle)

¹⁴ s. 2.5.6 Gezeitenverhältnisse auf der Jade

Knoten	Bft.	m/s	km/h	Bezeichnung	Auswirkung auf die See
1	0	0-0,2	1	Windstille	Spiegelglatte See
1-3	1	0,3-1,5	1-5	Leiser Zug	Kleine Kräuselwellen ohne Schaumkämme
4-6	2	1,6-3,3	6-11	Leichte Brise	Kleine, kurze Wellen, glasige, nicht brechende Kämme.
7-10	3	3,4-5,4	12-19	Schwache Brise	Kleine, längere Wellen. Verbreitet Schaumköpfe.
11-15	4	5,5-7,9	20-28	Mäßige Brise	Kleine, längere Wellen. Verbreitet Schaumköpfe.
16-21	5	8,0-10,7	29-38	Frische Brise	Lange,mäßige Wellen. überall Schaumkämme.
22-27	6	10,8-13,8	39-49	Starker Wind	Größere Wellen und Schaumflächen, Kämme brechen, etwas Gischt.
28-33	7	13,9-17,1	50-61	Steifer Wind	See türmt sich, Schaum legt sich in Windrichtung.
34-40	8	17,2-20,7	62-74	Stürmischer Wind	Mäßig hohe Wellenberge mit langen Kämmen, Gischt weht ab, Schaumstreifen.
41-47	9	20,8-24,4	75-88	Sturm	Hohe Wellenberge, dichte Schaumstreifen, See "rollt". Gischt beeinträchtigt Sicht.
48-55	10	24,5-28,4	89-102	Schwerer Sturm	Sehr hohe Wellenberge, lange überbrechende Kämme. See, weiß durch Schaum, rollt schwer und stoßartig, Gischt beeinträchtigt Sicht.
56-63	11	28,5-32,6	103-117	Orkanartiger Sturm	Extrem hohe Wellenberge. Wellenkämme werden überall zu Gischt zerblasen, Sicht herabgesetzt.
64-71	12	32,7-36,9	103-117	Orkan	Luft mit Schaum und Gischt angefüllt, See vollständig weiß, Sicht stark herabgesetzt.

Tabelle 6: Windskala

Windrichtungen und Windstärken auf der Jade werden permanent durch die Revierzentrale der Jade aufgezeichnet, woraus sich vorherrschende Windrichtungen und Windstärken ableiten lassen. Für die Jade ergibt sich daraus eine Windstärke von 6 Bft oder mehr an durchschnittlich 73 Tagen im Jahr. Das Maximum liegt im Dezember mit durchschnittlich 10 Tagen. Vorherrschende Windrichtungen auf der Jade sind an etwa 207 Tagen im Jahr Südwest (SW) über Nordwest (NW) bis Nord (N)¹⁵.

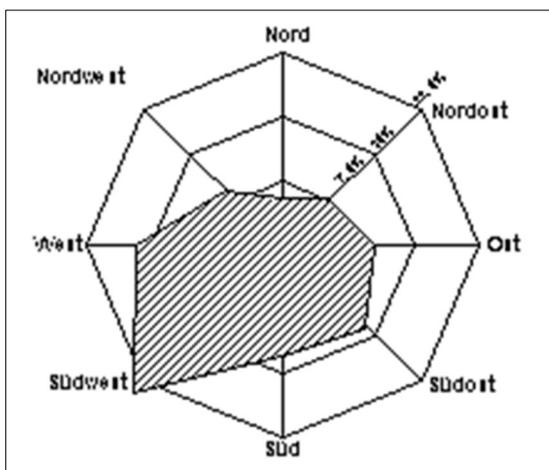
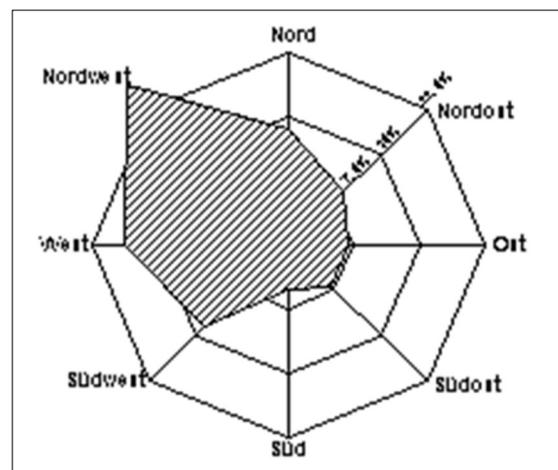
Abb. 51: Januar Windrosen 1960 – 1994¹⁶

Abb. 52: Juli Windrosen 1960 – 1994

¹⁵ Litmeyer, B.: "Binnenschiffsanbindung des Jade Weser Port", Hannover, den 09.11.2011.

¹⁶ <http://www.wsa-wilhelmshaven.de/wasserstrassen/gewaesserkunde/index.html>.

Die statistischen Daten decken sich mit den, von der WSA zur Verfügung gestellten Windmessungen¹⁷. Es handelt sich dabei um 10-min-gemittelte Werte in 10 m Höhe, die den Zeitraum von 2003 bis 2017 (15 Jahre) fast vollständig abdecken. Diese Daten sind als Windrose in der folgenden Abbildung dargestellt.

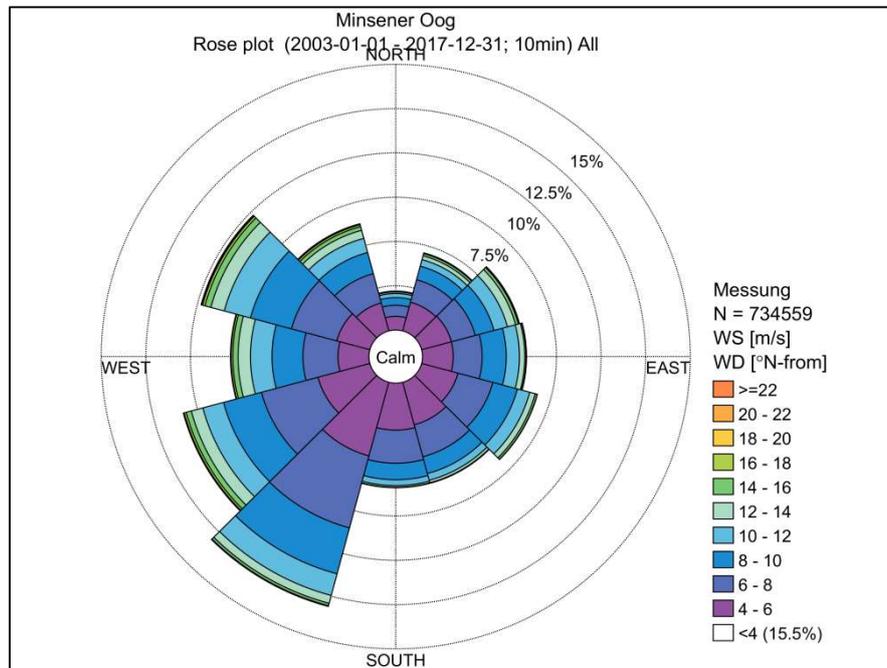


Abb. 53: Windrose der Messdaten vom Minsener Oog (2003-2017)

Die Zeitreihen für Windgeschwindigkeit und -richtung sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Zeitreihen weisen einige Lücken, meist in den Wintermonaten auf, in denen mit stärkeren Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist. Zudem fällt auf, dass im Jahr 2015 (nach einer Datenlücke) nur Windrichtungen zwischen 0 und 320°N in den Messdaten enthalten sind, was auf einen Messgeräte-Fehler hindeutet.

¹⁷ DHI: Kurzbericht Datengrundlage, S.7

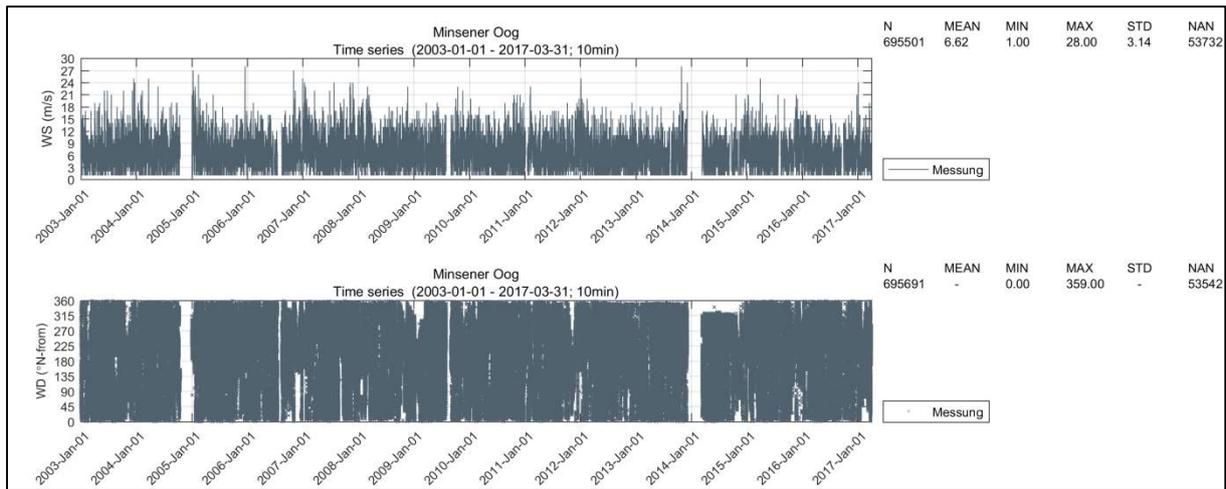


Abb. 54: Windmessdaten Minsener Oog (2003-2017), oben: Windgeschwindigkeit (WS), unten: Windrichtung (WD)

Für die Simulationsläufe wurden deshalb als vorherrschende Windrichtungen angenommen:

- Nordost (45°)
- Südost (135°)
- Südwest (225° bzw. 240°)
- Westsüdwest (250°)
- Westnordwest (295° bzw. 300°)

Folgende Windstärken wurden für die Simulationsläufe ausgewählt:

Windrichtung			Windstärke		
Ostnordost	ENE	72°	6/7 Bft	30 kn	Anlegen
			8 Bft	37 kn	Ablegen Notfall
Ost	E	90°	5 Bft	19 kn	Anlegen
			8 Bft	38 kn	Ablegen
Ostsüdost	ESE	112°	6/7 Bft	30 kn	Anlegen Ablegen
Südwest	SW	225°	6 Bft	25 kn	Anlegen
			6/7 Bft	30 kn	An-/Ablegen
			7Bft	31 kn	Anlegen
West	W	270°	5 Bft	19 kn	An-/Ablegen
			8 Bft	38 kn	An-/Ablegen
Westnordwest	WNW	292°	6/7 Bft	30 kn	An-/Ablegen
			8 Bft	38 kn	Notfall
Nordwest	West	315°	7 Bft	31 kn	An-/Ablegen

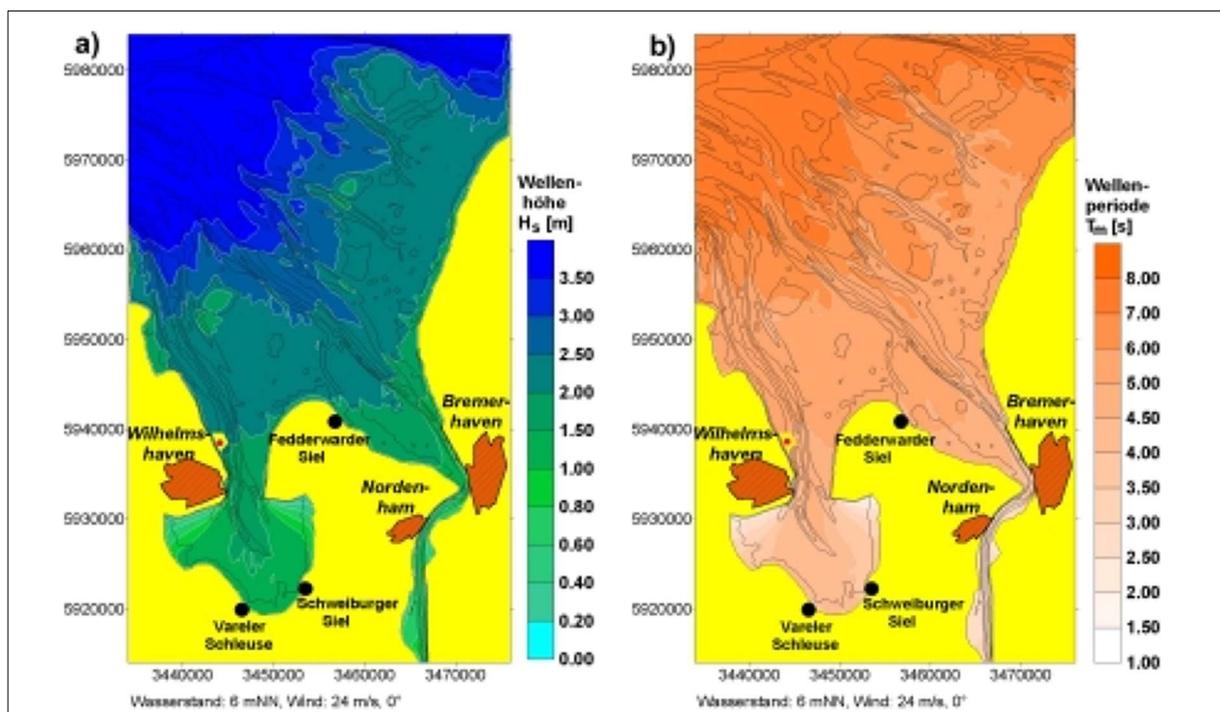
Tabelle 7: Windrichtungen und Windstärken An- und Ablegen

Windrichtung			Windstärke		
Nordost	NE	45°	10 Bft	51kn	Evakuierung
Südwest	SW	225°	10 Bft	51kn	Evakuierung

Tabelle 8: Windrichtungen und Stärken bei der Evakuierung der FSRU

2.5.5 Vorherrschender Seegang auf der Jade

Wirkt der Wind mit gleichbleibender Richtung und Geschwindigkeit auf ein Seegebiet hinreichend lange ein, entwickelt sich ein bestimmter typischer Seegang.

Abb. 55: Seegangsausbreitung im Jade-Weser-Ästuar bei schwerem Nordsturm¹⁸

Abgeleitet aus den Windrichtungen und den Windstärken wurde der Seegang für die Simulationsläufe folgendermaßen charakterisiert:

¹⁸ S.Mai: "Seegangsbedingungen und Wellenüberlauf an der geplanten Kaianlage JadePort, Wilhelmshaven", in HANSA Nr. 11, 2000.

Windstärke	Windsee (Höhe)	Schwell (Höhe)
6 Bft.	1,0 m	0,5 m
7 Bft.	1,0 m	0,5 m
8 Bft.	1,0 m	0,5 m
11 Bft.	1,0 m	0,5 m

Tabelle 9:: Seegang in Relation zur Windstärke

Windsee und Schwell gingen mit einem konstanten, von der Windstärke unabhängigen, Wert in die Simulation mit ein, da bedingt durch die geographische Lage, der Liegeplatz gut gegen Schwell geschützt ist und der Wind nur eine geringen Anlaufläche (Fetch) hat, um eine Windsee zu erzeugen.

2.5.6 Gezeitenverhältnisse auf der Jade

Bei der Jade handelt es sich um ein Gezeitengewässer, d.h. durch die in der Deutschen Bucht auftretenden astronomischen Gezeiten kommt es zu ein- und auslaufenden Strömen und dadurch hervorgerufenen Änderungen der Wassertiefe. Dieser Vorgang wird außerdem durch lokale Störungen, wie z.B. den vorherrschenden Winden, beeinflusst.

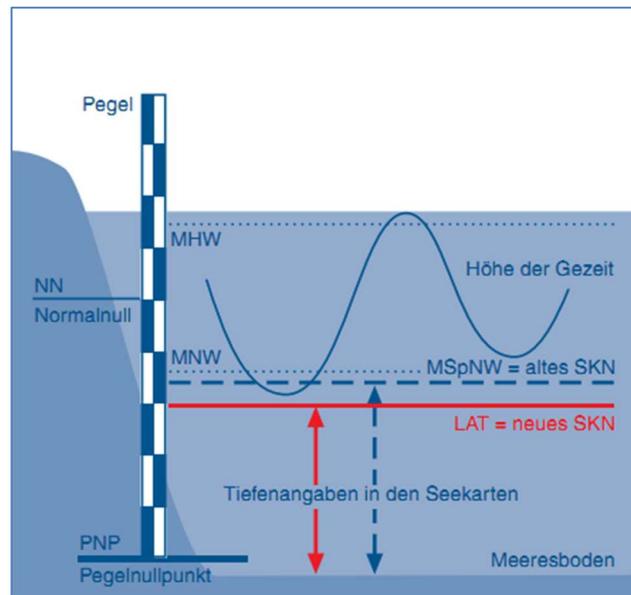


Abb. 56: Gezeitendaten¹⁹

2.5.6.1 Stromdaten

Durch die Bodenbeschaffenheit²⁰ auf der Jade kommt es, hervorgerufen durch den Gezeitenstrom, zu Änderungen des Bodenprofils²¹. Das hat wiederum Einfluss auf die Stromrichtung und -geschwindigkeit. Demzufolge ändern sich an einigen Stellen im Laufe der Zeit die Strömungsverhältnisse.

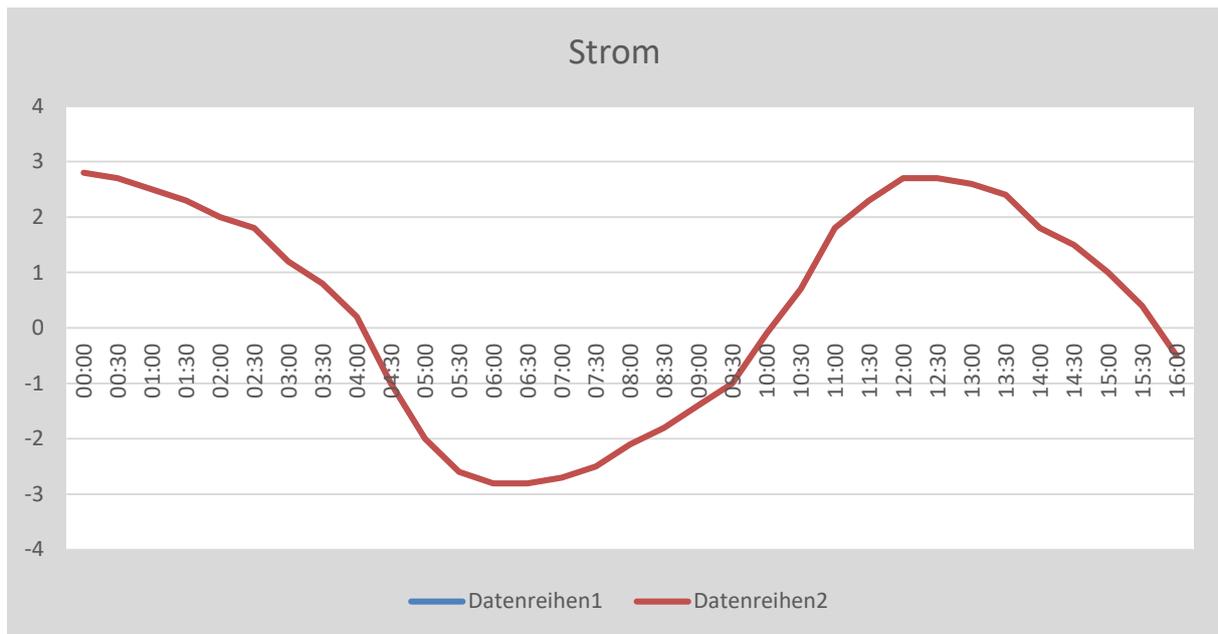
Als Basis für die Simulation wurden durch die Firma DHI-WASY aufbereitete Daten verwendet²², sowie aus der Praxis der örtlichen Hafenslotsen gewonnene Erfahrungswerte berücksichtigt.

¹⁹ www.bsh.de

²⁰ Das Watt besteht überwiegend aus Sand und Schlamm, wobei letzterer vorherrschend ist. Auf der Mittellinie der tiefen Fahrwasser zwischen Sandbänken besteht der Grund aus feinem grauem Sand, stellenweise auch aus Muscheln, verteiltem Sand und einer Deckschicht aus grobem Sand.

²¹ Vor Wangerooge kommt es immer wieder zu Riffelbildung (kleine Bodenwellen in Strömungsrichtung, quer über den Boden des Fahrwassers).

²² Hierbei handelt es sich um die gleichen Daten, die auch bei der Schiffsführungssimulation im Jahr 2003 eingesetzt wurden.



Time offset	Kn	Grad
00:00	2,80	145
00:30	2,70	146
01:00	2,50	146
01:30	2,30	147
02:00	2,00	147
02:30	1,80	147
03:00	1,20	147
03:30	0,80	147
04:00	0,20	149
04:30	-1,00	328
05:00	-2,00	327
05:30	-2,60	326
06:00	-2,80	326
06:30	-2,80	327
07:00	-2,70	326
07:30	-2,50	325
08:00	-2,10	325
08:30	-1,80	326
09:00	-1,40	327
09:30	-1,00	326
10:00	-0,10	330
10:30	0,70	147
11:00	1,80	145
11:30	2,30	146
12:00	2,70	147
12:30	2,70	145
13:00	2,60	146
13:30	2,4	145
14:00	1,80	146
14:30	1,50	147
15:00	1,00	146
15:30	0,40	147
16:00	-0,5	326

Abb. 57: Minimale, mittlere und maximale Strömungsgeschwindigkeitsganglinie sowie die mittlere Wassertiefenganglinie ²³

2.5.6.2 Wassertiefen

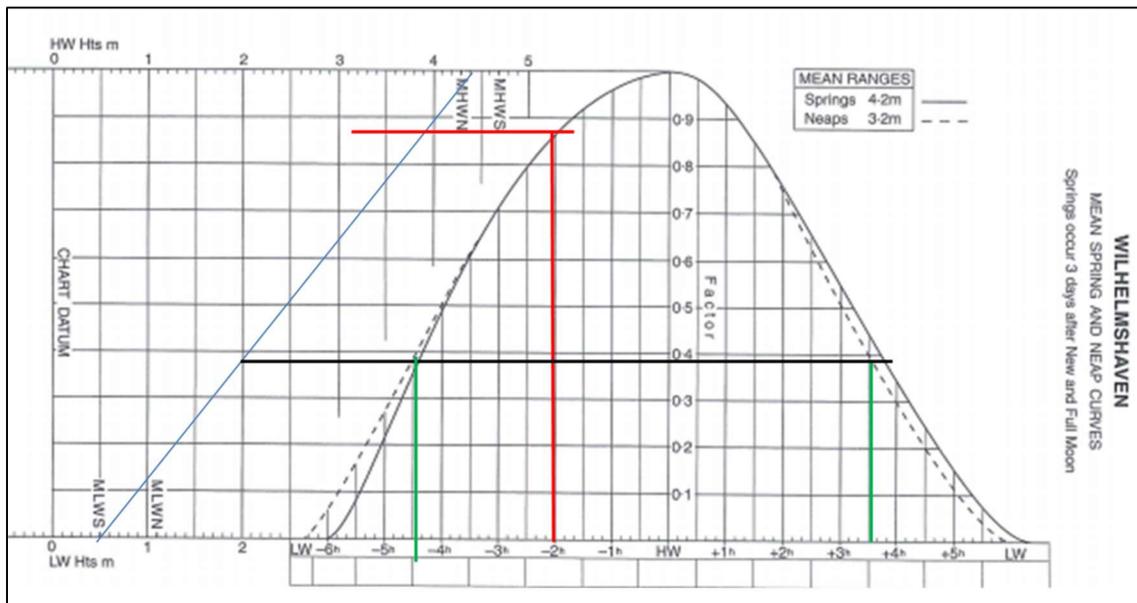


Abb. 58: Gezeitenverlauf Wilhelmshaven

Die auftretenden Gezeiten haben einen Einfluss auf den Wasserstand der Jade.

Gemäß dem vorgegebenen Zeitpunkt für die Manöver „2 Std. vor Hochwasser“, ist für das An- und Ablegen mit einer Höhe der Gezeit von durchschnittlich 3,5m zu rechnen.

Wassertiefe: Seekartennull (SKN) + 3,5 m

Für die Höhe der Gezeit (HdG) wurden bei den Simulationsläufen die folgenden Werte verwendet und zu den jeweiligen Kartentiefen addiert:

Wassertiefe Simulation: Seekartennull (SKN) + 2 m

Hiermit wurde berücksichtigt, dass es durch windinduzierte Änderungen des Wasserstandes zu Abweichungen kommen kann.

²³ Bericht "LTW-IMP-ESV-REP-0001", IMP Ingenieure GmbH & Co. KG, Juli 2020

2.6 Betrachtung der auftretenden Kräfte

Die Bewegung eines Schiffes erfolgt grundsätzlich in sechs Freiheitsgraden.

Zum einen drei Translationen:

- um die Längsachse (Wogen)
- um die Querachse (Schwoien)
- um die Hochachse (Tauchen)

und zum anderen drei Rotationen:

- um die Längsachse (Rollen)
- um die Querachse (Stampfen)
- um die Hochachse (Gieren).

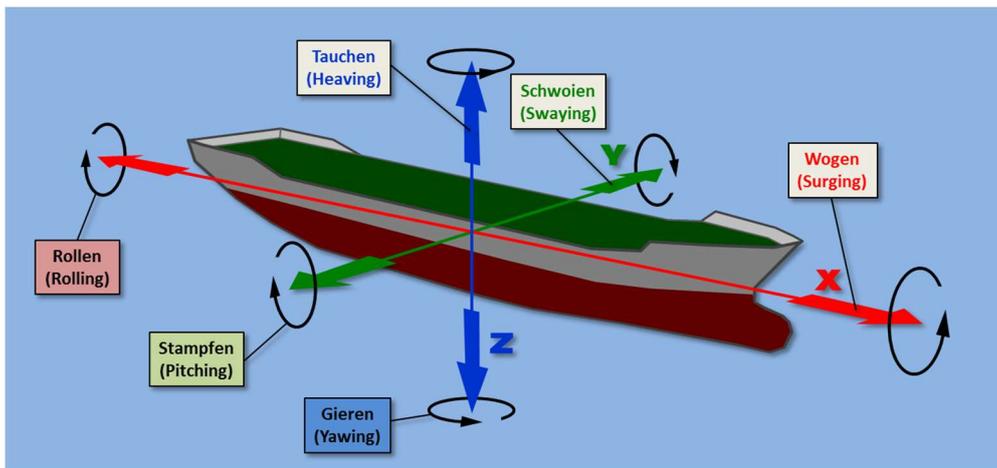


Abb. 59: Koordinatensystem des Schiffes

2.6.1 Einfluss des Windes auf das Verhalten des Schiffes

Der Wind erzeugt über den Luftwiderstand eine auf das Schiff wirkende Kraft, die ein Giermoment erzeugt. Die durch den seitlich auftreffenden Wind hervorgerufene Kraft wird als Winddruck bezeichnet, auch wenn er von vorn einkommt. Dieser ist abhängig von relativer Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie der Form der Überwasserfläche des Schiffes.

Aufgrund ihrer großen Überwasserfläche im Verhältnis zum Unterwasserbereich reagieren LNG-Tanker stärker als vergleichbare Rohöltanker auf den Windeinfluss.

Abhängig vom, durch den jeweiligen Beladungszustand (Unterwasserfläche) hervorgerufenen Widerstand, bildet sich ein Gleichgewichtszustand aus. Je geringer die Unterwasserfläche ist, desto größer ist der Einfluss der Wirkkomponente der Windkraft.

Nach einer einfachen Näherungsformel²⁴, die von den niederländischen Lotsen²⁵ verwendet wird, lässt sich die wirkende Kraft wie folgt bestimmen:

²⁴ van Hilten, Max J.: "Theoretical Support for Professional Shiphandling", MARSIM 2003.

²⁵ Laut Aussage des vorgenannten Autors verwenden Reedereien zum Teil geringere Werte (0,052 statt 0,075) zur Berechnung der Windkraft.

$$y_{wind} [t] = (0.075 v^2 A_L) / 1000$$

Legende:

Y_{wind} = Querkraft erzeugt durch Windeinfluss [t]

A_L = Lateralfläche des Überwasserschiffes [m²]

v = relative Windgeschwindigkeit [m/s]

Der tatsächlichen Berechnung liegt die folgende Formel zugrunde:

$$y_{wind} = 0,5 * C_y * \rho * v^2 * A_L$$

Legende:

Y_{wind} = Querkraft erzeugt durch Windeinfluss [t]

C_y = dimensionsloser Kraftbeiwert

A_L = Lateralfläche des Überwasserschiffes [m²]

ρ = 1,2041 kg/m

v = relative Windgeschwindigkeit [m/s]

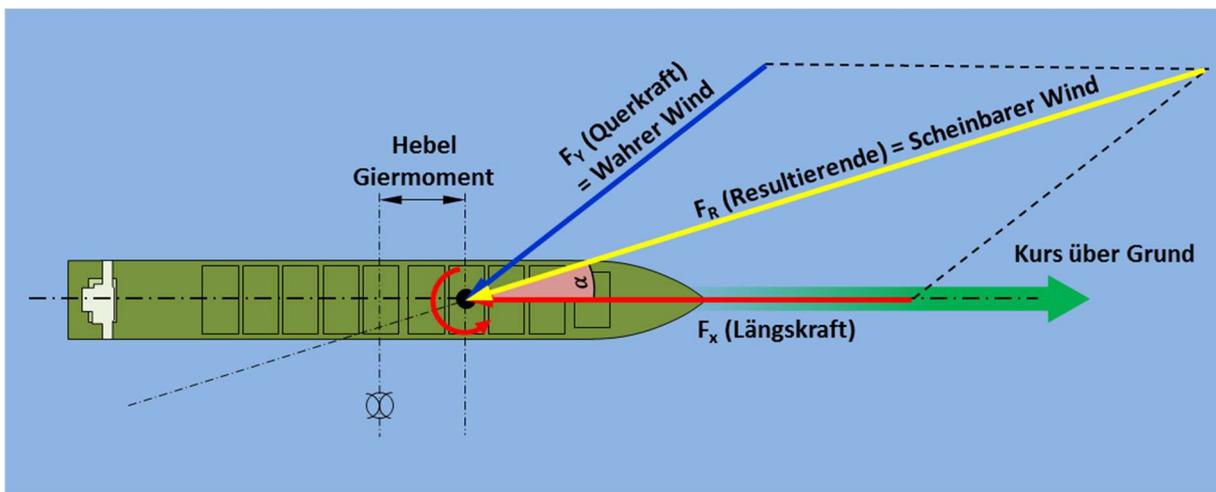


Abb. 60: Koordinaten, Windkräfte und Momente am Beispiel eines Containerschiffes

Der Koeffizient C_y lässt sich nur experimentell im Windkanal bestimmen, liegt also in der Regel nicht vor. Als sehr gute Hilfe zur Bestimmung des Koeffizienten eignen sich die Windkanalversuche von W. Blendermann²⁶.

²⁶ W. Blendermann: "Bericht 574 - Wind loading of ships – Collected Data from Wind Tunnel Tests in uniform flow", Institut Schiffbau der Universität Hamburg, 1996.

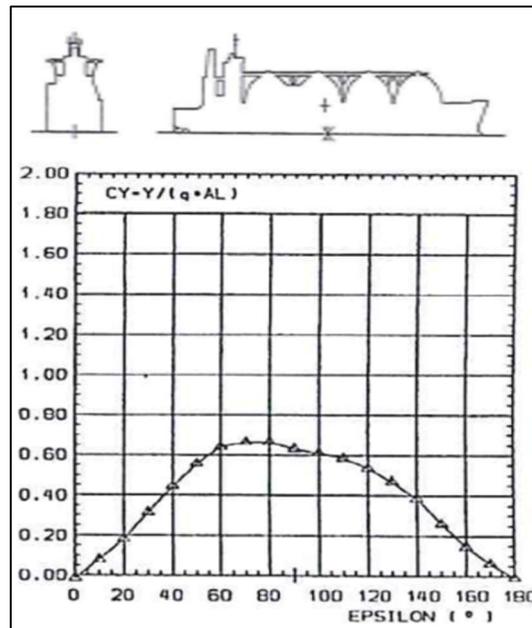


Abb. 61: Der Koeffizient Cy am Beispiel des Kvaerner Moss Typs

Danach ergibt sich die folgende Berechnungsgrundlage:

$$y_{wind} = 0,5 * 1,0 * 1,2041 \text{ kg / m} * v^2 * A_L$$

Legende:

Ywind = Querkraft erzeugt durch Windeinfluss [t]

AL = Lateralfläche des Überwasserschiffes [m²]

v = relative Windgeschwindigkeit [m/s]

Schiffstyp	Tfg.	Lateralfläche			Frontfläche		
		UNIPER	DHI	Modell	UNIPER	DHI	Model
FSRU	12,00	8946 m²	7210 m²	8636 m²	2190 m²	1550 m²	1732 m²
LNG (Q-Max) Beladen	12,00 m	-	7210 m²	8636 m²	-	1550 m²	1732 m²
LNG (Q-Max) Ballast	9,30 m	-	-	9554 m²	-	-	1878 m²
LNG (Kvaerner Moss) Beladen	10,75 m	-	8300 m²	7479 m²	-	1862 m²	1692 m²
LNG (Kvaerner Moss) Ballast	9,27 m	-	-	7885 m²	-	-	1759 m²

Tabelle 10: Windangriffsflächen der LNG - Tanker

Nach Schneekluth²⁷ sollte für ungünstige Fälle (z.B. Böen Einfall) mit einem Faktor > 1 (hier: 1,3) gerechnet werden.

$$y_{wind} = \text{Korrekturfaktor}_{wind} * 0,5 * \rho * v^2 * A_L$$

Für einen LNG-Tanker mit 10000m² Windangriffsfläche ergibt sich für das stehende Schiff bei 4 Bft:

$$y_{wind} = 1,3 * 0,646 * 8^2 m / s * 10.000 m^2 = 537 kN = 53,7 t$$

und bei einer Windstärke von 8 Bft:

$$y_{wind} = 1,3 * 0,646 * 18^2 m / s * 10.000 m^2 = 2.780 kN = 280 t$$

Erkennbar ist eine nicht-lineare Steigung, sodass eine Verdopplung der Windstärke von 4 Bft auf 8 Bft die auftretenden Kräfte um fast das 6-fache steigen lässt. Die größten Kräfte entstehen bei schräg einfallenden Winden. Generell erzeugen relative Windrichtungen von 30° - 40° von den Seiten die größten Kräfte²⁸. Allerdings lässt sich aus Bendemanns Versuchen ableiten, dass dieser Wert stark variiert und somit für LNG-Tanker größtenteils vom Beladungszustand abhängig ist.

Die verwendeten LNG-Tankschiffe verfügen über die gesamte Schiffslänge über weit über die Bordwand hinausragende Ladetanks. Im achteren Bereich befindet sich noch der Pumpenraum²⁹ an Deck.

Achtern abschließend befindet sich der Aufbau, der um ein ausreichendes Sichtfeld gemäß IMO Kriterien³⁰ zu ermöglichen, höhenmäßig weit über die Ladetanks herausragt. Betrachtet man die Windflächen wird ersichtlich, dass der Angriffspunkt der hydrodynamischen Kräfte, hervorgerufen durch die winddruckbedingte veränderte Lage des Schiffes, von achtern gesehen vor dem Hauptspant liegt. Daraus folgt, dass Windkraft ein Giermoment erzeugt.

²⁷ H. Schneekluth: „Hydromechanik zum Schiffsentwurf“, Köhler Verlag, 1988.

²⁸ H. Schneekluth: „Hydromechanik zum Schiffsentwurf“, Köhler Verlag, 1988.

²⁹ Cargo Compressor Room

³⁰ SOLAS V/22

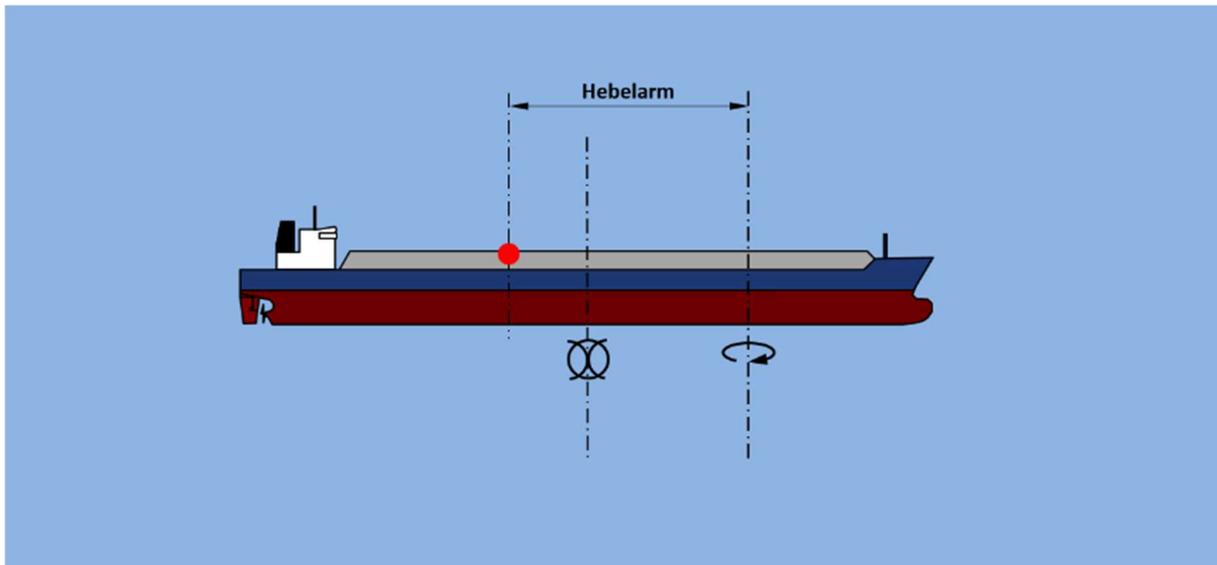


Abb. 62: Windmoment LNG-Tanker

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Wind bei einem großen Verhältnis von Windgeschwindigkeit zur Schiffsgeschwindigkeit einen starken Einfluss ausübt und damit die Bahnführung des Schiffes beträchtlich beeinflusst wird.

2.6.2 Einfluss des Stromes auf das Verhalten des Schiffes

Genauso wie das Überwasserschiff durch den Wind beeinflusst wird, wirkt der Strom auf das Unterwasserschiff.

Hierbei kommt es je nach Stromrichtung und -stärke zu einer Beeinflussung der Bahn des Schiffes. Das Manörierverhalten eines Schiffes ändert sich entsprechend.

So bedeutet das Fahren mit dem Strom:

- für schnelle Schiffe: Drehpunkt in der Nähe des Bugs sowie gute Steuereigenschaften,
- für langsame Schiffe: Drehpunkt verschiebt sich nach hinten, schlechte Steuerwirkung

und das Fahren gegen den Strom:

- Drehpunkt in der Nähe des Bugs, gute Steuereigenschaften sowie ein kursstabiles Schiff.

Aus der folgenden Abbildung wird ersichtlich, dass bei nicht parallel zur Stromrichtung liegender Unterwasserfläche des Schiffes selbiges unterschiedlich stark angeströmt wird.

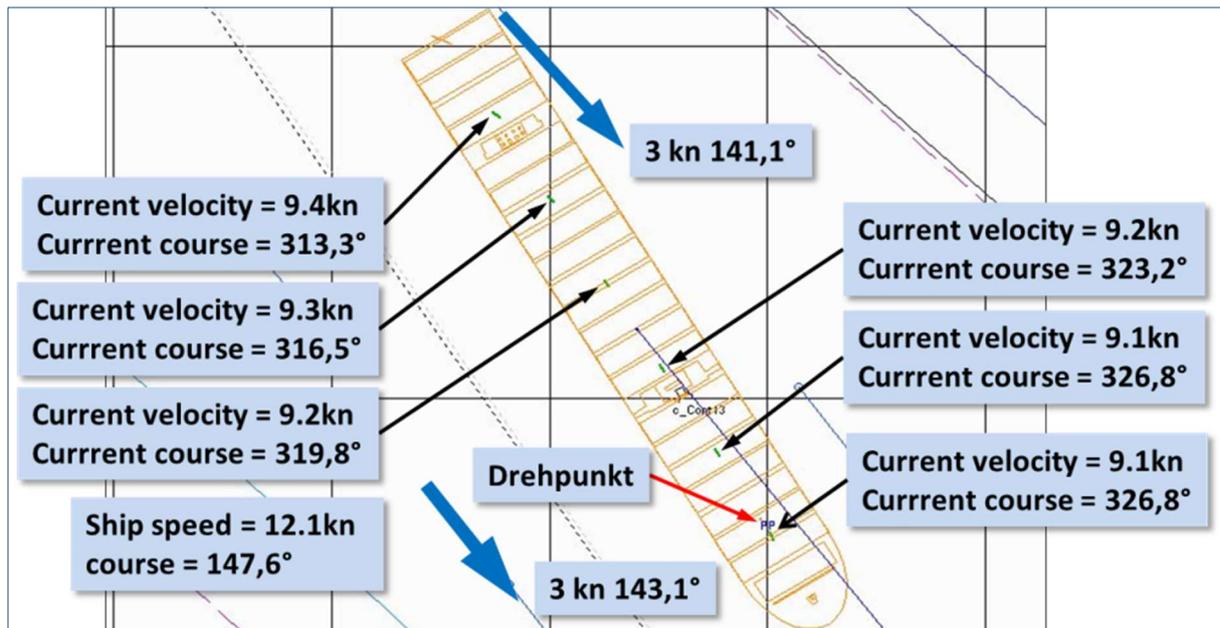


Abb. 63: Einfluss des Stroms auf den Bahnverlauf – Beispiel Containerschiff

Der Strom wird häufig von den Lotsen als zusätzliche Kraft beim Ablegen des Schiffes verwendet.

Öffnet der Lotse bei von vorn setzendem Strom beim Ablegen den Bug Richtung See, drückt der nun auf die Außenhaut des Schiffes wirkende Strom das Schiff weg von der Pier. Bei achterlichem Strom ist es genau umgekehrt, hier wird das Heck Richtung See geöffnet, um den oben genannten Effekt zu erzielen.

2.6.3 Einfluss Seegangs auf das Verhalten des Schiffes

In der Revierfahrt bekommt der Einfluss von Seegang auf das Verhalten des LNG- Tankers eine größere Rolle. Die Berechnung dieses Einflusses ist sehr komplex und hängt von mehreren Faktoren ab.

Zu nennen sind vor allem die Wellenhöhe und die Wellenperiode. Außerdem die Wassertiefe sowie die lateralen Flächen des Schiffes und die Eigengeschwindigkeit. Da sich der Einfluss auch beständig ändert (Einfallsrichtung, Änderung der Wassertiefe, Wellenperiode usw.), ist eine genaue Berechnung nur sehr schwer möglich. Die OCIMF hat in tabellarischer Form Kräfte durch Wellenbelastung auf ein ankerndes Schiff berechnet. Diese Tabelle kann als guter Indikator für ein in Fahrt befindliches Schiff genutzt werden.

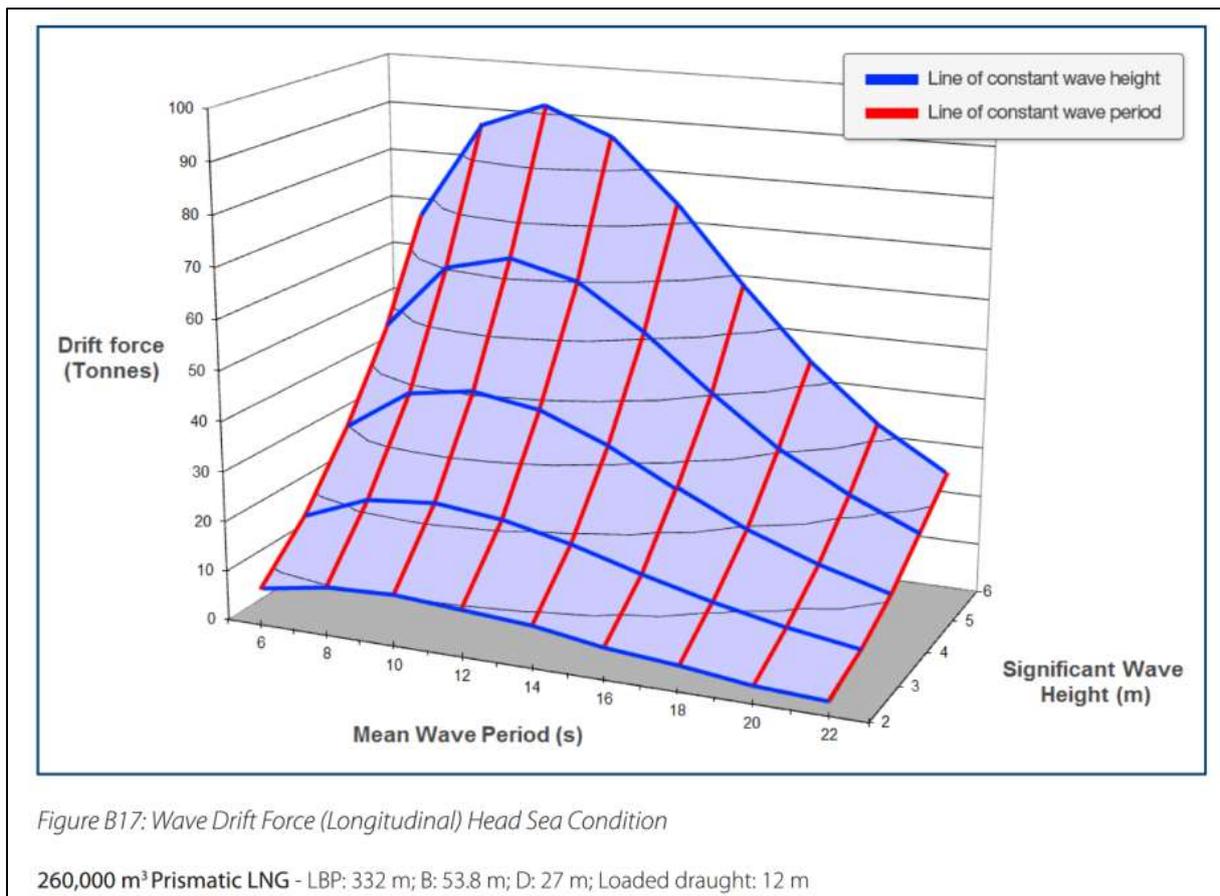


Abb. 64: Einfluss des Wellengangs auf einen Q- Max Tanker

Die obenstehende Grafik ist eigentlich ein Tool zur Berechnung von Welleneinflüssen auf die Ankerkette bei vorlichen Wellen. Für das aktuelle Fallbeispiel kann bei einer für das Schiff ungünstigen Wellenperiode von ca. 10 sec und einer Wellenhöhe von 3,5m ein Wert von etwa 30 Tonnen angenommen werden. Das Verhältnis von vorlicher- zu seitlicher Lateralfläche ist bei einem Q- Max Tanker etwa 1:5. Daraus lässt sich auch die Wellenbelastung auf das Schiff bei quer einkommendem Seeang gut abschätzen.

2.6.4 Räumlicher Manöverbedarf (Swept Beam)

Bei der Navigation zu beachten ist der sog. „Swept beam“, die Breite eines Fahrzeuges, welches mit einem Vorhaltewinkel fährt. Dieser Vorhaltewinkel kann durch seitlichen Einfluss von Wind oder Strom erzeugt werden. Um einen bestimmten Kurs über Grund zu steuern benötigt ein Schiff unter seitlichem Einfluss einen gewissen Vorhaltewinkel. Somit fährt das Schiff wie auf obiger Abbildung ersichtlich. Nimmt man einen Q- Max Tanker von 53,80m Breite als Beispiel, benötigt das Schiff bei einem konstanten Vorhaltewinkel von 20° bereits einen Korridor von 138m. Man könnte auch sagen, das Schiff ist 138m breit. Dieser Wert vergrößert sich mit zunehmenden Vorhaltewinkel erheblich und kann dazu führen, dass sich Bereiche des Schiffes außerhalb der Trasse befinden. Bei der in der Jade bestehenden Trassenbreite von 300m ist das nur ein theoretischer Ansatz, aber in Bereichen, in denen ein Begegnungsverkehr zulässig ist, wird schnell mehr als die halbe Trassenbreite an Raum benötigt.

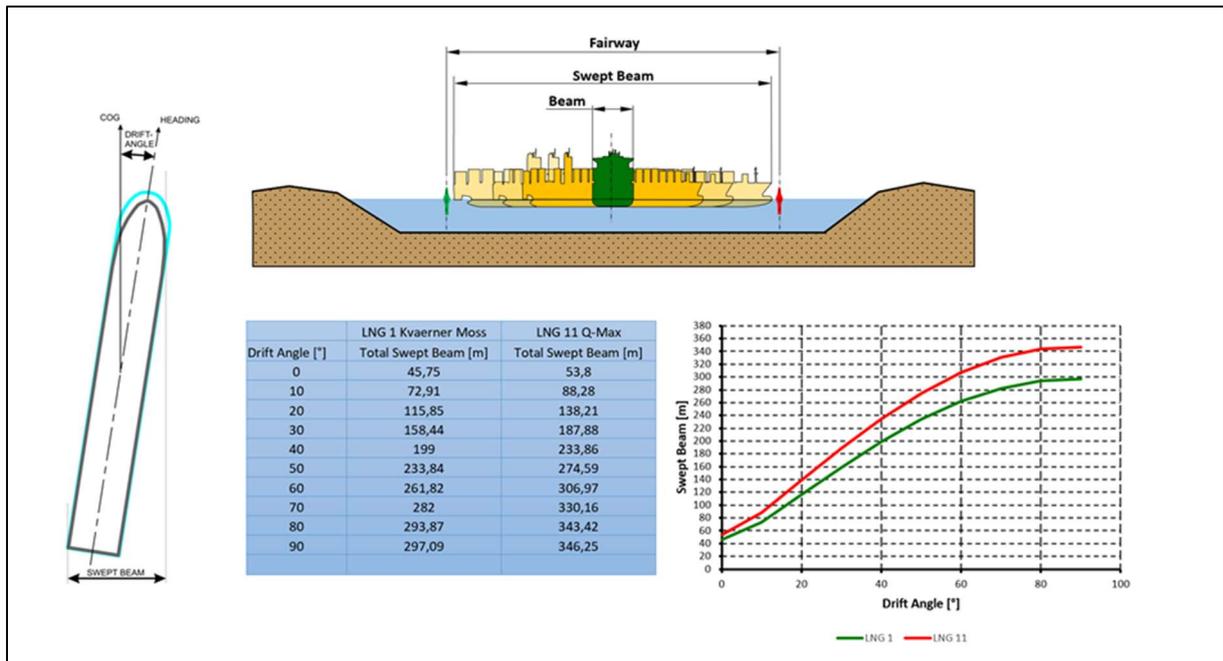


Abb. 65: Räumlicher Manöverbedarf

3 Befahren des Reviers Jade

In Rahmen einer Studie³¹ unter der Projektleitung der Firma Merkel Energy wurde die grundsätzliche Eignung verschiedener Standorte in Deutschland für die Ansiedelung eines LNG-Terminals untersucht. Dabei wurden die nautischen Aspekte in Form einer vergleichenden Desktop Studie von Nautitec bearbeitet.

Dabei wurde die Fahrtstrecke eines Q-Max von der Lotsenübernahme im Verkehrstrennungsgebiet (VTG) „Jade Approach“ bis zum Erreichen des Liegeplatzes in Wilhelmshaven einer Risikobetrachtung unterzogen.

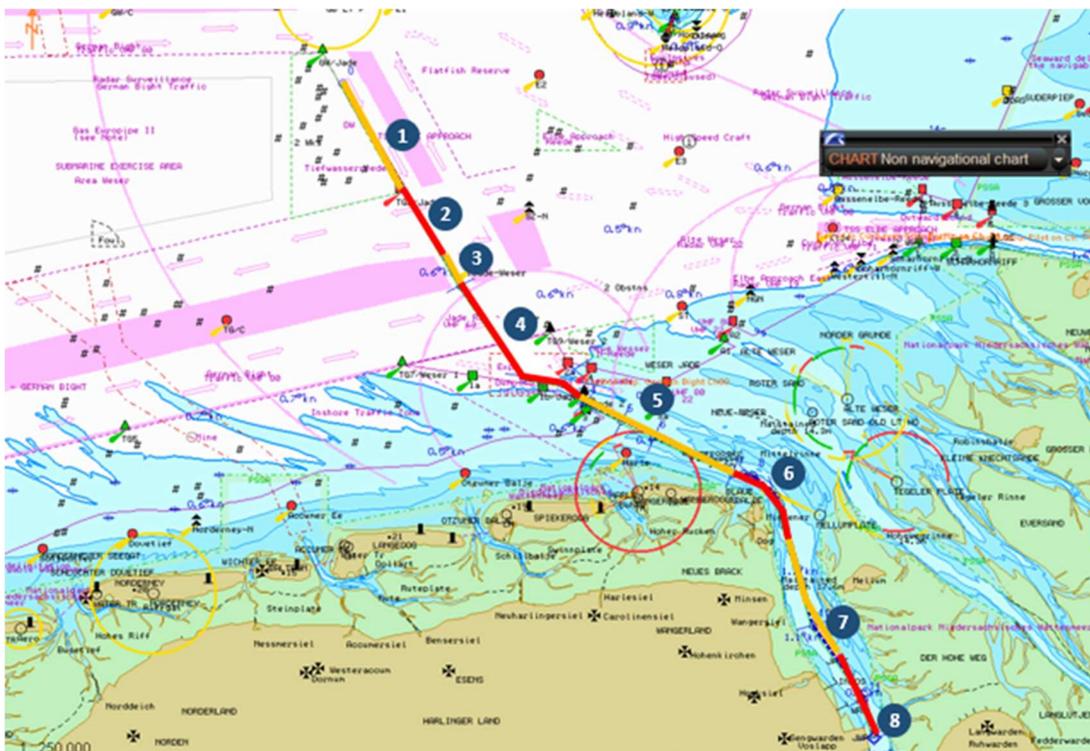


Abb. 66: Risikobetrachtung Befahren des Jade Reviers

³¹ Merkel Energy GmbH, „LNG-Infrastruktur an der deutschen Nordseeküste unter Betrachtung besonders geeigneter Standorte“, 2017

1	medium risk	Einwegverkehr innerhalb des Einbahnweges im VTG
2	high risk	kreuzender Verkehr mit hoher Verkehrsdichte
3	medium risk	Einwegverkehr innerhalb des Einbahnweges im VTG
4	high risk	kreuzender Verkehr mit hoher Verkehrsdichte, Bündelung des Verkehrs im Zulauf Jade & Weser
5	medium risk	Begegnungsverkehr in relativ breitem Fahrwasser
6	high risk	Umfahrung <u>Minsener Oog</u> mit querlaufender Strömung
7	medium risk	Begegnungsverkehr in relativ breitem Fahrwasser
8	high risk	Manöver mit Schlepperhilfe

Tabelle 11: Risiken beim Befahren des Reviers Jade

Das Befahren der Jade von der Lotsversetzposition in der deutschen Bucht bis zur Annahme des Hafenlotsen und der Schlepper vor dem Terminal wurde im Rahmen dieser Studie nicht erneut untersucht.

Eine entsprechende Studie wurde von NAUTITEC bereits in einem früheren Projekt durchgeführt. Zusätzlich liegen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Gutachtens bereits praktische Erfahrungen mit der Revierfahrt und hier insbesondere der Umfahrung von Minsener Oog vor, die gleichermaßen auch für den neuen Liegeplatz der TES anzuwenden sind.

4 Ergebnisse der Simulationsläufe

4.1 Versuchsläufe

Im Rahmen der Simulation wurden insgesamt 20 Szenarien in 21 Simulationsläufen mit jeweils einem LNG-Tanker als Eigenschiff und zwei Schleppern als Eigenschiffen sowie zwei vom Instruktor gesteuerte Autotugs eingesetzt.

Tag	Datum		Simulationsläufe	Szenarien
1	06.02.2023	Anlegen FSRU	2	2
2	07.02.2023	An- und Ablegen Q-Max und Kvaerner-Moss-Tanker	9	7
3	08.02.2023	An- und Ablegen Kvaerner-Moss-Tanker An- und Ablegen HES-2	9	8
4	09.02.2023	Notfallszenarien Anlegen HES-1a und HES-2	8	7
5	10.02.2023	An- und Ablegen HES-1a und HES-2	6	4
	Gesamt		34	28

Die jeweiligen Manöver wurden vom Brückenteam unter Lotsenberatung gefahren.

Die Aufgabenstellung wurde folgendermaßen umgesetzt:

An- und Ablegen LNG-Tanker:	14 Szenarien (15 Simulationsläufe)
Notfallszenarien:	4 Szenarien (4 Simulationsläufe)
Evakuierung FSRU:	2 Szenarien (2 Simulationsläufe)

Bei den Notfallszenarien handelte es sich um eine Auswahl möglicher Szenarien, die vor der Simulation im Rahmen einer HAZID identifiziert wurden, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Weiterhin wurden 8 Szenarien in 13 Simulationsläufen mit Tankschiffen von 130m – 190m sowie zwei Schleppern jeweils als Eigenschiff zu und von den Anlegern HES 1A und HES 2 durchgeführt, um gemäß Auftrag die Erreichbarkeit der Anleger unter Berücksichtigung des geplanten Terminals zu ermitteln und ggf. geänderte Zufahrtsskorridore zu identifizieren.

Die jeweiligen Manöver wurden vom Brückenteam unter Lotsenberatung gefahren.

Die Aufgabenstellung wurde folgendermaßen umgesetzt:

Anleger HES 2 mit 130m-Tanker	2 Szenarien (3 Simulationsläufe)
Anleger HES 2 mit 150m-Tanker	3 Szenarien (5 Simulationsläufe)
Anleger HES 1A mit 190m-Tanker	3 Szenarien (5 Simulationsläufe)

4.2 Laufliste

Tag/Lauf	Üb	Eigenschiff	Simulation von (Manöver)	Simulation nach (Manöver)	Strom Richt.		Böen	Wave	Auto Tugs	achtern	vorne
1	an	FSRU	Querab Vynova	Liegeplatz TES	flood	SW 6	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
2	an	FSRU	Querab Vynova	Liegeplatz TES	flood	SW 6/7	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
3	an / ab	Q-Max	Querab Vynova	Fahrwasser	flood	SW 6/7	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
4	an / ab	Q-Max	Querab Vynova	Fahrwasser	ebb	WNW 6/7	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
5	an/ab	Q-Max	Querab Vynova	Fahrwasser	flood	ENE 6/7	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
6	an/ab	Q-Max	Querab Vynova	Fahrwasser	ebb	ESE 6/7	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
7	an/ab	Kvaerner Moss	Querab Vynova	Fahrwasser	ebb	WNW 6/7	n		0	Rotor 1 (80%)	Rotor 1 (80%)
8	an/ab	Kvaerner Moss	Querab Vynova	Fahrwasser	flood	ENE 6/7	n		0	Rotor 1 (80%)	Rotor 1 (80%)
9	an/ab	Kvaerner Moss	Querab Vynova	Fahrwasser	ebb	ESE 6/7	n		?	Rotor 1 (80%)	Rotor 1 (80%)
10	an/ab	Kvaerner Moss	Querab Vynova	Fahrwasser	flood	ENE 6/7	n		?	Rotor 1 (80%)	Rotor 1 (80%)
11	an/ab	Membrane 170cbm	Querab Vynova	FSRU längsseits	ebb	WNW 6/7	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)
12	an/ab	Membrane 170cbm	Querab Vynova	FSRU längsseits	ebb	ESE 5/6	n		2	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)

Tag/Lauf	Üb	Eigenschiff	Simulation von (Manöver)	Simulation nach (Manöver)	Strom Richt.		Böen	Wave	Auto Tugs	achtern	vorne	Comment
13	ab	FSRU	Liegeplatz TES	Fahrwasser	flood	SW 10	n		2	ASD 7 (100%)	Rotor 1 (100%)	emergency departure loaded
14	ab	FSRU	Liegeplatz TES	Fahrwasser	ebb	NE 10	n		2	ASD 7 (100%)	Rotor 1 (100%)	emergency departure
15	an	Q-Max	Querab Vynova	an FSRU	ebb	WNW 8	n		1	ASD 7 (100%)	Rotor 1 (100%)	rudder jamming Q- max
16	an	Q-Max	an FSRU	Fahrwasser	ebb	WNW 8	n		1	ASD 7 (100%)	Rotor 1 (100%)	Blackout Q- max
17	an	Q-Max	Querab Vynova	an FSRU	ebb	ENE 8	n		1	ASD 7 (100%)	Rotor 1 (100%)	Towline broken, loss of tug
18	ab	150 m 8,5m	HES 2	Fahrwasser	ebb	E 8	n		0	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)	starke Ebbe
19	ab	150 m 8,5m	HES 2	Fahrwasser	flood	E 8	n		0	ASD 7 (80%)	Rotor 1 (80%)	starke Flut
20	an	130m 8m	Fahrwasser	HES 2	flood	W 5	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Zufahrt Mitte
21	an	130m 8m	Fahrwasser	HES 2	flood	E 5	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Zufahrt ausssen
22	ab	150m 8,5m	HES 2	Fahrwasser	ebb	W 5	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Bb Landseite
23	ab	150m Ballast	HES 2	Fahrwasser	ebb	W 5	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Stb Land starke Ebbe
24	ab	150m 8,5m	HES 2	Fahrwasser	flood	W 6//#7	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	
25	an	190m	Fahrwasser	Anleger 1a	ebb	W 5	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Ballast Bb Land
26	an	190m	Fahrwasser	Anleger 1a	ebb	W 5	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Beladen Bb Land
27	an	190m	Anleger 1a	Fahrwasser	ebb	NW 7	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Ballast Stb Land
27	an	190m	Fahrwasser	Anleger 1a	ebb	NW 7	n		3	ASD 7 (100%)	Rotor (100%)	Bb Land

Eine vollständige Liste der Versuchsläufe ist im Anhang dieses Abschlussberichtes beigefügt.

4.3 Kriterien für die Evaluierung der Simulationsläufe

Für die Evaluierung der Simulationsläufe wurden Kriterien festgelegt, nach denen die einzelnen Läufe ausgewertet wurden.

Anlegemanöver der FSRU und der LNG - Tanker:

- Ausrichten des Schiffes zur Pier in einem sicheren Abstand
- kontrollierte Annäherungsgeschwindigkeit
- räumlicher Manöverbedarf

und

- ob diese Kriterien auch bei Ausfall von Manövriereinrichtungen / Schlepper eingehalten werden können.

Ablege Manöver der FSRU und der LNG - Tanker:

- Traversieren Richtung See bis zu einem sicheren Abstand
- räumlicher Manöverbedarf

Notmanöver Ablegen der FSRU

- räumlicher Manöverbedarf

An- und Ablege Manöver bei HES 1A und HES 2

- räumlicher Manöverbedarf
- Passierabstand zum geplanten TES-Terminal
- Passierabstand zu anderen Anlagen

4.3.1 Annäherungsgeschwindigkeit, Ausrichten und Abstand

Zur Bestimmung der Kriterien bezüglich Ausrichtung des Schiffes wurden verschiedene Vorschriften vergleichbarer Terminals in die Auswertung einbezogen.

Hafen u. Terminal	Abstand [m]	Annäherungsgeschwindigkeit [m/s]	Winkel [°]
Klaipėdos Nafta , Klaipėda, Lithuania (FSRU)	-	0,25 m/s	-
OFFSHORE LNG TOSCANA, Italy (FSRU)	50*m	0,10 m/s	0°
Gate Terminal, Rotterdam, Netherlands (T)	-	0,12 m/s	5°
RasGas –Berth No. 3, Qatar (T)	-	0,08 m/s**	-
Montoir-de-Bretagne Terminal, France, (T)	-	0,15 m/s	-

*With the LNG Carrier stopped in this position, and by the use of the Line Throwing Apparatus, a connection will be established between the Terminal and the LNG Carrier
 ** To avoid damage to the fenders the vessel should be landed squarely on to the fenders with a contact speed not exceeding 0.08m/second.

Tabelle 12: Restriktionen – Vergleichsterminals

Design Vessel Class	Cargo Condition	Displacement	Maximum Berthing Velocity	Abnormal Impact Factor
VLCC	50% Ballasted	224,000	0.125 m / sec.	1.25
VLCC	Fully Loaded	384,000	0.10 m / sec.	1.25
Suezmax	Fully Loaded	200,000	0.13 m / sec.	1.35
Aframax	Fully Loaded	117,000	0.16 m / sec.	1.50

Tabelle 13: Restriktionen - Beispiel Termpol³²

Als nicht zu überschreitende Annäherungsgeschwindigkeit auf den letzten 50m zur FSRU wurde grundsätzlich ein maximaler Wert von 0,15 m/s festgelegt. Für diese Untersuchung wurde jedoch aus nachfolgenden Gründen ein Wert von bis zu 0,45 m/s als akzeptabel definiert.

Basierend auf einer Standardannäherungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s, die unter außergewöhnlichen Umständen das 1,5-fache des Wertes betragen darf.

$$0,3 \text{ m/s} * 1,5 = 0,45 \text{ m/s}$$

Dieser Wert erscheint auf den ersten Blick, verglichen mit den oben genannten vergleichbaren Terminals relativ hoch, ist aber dem Umstand geschuldet, das erstens noch keine finalen Angaben über die Dimensionierung des zu verwendenden Fendersystems an der FSRU vorlagen und zweitens die letzten 50m der Annäherung nicht im Fokus der Simulation standen. Für diese Studie geht es vielmehr darum,

³² TERMPOL Berth Procedures and Provisions, 2010

ob ein kontrolliertes Manöver zum An- bzw. Ablegen innerhalb gewisser Grenzen möglich ist. Alle Manöver, die dieses Kriterium erreichten, hätten die Annäherungsgeschwindigkeit auf den letzten 50 Metern noch weiter reduzieren können, was aber einen deutlich höheren Zeitaufwand bedeutet hätte.

4.4 Anlegen von LNG – Tankern an die FSRU

Anlegemanöver an die FSRU erfolgen vom Prinzip her genauso, wie beim Anlegen der FSRU an die Pier.

Um eine Beschädigung der FSRU zu vermeiden ist bei der Annäherung an die FSRU mit noch größerer Vorsicht zu arbeiten als beim Anlegen an einer konventionellen Pier.

Zum Schutz der FSRU befindet sich ein Fendersystem an der Seeseite (Stb.-Seite), bestehend aus Yokohama Fendern, das die möglichen verbleibenden Restkräfte beim Anlegen absorbiert.

Anlegemanöver an die FSRU wurden sowohl mit dem Q-Max wie auch dem Kvaerner Moss gefahren.

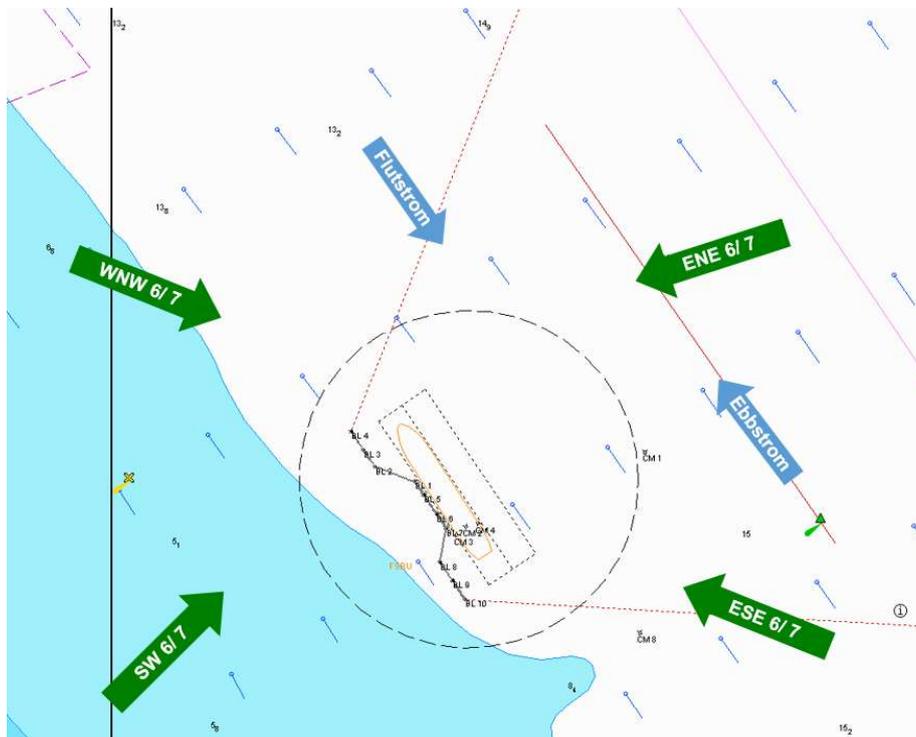


Abb. 67: Szenarien An- und Ablegen

Alle Anlegemanöver wurden mit sich verringerndem einlaufendem Strom (2,3 kn) abnehmend auf bis zu 0,9 kn ablaufend durchgeführt.

Die Windrichtungen variierten und die Windstärke lag bei 6-7 Bft. (30 kn).

Lauf	Art	Eigenschiff	Strom		Wind		Schlepper			Rating		Ergebnis plausibel	Übungsziel erreicht	Bericht	
							Autotug	vorne	achtern	Lotsen	Schlepper				
3a	Anlegen an FSRU	Q-Max	145°	2,1kn	225°	30kn	SW 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	4	3	ja	ja	ja
4a	Anlegen an FSRU	Q-Max	332°	0,9kn	292°	30kn	WNW 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	4	3	ja	ja	ja
5a	Anlegen an FSRU	Q-Max	144°	2,2kn	72°	30kn	ENE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	x	x	ja	nein	ja
6a	Anlegen an FSRU	Q-Max	343°	0,2kn	112°	30kn	ESE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	4	2	ja	ja	ja
8	Anlegen an FSRU	Kvaerner Moss	144°	2,3kn	225°	30kn	SW 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	4	3	ja	ja	ja
9a	Anlegen an FSRU	Kvaerner Moss	350°	0,2kn	112°	30kn	ESE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	4	3	ja	ja	ja
10a	Anlegen an FSRU	Kvaerner Moss	144°	2,2kn	72°	30kn	ENE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	3	ja	ja	ja

Tabelle 14: Simulationsläufe Anlegen an der FSRU

4.4.1 Ausrichten des Schiffes zur Pier in einem sicheren Abstand

Sowohl der Q-Max wie auch der Kvaerner Moss LNG – Tanker konnten in einem sicheren Abstand zur FSRU ausgerichtet werden.

Als Ergebnis bleibt hier festzuhalten:

- **Anlegemanöver mit einem LNG-Tanker im Q-Max und einem Kvaerner Moss Design sind sicher möglich**

4.4.2 Annäherungsgeschwindigkeit an die FSRU

Für diese Untersuchung wurde jedoch aus nachfolgenden Gründen ein Wert von bis zu 0,45 m/s als akzeptabel definiert. (s. 4.2.1).

Dieser Wert wurde in allen Simulationsläufen nach dem Ausrichten bei der weiteren Annäherung des LNG-Tankers an die FSRU eingehalten.

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Die maximal sichere Annäherungsgeschwindigkeit an die FSRU wurde unter den vorgegebenen Bedingungen grundsätzlich eingehalten.**

4.4.3 Räumlicher Manöverbedarf

Der zum An- und Ablegen benötigte Raum muss über eine Wassertiefe³³ verfügen, die ein sicheres Manövrieren des Schiffes ohne zu starke Beeinflussung gewährleistet. In der Regel geben die Häfen bzw. Hafenanlagen eine Mindestkielfreiheit (UKC) vor, die unter allen Umständen einzuhalten ist. Typische Werte sind hier 1m^{34} oder 10% des aktuellen Tiefgangs.

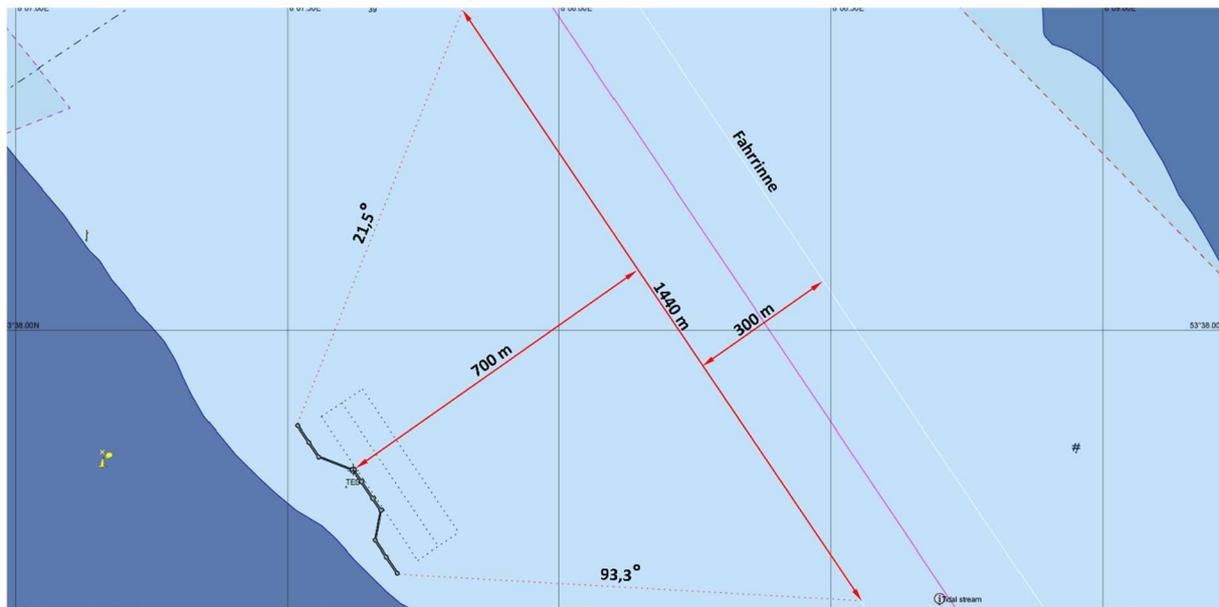


Abb. 68: Manövrierraum

Für die Wahl des Manövers ist die Wahl des Drehpunktes entscheidend. Wird dieser richtig gewählt, ist der Manövrierraum ausreichend.

Wird insbesondere bei Flutstrom der Drehpunkt zu spät gewählt, verdriftet der LNG-Tanker nach Süden und kann sich im ungünstigsten Fall außerhalb des zu baggernden Bereiches befinden.

Wird der Drehpunkt zu früh gewählt besteht die Möglichkeit, dass der LNG-Tanker schon vor der Aufweitung die Fahrtrinne verlässt.

Bei einem optimalen Manöver wird der Drehpunkt des Schiffes so gewählt, dass sich das Heck des einlaufenden Schiffes nach dem Drehen stets auf der Höhe des Hecks der FSRU befindet.

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Der räumliche Manöverbedarf passt zu den geplanten Baggermaßnahmen und ist somit ausreichend.**

³³ Seekartenull + Höhe der Gezeit

³⁴ Hafenbenutzungsordnung für den Hafenbereich des VYNOVA Terminal in WILHELMSHAVEN VYNOVA Wilhelmshaven GmbH

- Der grundsätzlich zur Verfügung stehende Bereich zur Wahl eines geeigneten Drehpunkts ist ausreichend und wurde bei der Durchführung der Simulationsläufe nicht in Frage gestellt.
- Die Anlegemanöver sollten mit 4 Schleppern durchgeführt werden.
- Die Schlepper sollten jeweils über mindestens 50 t. Pfahlzug verfügen.
- Abhängig von den vor Ort herrschenden Bedingungen, sollten in Absprache gegebenenfalls Schlepper mit einem höheren Pfahlzug (z.B. 70 t) eingesetzt werden.

4.5 Ablegen von LNG – Tankern von der FSRU

Die Ablegemanöver wurden mit dem Q-Max und dem Kvaerner Moss Tanker im Ballasttiefgang durchgeführt. Ausgehend vom Liegeplatz an der FSRU wurden die Tanker von der Pier gezogen, bis sie in der Lage waren, sicher in die Fahrrinne einzulaufen.

Die Windrichtungen variierten bei den einzelnen Simulationsläufen. Die Windstärke betrug 6-7 Bft. (30 kn)

Die Simulationsläufe wurden mit ausgehendem Ebbstrom (2,3 kn) gefahren.

Lauf	Art	Eigenschiff	Strom		Wind		Autotug	Schlepper		Rating		Ergebnis	Übungsziel	Bericht	
								vorne	achtern	Lotsen	Schlepper				
3b	Ablegen von der FSRU	Q-Max	145°	2,1kn	225°	30kn	SW 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	2	ja	ja	ja
4b	Ablegen von der FSRU	Q-Max	329°	2,0kn	292°	30kn	WNW 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	2	ja	ja	ja
5b	Ablegen von der FSRU	Q-Max	144°	2,2kn	72°	30kn	ENE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	2	ja	ja	ja
6b	Ablegen von der FSRU	Q-Max	330°	1,2kn	112°	30kn	ESE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	2	ja	ja	ja
8	Ablegen von der FSRU	Kvaerner Moss	144°	2,3kn	225°	30kn	SW 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	4	3	ja	ja	ja
9b	Ablegen von der FSRU	Kvaerner Moss	330°	1,3kn	112°	30kn	ESE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	2	ja	ja	ja
10a	Ablegen von der FSRU	Kvaerner Moss	144°	2,0kn	72°	30kn	ENE 6/7	2	Rotortug (80%)	ASD (80%)	2	2	ja	ja	ja

Tabelle 15: Simulationsläufe Ablegen von der FSRU

Die Schlepper werden dazu eingesetzt den LNG-Tanker parallel von der Pier abzutauen und im Anschluss in sicherem Abstand von der Pier das Schiff für das Einlaufen in das Fahrwasser auszurichten.

4.5.1 Traversieren Richtung See bis zu einem sicheren Abstand

In allen Fällen konnten die LNG-Tanker sicher von der FSRU abgetaut werden. Die herrschenden Stromverhältnisse konnten durch Eigenschiffsmanöver (voraus, zurück) und die Ausrichtung der Schlepper sicher kompensiert werden.

Entscheidenden Einfluss auf ein sicheres Manöver hat die Windrichtung verbunden mit der herrschenden Windstärke. Erwartungsgemäß stellte der auflandige Wind aus Nordost (45°) verbunden mit großen Windstärken die höchsten Anforderungen an das Manöver.

Als Ergebnis bleibt hier festzuhalten:

- **Ablegemanöver mit einem LNG-Tanker im Q-Max und einem Kvaerner Moss Design sind bis einschließlich 7 Bft. sicher möglich.**

- **Ablegemanöver mit einem LNG-Tanker im Q-Max und einem Kvaerner Moss Design sind bis einschließlich 8 Bft. grundsätzlich³⁵ möglich.**

4.5.2 Räumlicher Manöverbedarf

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Der räumliche Manöverbedarf ist mit den geplanten Maßnahmen ausreichend.**
- **Die Ablegemanöver sollten mindestens mit 3 Schlepper durchgeführt werden.**
- **Die Schlepper sollten mindestens über jeweils 50 t. Pfahlzug verfügen.**
- **Abhängig von den vor Ort herrschenden Bedingungen sollten in Absprache ggfs. Schlepper mit einem höheren Pfahlzug (z.B. 70 t) eingesetzt werden oder mehr als drei Schlepper genutzt werden.**

³⁵ Schlepper mussten 100% der Leistung abrufen

4.6 Ausfall von Manöviereinrichtungen oder Schlepper beim Anlegen von LNG – Tankern

In mehreren Simulationsläufen wurde mit dem Q-Max simuliert, welche Auswirkungen der Ausfall

- von Manöviereinrichtungen (Hauptmaschine) oder
- Probleme an Bord des Schleppers (Maschinenschaden, Drahtbruch)

auf das Manöver haben.

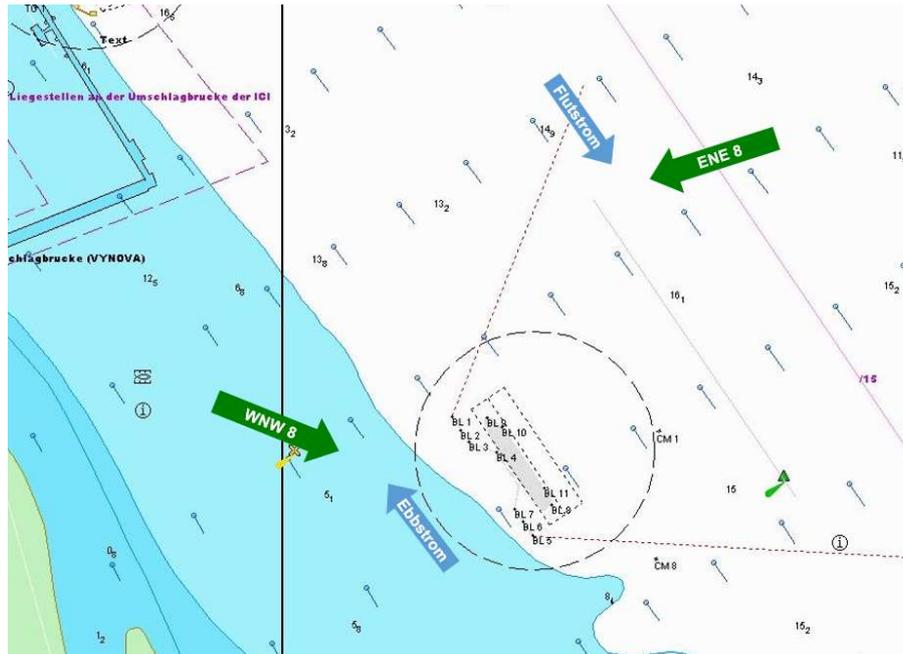


Abb. 69: Szenarien Ausfall Manöviereinrichtungen oder Schlepper beim Anlegen an die FSRU

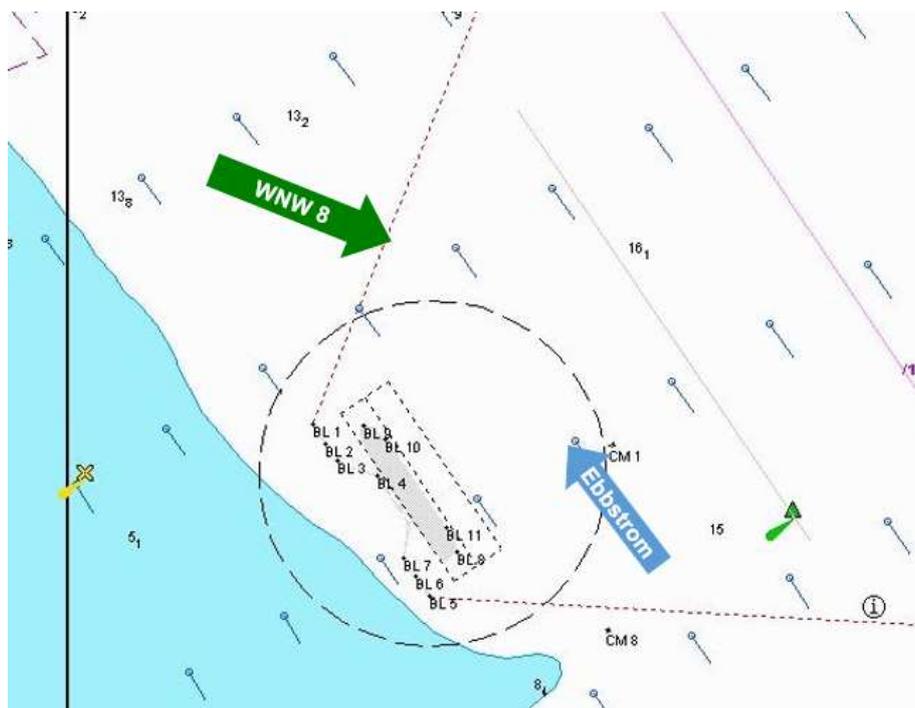


Abb. 70: Szenario „Black-out“ beim Ablegen von der FSRU

Dadurch, dass es sich bei den Q-Max Schiffen um Doppelschraubenschiffe mit zwei Rudern handelt, sind sie weniger anfällig für den Ausfall von Manöviereinrichtungen.

Lauf	Art	Eigenschiff	Strom		Wind			Schlepper		Rating		Ergebnis plausibel	Übungsziel erreicht	Bericht
								Autotug	achtern	Lotzen	Schlepper			
15	Ruderausfall, blockiert auf 20° Bb.	Q-Max	326°	2,5kn	292°	37kn	WNW 8	2	ASD (100%)	4	4	ja	ja	ja
16	Black out / Engine shut down	Q-Max	329°	2,5kn	292°	37kn	WNW 8	1	ASD (100%)	3	4	ja	ja	ja
17	Vorschlepper Leinenbruch, Schlepper außer Betrieb	Q-Max	144°	2,1kn	72°	37kn	ENE 8	2	Ausfall	5	5	ja	ja	ja

Tabelle 16: Simulationsläufe Ausfall von Manöviereinrichtungen oder Schleppern

Mit dem Q-Max Tanker wurden während des Anlegens „Black Out“, der komplette Ausfall des Vor- bzw. des Achterschleppers durch Maschinenschaden simuliert.

Weiterhin wurde mit dem Q-Max Tanker beim Ablegen der Ausfall des Vorschleppers simuliert.

4.6.1 Ausfall des Vorschleppers

Je höher die insgesamt verfügbare Schlepperkapazität für ein Manöver liegt, desto besser lassen sich Notfallszenarien beherrschen, auch wenn diese statistisch eher unwahrscheinlich sind.

Ziel dieser Szenarien war es nicht, erfolgreich an der FSRU anzulegen, sondern bei Eintreten eines solchen Notfalls das Schiff sicher kontrollieren zu können und es zu stabilisieren. Im zweiten Schritt ist dann zu entscheiden, ob ein Anlauf fortgesetzt wird, oder auf weitere Unterstützung gewartet wird.

In Lauf 17 wurde beim Q-Max Tanker beim Anlegen der Ausfall des Vorschleppers simuliert, da dieses Szenario als „Worst-Case-Szenario“ identifiziert wurde. Die Umweltbedingungen waren auflaufender Strom und auflandiger Wind.

Das Ziel, den Q-Max-Tanker sicher zu kontrollieren und zu stabilisieren, wurde erreicht.

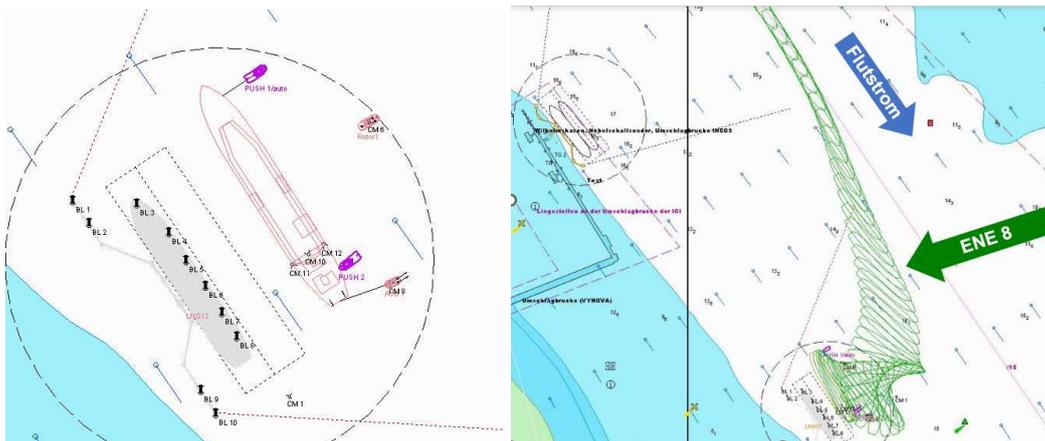


Abb. 71: Szenario - Ausfall Vorschlepper

Bei starkem auflandigem Wind wurde versucht nach dem Ausfall des Vorschleppers anzulegen. Durch den Einsatz der Druckschlepper im Push-Pull-Modus konnte der Bug des Q-Max-Tankers vom vorderen Druckschlepper mittels der bereits festgemachten Schleppleine zügig unter Kontrolle gebracht werden.

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Die LNG – Tanker können in den simulierten Fällen nach Ausfall eines Schleppers jederzeit unter Kontrolle gebracht werden, wenn nicht zu dicht im Nahbereich der FSRU gedreht wird.**
- **Der Einsatz der Druckschlepper im Push-Pull-Modus mit Befestigung an den vorderen und achteren Springklüsen ist bei auflandigen Winden empfehlenswert.**
- **Ein sicheres Anlegen an die FSRU ist ohne Vorschlepper nicht mehr unter allen Umständen gegeben. Gegebenenfalls muss das Schiff vorübergehend im Strom gehalten und auf weitere Schlepperassistenz gewartet werden.**

4.6.2 Ausfall von Manöviereinrichtungen des LNG - Tankers

Hierbei handelt es sich um Ausfälle von Manöviereinrichtungen wie Ruder oder Hauptmaschine.

Simuliert wurde ein Blackout auf dem Q-Max, es kam hier zu einem gleichzeitigen Ausfall der Maschinen und der Rudereinlage beim Ablegen von der FSRU (Szenario 16). Der Q-Max wurde auf Grund der größeren Windangriffsfläche und dem ungünstigeren Verhältnis von Maschinenleistung zu Verdrängung gewählt, denn, da Ruder und Hauptmaschine doppelt ausgeführt sind, ist ein Ausfall beider Systeme in der Realität aber nur sehr unwahrscheinlich.

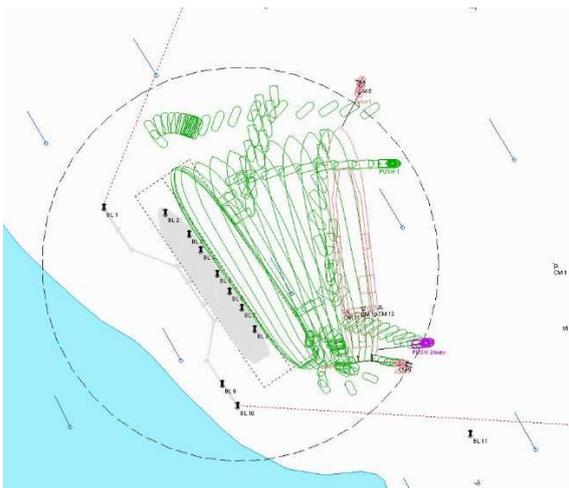


Abb. 72: Track Blackout Q-Max nach Ausfall

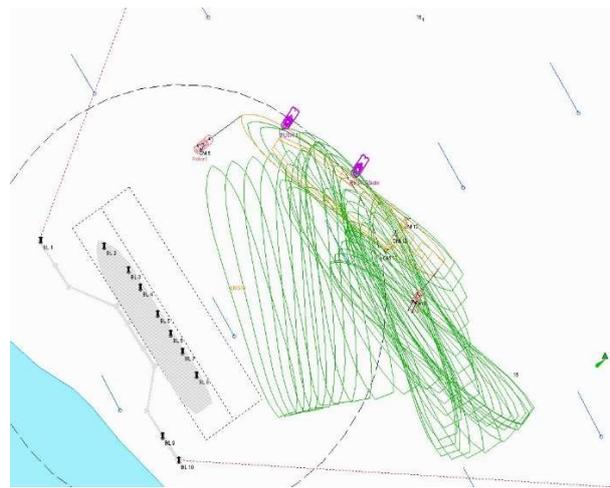


Abb. 73: Neupositionierung der Schlepper am Q-Max nach Ausfall

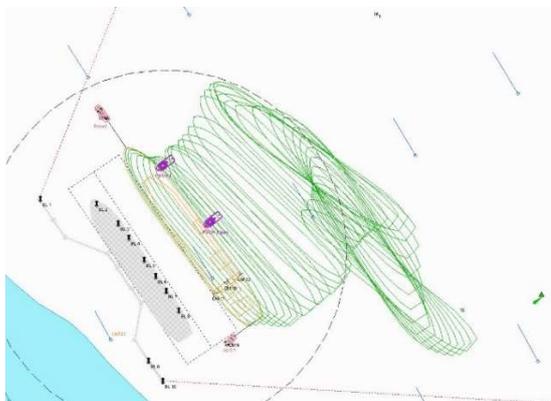


Abb. 74: Anlegemanöver an der FSRU mit Q-Max nach Ausfall

Es war ohne Probleme möglich, mit den für das Manöver vorgesehenen Schleppern³⁶ das Schiff wieder sicher an der FSRU anzulegen.

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Die LNG – Tanker können nach Ausfall von Manöviereinrichtungen unter den betrachteten Szenarien jederzeit unter Kontrolle gebracht werden.**

³⁶ Anlegen 4 Schlepper, Ablegen 3 Schlepper

4.7 Anläufe zu den Anlegern HES 1A und HES 2

In 13 Simulationsläufen wurden Anläufe zu den Anlegern HES 1a und HES 2 simuliert mit Fahrzeugen, deren Maße den dort verkehrenden Schiffsgrößen entsprechen. Dies sind je nach Anleger Tankschiffe zwischen 130m und 190m. Der Fokus der Untersuchung lag hier auf der sicheren Zufahrt zu den Anlegern unter Berücksichtigung des neuen Terminals. Zu untersuchen war, inwieweit die Position des TES- Anlegers die Standardmanöver zu den Anlagen der HES beeinträchtigt und falls ja, ob es alternative Manöverstrategien gibt, die dennoch die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs von und zu den Anlagen der HES sicherstellen.

4.7.1 Anleger HES 1A



Abb. 75: Screenshot Anlauf HES 1A

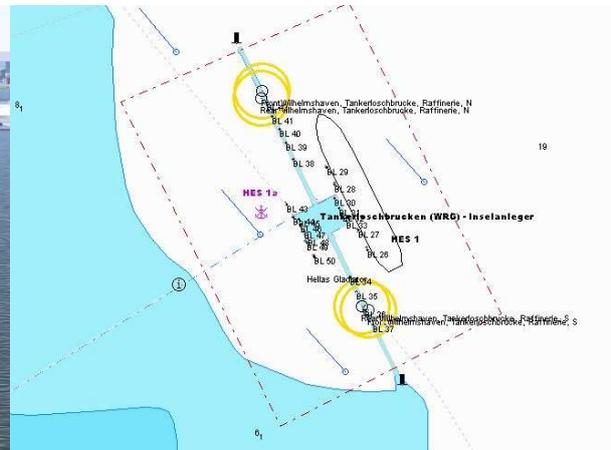


Abb. 76: HES 1A

Die Untersuchungen ergaben, dass die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zur Verladebrücke HES 1A nicht beeinträchtigt wird. Hierbei wurden mehrere Szenarien mit Tankschiffen von 190m Länge durchgeführt, kleinere Einheiten können damit ebenfalls als problemlos eingestuft werden.

4.7.2 Anleger HES 2

Bisher ist es üblich, mit den Fahrzeugen, die zum Anleger HES 2 fahren, die direkte Zufahrt aus dem Fahrwasser zu nehmen. Diese führt über die Fläche, auf der das neue Terminal errichtet werden soll. Die neue Manöverstrategie sieht nun die Passage in der Lücke zwischen dem bereits vorhandenen Anleger von Uniper und dem neu zu errichtenden Anleger der TES vor. Damit wird der TES- Anleger jeweils im Westen passiert. Es konnte im Rahmen der Simulationsläufe nachgewiesen werden, dass die Errichtung des neuen Terminals keinen negativen Einfluss auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zur HES 2 hat. Durch die zu ändernde Manöverstrategie treten keine negativen Effekte auf.



Abb. 77: HES 2

4.8 Aufweitung der Zufahrt zum Terminal

Das Ausbaggern des Zufahrtstrichters wie von TES angegeben, wurde als gegeben angenommen. Ein eventuell vorhandenes Optimierungspotential wurde nicht untersucht.

Im Rahmen der Simulationsläufe wurde deutlich, dass die Aufweitung der Zufahrt ausreichend dimensioniert geplant ist.

Das Schiff konnte jeweils innerhalb der geplanten Aufweitung unter Kontrolle gebracht werden.

Der maximale Einlauftiefgang eines LNG-Tankschiffes wird hier mit 12,0m angenommen. Eine Mindestkielfreiheit (UKC³⁷) von 1,0m scheint nach der geltenden Hafenordnung³⁸ akzeptabel.

Damit erscheint die Mindestwassertiefe von 14,50m für das sichere Anlaufen des Liegeplatzes ausreichend zu sein.

³⁷ Engl. Under Keel Clearance

³⁸ Hafenbenutzungsordnung (HBO) für den Hafenbereich des VYNNOVA Terminal in WILHELMSHAVEN, 2015

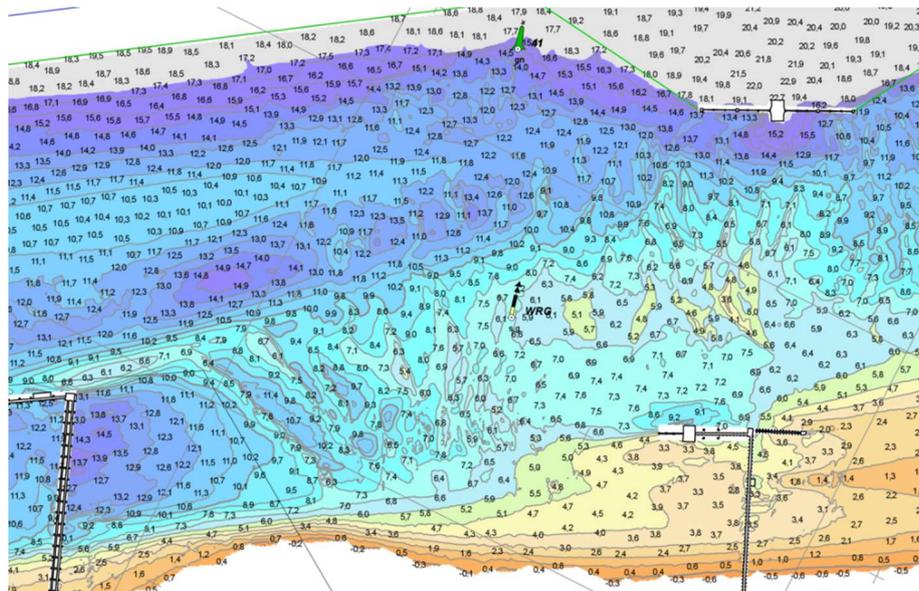


Abb. 78: Peilplan Baugebiet der TES vor der Aufweitung

5 Evakuierung der FSRU bei extremen Wetterbedingungen

Schwere Stürme, die ein sicheres Verbleiben am Liegeplatz nicht mehr gewährleisten, können es erforderlich machen, dass die FSRU ihren Liegeplatz verlassen muss, um auf See Schutz zu suchen.

Um eine solche Situation zu betrachten, wurden folgende Läufe definiert und simuliert:

Lauf	Art	Eigenschiff	Strom		Wind		Schlepper		Rating		Ergebnis plausibel	Übungsziel erreicht	Bericht		
			145°	2,1kn	225°	51kn	SW 10	Autotug	vorne	achtern				Lotsen	Schlepper
13	Evakuierung beladen	FSRU	145°	2,1kn	225°	51kn	SW 10	2	Rotortug (100%)	ASD (100%)	4	4	ja	ja	ja
14	Evakuierung Ballast	FSRU	330°	2,0kn	45°	51kn	NE 10	2	Rotortug (100%)	ASD (100%)	4	4	ja	ja	ja

Tabelle 17: Simulationsläufe – Evakuierung der FSRU

Die Auslegung des Mooring Systems der geplanten TES- Anlage wird vom Auftraggeber dieser Studie selbst untersucht. Aus den bekannten Ergebnissen dieser Untersuchungen und dem aus früheren Studien bekannten vergleichbaren ergeben sich Hinweise, dass im Falle der TES-Evakuierungen der FSRU relativ häufig vorgenommen werden müssen.

5.1 Evakuierung der FSRU von der Pier

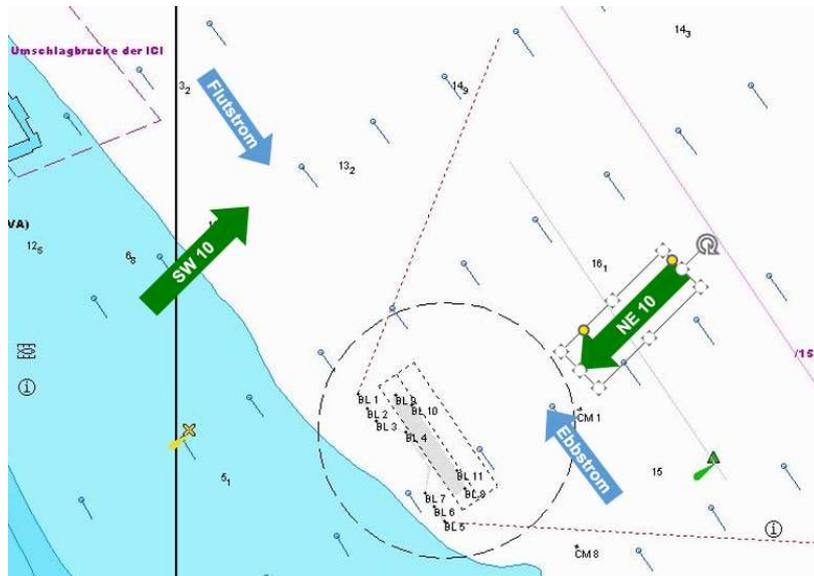


Abb. 79: Szenarien Evakuierung vom Anleger

Aufgrund der hohen Windstärken und einer vorliegenden Notsituation wurden die Schlepperkapitäne angewiesen, die Leistungsfähigkeit der Schlepper jeweils zu 100% Pfullzug auszunutzen.

Vorliche Winde erschweren das Ablegen, da eine sehr hohe Leistung notwendig ist, um genügend Vorausfahrt in die FSRU zu tauen, die für eine ausreichende Steuerfähigkeit benötigt wird.

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Die FSRU kann mittels Schlepperhilfe bis zu einer Windgeschwindigkeit von 51 Knoten (Beaufort 10) den Liegeplatz verlassen. Ein sicheres Manöver setzt allerdings die Verfügbarkeit von entsprechend starken Schleppern voraus.**

5.2 Evakuierung der FSRU nach See

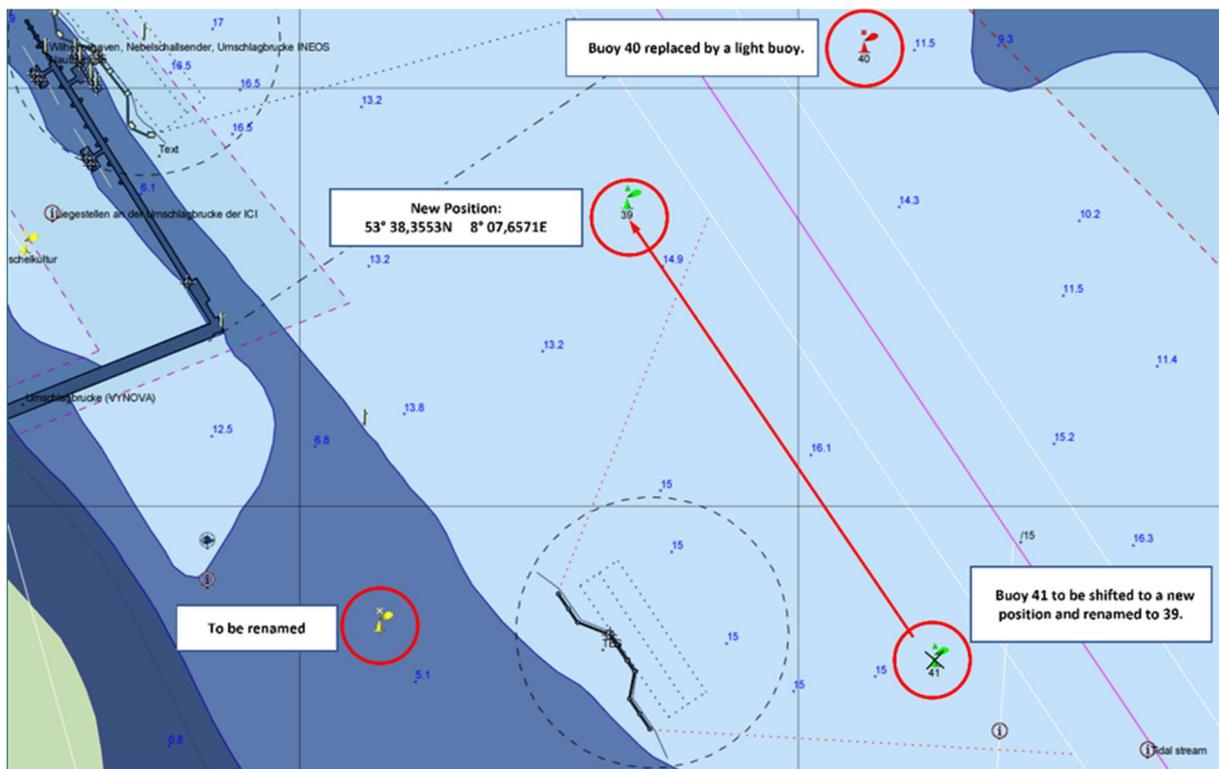
Da im Bereich des Minsener Oogs in kurzen Abständen mehrere größere Kursänderungen durchgeführt werden müssen und es erschwerend hinzukommt, dass der Strom in diesem Teil der Jade nicht parallel zum Tonnenstrich läuft und so die Bahnführung erschwert, wurden folgende praktische Überlegungen durch die Vertreter des WSA Wilhelmshaven angestellt:

Aufgrund der relativ geringen Maschinenleistung einer FSRU und in Anbetracht der bekannten Risiken einer Revierfahrt nach See unter extremen Wetterbedingungen wird empfohlen, die FSRU nach der Evakuierung in einer Position am nördlichen Fahrwasserrand in direkter Nähe zum Liegeplatz der TES zu ankern und hier gegebenenfalls durch zusätzliche Schlepper zu sichern.

6 Empfehlung zur Verlegung der Tonne 41

Wie die folgende Grafik zeigt, liegt die Fahrwassertonne 41 nach Umsetzung des Bauvorhabens der TES direkt in dem vorgesehenen Anlaufbereich zur Anlage.

Gemeinsam mit dem WSA und den an der Simulation beteiligten Hafenlotsen der Lotsenbrüderschaft Weser 2 / Jade wurde vorgeschlagen, die Tonne 41 in eine Position parallel zur Tonne 40 zu verlegen und gleichzeitig in Tonne „39“ umzubenennen. Die noch aus der Markierung einer Muschelkultur vorhandene Tonne sollte umbenannt und als Leuchttonne erhalten bleiben. Diese Tonne dient den Lotsen als optischer Orientierungspunkt.



7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse stichwortartig zusammengefasst.

Die durchgeführte Simulation bestätigt die grundsätzliche Machbarkeit des Vorhabens der TES.

- Erwartungsgemäß verliefen die Läufe mit FSRU und Q- Max zur TES 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 HW durch die Hafenslots anzu-nehmen werden Fragestellungen hinsichtlich der Verfügbarkeit einer genügenden Anzahl von Schleppern in Wilhelmshaven aufgeworfen. Es entstehen zeitgleiche Reedezeiten mit Anläu-fen zum Anleger der Firma UNIPER
- In der Praxis werden keine Anlegemanöver bei Ebbstrom durchgeführt. Dennoch wurden sol-che Fälle im Sinne von „Worst-Case-Szenarien“ in der Simulation durchgeführt.
- Die Auslegung des Mooringsystems auf der TES-Anlage 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 auszu-legen.
- Die vor dem HES 2 & 3 liegende Kardinaltonne stellt kein Hindernis für die durch den Bau der TES-Anlage veränderte Manöverstrategie dar.
- Die verbliebene Tonne zur Kennzeichnung einer Muschelbank in der Nähe des Vynova-Anle-gers sollte in Form einer Leuchttonne erhalten werden, da sie den Lotsen als optischer Orien-tierungspunkt dient.
- Die Kennzeichnung der TES- Anlage 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 diesem Dokument

7.1 Befahren des Jade Reviere

Die für ein Befahren der Jade auch mit Tankern der Größenordnung Q-Max notwendigen Voraussetzungen sind bereits jetzt vollumfänglich gegeben. Daher wurde dieser Aspekt in der vorliegenden Studie nicht erneut untersucht

7.2 An- und Ablegen von LNG-Tankern an die FSRU

- Die Hafenslotsen sollten aufgrund des speziellen Anlegemanövers (parallel ausrichten und dann langsame Annäherung an den Liegeplatz) speziell geschult sein. Dies erfolgte mit den Wilhelms-havener Hafenslotsen bereits für das bestehende LNG Import Terminal in Wilhelmshaven. Eine Fa-miliarisierung mit den speziellen Gegebenheiten ist dennoch ratsam.
- Der für die Manöver zur Verfügung stehende Raum ist ausreichend.
- Anlegemanöver mit einem LNG-Tanker im Q-Max und einem Kvaerner Moss Design sind bis inklusive 7 Bft. sicher möglich.
- Ablegemanöver sind bis inklusive 8 Bft. sicher möglich, wobei der Kvaerner Moss Tanker auf Grund seiner größeren Windanfälligkeit bei dieser Windstärke am Limit manövriert.
- Die LNG-Tanker können nach Bruch des Schleppdrahtes oder Ausfall eines Schleppers jederzeit unter Kontrolle gebracht werden. Ein sicheres Anlegen an die FSRU ist mit den verbleibenden Schleppern nicht mehr in allen Situationen gegeben.
- Die LNG-Tanker können nach Ausfall von Manövriereinrichtungen jederzeit unter Kontrolle ge-bracht werden. Ein sicheres Anlegen an die FSRU ist dann nicht mehr in allen Situationen gege-ben.

7.3 Evakuierung der FSRU

- Die FSRU kann bei ablandigen Winden mittels Schlepperhilfe bis zu einer Windgeschwindigkeit von 10 Bft. sicher den Liegeplatz verlassen.
- Die kritische Umfahrung des Minsener Oog sollte jedoch zugunsten eines Ankermanövers in der Nähe der Anlage vermieden werden.

7.4 Generelle Empfehlung

Wie auch in ähnlichen Projekten, empfehlen die Verfasser bei der Planung und Festlegung der „operational limits“ für den neuen Terminal eine Herangehensweise, die den Lerneffekt bei den beteiligten Parteien (Lotsen, Schlepper, WSV und Terminalpersonal) berücksichtigt. Für die ersten Anläufe von Q-Max Tankern an die FSRU sollte das Windlimit eher konservativ gewählt und nach den Erfahrungen dieser Anläufe ausgeweitet werden. An dieser Stelle verweisen wir auf die Erfahrungen bei der Inbetriebnahme des Gate Terminals in Rotterdam / NL sowie des in unmittelbarer Nähe befindlichen LNG-FSRU-Terminals der Fa. Uniper in Wilhelmshaven.

Es ist empfehlenswert, die Beteiligten an den praktischen Operationen nach den ersten Tankeranläufen zu einem Briefing einzuladen, bei dem die Ergebnisse dieser Studie mit Hilfe der gewonnenen praktischen Erfahrungen nochmals validiert werden.

8 Teilnehmerliste

Teilnehmerliste		Mo. 06.02.2023
Projektleiter	Georg Haase	Nautitec
Instruktor	Kapitän Guido Ross	Nautitec
Instruktor	Kapitän Andreas Schneider	Nautitec
Instruktor	Kapitän Dietmar Szech	Nautitec
Techniker	Günter Gerjets	Nautitec
Hafenlotse	Kapitän Bernhard Windscheit	LB Weser II / Jade
Hafenlotse	Kapitän Stefan Arndt	LB Weser II / Jade
ASD Schlepper	Kapitän Thorsten Fischer	Nautitec
Rotor Schlepper	Kapitän Freerk Pommer	Boluda
Beobachter	Kapitän Wachholz	Hafenkapitän WHV
Beobachter	Stephan Hellwig	WSA
Beobachter	Josef Schöning	WSA
Beobachter	Martin Albers	TES-H2
Beobachter	Hendrik Winchl	TES-H2
Beobachter	Kevin Vivide	IMDC
Beobachter	Cees van de Vrie	IMDC
Beobachter	Jaap de Groot	IMDC

Teilnehmerliste		Di. 07.02.2023
Projektleiter	Georg Haase	Nautitec
Instruktor	Kapitän Guido Ross	Nautitec
Instruktor	Kapitän Andreas Schneider	Nautitec
Instruktor	Kapitän Norbert Radtke	Nautitec
Instruktor	Nautiker Malte Janßen	Nautitec
Techniker	Günter Gerjets	Nautitec
Hafenlotse	Kapitän Bernhard Windscheit	LB Weser II / Jade
Hafenlotse	Kapitän Stefan Arndt	LB Weser II / Jade
ASD Schlepper	Kapitän Thorsten Fischer	Nautitec
Rotor Schlepper	Kapitän Freerk Pommer	Boluda
Beobachter	Martin Albers	TES-H2
Beobachter	Gerd Töpken	ENGIE
Beobachter	Kevin Vivide	IMDC
Beobachter	Cees van de Vrie	IMDC

Teilnehmerliste		Mi. 08.02.2023
Projektleiter	Georg Haase	Nautitec
Instruktor	Kapitän Andreas Schneider	Nautitec
Instruktor	Kapitän Norbert Radtke	Nautitec
Instruktor	Nautiker Malte Janßen	Nautitec
Instruktor	Kapitän Finn Kosel	Nautitec
Techniker	Günter Gerjets	Nautitec
Hafenlotse	Kapitän Bernhard Windscheit	LB Weser II / Jade
ASD Schlepper	Kapitän Eike Damm	ESB
Rotor Schlepper	Kapitän Thorsten Fischer	Nautitec
Beobachter	Viona Müller	TES-H2
Beobachter	Kevin Vivide	IMDC
Beobachter	Cees van de Vrie	IMDC

Teilnehmerliste		Do. 09.02.2023
Projektleiter	Georg Haase	Nautitec
Instruktor	Kapitän Andreas Schneider	Nautitec
Instruktor	Kapitän Norbert Radtke	Nautitec
Instruktor	Kapitän Finn Kosel	Nautitec
Techniker	Günter Gerjets	Nautitec
Hafenlotse	Kapitän Bernhard Windscheit	LB Weser II / Jade
Hafenlotse	Kapitän Stefan Arndt	LB Weser II / Jade
ASD Schlepper	Kapitän Hannes Schulz	Boluda
Rotor Schlepper	Kapitän Thorsten Fischer	Nautitec
Beobachter	Viona Müller	TES-H2
Beobachter	Kapitän Wachholz	Hafenkapitän WHV
Beobachter	Stephan Hellwig	WSA
Beobachter	Christoph Kolter	MW Hafenbehörde
Beobachter	Kevin Vivide	IMDC
Beobachter	Cees van de Vrie	IMDC

Teilnehmerliste		Fr. 10.02.2023
Projektleiter	Georg Haase	Nautitec
Instruktor	Kapitän Andreas Schneider	Nautitec
Instruktor	Kapitän Marcus Scheffler	Nautitec
Techniker	Günter Gerjets	Nautitec
Hafenlotse	Kapitän Bernhard Windscheit	LB Weser II / Jade
Hafenlotse	Kapitän Stefan Arndt	LB Weser II / Jade
ASD Schlepper	Kapitän Hannes Schulz	Boluda
Rotor Schlepper	Kapitän Thorsten Fischer	Nautitec
Beobachter	Viona Müller	TES-H2
Beobachter	Kevin Vivide	IMDC
Beobachter	Cees van de Vrie	IMDC
Beobachter	Jaap de Groot	IMDC

9 Bibliografie

W. Blendermann	“Bericht 574 – Wind loading of ships – Collected Data from Wind Tunnel Tests in uniform flow “, Institut Schiffbau der Universität Hamburg, 1996
Deutscher Bundestag	Drucksache 16/434916: Sicherheit der Seeschifffahrt im Jade-Fahrwasser
M. J. van Hilten	“Theoretical Support for Professional Ship Handling”, in MARSIM 2003, Conference Proceedings
Merkel Energy GmbH	„LNG-Infrastruktur an der deutschen Nordseeküste unter Betrachtung besonders geeigneter Standorte“, 2017
S. Mai	“Seegangsbedingungen und Wellenüberlauf an der geplanten Kaianlage JadePort, Wilhelmshaven“, in HANSA Nr. 11, 2000
H. Schneekluth	Hydromechanik zum Schiffsentwurf, 3. Verb. und erw. Auflage, Herford, 1988
Society of International Gas Tanker & Terminal Operators Ltd. (SIGTTO)	PREDICTION OF WIND LOADS ON LARGE LIQUEFIED GAS CARRIERS, October 2007

10 Anlagen

- Laufliste mit Kommentaren in separater Datei
- Dokumentation der Simulationsläufe in separater Datei

11 Abschluss

11.1 Erklärung

Wir versichern, das vorstehende Konzept

- nach bestem Wissen und Gewissen,
 - neutral und allein ausgehend von den Angaben der in dieser Sache vorgelegten Unterlagen und
 - den genannten Informationsquellen und Bearbeitungsunterlagen
- sowie
- von den nautisch-seemännischen und in der Lehre allgemein anerkannten Regeln und Erkenntnissen erstellt zu haben.

Leer, März 2023

.....
Dipl. Wirtschafts-Ing. Kapitän Georg Haase

.....
Prof. Kapitän Rudolf Kreuzer

.....
Kapitän Andreas Schneider