Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
Niederlassung Cuxhaven

Antrag auf Planfeststellung für den Lückenschluss zwischen Europakai und Offshore-Basishafen Cuxhaven

Gemäß §§ 68 ff WHG iVm §§ 107 ff NWG

Heft 3.1

Schiffsmanöversimulation Schlussbericht

Nautitec, Leer

NAUTITEC

Planung Liegeplätze 5-7 in Cuxhaven

Nautische Untersuchung - Schiffsmanöversimulation 2017

Schlussbericht

erstellt am 26.06.2017 durch:

Dipl. Wirtschafts-Ing. Kapt. Georg Haase

Dipl. Wirtschafts-Ing. Kapt. Norbert Radke

Prof. Kapt. Rudolf Kreutzer

Team NAUTITEC - Freunde der Simulation ☺

Inhaltsverzeichnis

0 PROJEKTZUSAMMENFASSUNG 11

1 AUFGABENBESCHREIBUNG 12

2 RAHMENBEDINGUNGEN 13

2.1 Durchführung 13

2.2 Datenaufzeichnung 13

2.3 Verwendete Seeschiffe als Eigenschiffsmodelle 14

2.3.1 RoRo-Schiff 15
2.3.2 Mehrzweckschiff 19
2.3.3 Tanker 23
2.3.4 Massengutfrachter 26
2.3.5 Manövrierkennwerte der verwendeten Schiffe 29
2.3.6 Bewertung der Schiffsmodelle anhand der Simulationsläufe 30
2.3.7 Gewählte Geschwindigkeiten 30

3 SCHLEPPER UND SCHLEPPERMANÖVER 31

3.1 Schlepper gegenüber “Autotugs” 32

3.1.1 Modelle mit 3 Freiheitsgraden 32
3.1.2 Modelle mit 6 Freiheitsgraden 32

3.2 Verwendete Schleppertypen 34

3.2.1 Azimuth Tractor Drive (ATD) 34
3.2.1 Voith Schneider 35
3.2.2 Azimuth Stern Drive Schlepper (ASD) 38
3.2.3 Rotortug 41
3.2.4 Zusammenfassung Schleppertypen 41

3.3 Bestimmung des notwendigen Pfahlzuges 42

3.4 Schlepper im Push / Pull Modus 43

3.5 Drehpunktlage des Schiffes beim Schleppen 44

3.6 Der “Donkey Effect” 45

4 UMWELTDATEN 46

4.1 Das Seegebiet Cuxhaven 46

4.2 Die Liegeplätze 5 - 7 46

4.2.1 Anpassung Seegebietes an die geplanten Liegeplätze 48

4.2.2 Aufteilung der Liegeplätze für die Simulationsläufe ... 49
4.2.3 Liegeplatz 6 ... 50
4.2.4 Liegeplatz 7 ... 50

4.3 Vorherrschende Windrichtungen und Windstärken auf der Elbe vor Cuxhaven ... 52

4.4 Gezeitendaten ... 54

4.5 Stromdaten ... 55

5 BETRACHTUNG DER AUFTRETENDEN KRÄFTE ... 59

5.1 Hydrodynamische Effekte Schiff - Schlepper ... 59

5.2 Einfluss des Windes auf das Verhalten des Schiffes ... 60

5.3 Einfluss des Stromes auf das Verhalten des Schiffes ... 65

5.4 Auswirkungen der Effekte auf die verwendeten Schiffe ... 67
5.4.1 RoRo-Schiff ... 67
5.4.2 Mehrzweckschiff ... 68
5.4.3 Tanker ... 69
5.4.4 Massengutfrachter ... 70

6 AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE ... 71

6.1 Versuchsläufe ... 71

6.2 Kriterien für die Evaluierung der Simulationsläufe ... 72
6.2.1 Beeinflussung des durchgehenden Verkehrs ... 72
6.2.2 Liegeplatz 7 ... 73
6.2.3 Schleppertypen ... 74
6.2.4 Liegeplatz 6 - Mehrzweckschiff ... 75

6.3 Liegeplatz 7 ... 76
6.3.1 Anlegemanöver von See kommend ... 76
6.3.2 Anlegemanöver Liegeplatz 7 vom NOK kommend ... 79
6.3.3 Ablegemanöver ... 81

6.4 Liegeplatz 6 - Mehrzweckschiff ... 88
6.4.1 Anlegemanöver Liegeplatz 6 von See kommend ... 88
6.4.2 Anlegemanöver Liegeplatz 6 von Hamburg ... 92
6.4.3 Ablegen von Liegeplatz 6 mit dem Mehrzweckschiff ... 94

6.5 Schleppertypen ... 96

7 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE ... 98

8 BIBLIOGRAPHIE ... 100

9 ANLAGEN.....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
ECDIS	Elektronisches Kartendarstellungs- und Informationssystem (engl.: Electronic Chart Display and Information System)
ENC	Elektronische Navigationsseekarte (engl.: Electronic Navigational Chart)
FdW	Fahrt durch das Wasser, Bewegung des Schiffes relativ zur Wasseroberfläche (engl.: Speed through Water (StW))
FüG	Fahrt über Grund, Bewegung des Schiffes relativ zum Meeresboden / Erdoberfläche(engl.: Speed over Ground (SoG))
GPS	Weltweites Globales Positionierungssystem (engl.: Global Positioning System)
H	Wassertiefe (LAT + Höhe der Gezeit)
HdG	Höhe der Gezeit, tidenbedingte Erhöhung des Wasserstandes
IMO	Internationale Seeschifffahrts-Organisation (engl.: International Maritime Organisation)
Kn	Knoten (1.852 m / Stunde)
KVR	Internationale Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See, kurz: Kollisionsverhütungsregeln
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 hoch zu heben
NW	Niedrigwasser
NPorts	Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
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	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 *anluven* wird die Richtungsänderung eines Schiffes nach Luv bezeichnet.
Blockkoeffizient	Block coefficient	Der *Blockkoeffizient (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 *Fahrrinne* 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 *Fahrwasser* 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.
Giermoment	Yawing Moment	Unter dem Begriff *Giermoment* wird die Drehbewegung des Schiffes um die Hochachse (z-Achse) in [mt] bzw. [kNm] verstanden.
Luv		Der Begriff *Luv* beschreibt die dem Wind zugekehrte Seite eines Schiffes
Tide	Tide	Unter dem Begriff *Tide* 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.
Pfahlzug	Bollard Pull	Zugkraft eines Schleppers
Querkraft	Lateral Force Sway force	Unter dem Begriff Querkraft wird diejenige Kraft verstanden, die senkrecht zur Schiffslängsachse (x-Achse) setzt, angegeben in [t] bzw. [kN].

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

ABB. 1: RORO-SCHIFF 15
ABB. 2: RORO-SCHIFF - SEITENANSICHT 16
ABB. 3: RORO-SCHIFF HECKANSICHT - HECKANSICHT 16
ABB. 4: PILOT CARD RORO-SCHIFF 17
ABB. 5: BRÜCKENPOSTER RORO-SCHIFF 18
ABB. 6: MEHRZWECKSCHIFF 19
ABB. 7: MEHRZWECKSCHIFF (SEITENANSICHT) 19
ABB. 8: MEHRZWECKSCHIFF (HECKANSICHT) 20
ABB. 9: PILOT CARD MEHRZWECKSCHIFF 21
ABB. 10: BRÜCKENPOSTER MEHRZWECKSCHIFF 22
ABB. 11: TANKER 23
ABB. 12: TANKER 23
ABB. 13: PILOT CARD TANKER 24
ABB. 14: BRÜCKENPOSTER TANKER 25
ABB. 15: MASSENGUTFRACHTER (MODELL) 26
ABB. 16 MASSENGUTFRACHTER 26
ABB. 17: PILOT CARD MASSENGUTFRACHTER 27
ABB. 18: BRÜCKENPOSTER MASSENGUTFRACHTER 28
ABB. 19: PHASEN DES SCHLEPPVORGANGS 31
ABB. 20: „AUTOTUG“ IM VERGLEICH ZU „REAL TUG“ 32
ABB. 21: 6 FREIHEITSGRADE (6 DOF) 33
ABB. 22: VERWENDETE SCHLEPPERTYPEN 34
ABB. 23: VERWENDETES ATD SCHLEPPERMODELL 34
ABB. 24: ATD SCHLEPPERMODELL 34
ABB. 25: ATD SCHLEPPER - ARBEITSWEISE UND LEISTUNGSGRENZEN 35
ABB. 26: VOITH SCHNEIDER SCHLEPPERMODELL 36
ABB. 27: VOITH ANTRIEB 36
ABB. 28: VOITH SCHLEPPER – ARBE3ITSWEISE UND LEISTUNGSGRENZEN 37
ABB. 29: ASD-SCHLEPPERMODELL 38
ABB. 30: ASD SCHLEPPER - ARBEITSWEISE UND LEISTUNGSGRENZEN 39
ABB. 31: VERGLEICHSTABELLE SCHLEPPERTYPEN 41
ABB. 32: AUFTRETENDE KRÄFTE BEIM SCHLEPPVORGANG 42
ABB. 33: BENÖTIGTER PFAHLZUG NACH FAUSTFORMELN 43
ABB. 34: VERLUSTLEISTUNG DURCH POSITIONIEREN AM SCHIFF 43
ABB. 35: DREHPUNKTLAGE BEIM SCHLEPPEN 44
ABB. 36: DER DONKEY EFFECT 45
ABB. 37: PROFIL DES SEEGEBIETES 46
ABB. 38: HAFEN CUXHAVEN 47
ABB. 39: PLANUNG LIEGEPLATZ 5 - 7 LAGEPLAN VARIANTE 4 48
ABB. 40: QUERSCHNITT LIEGEPLATZ 5 -7 48
ABB. 41: LIEGEPLATZ 6 50
ABB. 42: LIEGEPLATZ 7 50
ABB. 43: JACK-UP AM LIEGEPLATZ 8 51
ABB. 44: LIEGEPLATZ 7 MIT JACK-UP UND TN. 33 51
ABB. 45: MONATL. VERTEILUNG VON WINDRICHTUNG UND -STÄRKE 53
ABB. 46: PROZENTUALE VERTEILUNG ÜBER DAS JAHR 53
ABB. 47: WINDRICHTUNGEN BEZOGEN AUF DIE LIEGEPLÄTZE 5 – 7 54

ABB. 48: GEZEITENDATEN 55
ABB. 49: MODELLIERTER STROM 56
ABB. 50: AUFBAU DES STRÖMUNGSMODELLS 57
ABB. 51: STRÖMUNGSMODELL DHI 57
ABB. 52: KOORDINATENSYSTEM DES SCHIFFES 59
ABB. 53: HYDRODYNAMISCHE EFFEKTE SCHIFF - SCHLEPPER 59
ABB. 54: DRIFTVERHALTEN, VERURSACHT DURCH WIND 60
ABB. 55: EINFLUSS DES WINDES AUF DEN BAHNVERLAUF 61
ABB. 56: KOORDINATEN, WINDKRÄFTE UND MOMENTE 62
ABB. 57: DER KOEFFIZIENT CY AM BEISPIEL EINES AUTOTRANSPORTERS 62
ABB. 58: BEISPIEL FÜG = 10 KN, WIND SW 7 BFT 64
ABB. 59: WINDMOMENT 64
ABB. 60: EINFLUSS DES STROMS AUF DEN BAHNVERLAUF 65
ABB. 61: KRÄFTE - RORO - SCHIFF 67
ABB. 62: KRÄFTE MEHRZWECKSCHIFF 68
ABB. 63: KRÄFTE TANKER 69
ABB. 64: KRÄFTE - MASSENGUTSCHIFF 70
ABB. 65: SÜDLICHER FAHRWASSERRAND 73
ABB. 66: ANLEGEMANÖVER LIEGEPLATZ 7 - RORO-SCHIFF 76
ABB. 67: ANLEGEN LIEGEPLATZ 7 - ABSTAND 77
ABB. 68: LIEGEPLATZ 7 - TANKER UND MASSENGUTFRACHTER VON SEE KOMMEND 77
ABB. 69: ANLEGEMANÖVER LIEGEPLATZ 7 - ANLAUF TANKER 78
ABB. 70: QUERSTRAHLER UND LEINENKRÄFTE 78
ABB. 71: LIEGEPLATZ 7 - TANKER UND MASSENGUTFRACHTER VOM NOK KOMMEND 79
ABB. 72: LIEGEPLATZ 7- ANLAUFEN VOM NOK KOMMEND (RORO-SCHIFF MIT STB.-SEITE) 79
ABB. 73: LIEGEPLATZ 7- ANLAUFEN VOM NOK KOMMEND (MASSENGUTFRACHTER MIT BB.-SEITE) 80
ABB. 74: LIEGEPLATZ 7 - ANNÄHERUNG DES MASSENGUTFRACHTERS AN DIE PIER 80
ABB. 75: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT RORO-SCHIFF BEI EINLAUFENDEM STROM 82
ABB. 76: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT RORO-SCHIFF BEI AUSGEHENDEM STROM 82
ABB. 77: : LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT RORO-SCHIFF BEI AUSGEHENDEM STROM (QUERSTRAHLER) 83
ABB. 78: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT RORO-SCHIFF RICHTUNG NOK BEI EINLAUFENDEM STROM 84
ABB. 79: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT RORO-SCHIFF RICHTUNG NOK BEI AUSGEHENDEM STROM 84
ABB. 80: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT RORO-SCHIFF RICHTUNG NOK BEI AUSGEHENDEM STROM (QUERSTRAHLER UND LEINENKRÄFTE) 85
ABB. 81. LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT TANKER RICHTUNG SEE BEI EINLAUFENDEM STROM 85
ABB. 82: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT TANKER RICHTUNG SEE BEI EINLAUFENDEM STROM (DREHEN VOR DER PIER) 86
ABB. 83: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT MASSENGUTFRACHTER- RICHTUNG SEE BEI AUSGEHENDEM STROM 87
ABB. 84: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEN MIT MASSENGUTFRACHTER- RICHTUNG SEE BEI AUSGEHENDEM STROM (LEINENKRÄFTE) 87
ABB. 85: ANLEGEMANÖVER LIEGEPLATZ 6 VON SEE KOMMEND MIT STB. SEITE – MEHRZWECKSCHIFF 88
ABB. 86: ANLEGEMANÖVER LIEGEPLATZ 6 MEHRZWECKSCHIFF 89
ABB. 87: KONTAKT MIT DER PIER 89
ABB. 88: EINSATZ DER BUG- UND HECKSTRAHLER SOWIE SCHLEPPKRÄFTE 90
ABB. 89: DREHEN VOR LIEGEPLATZ 6 - MEHRZWECKSCHIFF 91
ABB. 90: DREHEN VOR LIEGEPLATZ 6 - MEHRZWECKSCHIFF 92
ABB. 91 LIEGEPLATZ 6 ANLAUF VON HAMBURG KOMMEND – UNGÜNSTIGE MANÖVERSTRATEGIE 93
ABB. 92: LIEGEPLATZ 6 ANLAUF VON HAMBURG KOMMEND – DREHEN IM NÖRDLICHEN TEIL DES FAHRWASSERS 93
ABB. 93: ABLEGEN LIEGEPLATZ 6 UND DREHEN BEI NE - WIND MEHRZWECKSCHIFF 95

ABB. 94: ZUG AUF DER SCHLEPPLEINE 95

TABELLE 1: SIMULATIONSTAGE 13
TABELLE 2: ANZAHL DER AUFGEZEICHNETEN WERTE 13
TABELLE 3: AUFGEZEICHNETE PARAMETER (AUSWAHL) 14
TABELLE 4: MANÖVRIERKENNWERTE DER VERWENDETEN SCHIFFE 29
TABELLE 5: BEWERTUNG DER SCHIFFSMODELLE ANHAND DER SIMULATIONSLÄUFE 30
TABELLE 6: FAHRTSTUFEN FÜR DIE SIMULATIONSLÄUFE GEMÄß AUSSCHREIBUNG 30
TABELLE 7: VERWENDETE VOITH SCHNEIDER SCHLEPPERMODELLE 35
TABELLE 8: VERWENDETE ASD SCHLEPPERMODELLE 38
TABELLE 9: ABMESSUNGEN DER LIEGEPLÄTZE 47
TABELLE 10: WINDSKALA 52
TABELLE 11: GEWÄHLTE WINDRICHTUNGEN (HÄUFIGKEIT) 53
TABELLE 12: AUSGEWÄHLTE WINDRICHTUNGEN UND STÄRKEN FÜR DIE SIMULATIONSLÄUFE 54
TABELLE 14: STROMGESCHWINDIGKEITEN 56
TABELLE 15: WINDANGRIFFSFLÄCHEN DER AUSGEWÄHLTEN SCHIFFE 63
TABELLE 16: LATERALKRÄFTE HERVORGERUFEN DURCH DEN STROM 66
TABELLE 17: KORREKTURWERTE FÜR GERINGE WASSERTIEFEN 66
TABELLE 18: LATERALKRÄFTE KORRIGIERT FÜR GERINGE WASSERTIEFEN 66
TABELLE 19: NICHT IN DIE SIMULATION EINBEZOGENE LÄUFE 71
TABELLE 20: SIMULATIONSLÄUFE LIEGEPLATZ 6 71
TABELLE 21: SIMULATIONSLÄUFE LIEGEPLATZ 7 72
TABELLE 22: LIEGEPLATZ 7 AN- UND ABLEGEN 73
TABELLE 23: LIEGEPLATZ 6 – AN- UND ABLEGEN 75
TABELLE 24: LIEGEPLATZ 7 – ANLEGEMANÖVER RORO-SCHIFF 76
TABELLE 25: LIEGEPLATZ 7 - ABLEGEMANÖVER 81
TABELLE 26: ANLEGEMANÖVER LIEGEPLATZ VON SEE KOMMEND (MEHRZWECKSCHIFF) 88
TABELLE 27: ANLEGEMANÖVER LIEGEPLATZ 6 VON SEE KOMMEN MIT BB. - SEITE – MEHRZWECKSCHIFF 91
TABELLE 28: ANLEGEN LIEGEPLATZ 6 - VON HAMBURG KOMMEND (MEHRZWECKSCHIFF) 92
TABELLE 29: LIEGEPLATZ 6 UND DREHEN BEI NE - WIND MEHRZWECKSCHIFF 94
TABELLE 30: MATRIX SCHLEPPERANFORDERUNGEN ACL-NEUBAUTEN (HAMBURG) 95

0 Projektzusammenfassung

Im Rahmen der Planungen für die Erweiterung des Hafens Cuxhaven um die Liegeplätze 5 – 7 in Wilhelmshaven wurde Nautitec damit beauftragt eine Simulationsstudie durchzuführen.

Im März und April 2017 wurden insgesamt 46 Simulationsläufe von Lotsen durchgeführt. Die Simulationsläufe wurden von Vertretern von NPorts und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung beglei-tet. Simuliert wurde das Anlegen und Ablegen an den geplanten Liegeplätzen 6 und 7 unter verschiedensten Strom- Wetterbedingungen mit verschiedenen Eigenschiffsmodellen mit Schlepperassistenz. Hierzu wurden die geplanten Liegeplätze im Schiffsführungssimulator des Auftragnehmers entsprechend den Vorgaben von NPorts neu gestaltet.

Anschließend wurden die Simulationsläufe analysiert und bewertet. Ziel dieser Auswertung war es, Empfehlungen im Hinblick auf mögliche Auflagen zu entwickeln, mit denen die geplanten Liegeplätzte sicher angelaufen werden können ohne die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf der Elbe zu gefährden.

Nicht Bestandteil der Untersuchung war

- Inwieweit der durchgehende Verkehr insbesondere im südlichen Teil des Fahrwassers die Manöver beeinflusst
- Die Auswirkungen von Sog und Wellenschlag hervorgerufen durch passierende Schiffe auf die Leinenführung
- Welche Schleppertypen und Einsatzarten unter den vorherrschenden Bedingungen am vorteilhaftesten sind

Die wichtigsten Ergebnisse können, bezogen auf die untersuchten Schiffe, wie folgt zusammengefasst werden:

- Unter Einhaltung bestimmter Rahmenbedingungen können die Liegeplätze sicher erreicht und verlassen werden.
- Die Stromverhältnisse haben zwar Auswirkungen auf die Art des gewählten Manövers, es sind aber keine Restriktionen notwendig.
- Es sollte eine Windrestriktion von max. 7 Beaufort für das An- und Ablegen festgelegt werden
- Bei Windstärken von mehr als 5 Beaufort sollten Vorgaben bezüglich der notwendigen Schlepperkapazität gemacht werden. Abhängig von den Propulsionseinrichtungen und der Windangriffsfläche sollten Schlepper von mindestens 50 t. bzw. 80 t. Pfahlzug eingesetzt werden.
- Bezüglich der verwendeten Schleppertypen zeigten sich wenig Unterschiede, entscheidend ist neben dem Pfahlzug, die Art des durch den Losten gewählten Manövers.
- Es sollten in Zusammenarbeit mit den Lotsen und den Schlepperreedereien Standardmanöver entwickelt werden um ein sicheres An- und Ablegen zu ermöglichen.

1 Aufgabenbeschreibung

Im Bereich des Cuxhavener Hafens werden stetig steigende Umschläge im Bereich der Projektladungen mit veränderten Schiffsgrößen erwartet. Daher ist eine Erweiterung der vorhandenen Kapazitäten erforderlich. Das Land Niedersachsen, vertreten durch Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG, Niederlassung Cuxhaven (nachfolgend NPorts Cuxhaven) möchte die Erhöhung der Umschlagskapazitäten und die Abfertigung der tiefergehenden Schiffe mit der Herstellung der neuen Liegeplätze 5 - 7 entwickeln. Die Herstellung der Liegeplätze als Lückenschluss, zwischen den vorhandenen Liegeplätzen 1- 3 am Europakai, der Erweiterung des Europakais (Liegeplatz 4) und dem Offshore-Basis-Hafen mit den Liegeplätzen 8 und 9 ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

Im Rahmen viertägigen Simulation sollte am Beispiel zweier Referenzschiffe (RoRo-Schiff und Mehrzweckschiff) sowie an Hand eines Vergleichsschiffes festgestellt werden bis zu welchen Wetterbedingungen ein sicheres Anlaufen der Liegeplätze 5 -7 möglich ist und ob mögliche Restriktionen notwendig sind.

2 Rahmenbedingungen

2.1 Durchführung

Die Simulation wurde an vier Werktagen durchgeführt. Durchgeführt wurden 46 Simulationsläufe basierend auf 35 Szenarien.

Tag	Datum	Simulationsläufe
1	28.03.2017	11
2	29.03.2017	10
3	06.04.2017	12
4	07.04.2017	13
	Gesamt	46

Tabelle 1: Simulationstage

Die Simulationsläufe wurden von täglich wechselnden Mitgliedern der Lotsenbrüderschaft Elbe gefahren. Es waren immer drei Elblotsen anwesend von denen wechselseitig einer die Schiffsführung übernahm und dabei von den anderen beiden Elblotsen unterstützt wurde.

Von Seiten des Auftraggebers war der Hafenkapitän von Cuxhaven Herr Kapitän C. Lehmann und darüber hinaus ein Mitarbeiter der WSD anwesend.

Weitere Details können der Teilnehmerliste (s. Anlage) entnommen werden.

2.2 Datenaufzeichnung

Für die Datenaufzeichnung wurden zur späteren Auswertung Daten im 10 Sekundenabstand vom Eigenschiff sowie von den beiden Schlepperbrücken aufgezeichnet.

Schiff	Anzahl
Eigenschiff	151
Vorschlepper	13
Achterschlepper	13

Tabelle 2: Anzahl der aufgezeichneten Werte

Datengruppe	Datensätze
Eigenschiffsdaten	• Fahrt / Kurs durch das Wasser (kn, °) • Fahrt / Kurs über Grund (kn, °) • Ruderlage (°) • Drehrate (°/min) • Fahrtstufe, Drehzahl und Leistung der Hauptmaschine (%, U/min, kW) • Order Bug- und Heckstrahler (%) • auf das Schiff wirkende Windkräfte (t)
Umweltdaten	• Windrichtung und -stärke (°, kn) • Stromrichtung und -stärke (°, kn) • Kartentiefe, Wassertiefe, Tidenhöhe (m) • Sicht (m)
Schlepperdaten	• Fahrt / Kurs durch das Wasser (kn, °) • Fahrt / Kurs über Grund (kn, °) • Leinenzug und Leinenlänge (t, m)

Tabelle 3: Aufgezeichnete Parameter (Auswahl)

2.3 Verwendete Seeschiffe als Eigenschiffsmodelle

In den Simulationsläufen wurden die folgenden Schiffsmodelle mit den folgenden Kennwerten eingesetzt:

Schiffstyp	Länge	Breite	Tiefgang	Verdrängung	Beladungszustand
RoRo-Schiff	200,00m	26,50m	7,50m	23.071t	Freibordtiefgang
Mehrzweckschiff	296,00m	37,6m	10,25m	76.934t	Designtiefgang
Tanker	182,55m	27,34m	10,85m	44.288t	Freibordtiefgang
Massengutfrachter	182,88m	22,63m	10,10m	33.089t	Freibordtiefgang

Tabelle 4: Verwendete Schiffsmodelle

2.3.1 RoRo-Schiff

Abb. 1: RoRo-Schiff

Bei diesem Schiff handelt es sich um ein RoRo-Schiff mit den für diesen Schiffstyp heute üblichen Standardabmessungen.

- Länge: auf Grund der Operationshäfen ist die Länge über Alles typischerweise 200m oder knapp darunter
- Breite: Auf Grund von Hafengegebenheiten oder Schleusen liegt die Breite zwischen 26 -27m
- Tiefgang: Typische Tiefgänge sind im Bereich von 7,40m

Dieser Schiffstyp ist dafür ausgelegt täglich Häfen anzulaufen und insofern sind seine Propulsionseinrichtungen dementsprechend, um im Hafen ein hohe manövrierfähig zu besitzen, damit im Regelfall auf Schlepperassistenz verzichtet werden kann.

RoRo-Schiffe verfügen über eine Heckrampe zum Be- und Entladen des Schiffes. Diese Rampe kann nach recht achteraus oder aber auch in einem bestimmten Winkel nach Backbord oder Steuerbord ausgerichtet sein.

Abhängig von der Art der Rampe und der Bauart des Schiffes ist die Möglichkeit Schlepper festzumachen eingeschränkt.

Abb. 2: RoRo-Schiff - Seitenansicht

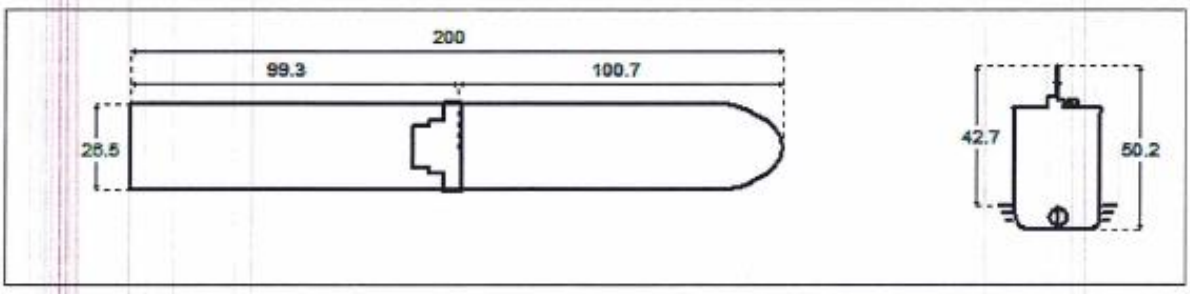
Abb. 3: RoRo-Schiff Heckansicht - Heckansicht

PILOT CARD

Ship name	Car carrier 9 3.0.1.0 *			Date	19.05.2016
IMO Number	9458951	Call Sign	IBKH	Year built	2010
Load Condition	Full load				
Displacement	23071.3 tons		Draft forward	7.5 m / 24 ft 8 in	
Deadweight	10780 tons		Draft forward extreme	7.5 m / 24 ft 8 in	
Capacity			Draft after	7.5 m / 24 ft 8 in	
Air draft	42.7 m / 140 ft 5 in		Draft after extreme	7.5 m / 24 ft 8 in	

Ship's Particulars

Length overall	200 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	26.5 m	Type of stern	Cruiser
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / SbdBow)		
No. of shackles	12 / 12		(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)
Max. rate of heaving, m/min	18 / 18		



Steering characteristics

Steering device(s) (type/No.)	Becker's rudder / 1	Number of bow thrusters	2
Maximum angle	35	Power	1100 kW / 1100 kW
Rudder angle for neutral effect	-0.23 degrees	Number of stern thrusters	1
Hard over to over(2 pumps)	9 seconds	Power	880 kW
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	161 s	5.32 cbls	Advance	3.16 cbls
HAH to HAS	156.6 s	4.67 cbls	Transfer	1.61 cbls
SAH to SAS	158.8 s	4.05 cbls	Tactical diameter	3.77 cbls

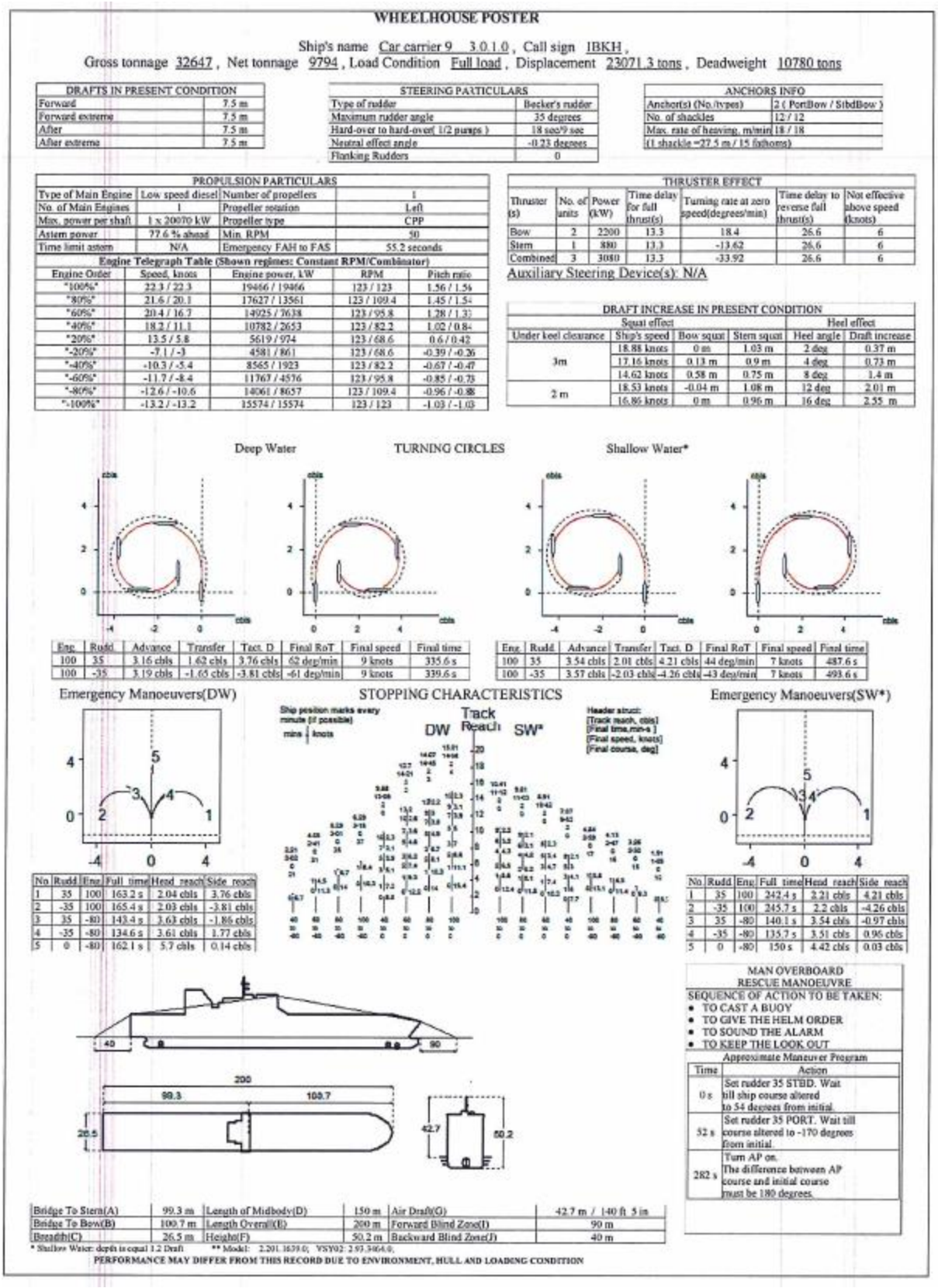
Main Engine(s)

Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Left
Maximum power per shaft	1 x 20070 kW	Propeller type	CPP
Astern power	77.6 % ahead	Min. RPM	50
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	55.2 seconds

Engine Telegraph Table (Shown regimes: Constant RPM/Combinator)

Engine Order	Speed, knots	Ergine power, kW	RPM	Pitch ratio
"100%"	22.3 / 22.3	19466 / 19466	123 / 123	1.56 / 1.56
"80%"	21.6 / 20.1	17627 / 13561	123 / 109.4	1.45 / 1.54
"60%"	20.4 / 16.7	14925 / 7638	123 / 95.8	1.28 / 1.33
"40%"	18.2 / 11.1	10782 / 2653	123 / 82.2	1.02 / 0.84
"20%"	13.5 / 5.8	5619 / 974	123 / 68.6	0.6 / 0.42
"-20%"	-7.1 / -3	4581 / 861	123 / 68.6	-0.39 / -0.26
"-40%"	-10.3 / -5.4	8565 / 1923	123 / 82.2	-0.67 / -0.47
"-60%"	-11.7 / -8.4	11767 / 4576	123 / 95.8	-0.85 / -0.73
"-80%"	-12.6 / -10.6	14061 / 8657	123 / 109.4	-0.96 / -0.88
"-100%"	-13.2 / -13.2	15574 / 15574	123 / 123	-1.03 / -1.03

Abb. 4: Pilot Card RoRo-Schiff



WHEELHOUSE POSTER

Ship's name Car carrier 9 3.0.1.0, Call sign IBKH,
Gross tonnage 32647, Net tonnage 9794, Load Condition Full load, Displacement 23071.3 tons, Deadweight 10780 tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	7.5 m
Forward extreme	7.5 m
After	7.5 m
After extreme	7.5 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Becker's rudder
Maximum rudder angle	35 degrees
Hard-over to hard-over(1/2 pumps)	18 sec/9 sec
Neutral effect angle	-0.23 degrees
Flanking Rudders	0

ANCHORS INFO	
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)
No. of shackles	12 / 12
Max. rate of heaving, m/min	18 / 18
(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)	

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Left
Max. power per shaft	1 x 20070 kW	Propeller type	CPP
Astern power	77.6 % ahead	Min. RPM	50
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	55.2 seconds

Engine Telegraph Table (Shown regimes: Constant RPM/Combinator)

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"100%"	22.3 / 22.3	19466 / 19466	123 / 123	1.56 / 1.56
"80%"	21.6 / 20.1	17627 / 13561	123 / 109.4	1.45 / 1.54
"60%"	20.4 / 16.7	14925 / 7638	123 / 95.8	1.28 / 1.31
"40%"	18.2 / 11.1	10782 / 2653	123 / 82.2	1.02 / 0.84
"20%"	13.5 / 5.8	5619 / 974	123 / 68.6	0.6 / 0.42
"-20%"	-7.1 / -3	4581 / 861	123 / 68.6	-0.39 / -0.26
"-40%"	-10.3 / -5.4	8565 / 1923	123 / 82.2	-0.67 / -0.47
"-60%"	-11.7 / -8.4	11767 / 4576	123 / 95.8	-0.85 / -0.73
"-80%"	-12.6 / -10.6	14061 / 8657	123 / 109.4	-0.96 / -0.88
"-100%"	-13.2 / -13.2	15574 / 15574	123 / 123	-1.03 / -1.03

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	2	2200	13.3	18.4	26.6	6
Stern	1	880	13.3	-13.62	26.6	6
Combined	3	3080	13.3	-33.92	26.6	6

Auxiliary Steering Device(s): N/A

DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION					
Squat effect				Heel effect	
Under keel clearance	Ship's speed	Bow squat	Stern squat	Heel angle	Draft increase
3m	18.88 knots	0 m	1.03 m	2 deg	0.37 m
	17.16 knots	0.13 m	0.9 m	4 deg	0.73 m
	14.62 knots	0.58 m	0.75 m	8 deg	1.4 m
2 m	18.53 knots	-0.04 m	1.08 m	12 deg	2.01 m
	16.86 knots	0 m	0.96 m	16 deg	2.55 m

Deep Water — TURNING CIRCLES — Shallow Water*

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	3.16 cbls	1.62 cbls	3.76 cbls	62 deg/min	9 knots	335.6 s
100	-35	3.19 cbls	-1.65 cbls	-3.81 cbls	-61 deg/min	9 knots	339.6 s

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	3.54 cbls	2.01 cbls	4.21 cbls	44 deg/min	7 knots	487.6 s
100	-35	3.57 cbls	-2.03 cbls	-4.26 cbls	-43 deg/min	7 knots	493.6 s

Emergency Manoeuvers(DW)

No	Rudd	Eng	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	163.2 s	2.04 cbls	3.76 cbls
2	-35	100	165.4 s	2.03 cbls	-3.81 cbls
3	35	-80	143.4 s	3.63 cbls	-1.86 cbls
4	-35	-80	134.6 s	3.61 cbls	1.77 cbls
5	0	-80	162.1 s	5.7 cbls	0.14 cbls

STOPPING CHARACTERISTICS

Emergency Manoeuvers(SW*)

No	Rudd	Eng	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	242.4 s	2.21 cbls	4.21 cbls
2	-35	100	245.7 s	2.2 cbls	-4.26 cbls
3	35	-80	140.1 s	3.54 cbls	-0.97 cbls
4	-35	-80	135.7 s	3.51 cbls	0.96 cbls
5	0	-80	150 s	4.42 cbls	0.03 cbls

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 54 degrees from initial.
52 s	Set rudder 35 PORT. Wait till course altered to -170 degrees from initial.
282 s	Turn AP on. The difference between AP course and initial course must be 180 degrees.

Bridge To Stern(A)	99.3 m	Length of Midbody(D)	150 m	Air Draft(G)	42.7 m / 140 ft 5 in
Bridge To Bow(B)	100.7 m	Length Overall(E)	200 m	Forward Blind Zone(I)	90 m
Breadth(C)	26.5 m	Height(F)	50.2 m	Backward Blind Zone(J)	40 m

* Shallow Water: depth is equal 1.2 Draft ** Model: 2.201.1639.0; VSY02-2.93.3464.0;

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

Abb. 5: Brückenposter RoRo-Schiff

2.3.2 Mehrzweckschiff

Abb. 6: Mehrzweckschiff

Beim dem Mehrzweckschiff (L = 296 m) handelt es sich um die zur Zeit weltweit größten Mehrzweckschiffe für die Beladung mit Containern und rollender Ladung (RoRo).

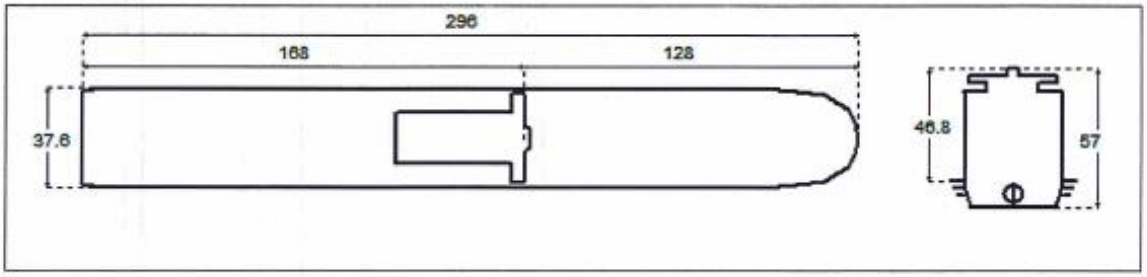
Bei dem Mehrzweckschiff handelt es sich um ein für Energieeffizienz designtes Schiff, dass im Verhältnis zu seiner Verdrängung eine eher geringe Maschinenleistung aufweist nämlich 0,04 kW/t. Im Vergleich dazu liegt das Roro-Schiff bei 0,84 kW/t, d.h. ein 21-fach größerer Wert. Die Geschwindigkeit wird daher maßgeblich durch einen reduzierten Schiffswiderstand also durch eine günstige Schiffsform erzielt. Dies bedeutet zugleich, dass insbesondere bei ungünstigen Umweltbedingungen (Vorlicher Wind / Strom) eher ungünstige Beschleunigungswerte bei Änderungen der Fahrtstufen auftreten, da in einem solchen Fall der Vorteil einer effizienten Schiffsform nicht zum Tragen kommt.

Abb. 7: Mehrzweckschiff (Seitenansicht)

Abb. 8: Mehrzweckschiff (Heckansicht)

PILOT CARD					
Ship name	Car carrier 11 3.0.1.0 *			Date	13.05.2016
IMO Number	9670573	Call Sign	2ITA4	Year built	2014
Load Condition	Design				
Displacement	76934 tons		Draft forward	10.25 m / 33 ft 8 in	
Deadweight	57600 tons		Draft forward extreme	10.25 m / 33 ft 8 in	
Capacity			Draft after	10.25 m / 33 ft 8 in	
Air draft	46.8 m / 153 ft 11 in		Draft after extreme	10.25 m / 33 ft 8 in	

Ship's Particulars			
Length overall	296 m	Type of bow	-
Breadth	37.6 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	14 / 13		(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)
Max. rate of heaving, m/min	12 / 12		



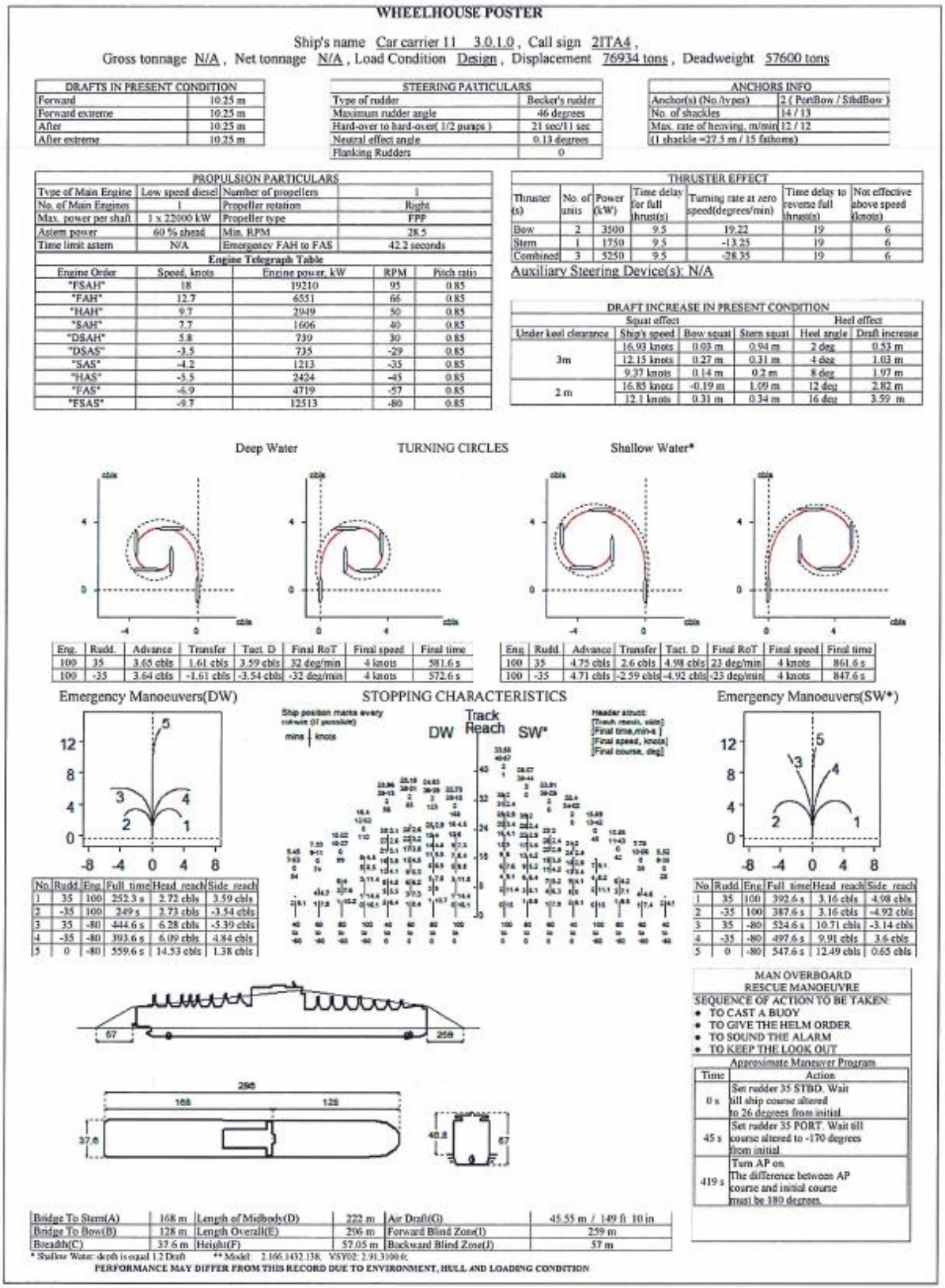
Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Becker's rudder / 1	Number of bow thrusters	2
Maximum angle	46	Power	1750 kW / 1750 kW
Rudder angle for neutral effect	0.13 degrees	Number of stern thrusters	1
Hard over to over(2 pumps)	11 seconds	Power	1750 kW
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	627.6 s	10.02 cbls	Advance	3.66 cbls
HAH to HAS	765.6 s	9.04 cbls	Transfer	1.62 cbls
SAH to SAS	968.6 s	8.73 cbls	Tactical diameter	3.59 cbls

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 22000 kW	Propeller type	FPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	28.5
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	42.2 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	18	19210	95	0.85
"FAH"	12.7	6551	66	0.85
"HAH"	9.7	2949	50	0.85
"SAH"	7.7	1606	40	0.85
"DSAH"	5.8	739	30	0.85
"DSAS"	-3.5	735	-29	0.85
"SAS"	-4.2	1213	-35	0.85
"HAS"	-5.5	2424	-45	0.85
"FAS"	-6.9	4719	-57	0.85
"FSAS"	-9.7	12513	-80	0.85

Abb. 9: Pilot Card Mehrzweckschiff



WHEELHOUSE POSTER

Ship's name Car carrier 11 3.0.1.0 , Call sign 2ITA4 ,
Gross tonnage N/A , Net tonnage N/A , Load Condition Design , Displacement 76934 tons , Deadweight 57600 tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	10.25 m
Forward extreme	10.25 m
After	10.25 m
After extreme	10.25 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Becker's rudder
Maximum rudder angle	46 degrees
Hard-over to hard-over(1/2 pumps)	21 sec/11 sec
Neutral effect angle	0.13 degrees
Flanking Rudders	0

ANCHORS INFO	
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)
No. of shackles	14 / 13
Max. rate of heaving, m/min	12 / 12
(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)	

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Right
Max. power per shaft	1 x 22000 kW	Propeller type	FPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	28.5
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	42.2 seconds

Engine Telegraph Table

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	18	19210	95	0.85
"FAH"	12.7	6551	66	0.85
"HAH"	9.7	2949	50	0.85
"SAH"	7.7	1606	40	0.85
"DSAH"	5.8	739	30	0.85
"DSAS"	-3.5	735	-29	0.85
"SAS"	-4.2	1213	-35	0.85
"HAS"	-5.5	2424	-45	0.85
"FAS"	-6.9	4719	-57	0.85
"FSAS"	-9.7	12513	-80	0.85

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	2	3500	9.5	19.22	19	6
Stern	1	1750	9.5	-13.25	19	6
Combined	3	5250	9.5	-28.35	19	6

Auxiliary Steering Device(s): N/A

DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION

	Squat effect			Heel effect	
Under keel clearance	Ship's speed	Bow squat	Stern squat	Heel angle	Draft increase
3m	16.93 knots	0.03 m	0.94 m	2 deg	0.53 m
	12.15 knots	0.27 m	0.31 m	4 deg	1.03 m
	9.37 knots	0.14 m	0.2 m	8 deg	1.97 m
2 m	16.85 knots	-0.19 m	1.09 m	12 deg	2.82 m
	12.1 knots	0.31 m	0.34 m	16 deg	3.59 m

TURNING CIRCLES

Deep Water

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	3.65 cbls	1.61 cbls	3.59 cbls	32 deg/min	4 knots	581.6 s
100	-35	3.64 cbls	-1.61 cbls	-3.54 cbls	-32 deg/min	4 knots	572.6 s

Shallow Water*

Eng	Rudd	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	4.75 cbls	2.6 cbls	4.98 cbls	23 deg/min	4 knots	861.6 s
100	-35	4.71 cbls	-2.59 cbls	-4.92 cbls	-23 deg/min	4 knots	847.6 s

Emergency Manoeuvers(DW)

No.	Rudd	Eng	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	252.3 s	2.72 cbls	3.59 cbls
2	-35	100	249 s	2.73 cbls	-3.54 cbls
3	35	-80	444.6 s	6.28 cbls	-5.39 cbls
4	-35	-80	393.6 s	6.09 cbls	4.84 cbls
5	0	-80	359.6 s	14.53 cbls	1.38 cbls

STOPPING CHARACTERISTICS

Track Reach DW SW*

Emergency Manoeuvers(SW*)

No	Rudd	Eng	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	392.6 s	3.16 cbls	4.98 cbls
2	-35	100	387.6 s	3.16 cbls	-4.92 cbls
3	35	-80	524.6 s	10.71 cbls	-3.14 cbls
4	-35	-80	497.6 s	9.91 cbls	3.6 cbls
5	0	-80	547.6 s	12.49 cbls	0.65 cbls

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 26 degrees from initial.
45 s	Set rudder 35 PORT. Wait till course altered to -170 degrees from initial.
419 s	Turn AP on. The difference between AP course and initial course must be 180 degrees.

Bridge To Stern(A)	168 m	Length of Midbody(D)	222 m	Air Draft(G)	45.55 m / 149 ft 10 in
Bridge To Bow(B)	128 m	Length Overall(E)	296 m	Forward Blind Zone(I)	259 m
Breadth(C)	37.6 m	Height(F)	57.05 m	Backward Blind Zone(J)	57 m

* Shallow Water: depth is equal 1.2 Draft ** Model: 2.166.1432.138, VSY02: 2.91.3100.0;

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

Abb. 10: Brückenposter Mehrzweckschiff

2.3.3 Tanker

Abb. 11: Tanker

Bei dem Chemikalien/Produktentanker handelt es sich um ein Standardtyp von Hyundai Mipo (Südkorea). Das Schiff wurde als Vergleichsschiff gewählt, um das Anlaufen der Liegeplätze 6 und 7 mit einem schwerfälligen Schiff mit geringer Windangriffsfläche zu simulieren. Weil der Tanker bei starkem Windeinfluss (Böen 9) sich nicht so verhalten hat, wie es bei einem Schiff dieser Größe zu erwarten wäre wurde ein weiteres Vergleichsschiff, in diesem Fall ein Massengutfrachter, gewählt.

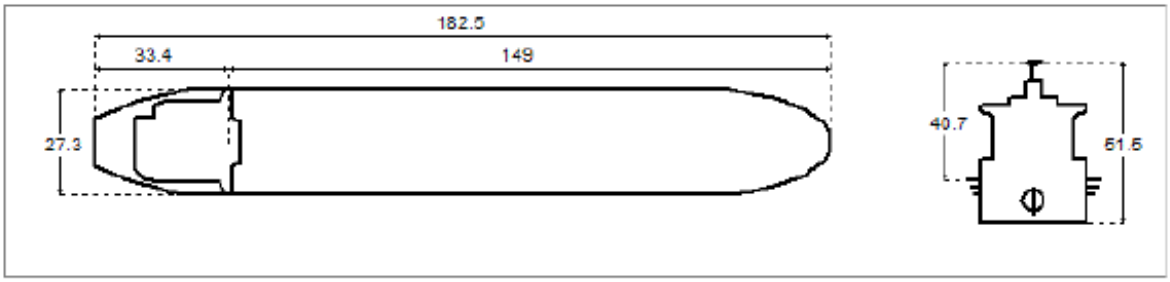
Abb. 12: Tanker

PILOT CARD

Ship name	Chemical tanker 1 (Dis.44288t) TRANSAS 2.31.7.0 *			Date	27.01.2016
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	N/A
Load Condition	Full load				
Displacement	44288 tons		Draft forward	10.85 m / 35 ft 8 in	
Deadweight	37000 tons		Draft forward extreme	10.85 m / 35 ft 8 in	
Capacity			Draft after	10.85 m / 35 ft 8 in	
Air draft	40.7 m / 133 ft 10 in		Draft after extreme	10.85 m / 35 ft 8 in	

Ship's Particulars

Length overall	182.55 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	27.34 m	Type of stern	U-shaped
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	15 / 15		(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)
Max. rate of heaving, m/min	9 / 9		



Steering characteristics

Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	800 kW
Rudder angle for neutral effect	0.36 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	15 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	699.6 s	10.93 cbls	Advance	2.91 cbls
HAH to HAS	751.6 s	8.17 cbls	Transfer	1.38 cbls
SAH to SAS	962.6 s	6.97 cbls	Tactical diameter	3.32 cbls

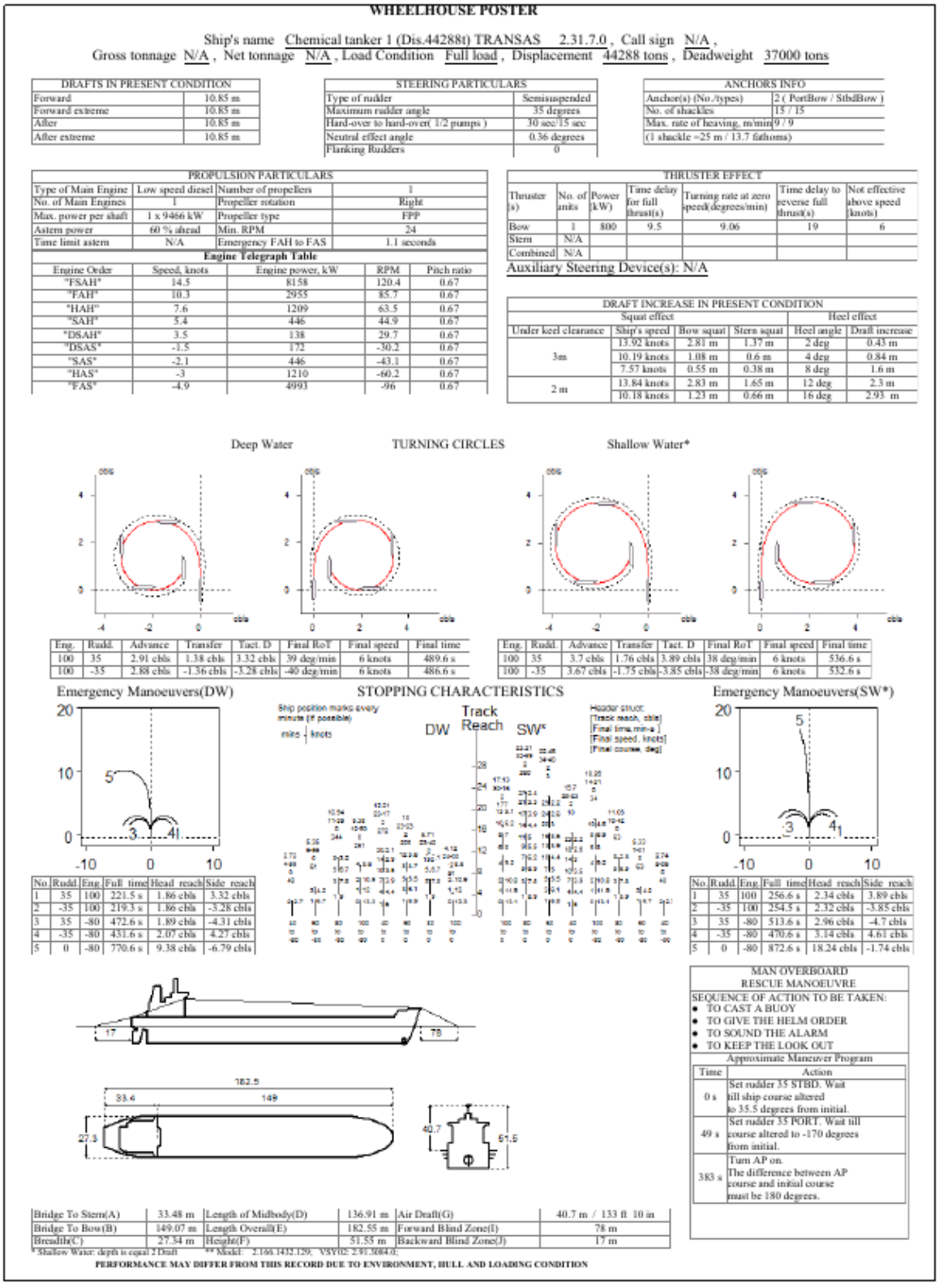
Main Engine(s)

Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 9466 kW	Propeller type	FPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	24
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	1.1 seconds

Engine Telegraph Table

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	14.5	8158	120.4	0.67
"FAH"	10.3	2955	85.7	0.67
"HAH"	7.6	1209	63.5	0.67
"SAH"	5.4	446	44.9	0.67
"DSAH"	3.5	138	29.7	0.67
"DSAS"	-1.5	172	-30.2	0.67
"SAS"	-2.1	446	-43.1	0.67
"HAS"	-3	1210	-60.2	0.67
"FAS"	-4.9	4993	-96	0.67

Abb. 13: Pilot Card Tanker



WHEELHOUSE POSTER

Ship's name Chemical tanker 1 (Dis.44288t) TRANSAS 2.31.7.0 , Call sign N/A ,
Gross tonnage N/A , Net tonnage N/A , Load Condition Full load , Displacement 44288 tons , Deadweight 37000 tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	10.85 m
Forward extreme	10.85 m
After	10.85 m
After extreme	10.85 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Semisuspended
Maximum rudder angle	35 degrees
Hard-over to hard-over(1/2 pumps)	30 sec/15 sec
Neutral effect angle	0.36 degrees
Flanking Rudders	0

ANCHORS INFO	
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)
No. of shackles	15 / 15
Max. rate of heaving, m/min	9 / 9
(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Right
Max. power per shaft	1 x 9466 kW	Propeller type	FPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	24
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	1.1 seconds

Engine Telegraph Table

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	14.5	8158	120.4	0.67
"FAH"	10.3	2955	85.7	0.67
"HAH"	7.6	1209	63.5	0.67
"SAH"	5.4	446	44.9	0.67
"DSAH"	3.5	138	29.7	0.67
"DSAS"	-1.5	172	-30.2	0.67
"SAS"	-2.1	446	-43.1	0.67
"HAS"	-3	1210	-60.2	0.67
"FAS"	-4.9	4993	-96	0.67

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	800	9.5	9.06	19	6
Stern	N/A					
Combined	N/A					

Auxiliary Steering Device(s): N/A

DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION					
Squat effect				Heel effect	
Under keel clearance	Ship's speed	Bow squat	Stern squat	Heel angle	Draft increase
3m	13.92 knots	2.81 m	1.37 m	2 deg	0.43 m
	10.19 knots	1.08 m	0.6 m	4 deg	0.84 m
	7.57 knots	0.55 m	0.38 m	8 deg	1.6 m
2 m	13.84 knots	2.83 m	1.65 m	12 deg	2.3 m
	10.18 knots	1.23 m	0.66 m	16 deg	2.93 m

TURNING CIRCLES

Deep Water

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	2.91 cbls	1.38 cbls	3.32 cbls	39 deg/min	6 knots	489.6 s
100	-35	2.88 cbls	-1.36 cbls	-3.28 cbls	-40 deg/min	6 knots	486.6 s

Shallow Water*

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	3.7 cbls	1.76 cbls	3.89 cbls	38 deg/min	6 knots	536.6 s
100	-35	3.67 cbls	-1.75 cbls	-3.85 cbls	-38 deg/min	6 knots	532.6 s

Emergency Manoeuvers(DW)

No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	221.5 s	1.86 cbls	3.32 cbls
2	-35	100	219.3 s	1.86 cbls	-3.28 cbls
3	35	-80	472.6 s	1.89 cbls	-4.31 cbls
4	-35	-80	431.6 s	2.07 cbls	4.27 cbls
5	0	-80	770.6 s	9.38 cbls	-6.79 cbls

STOPPING CHARACTERISTICS

Ship position marks every minute (if possible)
miles | knots

Track Reach DW SW*

Header stuff:
[Track reach, cbls]
[Final time, min-s]
[Final speed, knots]
[Final course, deg]

Emergency Manoeuvers(SW*)

No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	256.6 s	2.34 cbls	3.89 cbls
2	-35	100	254.5 s	2.32 cbls	-3.85 cbls
3	35	-80	513.6 s	2.96 cbls	-4.7 cbls
4	-35	-80	470.6 s	3.14 cbls	4.61 cbls
5	0	-80	872.6 s	18.24 cbls	-1.74 cbls

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 35.5 degrees from initial.
49 s	Set rudder 35 PORT. Wait till course altered to -170 degrees from initial.
383 s	Turn AP on. The difference between AP course and initial course must be 180 degrees.

Bridge To Stem(A)	33.48 m	Length of Midbody(D)	136.91 m	Air Draft(G)	40.7 m / 133 ft 10 in
Bridge To Bow(B)	149.07 m	Length Overall(E)	182.55 m	Forward Blind Zone(I)	78 m
Breadth(C)	27.34 m	Height(F)	51.55 m	Backward Blind Zone(J)	17 m

* Shallow Water: depth is equal 2 Draft ** Model: 2.186.1432.129; VSY02: 2.91.3084.0;

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

Abb. 14: Brückenposter Tanker

2.3.4 Massengutfrachter

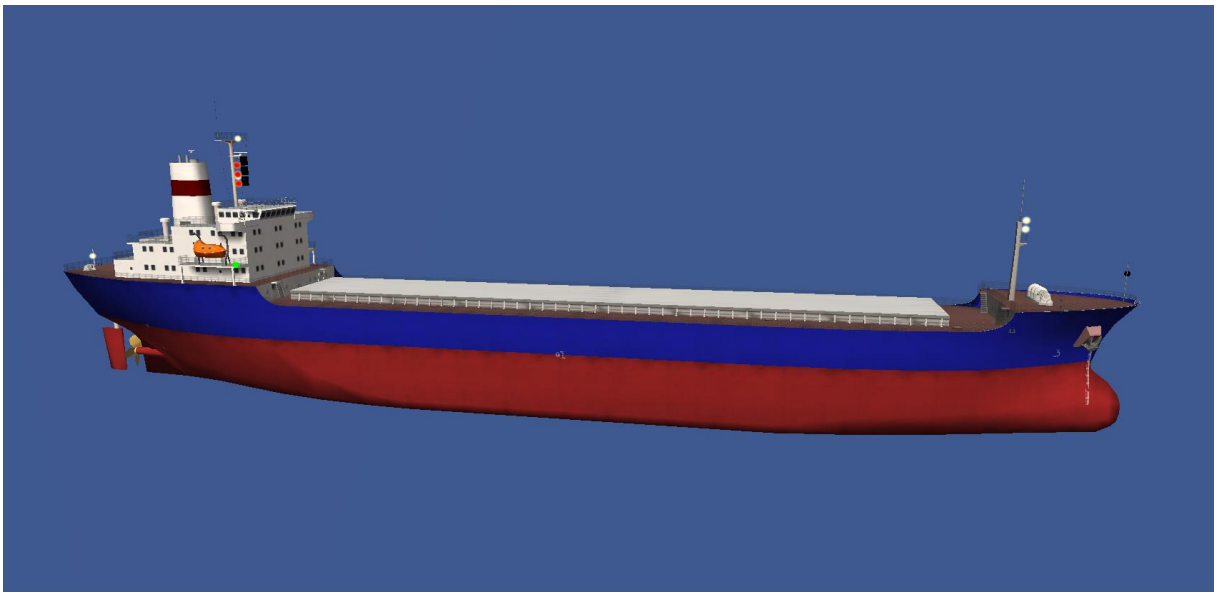


Abb. 15: Massengutfrachter (Modell)

Das Schiff befand sich nicht im Umfang der für die Ausschreibung zu bearbeitenden Schiffsmodelle. Bei dem Massengutfrachter handelt es sich wie bei dem Chemikalien/Produktentanker um ein Vergleichsschiff das gewählt wurde, um das Anlaufen des Liegeplatzes 6 mit einem schwerfälligen Schiff mit geringer Windangriffsfläche zu simulieren, weil der Tanker bei starkem Windeinfluss (Böen 9) sich nicht so verhalten hat, wie es bei einem Schiff dieser Größe zu erwarten gewesen wäre.

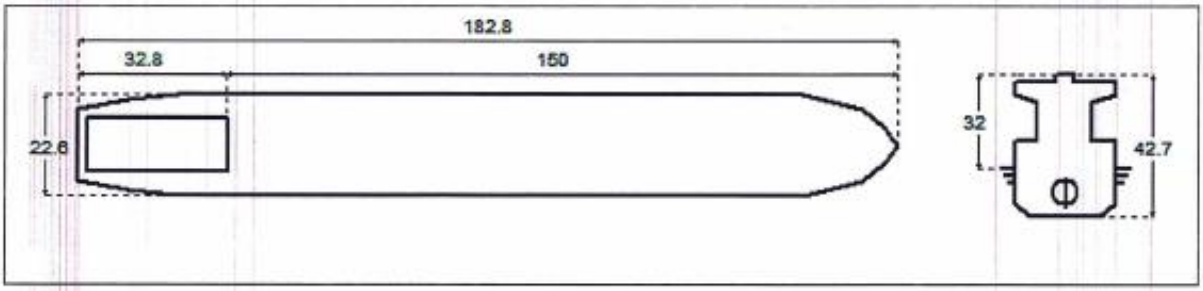
Abb. 16 Massengutfrachter

PILOT CARD

Ship name	Bulk carrier 1 (Dis.33089t) TRANSAS 2.31.44.0 *			Date	26.01.2016
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	1976
Load Condition	Full load				
Displacement	33089 tons		Draft forward	10.1 m / 33 ft 2 in	
Deadweight	N/A tons		Draft forward extreme	10.1 m / 33 ft 2 in	
Capacity			Draft after	10.7 m / 35 ft 2 in	
Air draft	32 m / 105 ft 3 in		Draft after extreme	10.7 m / 35 ft 2 in	

Ship's Particulars

Length overall	182.88 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	22.63 m	Type of stern	V-shaped
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	15 / 15		(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)
Max. rate of heaving, m/min	9 / 9		



Steering characteristics

Steering device(s) (type/No.)	Normal balance rudder / 1	Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	35	Power	N/A
Rudder angle for neutral effect	1.4 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	17 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	238 s	3.46 cbls	Advance	2.96 cbls
HAH to HAS	401.6 s	3.45 cbls	Transfer	1.44 cbls
SAH to SAS	494.6 s	3.42 cbls	Tactical diameter	3.48 cbls

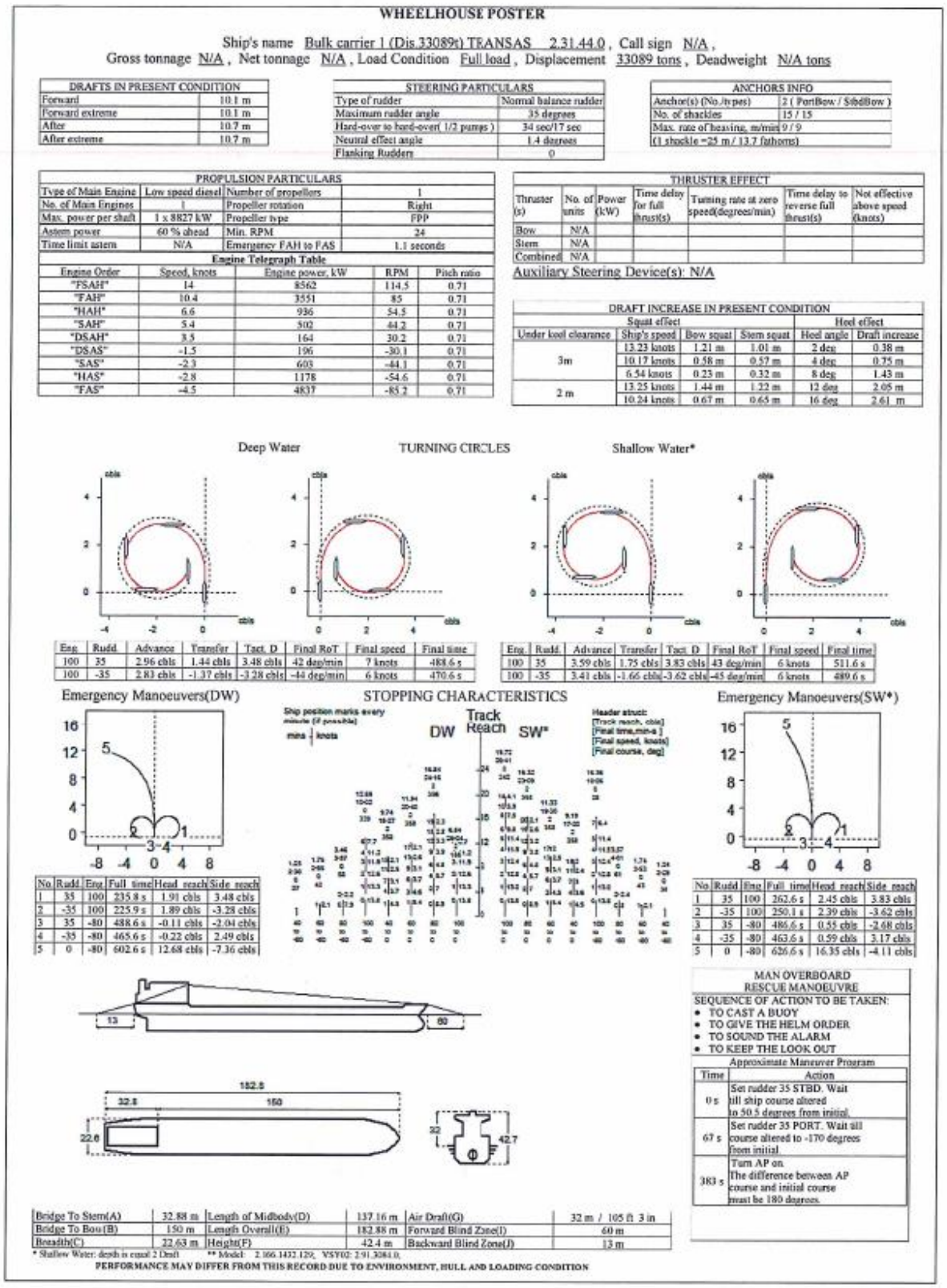
Main Engine(s)

Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 8827 kW	Propeller type	FPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	24
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	1.1 seconds

Engine Telegraph Table

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	14	8562	114.5	0.71
"FAH"	10.4	3551	85	0.71
"HAH"	6.6	936	54.5	0.71
"SAH"	5.4	502	44.2	0.71
"DSAH"	3.5	164	30.2	0.71
"DSAS"	-1.5	196	-30.1	0.71
"SAS"	-2.3	603	-44.1	0.71
"HAS"	-2.8	1178	-54.6	0.71
"FAS"	-4.5	4837	-85.2	0.71

Abb. 17: Pilot Card Massengutfrachter



WHEELHOUSE POSTER

Ship's name Bulk carrier 1 (Dis 33089t) TRANSAS 2.31.44.0 , Call sign N/A ,
Gross tonnage N/A , Net tonnage N/A , Load Condition Full load , Displacement 33089 tons , Deadweight N/A tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	10.1 m
Forward extreme	10.1 m
After	10.7 m
After extreme	10.7 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Normal balance rudder
Maximum rudder angle	35 degrees
Hard-over to hard-over(1/2 pumps)	34 sec/17 sec
Neutral effect angle	1.4 degrees
Flanking Rudders	0

ANCHORS INFO	
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)
No. of shackles	15 / 15
Max. rate of heaving, m/min	9 / 9
(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Right
Max. power per shaft	1 x 8827 kW	Propeller type	FPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	24
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	1.1 seconds

Engine Telegraph Table

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	14	8562	114.5	0.71
"FAH"	10.4	3551	85	0.71
"HAH"	6.6	936	54.5	0.71
"SAH"	5.4	502	44.2	0.71
"DSAH"	3.5	164	30.2	0.71
"DSAS"	-1.5	196	-30.1	0.71
"SAS"	-2.3	603	-44.1	0.71
"HAS"	-2.8	1178	-54.6	0.71
"FAS"	-4.5	4837	-85.2	0.71

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	N/A					
Stern	N/A					
Combined	N/A					

Auxiliary Steering Device(s): N/A

DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION

Under keel clearance	Squat effect: Ship's speed	Squat effect: Bow squat	Squat effect: Stern squat	Heel effect: Heel angle	Heel effect: Draft increase
3m	13.23 knots	1.21 m	1.01 m	2 deg	0.38 m
	10.17 knots	0.58 m	0.57 m	4 deg	0.75 m
	6.54 knots	0.23 m	0.32 m	8 deg	1.43 m
2 m	13.25 knots	1.44 m	1.22 m	12 deg	2.05 m
	10.24 knots	0.67 m	0.65 m	16 deg	2.61 m

Deep Water TURNING CIRCLES Shallow Water*

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	2.96 cbls	1.44 cbls	3.48 cbls	42 deg/min	7 knots	488.6 s
100	-35	2.83 cbls	-1.37 cbls	-3.28 cbls	-44 deg/min	6 knots	470.6 s

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	3.59 cbls	1.75 cbls	3.83 cbls	43 deg/min	6 knots	511.6 s
100	-35	3.41 cbls	-1.66 cbls	-3.62 cbls	-45 deg/min	6 knots	489.6 s

Emergency Manoeuvers(DW) STOPPING CHARACTERISTICS Emergency Manoeuvers(SW*)

No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	235.8 s	1.91 cbls	3.48 cbls
2	-35	100	225.9 s	1.89 cbls	-3.28 cbls
3	35	-80	488.6 s	-0.11 cbls	-2.04 cbls
4	-35	-80	465.6 s	-0.22 cbls	2.49 cbls
5	0	-80	602.6 s	12.68 cbls	-7.36 cbls

No.	Rudd.	Eng.	Full time	Head reach	Side reach
1	35	100	262.6 s	2.45 cbls	3.83 cbls
2	-35	100	250.1 s	2.39 cbls	-3.62 cbls
3	35	-80	486.6 s	0.55 cbls	-2.68 cbls
4	-35	-80	463.6 s	0.59 cbls	3.17 cbls
5	0	-80	626.6 s	16.35 cbls	-4.11 cbls

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 50.5 degrees from initial.
67 s	Set rudder 35 PORT. Wait till course altered to -170 degrees from initial.
383 s	Turn AP on. The difference between AP course and initial course must be 180 degrees.

Bridge To Stern(A)	32.88 m	Length of Midbody(D)	137.16 m	Air Draft(G)	32 m / 105 ft 3 in
Bridge To Bow(B)	150 m	Length Overall(E)	182.88 m	Forward Blind Zone(I)	60 m
Breadth(C)	22.63 m	Height(F)	42.4 m	Backward Blind Zone(J)	13 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. 18: Brückenposter Massengutfrachter

2.3.5 Manövrierkennwerte der verwendeten Schiffe

Alle im Rahmen der Simulation eingesetzten Schiffe erfüllen die Standards der International Maritime Organisation bezüglich der Manövrierfähigkeit von Schiffen, basierend auf

- Der Resolution MSC.137 (76) “Standards for Ship Maneuverability,” vom 4 Dezember 2002.
- Dem Zirkular MSC/Circ 1053 “Explanatory Notes to the Standards for Ship Maneuverability,”, vom 16 Dezember 2002.

In der folgenden Abbildung werden die wichtigsten Manövrierkennwerte der verwendeten Schiffe gegenübergestellt.

	RoRo Schiff	Mehrzweckschiff	Tanker	Massengutfrachter
Ladezustand	Freibordtiefgang	Designtiefgang	Freibordtiefgang	Freibordtiefgang
Verdrängung	23071 t	542220 t	44288 t	33089 t
Länge über Alles (LüA)	200,00 m	296,00 m	182,55 m	182,88 m
Länge zwischen den Loten (Lpp)	190,29 m	287,00 m	175,00 m	158,20 m
Breite auf Spanten	26,50 m	37,60 m	27,34 m	22,63 m
Tiefgang (mittlerer)	7,50 m	10,25 m	10,85 m	10,40 m
Wasserlinienfläche	3826,9 m²	7554 m²	4237 m²	3507 m²
Windfläche Längs	3913 m²	9900 m²	1787 m²	1525 m²
Windgläche Quer	815 m²	1467 m²	489 m²	417 m²
Blockkoeffizient bei Tiefgang	0,60	0,64	0,81	0,77
Tiefgang vorn	7,50 m	10,25 m	10,85 m	10,10 m
Tiefgang achtern	7,50 m	10,25 m	10,85 m	10,70 m
Maschine	Slow Speed Diesel	Slow Speed Diesel	Slow Speed Diesel	Slow Speed Diesel
Typ	MAN B&W 9L60MC-C	R8RTflex68D	MAN - B&W 6S50 MC-C	SULZER 6 RND 76
Propelleranzahl	1	1	1	1
Propellertyp	Verstellpropeller	Festpropeller	Festpropeller	Festpropeller
Drehrichtung	Links	Rechts	Rechts	Rechts
Propellerdurchmesser	6,10 m	7,60 m	5,80 m	5,90 m
Leistung (MCR)	20070 kW	22000 kW	9466 kW	8827 kW
Leistung (NCR)	19466 kW	19210 kW	8119 kW	8562 kW
kW / t	0,84 kW	0,04 kW	0,18 kW	0,26 kW
Geschwindigkeit bei min RPM		5,99 kn (29 U/min)	3,0 kn (24 U/min)	3,5 kn (24 U/min)
Rückwärtsleistung (%)	77,6%	60%	60%	60%
Rückwärtsleistung (kW) gerechnet	15574 kW	13200 kW	5680 kW	5296 kW
Rückwärtsleistung (kW) PC	15574 kW	12513 kW	4854 kW	4837 kW
Ruderanzahl	1	1	1	1
Rudertyp	Becker Ruder	Becker Ruder	Halbschweberuder	Balance Ruder
Ruderfläche	35,00 m²	44,60 m²	29,43 m²	25,71 m²
Ruderfläche / Lpp xT	0,024524	0,015161	0,015500	0,015626519
Drehgeschwindigkeit °/sek	7,8 °/sek	8,4 °/sek	4,7 °/sek	4,1 °/sek
Max. Ruderwinkel	35°	46°	35°	35°
Anzahl Bugstrahler	2	2	1	0
Nennleistung Bugstahler	2200 kW	3500 kW	800 kW	0 kW
Anzahl Heckstrahler	1	1	0	0
Nennleistung Heckstahler	880 kW	1750 kW	0 kW	0 kW

Tabelle 4: Manövrierkennwerte der verwendeten Schiffe

2.3.6 Bewertung der Schiffsmodelle anhand der Simulationsläufe

Die verwendeten Schiffsmodelle wurden nach den einzelnen Simulationsläufen bezüglich ihres Fahrverhaltens von den jeweiligen Fahrzeugführern (Lotsen) bewertet.

Schiffstyp	Bewertung
RoRo-Schiff	• Reales Fahrverhalten
Mehrzweckschiff	• Reales Fahrverhalten • Baut langsam Geschwindigkeit auf
Tanker	• Reales Fahrverhalten • Bei extremen Windverhältnissen zu anfällig, luvt sehr stark an
Massengutfrachter	• Reales Fahrverhalten

Tabelle 5: Bewertung der Schiffsmodelle anhand der Simulationsläufe

2.3.7 Gewählte Geschwindigkeiten

Für die Simulationsläufe wurden beim Anlegen typische Fahrtstufen gewählt, die mit derartigen Schiffen auf Revieren üblicherweise gefahren werden, wenn Sie die Liegeplätze anfahren.

Maßgeblich beeinflusst wird die Geschwindigkeitsstufe von der Fähigkeit den Schlepper sicher festzumachen. Die Fahrt durch das Wasser sollte aus diesem Grund nicht mehr als 6 Knoten betragen.

Die Ablegemanöver wurden bis zu dem Zeitpunkt durchgeführt indem das Schiff genügend Fahrt aufgenommen hatte um dem Verkehrsfluss zu folgen ohne ihn zu behindern.

Schiffstyp	Fahrtstufe (FüG)
RoRo-Schiff	• Anlegen: Fahrt über Grund 6 kn • Ablegen: Fahrt über Grund 10 kn
Mehrzweckschiff	• Anlegen: Fahrt über Grund 6 kn • Ablegen: Fahrt über Grund 10 kn
Tanker	• Anlegen: Fahrt über Grund 6 kn • Ablegen: Fahrt über Grund 8 kn
Massengutfrachter	• Anlegen: Fahrt über Grund 6 kn • Ablegen: Fahrt über Grund 8 kn

Tabelle 6: Fahrtstufen für die Simulationsläufe gemäß Ausschreibung

3 Schlepper und Schleppermanöver

Die im Rahmen der Simulation eingesetzten Assistenzschlepper waren Eigenschiffe, 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.

In der Seeschiffsassistenz 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 ist aber jeweils ein Kiel mit großer Fläche, der sogenannte Skeg. Im indirekten Modus kann ein Schlepper einen deutlich höheren Pfahlzug leisten, 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 Manövrierhilfen, wie zum Beispiel Bug- und Heckstrahler müssen mehrere Schlepper zur Assistenz angenommen werden.

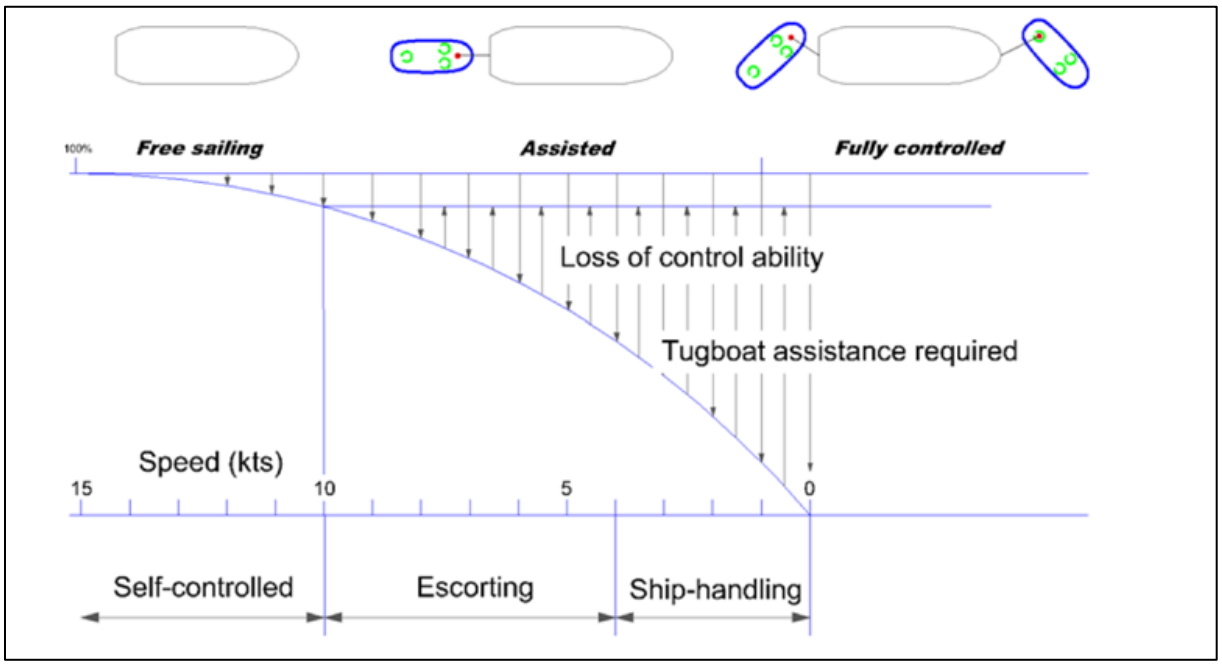


Abb. 19: Phasen des Schleppvorgangs

3.1 Schlepper gegenüber “Autotugs”

In der Simulation gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten Schlepper einzusetzen

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

3.1.1 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 das der Schlepper sich im Strom positionieren muss und Windeinflüssen ausgesetzt ist.

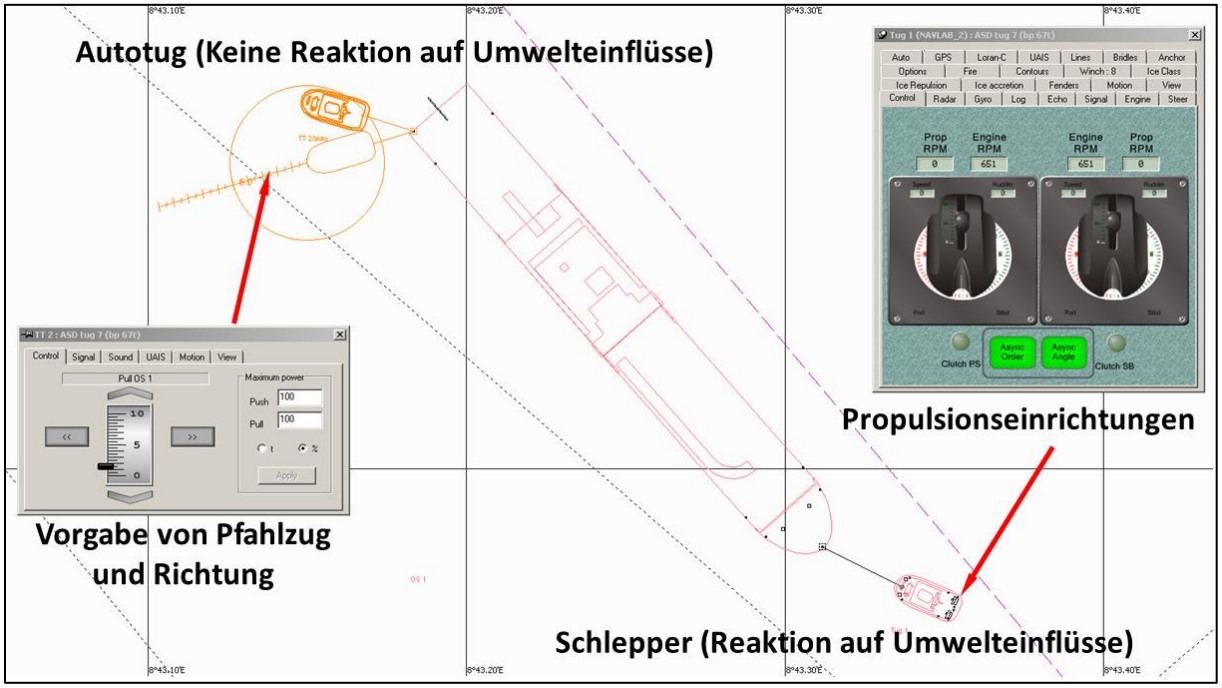


Abb. 20: „Autotug“ im Vergleich zu „Real Tug“

3.1.2 Modelle mit 6 Freiheitsgraden

6 DoF Modelle ermöglichen einen realitätsgetreuen 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.

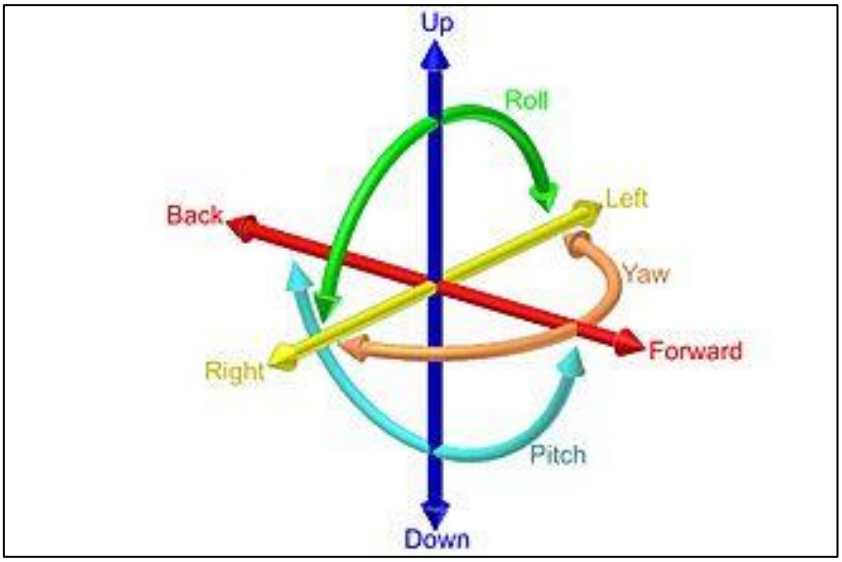


Abb. 21: 6 Freiheitsgrade (6 DoF)

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

3.2 Verwendete Schleppertypen

Im Rahmen der Simulation wurden drei Schleppertypen als Assistenzschlepper verwendet. In den Fällen wo der Pfahlzug der Modelle mehr als 50 t. betrug wurde er auf 50 t. begrenzt.

Schleppertyp	Schlepper	Anzahl Läufe
Azimuth Tractor Drive	ATD (80 t Pfahlzug, max. 50 t genutzt)	5
Azimuth Stern Drive	ASD 2 (78 t Pfahlzug, max. 50 t genutzt) ASD 4 (40 t Pfahlzug) ASD 7 (67 t Pfahlzug, max. 50 t genutzt)	63
Voith Schneider	Finn (35 t Pfahlzug, max. 30 t genutzt)	23

Abb. 22: Verwendete Schleppertypen

3.2.1 Azimuth Tractor Drive (ATD)

Schlepper	Pfahlzug (t)	Leistung [kW]	Länge [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]
ATD 2	80 t	2 x 2090 kW	24,5 m	8,8 m	3,2 m (5,5 m)

Abb. 23: Verwendetes ATD Schleppermodell

Abb. 24: ATD Schleppermodell

Der ATD Schlepper zeichnet sich dadurch aus, dass er über zwei Antriebseinrichtungen verfügt, in der Regel um zwei drehbare Schottelantriebe die im Vorschiffsbereich angeordnet sind. Man spricht von einem Traktor, wenn die Antriebseinrichtungen in Fahrtrichtung vor dem Leinenpunkt (Schleppbock) angeordnet sind. Dies bedingt, dass ein Traktor seine Schleppwinde immer im hinteren Schiffsbereich angeordnet hat.

Konstruktionsbedingt hat ein Traktor gegenüber einem gleich starken ASD- Schlepper einen etwas größeren Tiefgang.

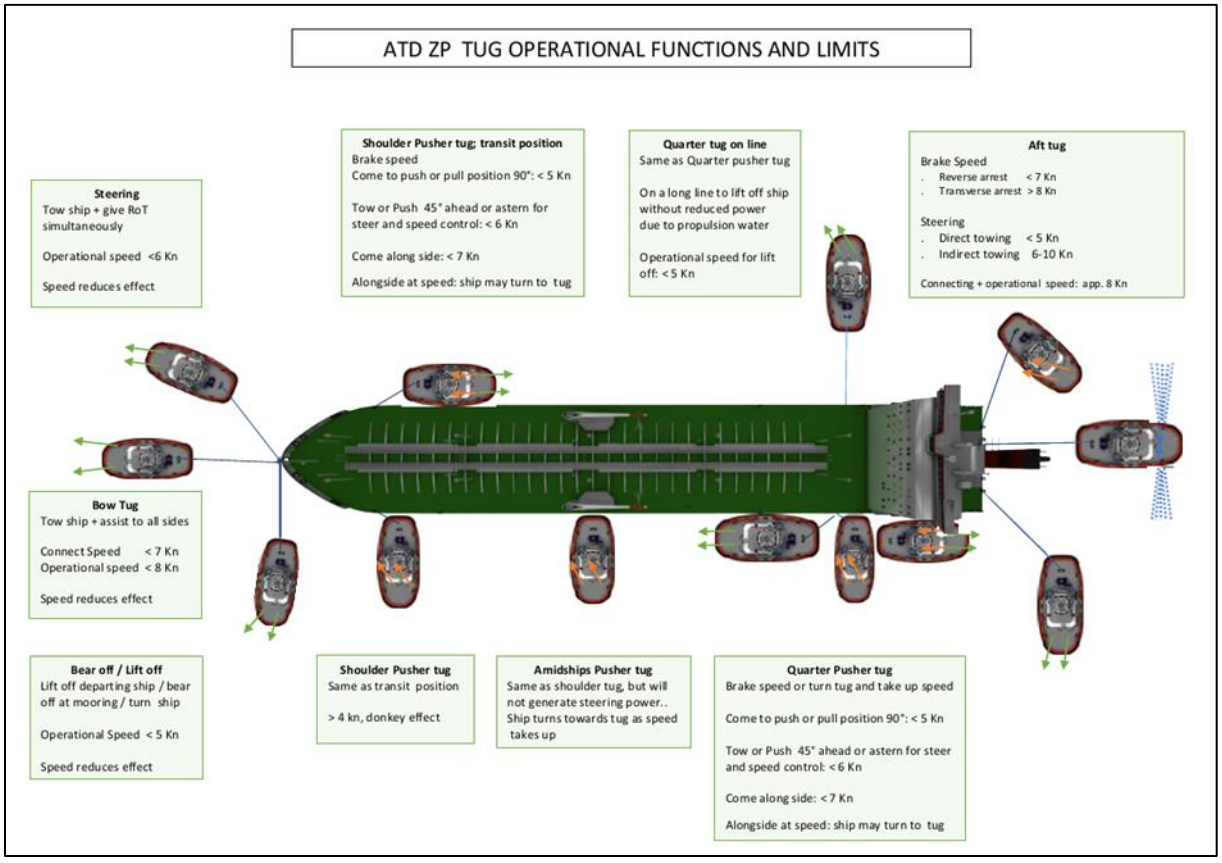


Abb. 25: ATD Schlepper - Arbeitsweise und Leistungsgrenzen[1]

3.2.1 Voith Schneider

Schlepper	Pfahlzug (t)	Leistung [kW]	Länge [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]
Finn	35 t	2 x 1066 kW	28,6 m	12,6 m	4,3 m

Tabelle 7: Verwendete Voith Schneider Schleppermodelle

[1] Kursmaterial NAUTITEC tug masters academy / Tug training & Consultancy

Abb. 26: Voith Schneider Schleppermodell

Der Voith Schlepper zählt im Prinzip zu der Gruppe der Traktorschlepper. Charakteristisch sind die unter dem Vorschiff angebrachten Voith-Schneider Antriebe, ein System bei dem der Schlepper sehr schnelle und wendige Manöver fahren kann, ohne die Drehzahl der Maschinen zu verändern. Die Manöver des Schleppers werden durch die Verstellung der Steigung der Voith Ruderblätter erzeugt.

Abb. 27: Voith Antrieb

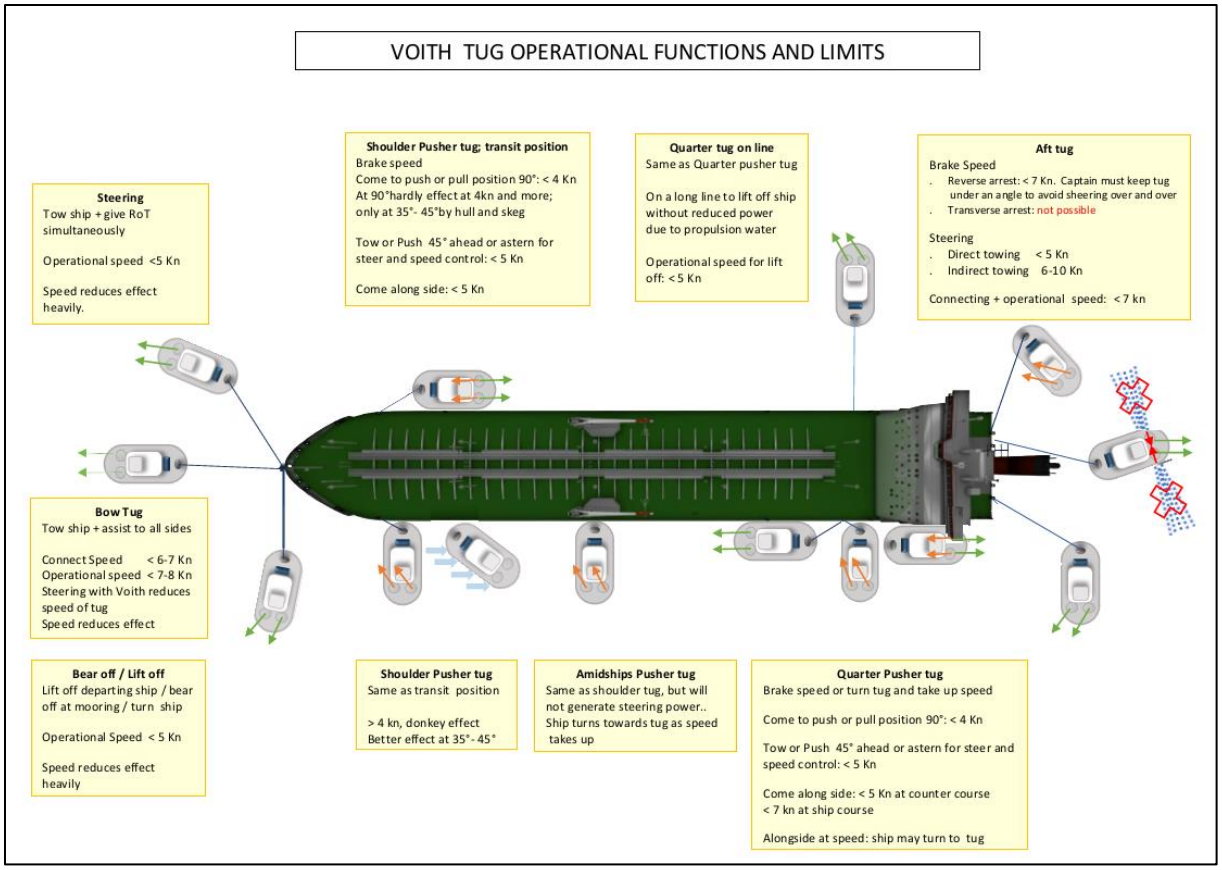


Abb. 28: Voith Schlepper – Arbe3itsweise und Leistungsgrenzen[2]

[2] Kursmaterial NAUTITEC tug masters academy / Tug training & Consultancy

3.2.2 Azimuth Stern Drive Schlepper (ASD)

Der ASD Schlepper zeichnet sich dadurch aus, dass er über zwei Antriebseinrichtungen verfügt, die sich unter dem Achterschiff befinden.

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

Schlepper	Pfahlzug (t)	Leistung [kW]	Länge [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]
ASD 2	78 t	2 x 2320 kW	33,1 m	12,0 m	4,1 m (4,9 m)
ASD 4	40 t	2 x 2188 kW	26,1 m	8, 9 m	3,3 m (3,8 m)
ASD 7	67 t	2 x 2090 kW	24,5 m	11,3 m	3,1 m (5,4 m)

Tabelle 8: Verwendete ASD Schleppermodelle

Abb. 29: ASD-Schleppermodell

Vereinzelt verfügen ASD Schlepper zusätzlich über eine Winde am Heck. Wenn über die achtere Winde geschleppt wird agiert der ASD Schlepper wie ein konventioneller Schlepper.

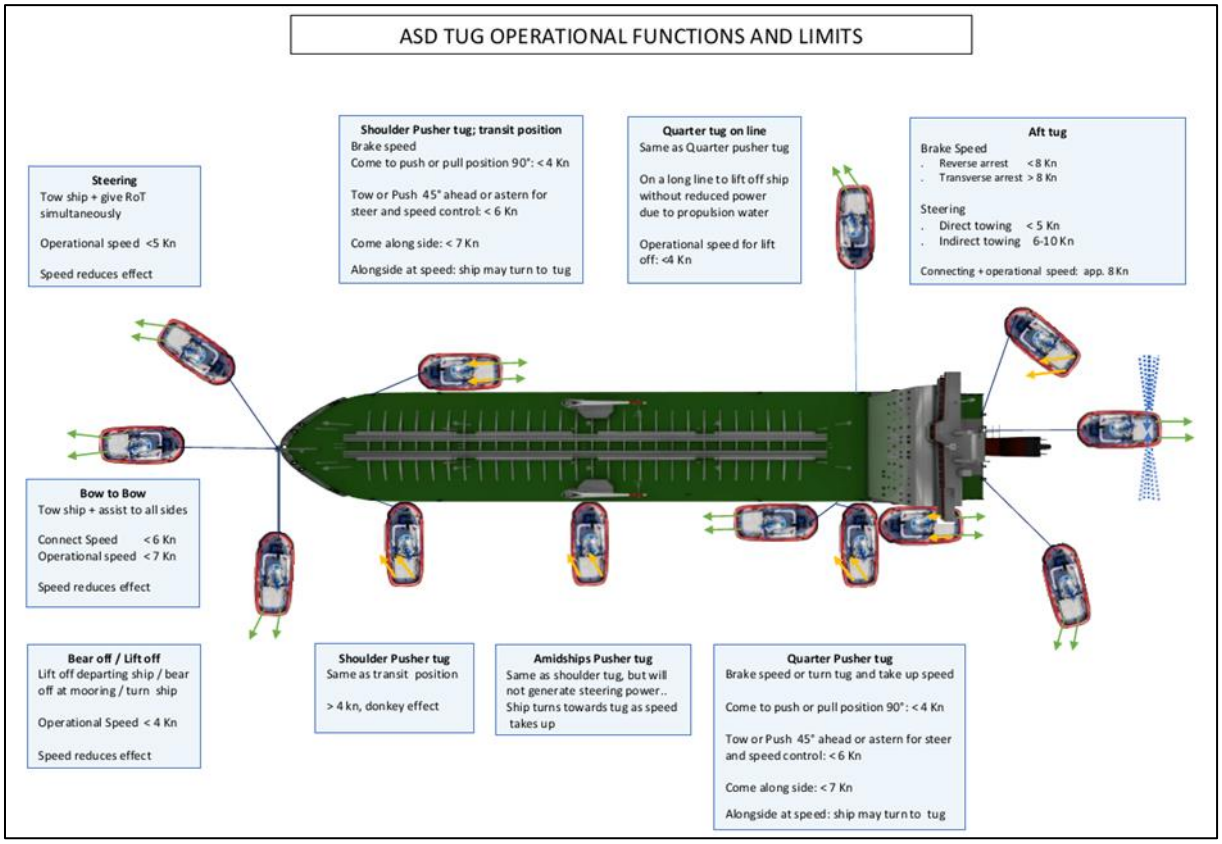


Abb. 30: ASD Schlepper - Arbeitsweise und Leistungsgrenzen

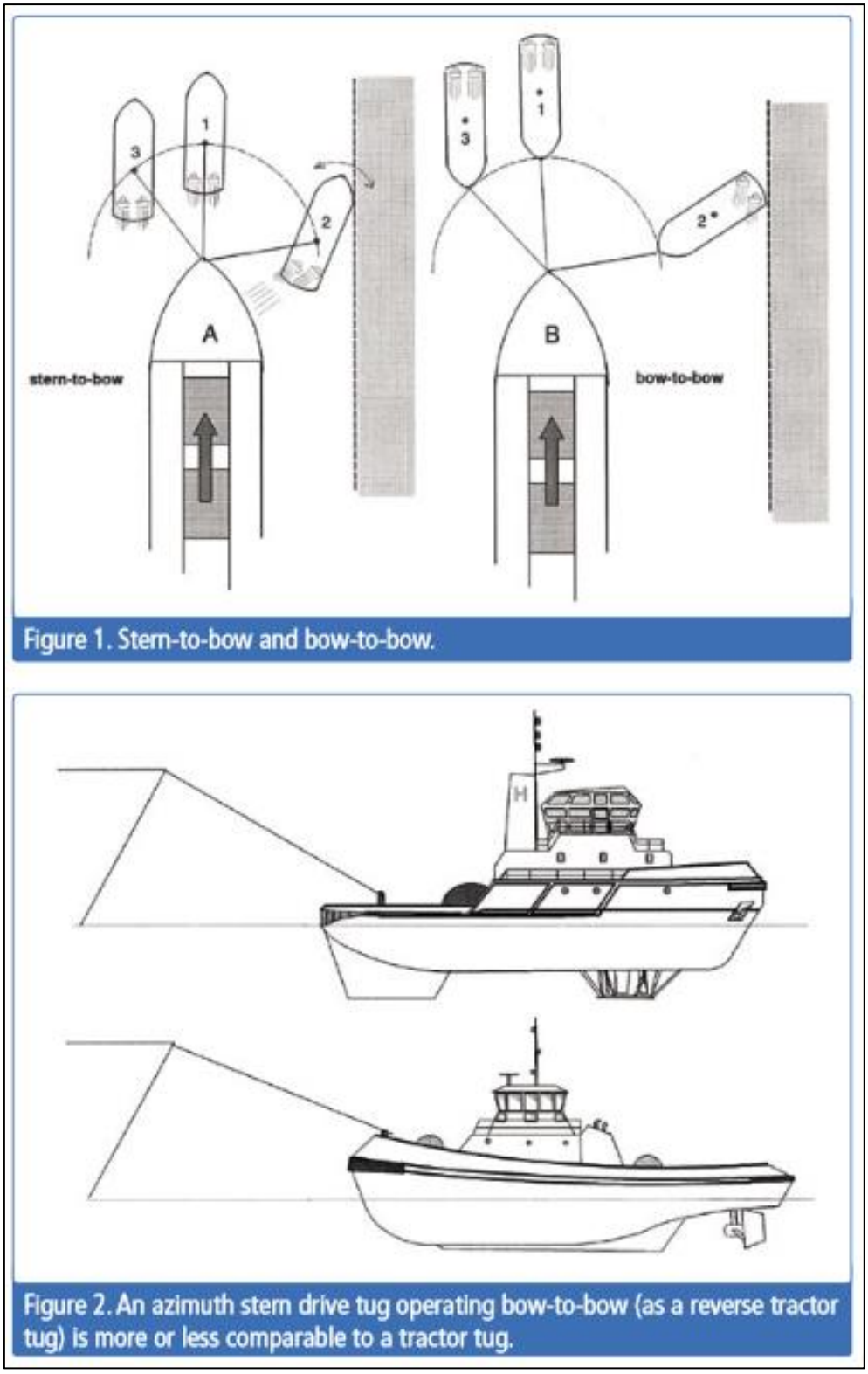


Abb. 13: ASD tug characteristic [3]

[3] Henk Hensen: "Bow Tug Operations with Azimuth Stern Drive Tugs: Risks and Effectiveness", The Nautical Insti-tute, 2006

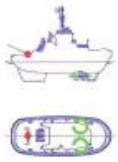
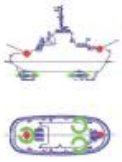
3.2.3 Rotortug

Zu erwähnen ist schließlich noch der Rotortug. 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. Der Rotortug war nicht Bestandteil dieser Studie.

3.2.4 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 bo
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 configuratio 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 reposit see fig. 2
13	Positioning in current without force on towline	not possible fig. 3	not possible fig. 3	good, thruster configuration makes dynam 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	Behaveour in swell during assistance	risk of propeller ventilation fig. 4	no propeller ventilation fig. 4	good, no propeller ventilation. Extra: ability wave damping with fwd thruster units durir pushing fig. 4

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

Abb. 31: Vergleichstabelle Schleppertypen[4]

[4] http://rotortug.com

3.3 Bestimmung des notwendigen Pfahlzuges

Der für ein Manöver notwendige Pfahlzug der Schlepper muß größer sein, als die auftretenden Kräfte.

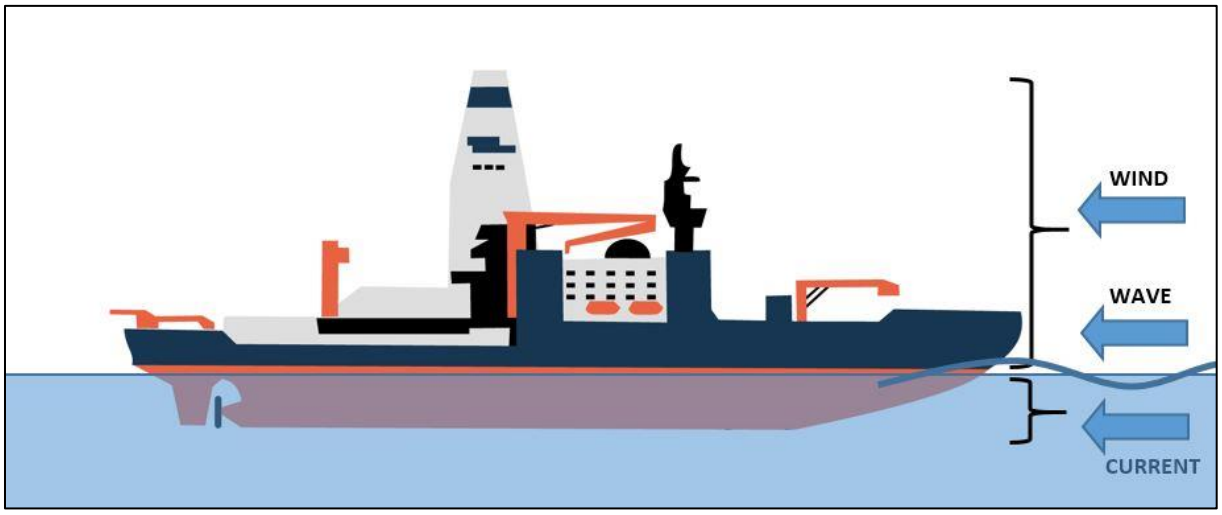


Abb. 32: Auftretende Kräfte beim Schleppvorgang

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.

$$Notwendiger\ Pfahlzug \geq Kräfte\ hervorgerufen\ durch\ Wind + Strom + Welle$$

Überschlagsmäßig lässt sicher der notwendige Pfahlzug mit folgender Formel berechnen

$$Pfahlzug = \frac{Verdrängung}{100.000} * 60 + 40$$

Der hieraus resultierende Wert muss mit Faktoren für das Verhältnis zwischen Tiefgang und vorherrschender Wassertiefe, dem Wellengang, Strom Einfluss usw. beschickt werden. Da sich diese Faktoren oftmals aber schon während eines Manövers ändern, ist eine sichere Berechnung nur sehr schwierig möglich.

Der einem Schlepper attestierte Pfahlzug ist überdies nur ein theoretischer Wert, der während einer Pfahlzugprobe unter optimalen Bedingungen bei hundertprozentiger Nutzung der Maschinenleistung erzielt wird. 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) der Stärke 9. Wie weiter unten gezeigt wird, sind die auf diese Weise errechneten Pfahlzüge nicht auf die Simulation direkt anwendbar.

Schlepper	Verdrängung (t)	Pfahlzug (t)
RoRo-Schiff	23071 t	54 t
Mehrzweckschiff	76934 t	86 t
Tanker	44288 t	67 t
Massengutschiff	33089 t	62 t

Abb. 33: Benötigter Pfahlzug nach Faustformeln

3.4 Schlepper im Push / Pull Modus

Generell lässt sich sagen, dass solange ein Schiff Fahrt über Grund macht ein Schlepper der über eine Leine arbeitet die größte Effektivität erzielt. Drückende Schlepper sind immer dann effektiv, wenn das Schiff keine Fahrt über Grund macht und der Schlepper seine gesamte Leistung in den Pfahlzug legen kann und keine Leistung für das Positionieren am Schiff abgeben muss.

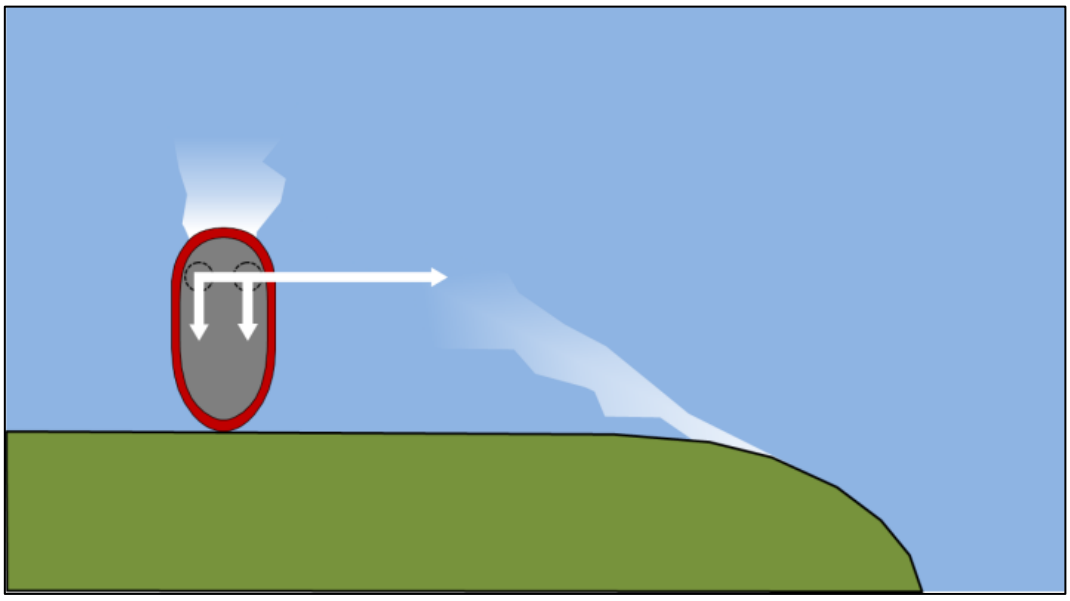


Abb. 34: Verlustleistung durch Positionieren am Schiff

Sobald ein Schlepper an einem Schiff drückt, das Fahrt durchs Wasser macht, wird der Rumpf des Schiffes mit einem Vektor beaufschlagt. 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. Daher sind insbesondere in strömenden Ge-

wässern Manöver auf Leine dem drücken vorzuziehen, insofern genügend Manövrierraum für den Schlepper vorhanden ist.

3.5 Drehpunktlage des Schiffes beim Schleppen

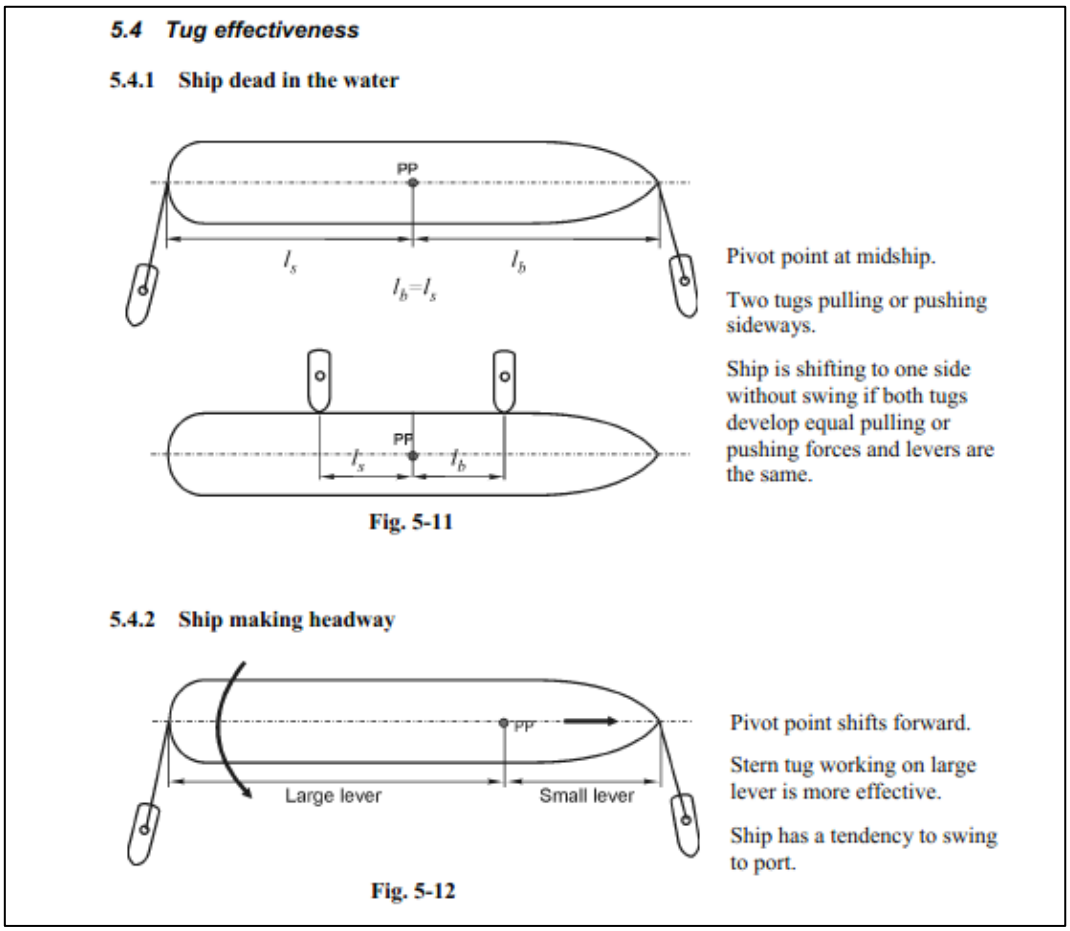


Abb. 35: Drehpunktlage beim Schleppen[5]

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

$$Drehmoment = Kraft\ x\ Hebelarm$$

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.

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

[5] Henk Hensen: Tug use in Port, Nautical Institute, 2003

Vorausgesetzt es handelt sich vorne und achtern um zwei identische Schlepper mit identischem Pfahlzug. Bei Vorausfahrt bzw. Strom von vorne erzielt der Achterschlepper ein höheres Drehmoment als der Vorschlepper. Bei Rückwärtsfahrt bzw. Strom von achtern erzielt nun der Vorschlepper ein höheres Drehmoment als der Achterschlepper.

3.6 Der "Donkey Effect"

Der Einsatz von Schleppern erzielt nicht immer den gewünschten Effekt und kann sogar zu einem gegenteiligen Resultat führen. Ein Beispiel hierfür ist der „Donkey Effect"[6]

Der donkey Effect beschreibt das Phänomen, das bei einem fahrenden Schiff ein drückender Schlepper ein Drehmoment in die falsche Richtung erzeugen kann. Je höher die Geschwindigkeit des Eigenschiffes desto ausgeprägter kann der Effekt auftreten.

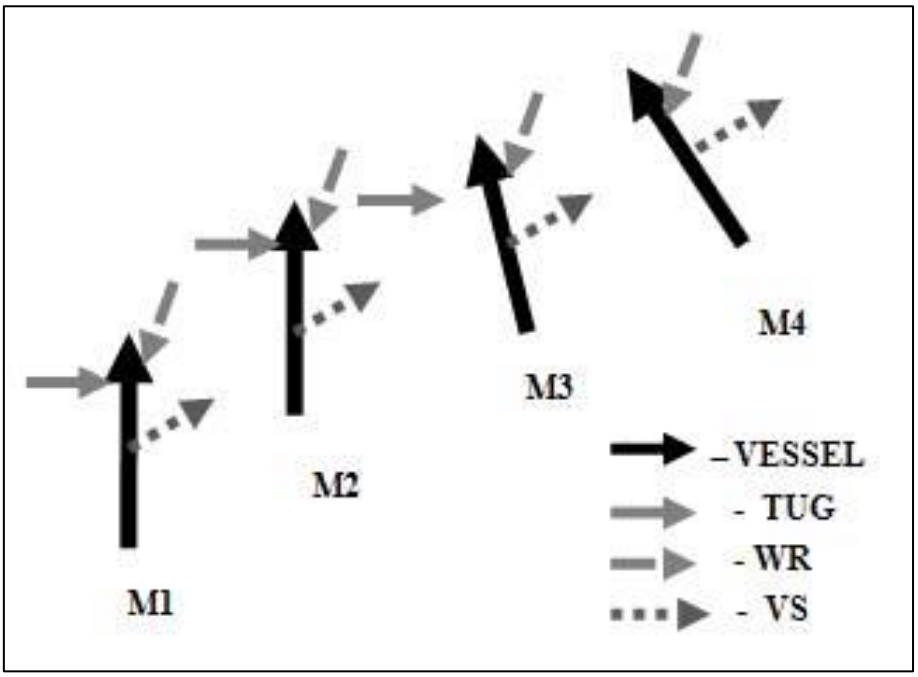


Abb. 36: Der Donkey Effect

- M1: Wenn der Schlepper anfängt gegen das fahrende Schiff zu drücken wird auf Grund der Lage des Drehpunktes nu rein kleiner Hebelarm entstehen, der zu keiner Drehbewegung führt. Eher wird das ganze Schiff nach Stb. Versetzt.
- M2: Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, der das ganze Schiff nach Stb. Drückt
  M3: In dem Moment wo der Schlepper aufhört zu drücken, wird der Bug beginnen nach Bb. zu drehen
- M4: Und zwar solange bis das Schiff sich durch die Vorausfahrt wieder stabilisiert hat.

[6] http://www.pilotmag.co.uk/2012/01/11/feature-the-pivot-point-revisited-captain-paul-butusina/

4 Umweltdaten

4.1 Das Seegebiet Cuxhaven

Für die Durchführung des Vorhabens wurde das Seegebiet entsprechend der gelieferten Unterlagen von NPorts modelliert[7]. Im Anschluss an die bestehenden Liegeplätze 1 - 4 wurde die Küstenlinie angepasst und die Liegeplätze 5 – 7 eingefügt. Die Kartentiefen im Bereich der Liegeplätze 5 -7 wurden, entsprechend den Tiefenangaben aus den Planungsunterlagen, angepasst. Die Position der einzelnen Fahrwassertonnen in dem zu untersuchenden Bereich wurde im Vorwege basierend auf den Angaben des WSA verifiziert.

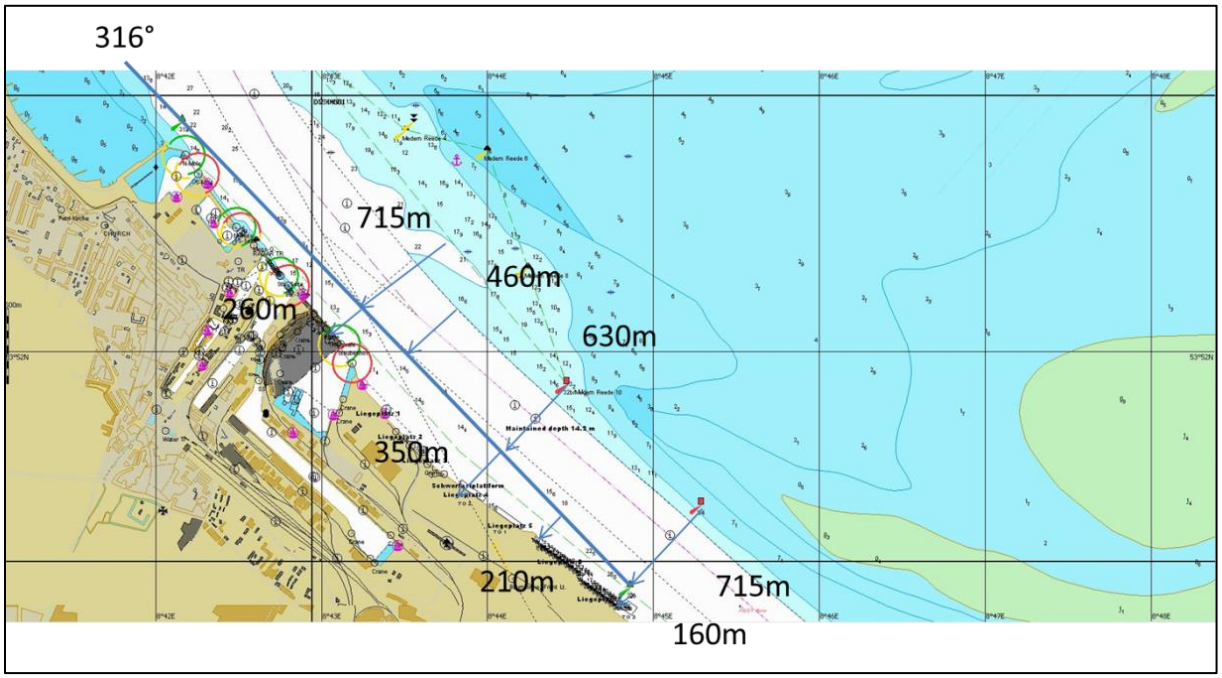


Abb. 37: Profil des Seegebietes

Im Bereich der Elbe vor Cuxhaven wird Fahrwasser wird im nördlichen Teil durch die Bb. Fahrwassertonnen begrenzt. Das südlche Fahrwasser verläuft auf einer Linie von der Tn 31a zur Tn. 33.

Dadurch das die südliche Fahrwasserbegrenzung nicht parallel dem nördlichen Verlauf folgt, variiert die Fahrwasserbreite im untersuchten Bereich zwischen 630m–715m. Die Fläche südlich des Fahrwassers im Bereich der Liegeplätze 5-7 hat eine Breite von 160m–350m.

Die Trasse liegt im nördlichen Teil des Fahrwassers mit einer Breite von etwa 460m.

4.2 Die Liegeplätze 5 - 7

Im Bereich des Cuxhavener Hafens werden stetig steigende Umschläge im Bereich der Projektladungen mit veränderten Schiffsgrößen erwartet. Daher ist eine Erweiterung der vorhandenen Kapazitä-

[7] LP5-7_Lageplan_Variante4.pdf

ten erforderlich. Das Land Niedersachsen, vertreten durch NPorts möchte die Erhöhung der Umschlagskapazitäten und die Abfertigung der tiefergehenden Schiffe mit der Herstellung der neuen Liegeplätze 5 - 7 entwickeln. Die Herstellung der Liegeplätze als Lückenschluss, zwischen den vorhandenen Liegeplätzen- 3 am Europakai, der Erweiterung des Europakais (Liegeplatz 4) und dem Offshore-Basis-Hafen mit den Liegeplätzen 8 und 9 ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

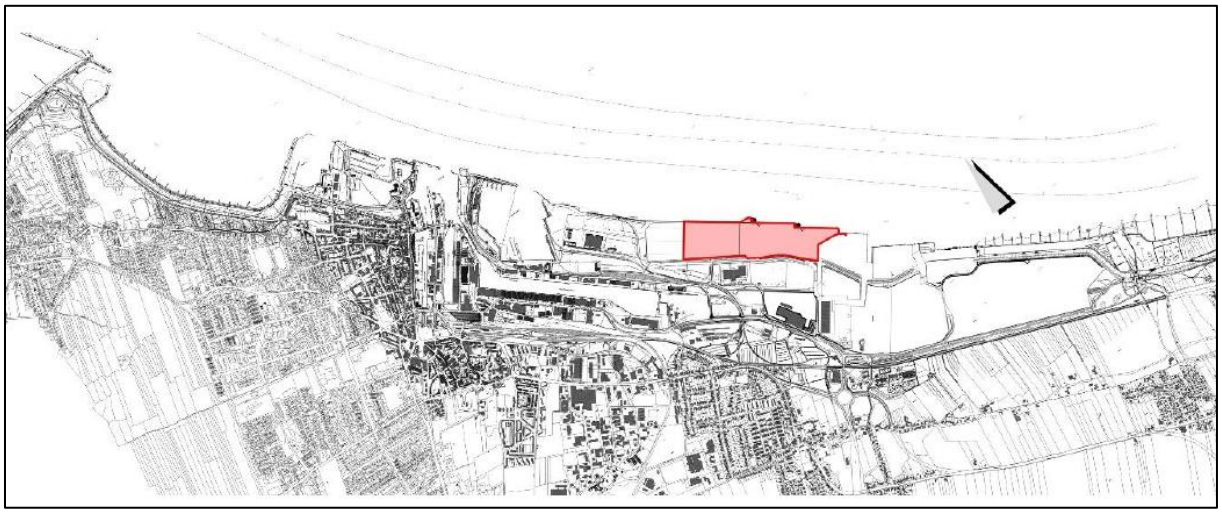


Abb. 38: Hafen Cuxhaven

Die Gesamtpierlänge der geplanten Liegeplätze beträgt 1195,25m. Die Pierlänge der einzelnen Piers ergibt sich wie folgt:

Liegeplätze	Gesamtlänge	RoRo - Rampe	Liegeplatzlänge
Liegeplatz 5	404,50m	-	404,50m
Liegeplatz 6	452,50m	122,50m	330,00m
Liegeplatz 7	338,50m	38,50m	300,00m

Tabelle 9: Abmessungen der Liegeplätze

4.2.1 Anpassung Seegebietes an die geplanten Liegeplätze

Im Rahmen der Simulationsläufe wurde der heutige Fahrwasserverlauf als Basis genommen und entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers die Liegeplätze 5 – 7 in das Seegebiet eingefügt.

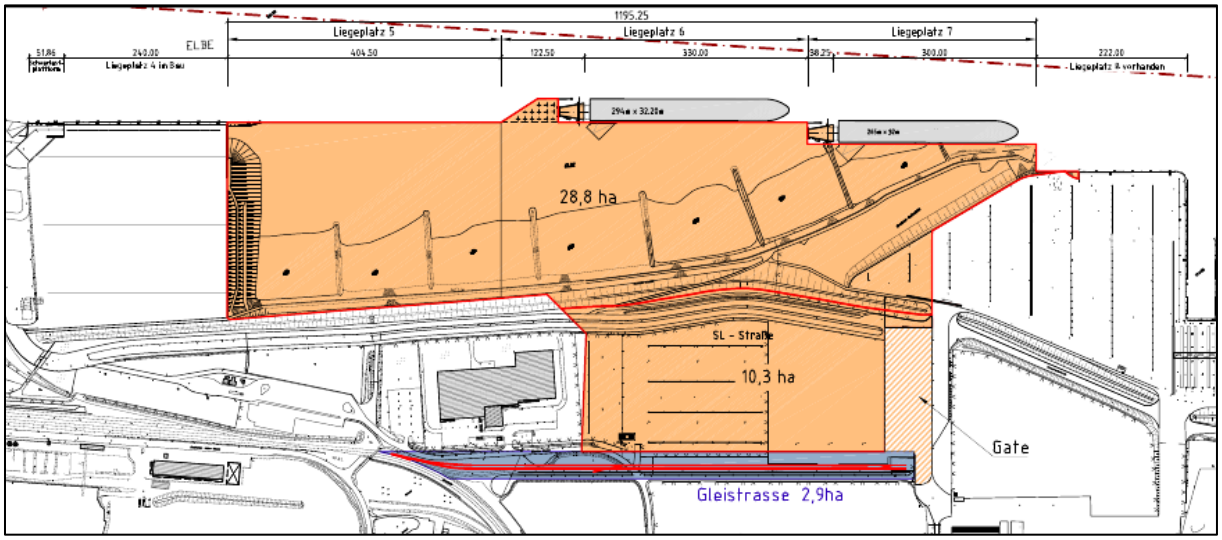


Abb. 39: Planung Liegeplatz 5 - 7 Lageplan Variante 4

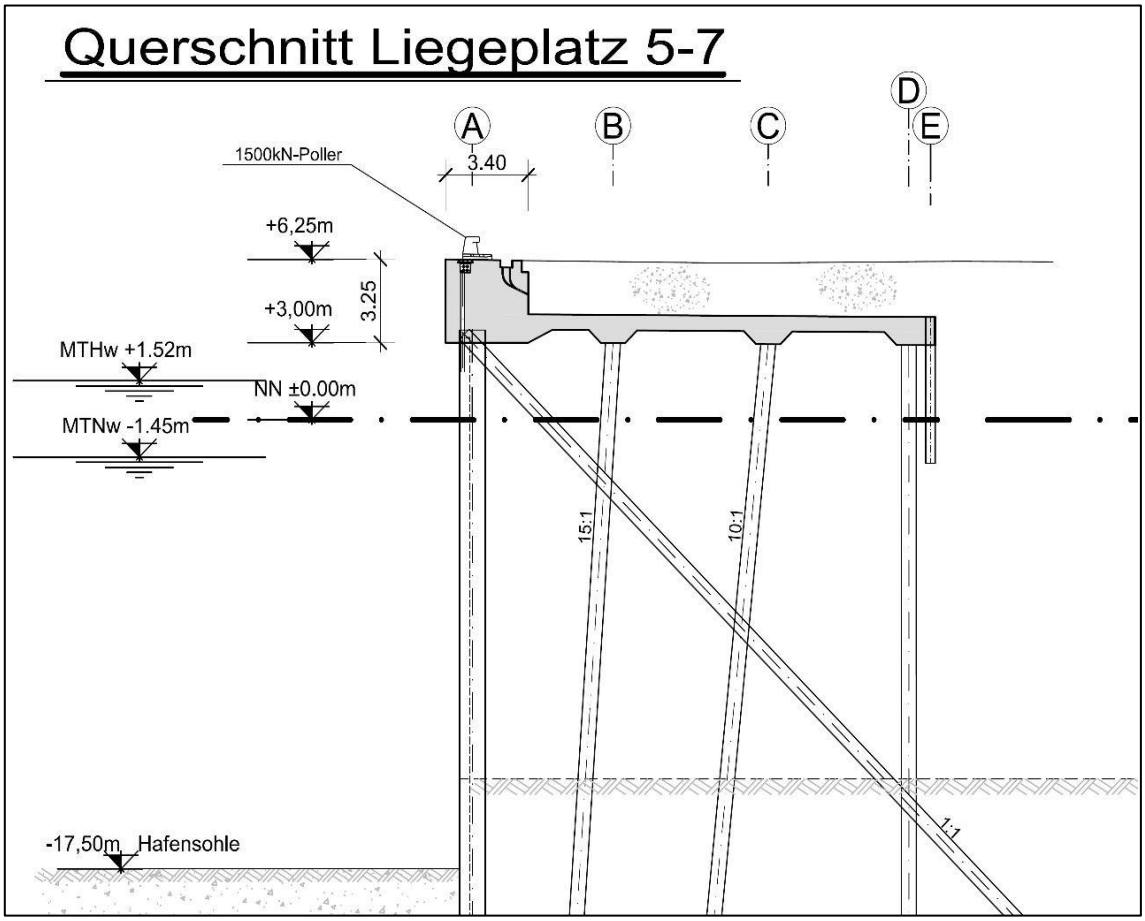


Abb. 40: Querschnitt Liegeplatz 5 -7

4.2.2 Aufteilung der Liegeplätze für die Simulationsläufe

In Absprache mit den Beteiligten wurde vereinbart keine gesonderten Anläufe des Liegeplatzes 5 zu simulieren, da auf Grund der Gegebenheiten davon ausgegangen werden kann, dass alle erfolgreichen Manöver der Liegeplätze 6 und 7 sich am Liegeplatz 5 wiederholen lassen.

Für das An- und Ablegen wurde die Simulation deshalb in zwei Teilbereiche aufgeteilt:

Abschnitt I: Liegeplatz 6

Abschnitt II: Liegeplatz 7

4.2.3 Liegeplatz 6

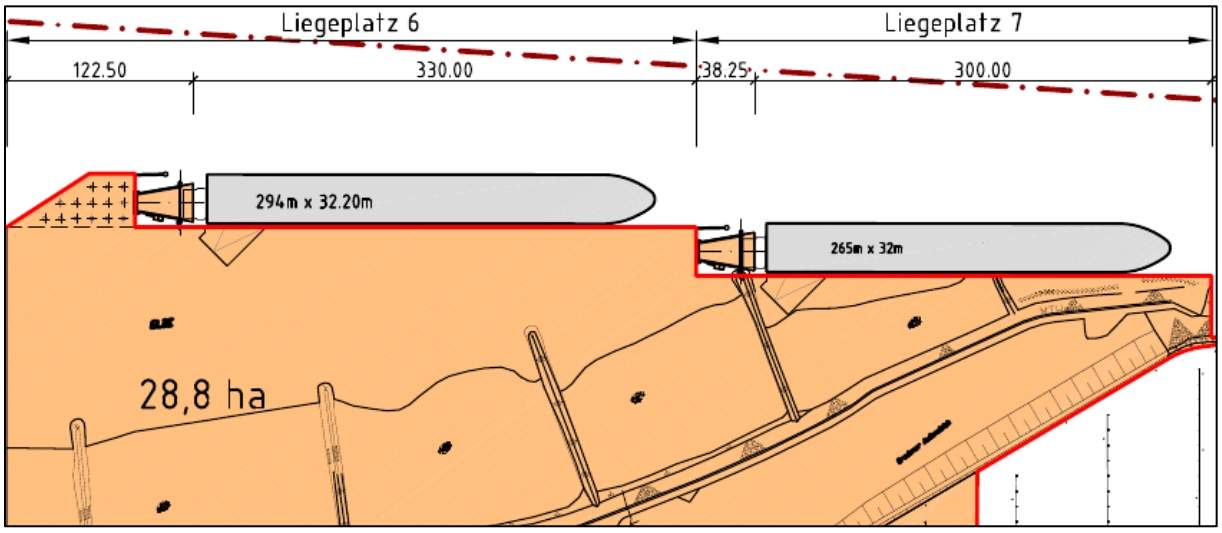


Abb. 41: Liegeplatz 6[8]

Der Liegeplatz 6 verfügt über eine Gesamtlänge von 452,50 m. Am westlichen Ende des Liegeplatzes befindet sich eine RoRo-Rampe mit einer Länge von 122,50 m. Die Länge der Pier beträgt 330 m.

4.2.4 Liegeplatz 7

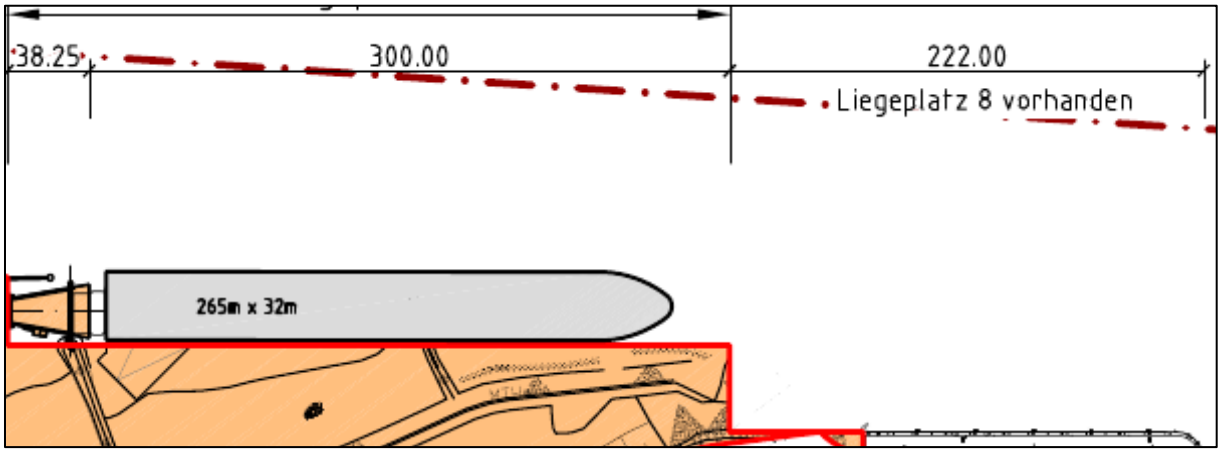


Abb. 42: Liegeplatz 7[9]

Der Liegeplatz 7 verfügt über eine Gesamtlänge von 338,25 m. Er schließt direkt an den Liegeplatz 6 an und wird im Osten durch den Liegeplatz 8 begrenzt. Am westlichen Ende des Liegeplatzes befindet sich eine RoRo-Rampe mit einer Länge von 38,25m. Die Länge der Pier beträgt 300 m.

Am Liegeplatz 8 lag während der Simulationsläufe ein Jack-Up, das ca. 60 m über die Pier in die Elbe herausragte. Das Jack-Up war somit ein zusätzliches Hindernis beim An- und Ablegen.

[8] LP5-7_Lageplan_Variante4.pdf
[9] LP5-7_Lageplan_Variante4.pdf

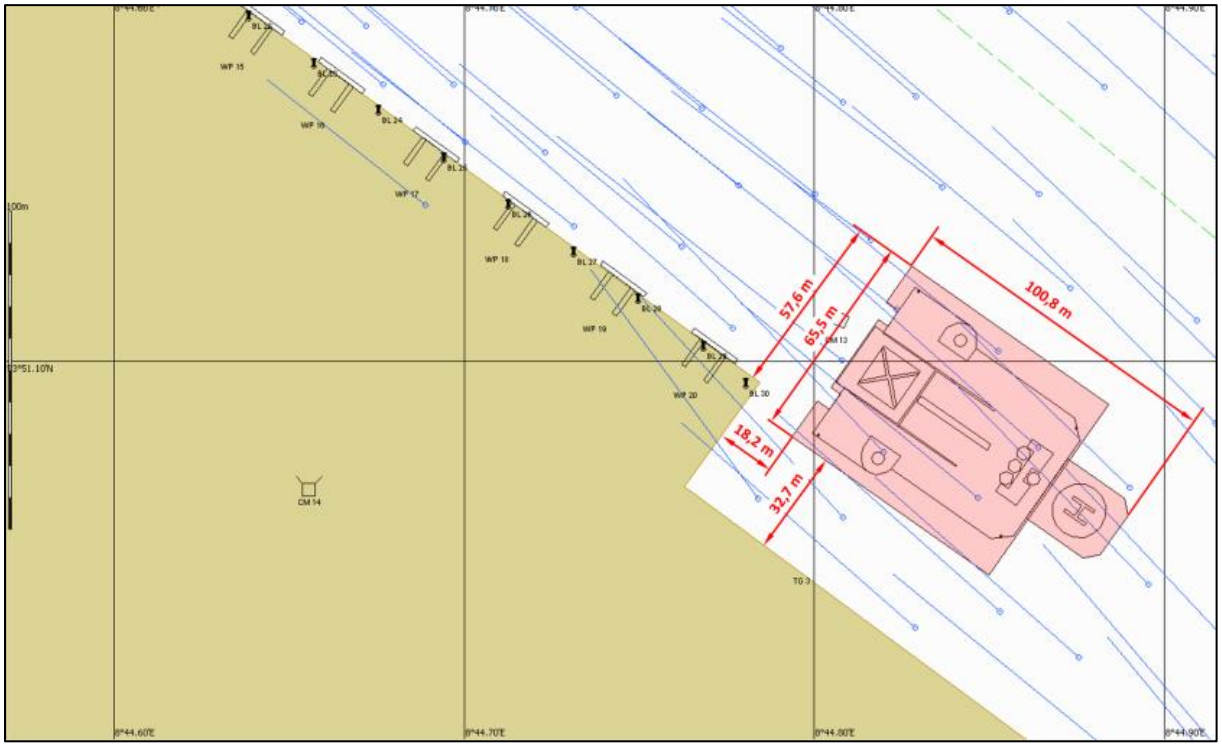


Abb. 43: Jack-Up am Liegeplatz 8

Nördlich des Liegeplatzes befindet sich im Abstand von 150 m die Fahrwassertonne 33 (Tn. 33). Die Lage der Tn. 33 erfordert bei der Planung und der Durchführung der An- und Ablegemanöver besondere Aufmerksamkeit, um zu verhindern, dass das Schiff mit der Tn. 33 kollidiert.

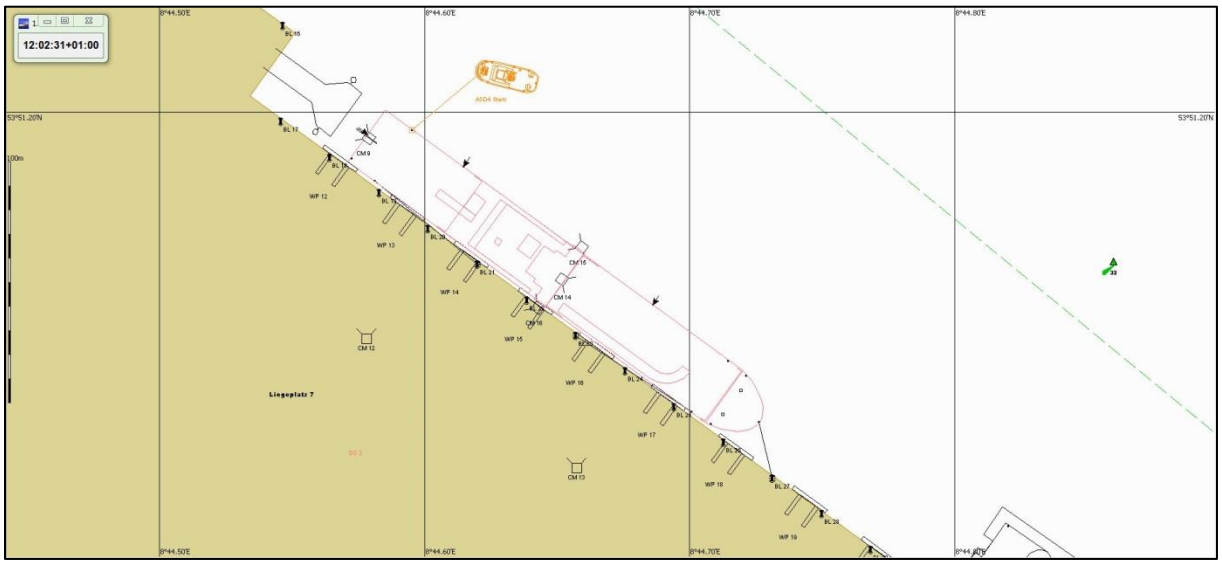


Abb. 44: Liegeplatz 7 mit Jack-Up und Tn. 33

4.3 Vorherrschende Windrichtungen und Windstärken auf der Elbe vor Cuxhaven

Die Simulationsläufe sollten unter Berücksichtigung der vorherrschenden Windstärken und Windrichtungen im betrachteten Teil des Elbreviers durchgeführt werden.

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

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 10: Windskala

Windrichtungen und Windstärken werden vom Deutschen Wetterdienst permanent aufgezeichnet, woraus sich vorherrschende Windrichtungen und Windstärken ableiten lassen.

Die folgenden Abbildungen beziehen sich die Messwerte der Wetterstation in Cuxhaven Hafen

Monat des Jahres	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Vorherrsch. Windrichtung													
Wind-Wahrscheinlichkeit >= 4 Beaufort (%)	53	56	55	46	47	45	41	37	42	46	46	53	47
Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (kts)	12	12	13	11	11	11	11	10	11	12	12	12	11
Durchschnittl. Lufttemp. (°C)	3	3	6	10	14	16	19	19	16	12	8	5	10

Abb. 45: Monatl. Verteilung von Windrichtung und -stärke[10]

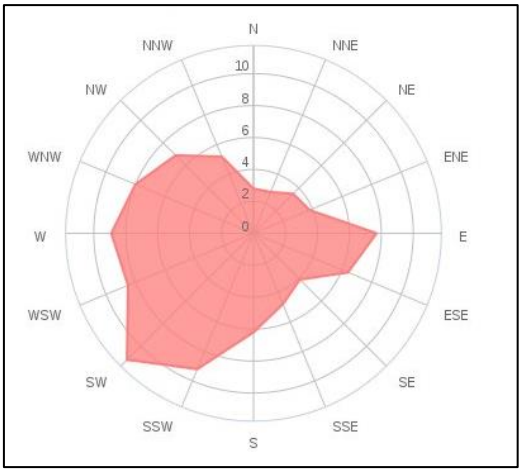


Abb. 46: Prozentuale Verteilung über das Jahr[11]

Bedingt durch die Lage des Liegeplatzes und der prozentualen Verteilung der Windrichtungen gemäß der oben abgebildeten Statistik wurden deshalb als vorherrschende Windrichtungen angenommen:

Windrichtung		Häufigkeit
NE	45°	3,5%
NNW	337,5°	5,2%
SW	225°	11,1 %

Tabelle 11: gewählte Windrichtungen (Häufigkeit)

Das Anlegen erfolgte bei südwestlichen bzw. nordnordwestlichen Windlagen. Die Ablegemanöver wurde bei nordöstlichen Windlagen durchgeführt.

[10] https://de.windfinder.com/windstatistics/cuxhaven (06.05.2017)
[11] https://de.windfinder.com/windstatistics/cuxhaven (06.05.2017)

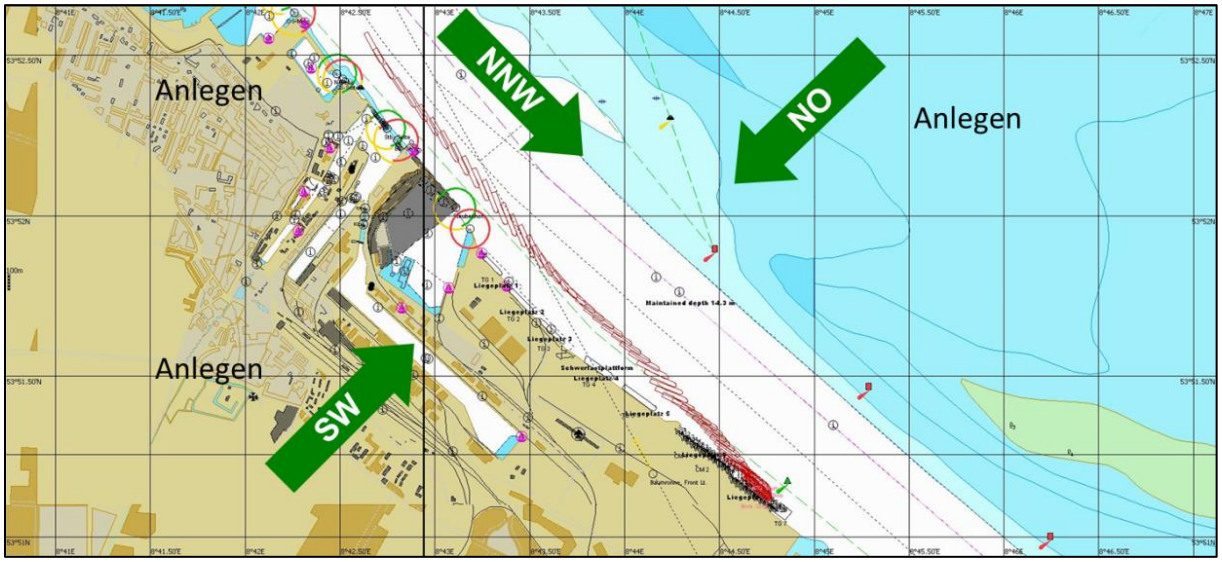


Abb. 47: Windrichtungen bezogen auf die Liegeplätze 5 – 7

Windrichtung			Windstärke	
Südwest	SW	225°	5 – 7 Bft	18 – 30 kn
Südwest	SW	225°	5 – 7 Bft (Böen 9)	18 – 44 kn
Nordnordwest	NNW	340°	5 – 7 Bft	18 – 30 kn
Nordnordwest	NNW	340°	5 – 7 Bft (Böen 9)	18 – 30 kn
Nordost	NO	45°	5 Bft	18 kn
Nordost	NO	45°	7 Bft	30 kn
Nordost	NO	45°	8 Bft	37 kn

Tabelle 12: Ausgewählte Windrichtungen und Stärken für die Simulationsläufe

4.4 Gezeitendaten

Bei der Elbe 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. Winden aus nordwestlichen Richtungen, beeinflusst.

Der mittlere Tidenhub in Cuxhaven beträgt 3,30m.[12]

[12] http://www.elbe-pilot.de/cms/index.php/haefen/cuxhaven (06.05.2017)

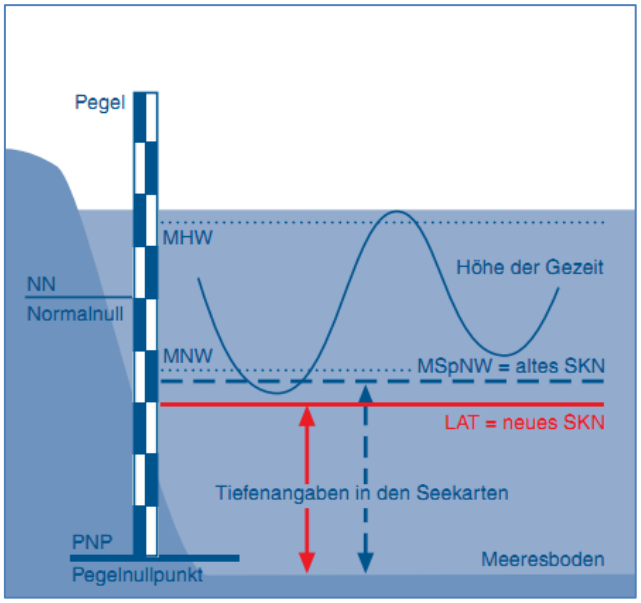


Abb. 48: Gezeitendaten[13]

Für die Simulation wurde für den ablaufenden Strom eine Höhe der Gezeit von 1,6m und für den einlaufenden Strom eine Höhe der Gezeit von 0,9 m angenommen

4.5 Stromdaten

Die Stromdaten wurden von der DHI WASY GmbH[14], im Auftrag von NPorts erstellt. Die Kernkompetenz von DHI liegt in der Digitalisierung, Modellierung und Visualisierung von Wassersystemen

Die Stromdatenwurden auf Basis des Layouts der neuen Liegeplätze berechnet. Nähere Angaben zur Modellierung der Stromdaten können dem beiliegenden Gutachten des DHI „NPorts Planung der Liegeplätze 5-7 in Cuxhaven - Untersuchung und Bestimmung von Strömungsgeschwindigkeiten - Studie Strömungsgutachten“. Die Stromdaten lagen für die Simulation im 3D-Format, d.h. für Wassertiefengerechnet vor.

[13] www.bsh.de
[14] https://www.dhigroup.com/

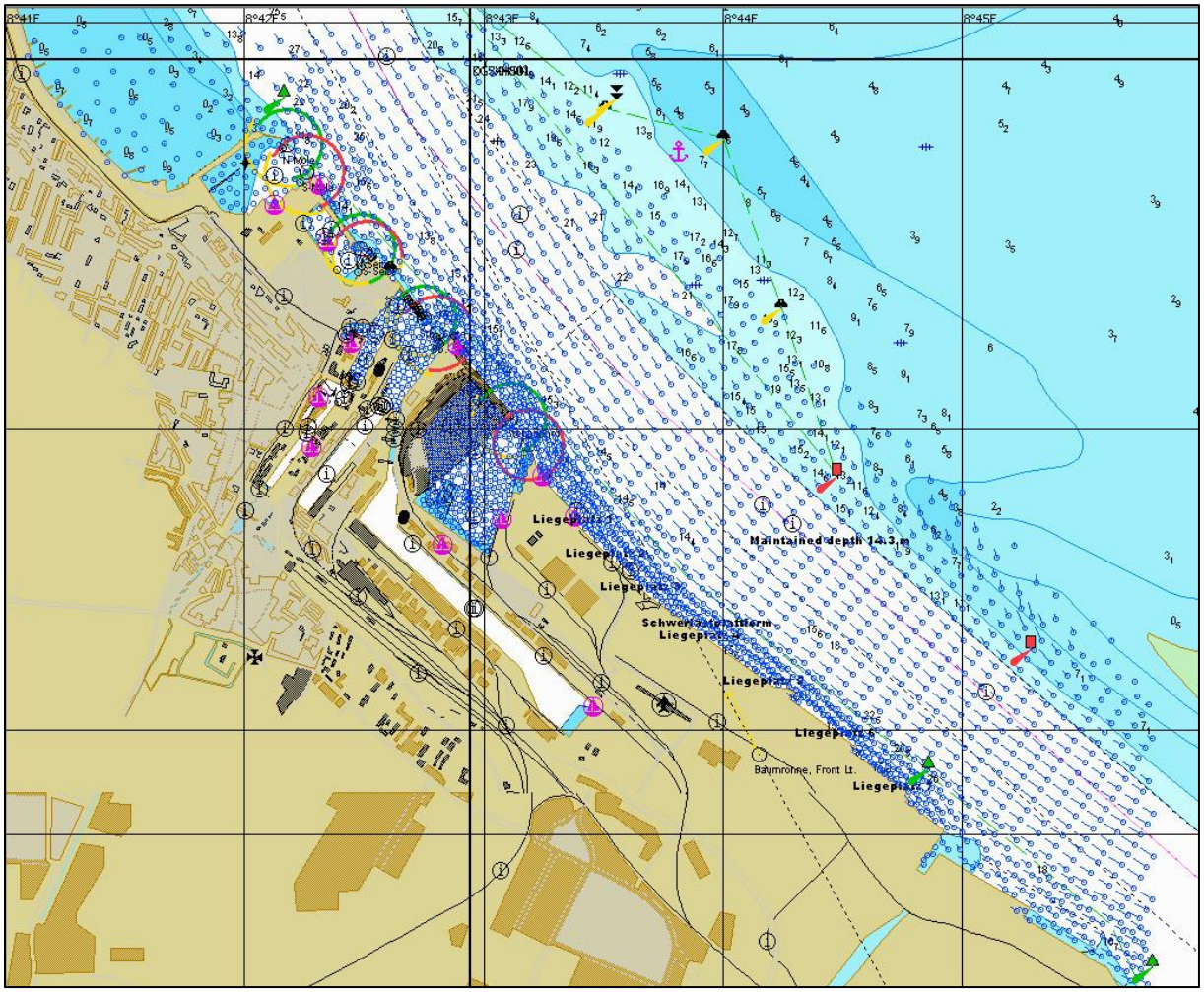


Abb. 49: Modellierter Strom

Bei dem Strom handelt es sich um einen gemittelten dreidimensionalen Strom über einen Tidenverlauf.

Strom vor den Liegeplätzen 5 -7	Stromstärke [kn]	Pegel [m]
Maximaler Flutstrom	3,0kn	1,8m
Maximaler Ebbstrom	3,7 kn	1,1m
Stauwasser	0,0 kn	0,6m

Tabelle 13: Stromgeschwindigkeiten

Beschreibung - Editor

Datei Bearbeiten Format Ansicht ?

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<NTWeatherDB>
  <Settings>
    <Description>Data by DHI WASY</Description>
    <Depth in="meters" />
    <Speed in="m/s" />
    <Direction in="deg" />
    <Time in="HH:MM:SS" />
    <Description2>Tidal Point</Description2>
  </Settings>
  <Current Groupby="Latitude, Longitude" Format="Time, Speed, Direction, Depth">

    <Group Groupby="N 53.86224221, E 8.725065036">
      <Value>00:00:00, 0.73, 315.83, 0</Value>
      <Value>00:00:00, 0.49, 317.33, 6</Value>
      <Value>00:00:00, 0.1, 323.3, 12</Value>
```

Abb. 50: Aufbau des Strömungsmodells

Grundsätzlich wurde das Strömungsmodell in Form einer 3D- Datenbank mit Strömungsdaten in 0 m Tiefe (Oberströmung), 6 m Tiefe und 12 m Tiefe modelliert. Die Systemsoftware des Transas Simulators kann diese Art der Datenbanken verarbeiten. Der Vorteil gegenüber einem eindimensionalen Strömungsmodell liegt darin, dass Schiffe mit unterschiedlichem Tiefgang innerhalb eines Simulationslaufes unterschiedlich reagieren, da sie dem Strom lediglich gemäß ihrem Tiefgang ausgesetzt sind.

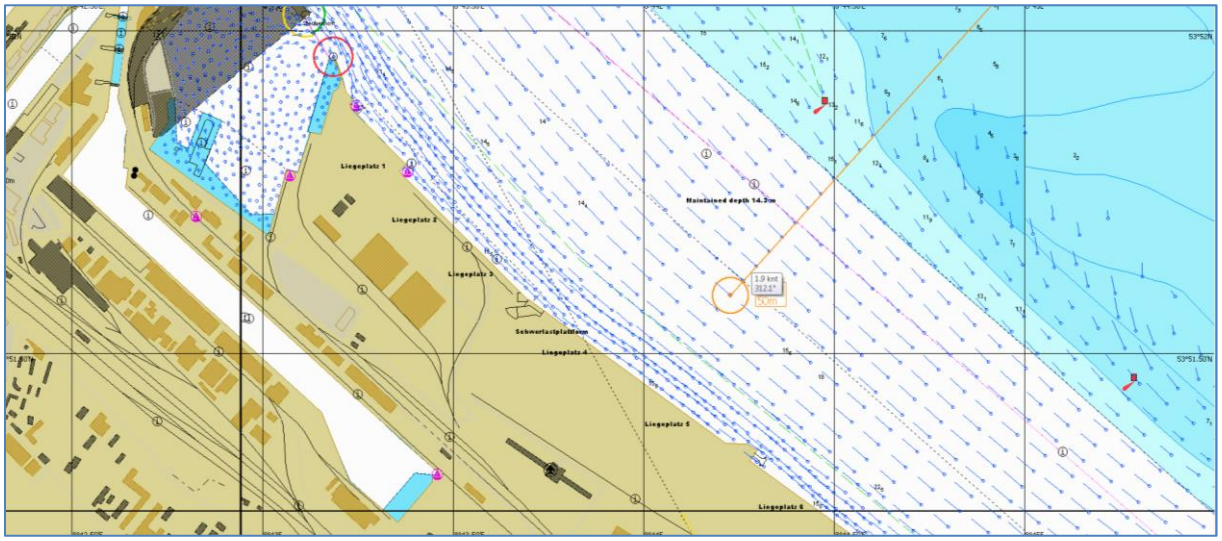


Abb. 51: Strömungsmodell DHI

Die Strömungspunkte wurden von DHI wie folgt gerechnet Der Abstand der Stromvektoren vor der Pierkante bis ca.100 m in Richtung Fahrwasser beträgt ca. 30m, darüber hinaus im Fahrwasser haben die Stromvektoren einen Abstand von ca. 50m.

Während der Simulation kam es zu Diskussionen mit den beteiligten Lotsen bezüglich dem Verlauf der Stromvektoren im Bereich dicht unter der Pier bei ausgehendem Strom. Nach Aussage der Lotsen trifft der aus Südost kommende Strom gegen die Pier und wird von dort wieder reflektiert. Im verwendeten Strommodell setzt der Strom parallel zur Pier.

Die Problematik der Genauigkeit eines Strommodelles im Nahbereich der Pier wurde auch mit dem BAW Strommodell im Zusammenhang mit der Kollision der MS „Merweborg“ mit der MS „Carolina Russ“ am Steubenhöft diskutiert [15].

[15] Summarischer Untersuchungsbericht 373/13 Schwerer Seeunfall Kollision beim Anlegen des MS MERWEBORG mit dem RoRo MS CAROLINE RUSS am Steubenhöft in Cuxhaven am 12. Dezember 2013

5 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).

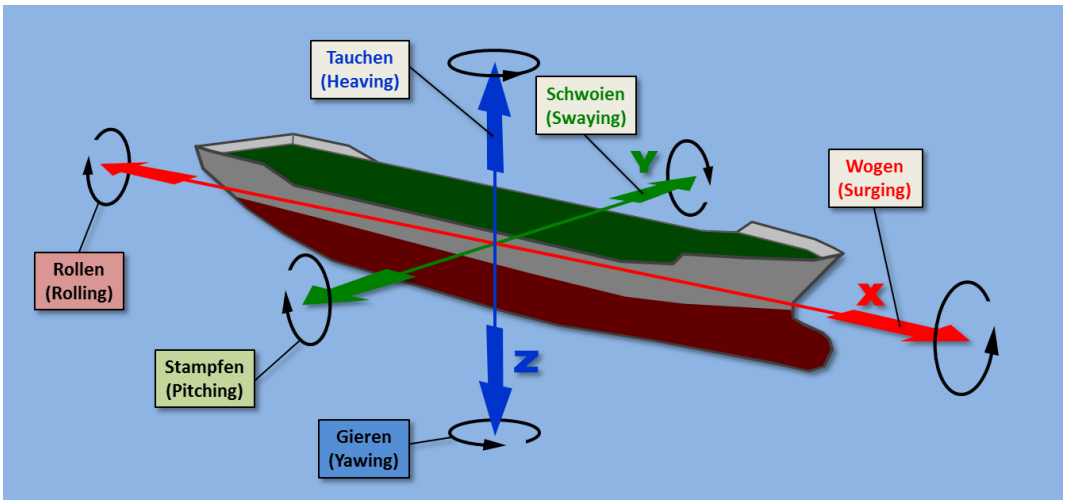


Abb. 52: Koordinatensystem des Schiffes

5.1 Hydrodynamische Effekte Schiff - Schlepper

Die max. Geschwindigkeit zum Festmachen der Schlepper sollte 5 kn Fahrt durch das Wasser nicht überschreiten, um die Gefährdung des Schleppers bei der Annäherung zur Übergabe der Leine zu minimieren. Dies kann im schlimmsten Fall zum querschlagen und Kentern des Schleppers führen.[16]

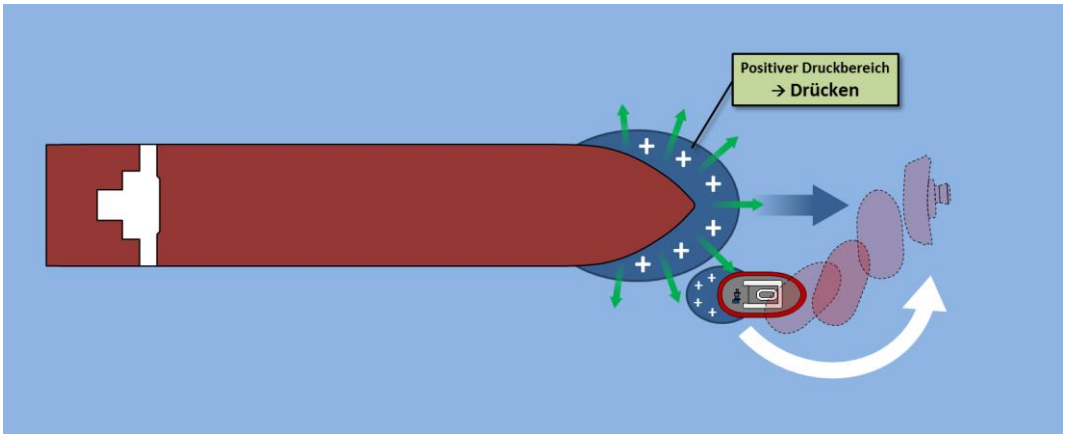


Abb. 53: Hydrodynamische Effekte Schiff - Schlepper

[16] https://www.onderzoeksraad.nl/en/onderzoek/1799/collision-and-capsizing-of-tug-nieuwe-waterweg-near-hook-van-holland-11-november-2010

5.2 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. Das Giermoment ist abhängig von der relativen Windrichtung und der Windgeschwindigkeit sowie der Form der Überwasserfläche des Schiffes.

Aufgrund ihrer geringen Überwasserfläche im Verhältnis zum Unterwasserbereich reagieren Massengutschiffe und Tanker nicht so stark auf Windeinfluss wie entsprechende RoRo Schiffe sowie Mehrzweckschiffe mit einem großen Deckhaus bzw. hoher Deckladung.

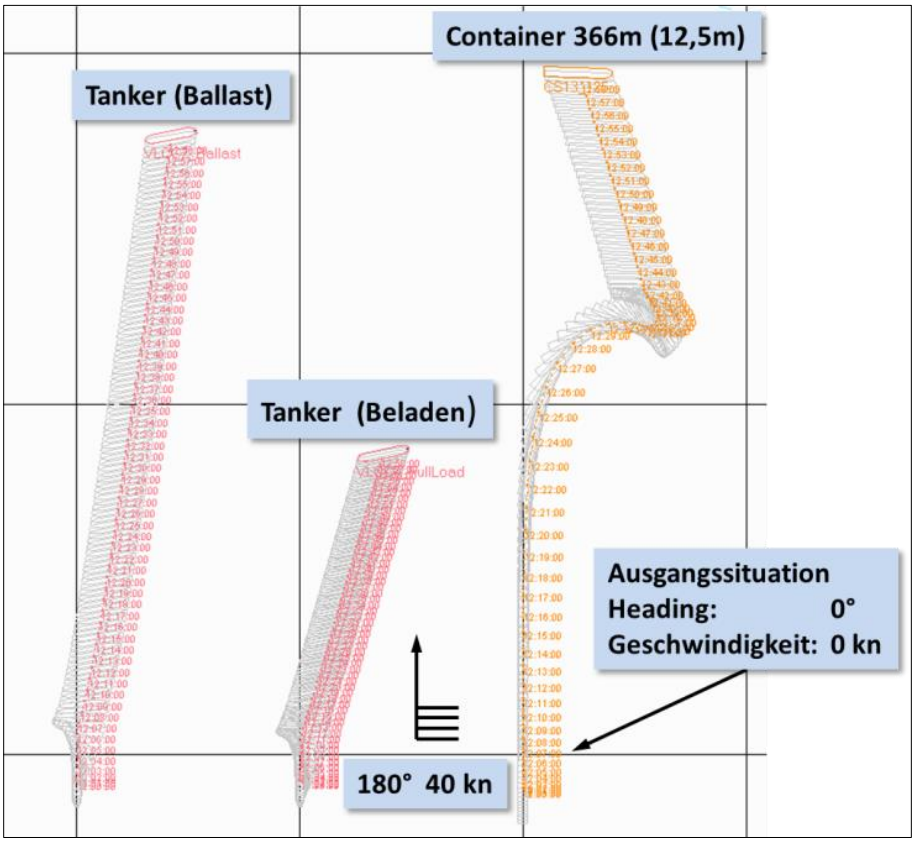


Abb. 54: Driftverhalten, verursacht durch Wind

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.

An der folgenden Abbildung lässt sich sehr gut die Reaktion des Schiffes auf seitlich einfallenden Wind erkennen. Durch den Wind kommt es zu einem Querversatz und gleichzeitig zu einem anluven des Schiffes.

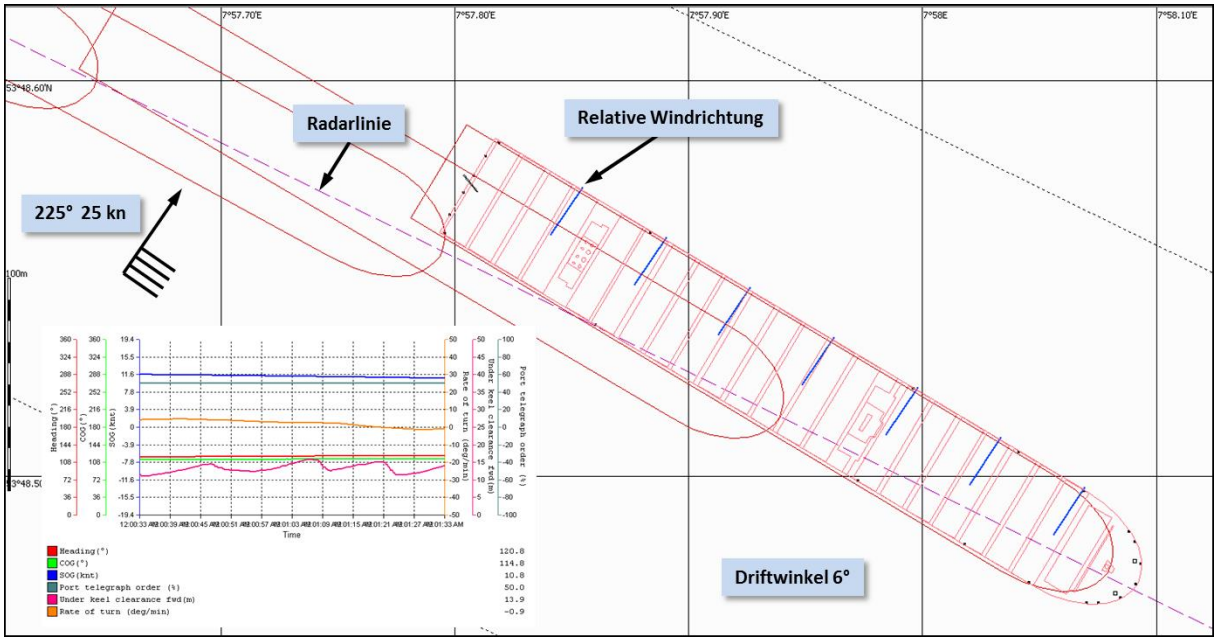


Abb. 55: Einfluss des Windes auf den Bahnverlauf

Nach einer einfachen Näherungsformel[17], die von den niederländischen Lotsen[18] verwendet wird, lässt sich die wirkende Kraft wie folgt bestimmen:

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

Legende:
Ywind = Querkraft erzeugt durch Windeinfluss [t]
A_L = Lateralfläche des Überwasserschiffes [m²]
v = relative Windgeschwindigkeit [m/s]]

Der tatsächlichen Berechnung liegt die folgende Formel zugrunde:

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

Legende:
Ywind = Querkraft erzeugt durch Windeinfluss [t]
Cy = dimensionsloser Kraftbeiwert
A_L = Lateralfläche des Überwasserschiffes [m²]
ρ = 1,2041 kg/m
v = relative Windgeschwindigkeit [m/s]

[17] van Hilten, Max J.: "Theoretical Support for Professional Shiphandling",MARSIM 2003.
[18] Laut Aussage des vorgenannten Autors verwenden Reedereien zum Teil geringere Werte (0,052 statt 0,075) zur Berechnung der Windkraft.

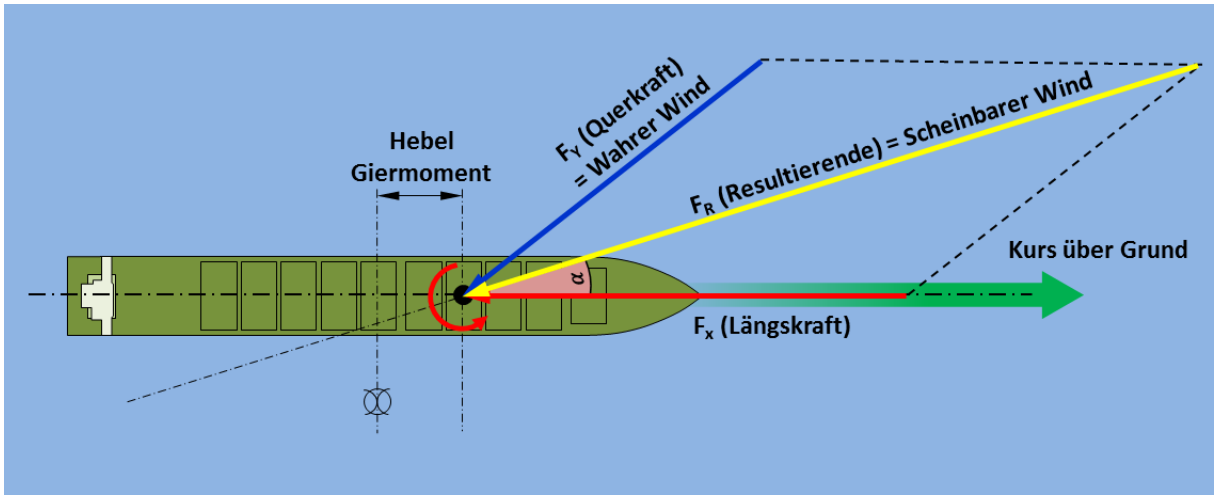


Abb. 56: Koordinaten, Windkräfte und Momente

Der Koeffizient Cy 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. Blendermann[19]. Für die ULCS – Containerschiffe wurden von W. Blendermann keine Werte ermittelt, da diese Schiffsgrößen seinerzeit noch nicht geplant waren. Näherungsweise wurden daher für die hier in Rede stehende Untersuchung die Werte für einen Autotransporter bzw. ein Schwimmdock angenommen.

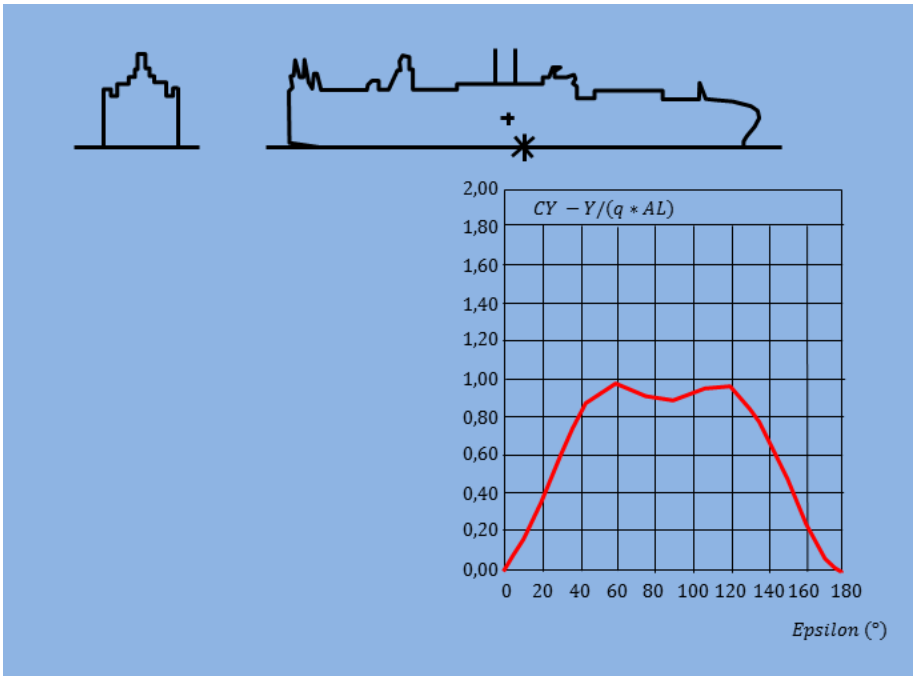


Abb. 57: Der Koeffizient Cy am Beispiel eines Autotransporters

Aus der Abbildung 45 wird ersichtlich, dass der maximale Wert für Cy mit 1,0 angenommen werden kann.

Danach ergibt sich die folgende Berechnungsgrundlage:

[19] W. Blendermann: ”Bericht 574 - Wind loading of ships – Collected Data from Wind Tunnel Tests in uniform flow“, Institut Schiffbau der Universität Hamburg, 1996.

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

Legende:
Ywind = Querkraft erzeugt durch Windeinfluss [t]
A_L = Lateralfläche des Überwasserschiffes [m²]
v = relative Windgeschwindigkeit [m/s]

Schiffstyp	Tiefgang	Lateralfläche	Frontfläche
RoRo-Schiff	7,50 m	3913 m²	815 m²
Mehrzweckschiff	10,25 m	9900 m²	1467 m²
Massengutfrachter (flüssig)	10,85m	1787 m²	489 m²
Massengutfrachter (fest)	10,40 m	1525 m²	417 m²

Tabelle 14: Windangriffsflächen der ausgewählten Schiffe

Nach Schneekluth[20] sollte für ungünstige Fälle (z.B. Böeneinfall) mit einem Faktor > 1 (hier: 1,3) gerechnet werden.

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

Für das Mehrzweckschiff (L = 296 m) ergibt sich für das stehende Schiff bei 4 Bft (8 m/s):

$$y_{wind} = 1{,}3 * 0{,}646 * 64 m/s^2 * 9.900 m^2 = 537 kN = 52{,}5 t$$

und bei einer Windstärke von 8 Bft (18 m/s):

$$y_{wind} = 1{,}3 * 0{,}646 * 324 m/s^2 * 9900 m^2 = 2.780 kN = 265{,}7 t$$

Erkennbar ist eine nichtlineare Steigung, sodass eine Verdopplung der Windstärke von 4 Bft auf 8 Bft die auftretenden Kräfte um über das fünffache steigen lässt. Die größten Kräfte entstehen bei schräg einfallenden Winden. Generell erzeugen relative Windrichtungen von 30° - 40° von den Seiten die

[20] H. Schneekluth: "Hydromechanik zum Schiffsentwurf", Köhler Verlag, 1988.

größten Kräfte[21]. Allerdings lässt sich aus Blendermanns Versuchen ableiten, dass dieser Wert stark variiert.

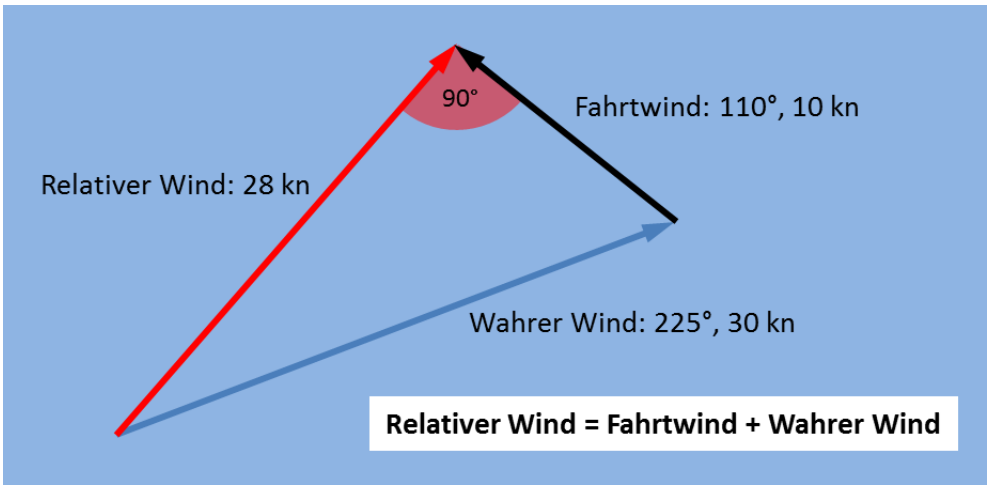


Abb. 58: Beispiel FüG = 10 kn, Wind SW 7 Bft

Da bei dem verwendeten RoRo-Schiff und dem Mehrzweckschiff, befindet sich der Angriffspunkt der Windkräfte auf Grund der Bauform und dem Beladungszustand jeweils in der Nähe des Hauptspantes. Bei dem Tanker und bei dem Massengutfrachterliegt dieser Punkt hinter dem Hauptspant.

Der Angriffspunkt der hydrodynamischen Kräfte, hervorgerufen durch die winddruckbedingte veränderte Lage des Schiffes, liegt vor dem Hauptspant. Daraus folgt, dass bei den kleineren Einheiten eine gleich große Windkraft ein größeres Giermoment erzeugt.

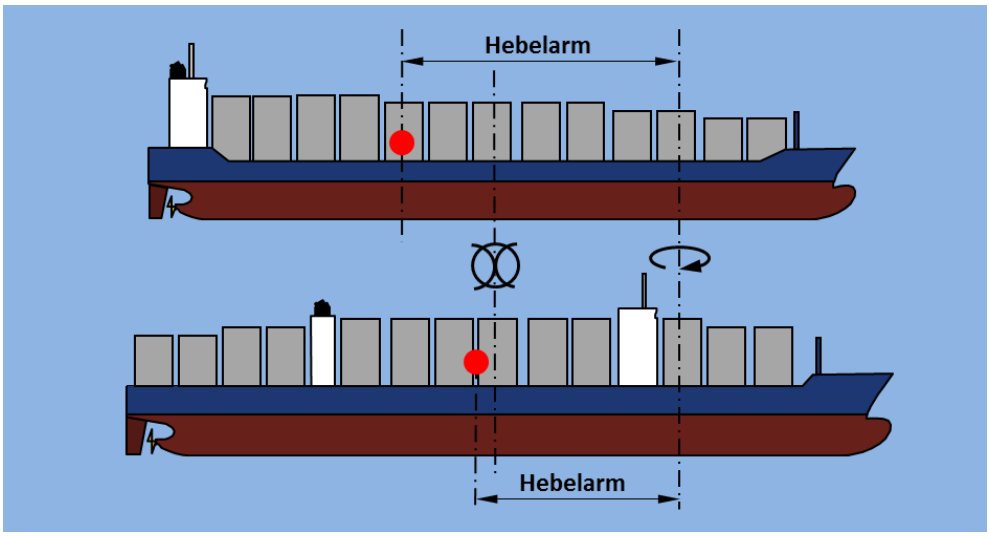


Abb. 59: Windmoment

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.

[21] H. Schneekluth: „Hydromechanik zum Schiffsentwurf", Köhler Verlag, 1988.

5.3 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 Manövrierverhalten 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.

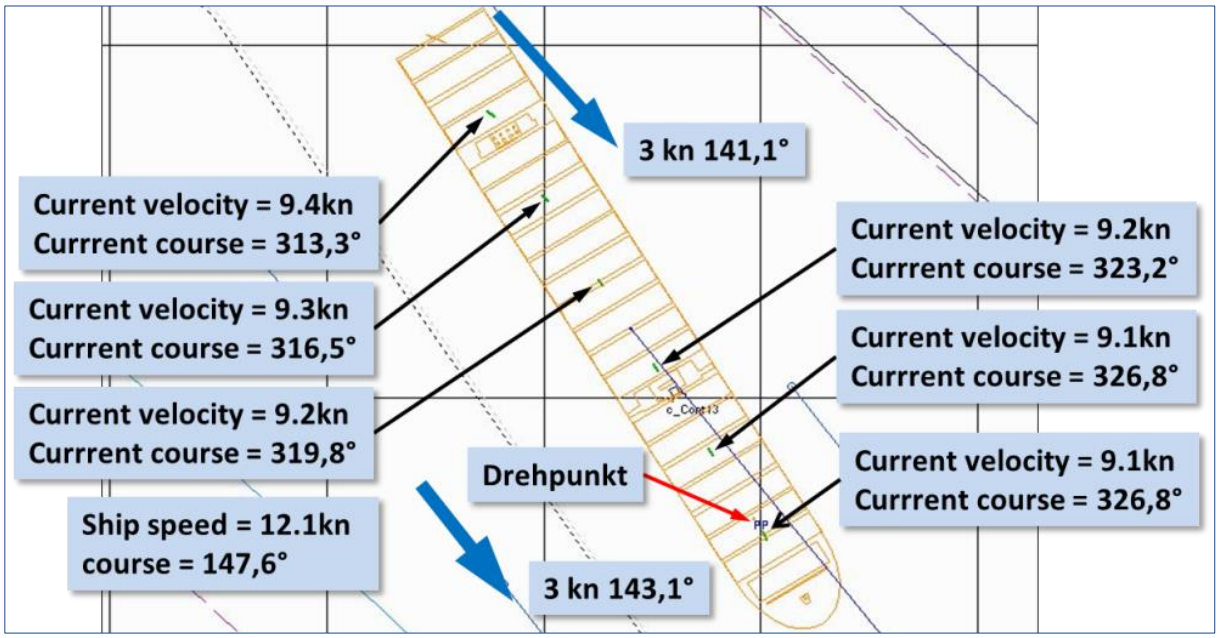


Abb. 60: Einfluss des Stroms auf den Bahnverlauf

Überschlagsmäßige Bestimmung der Kräfte hervorgerufen durch die herrschenden Stromverhältnisse

Kräfte die auf das seitliche Unterwasserschiff wirken:

$$Strom\ [t] = \frac{40 * v^2 * (Lpp * T)}{1000}$$

Wobei v die Geschwindigkeit des Stromes in m/s ist, Lpp entspricht der Länge zwischen den Loten und T dem Tiefgang des Schiffes. Bei der Berechnung der Kräfte in Längsschiffsrichtung wird der Wert Lpp durch die Breite des Schiffes ersetzt.

Kräfte die in längsschiffs Richtung auf Unterwasserschiff wirken:

$$Wirkung\ des\ Stromes[t] = \frac{40 * v^2 * (B * T)}{1000}$$

Bezogen auf eine Stromgeschwindigkeit von 3,6 kn (1,54 m/s) ergeben sich die folgenden Werte.

Verhältnis Wassertiefe zu Tiefgang	Wirkung hervorgerufen durch den Strom
WT / T > 3	Strom [t
WT / T > 1,5	Strom [t] * 110 /40
WT / T > 1,2	Strom [t] * 150 /40
WT / T > 1,1	Strom [t] * 185 /40

Tabelle 15: Lateralkräfte hervorgerufen durch den Strom

Abhängigkeit vom Verhältnis Wassertiefe zu Tiefgang müssen die Werte noch korrigiert werden, da bei einer geringen Kielfreiheit, sich der Effekt überproportional verstärkt.

Verhältnis Wassertiefe zu Tiefgang	Wirkung hervorgerufen durch den Strom
T > 1,5	Strom [t] * 110 /40
T > 1,2	Strom [t] * 150 /40
T > 1,1	Strom [t] * 185 /40

Tabelle 16: Korrekturwerte für geringe Wassertiefen

Wie aus der Abbildung unten ersichtlich wird, ergeben sich hier Kräfte von 61,3 – 100,1 t. die auf das Schiff wirken.

Schiff	Breite	Tiefgang	Verhältnis Wassertiefe zu Tiefgang	Lateralkraft	Lateralkraft korrigiert
RoRo-Schiff	26,5 m	7,50 m	2,17	18,9 t	52,0 t
Mehrzweckschiff	37,4 m	10,25 m	1,59	36,4 t	100,1 t
Tanker	27,34 m	10,85m	1,50	28,1 t	77,3 t
Massengutfrachter	22,60 m	10,40 m	1,51	22,3 t	61,3 t

Tabelle 17: Lateralkräfte korrigiert für geringe Wassertiefen

5.4 Auswirkungen der Effekte auf die verwendeten Schiffe

5.4.1 RoRo-Schiff

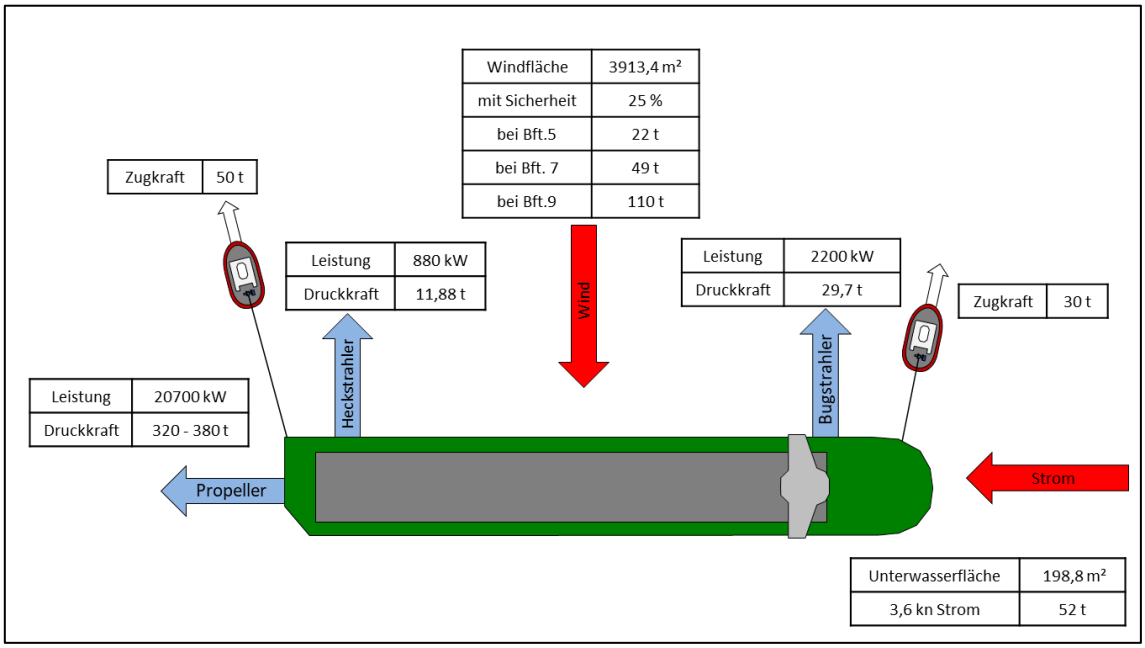


Abb. 61: Kräfte - RoRo - Schiff

Das RoRo-Schiff verfügt auf Grund seiner hohen Antriebsleistung über ausreichend Schub durch den Propeller um die längsschiff angreifenden Kräfte durch den Strom auszugleichen. Dadurch, dass der Wind in der Nähe des Hauptspantes angreift, wird kaum ein Drehmoment erzeugt, die entstehenden Kräfte können durch Ruder und Propellerschub kontrolliert werden.

Grundsätzlich ermöglichen die Querstrahler ein sicheres An- und Ablegen bis Windstärke 5 Bft. Mit Hilfe der vorhandenen Schlepper ist ein sicheres An- und Ablegen vis 7 Bft. Möglich. Theoretisch wäre auch ein An- und Ablegen bis 9 Bft. möglich, vorausgesetzt der gesamte Schlepperschub geht in den Pfahlzug, was nur bei stehendem Schiff (FdW=0) bzw. Stauwasser möglich ist. Von diesem Standpunkt aus betrachtet scheint die Schlepperkapazität für Windverhältnisse 7 Bft (in Böen 9 Bft) nicht ausreichend.

5.4.2 Mehrzweckschiff

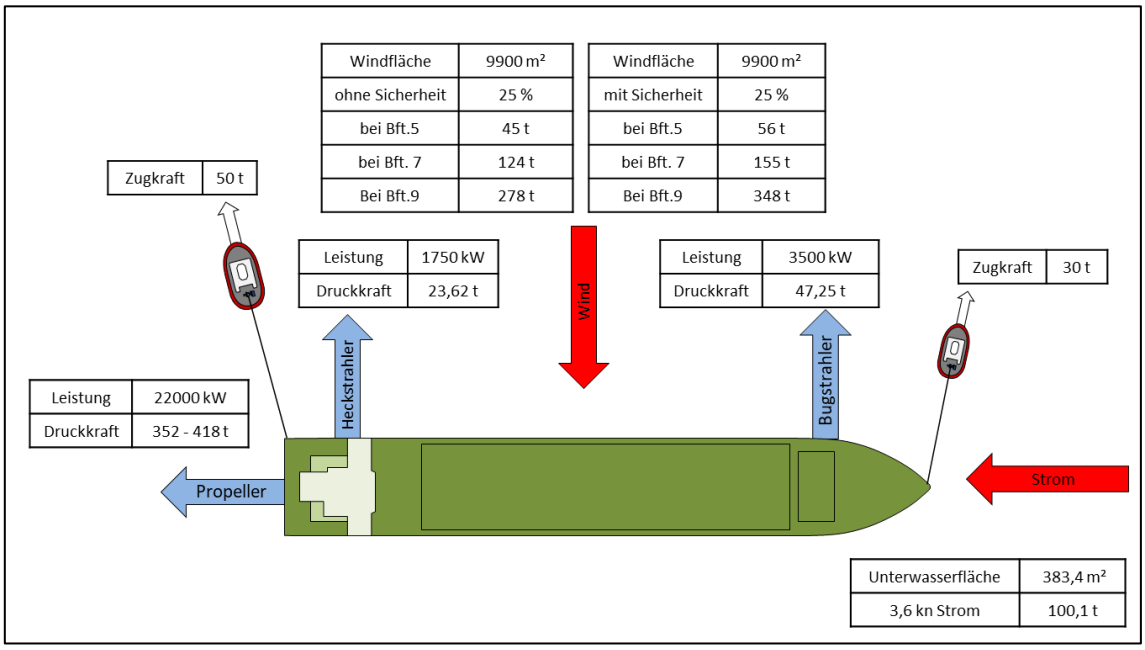


Abb. 62: Kräfte Mehrzweckschiff

Das Mehrzweckschiff verfügt auf Grund seiner Antriebsleistung über ausreichend Schub durch den Propeller um die längsschiff angreifenden Kräfte durch den Strom auszugleichen. Allerdings deutlich weniger als das RoRo-Schiff. Zusätzlich muss noch bedacht werden, dass das Mehrzweckschiff über ein ungünstiges Verhältnis von Leistung (kW) zu Verdrängung (t) verfügt und insofern Schubleistung nur deutlich verzögert zur Verfügung steht.

Dadurch, dass der Wind in der Nähe des Hauptspantes angreift, wird kaum ein Drehmoment erzeugt, die entstehenden Kräfte können durch Ruder und Propellerschub kontrolliert werden.

Grundsätzlich ermöglichen die Querstrahler ein sicheres An- und Ablegen bis Windstärke 5 Bft. Schon bei 7 Bft ist die vorgegebene Schleppleistung nicht ausreichend. Bedenkt man die Verlustleistung durch Eigenfahrt ergibt sich theoretisch die Notwendigkeit, mindestens Schlepper mit einem Pfahlzug von jeweils 80 t einzusetzen. Böen von 9 Bft dürfen nur kurzeitig auftreten und erfordern deutlich mehr Schleppleistung.

5.4.3 Tanker

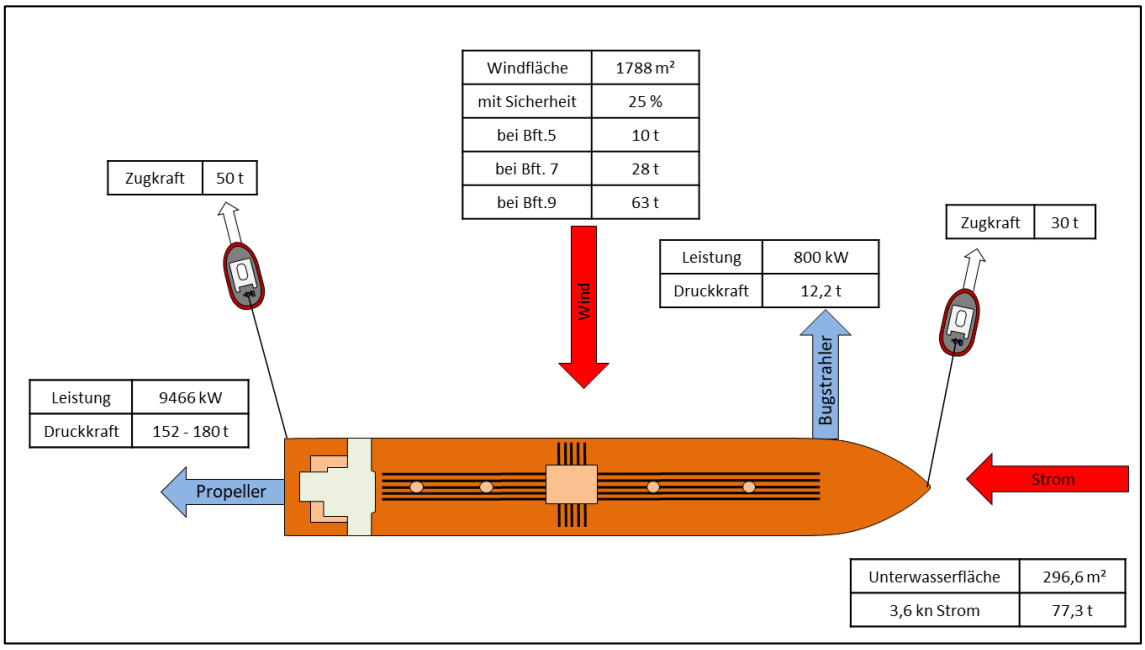


Abb. 63: Kräfte Tanker

Der Tanker verfügt auf Grund seiner geringen Antriebsleistung gerade über ausreichend Schub durch den Propeller um die längsschiff angreifenden Kräfte durch den Strom auszugleichen und einen gewissen Vortrieb zu erzeugen. Dadurch, dass der Wind in nicht der Nähe des Hauptspantes angreift, wird ein Drehmoment erzeugt, die entstehenden Kräfte können nur schwer durch Ruder und Propellerschub kontrolliert werden.

Der Bugstrahler dient lediglich der Unterstützung und ermöglicht kein sicheres An- und Ablegen, auch nicht bei Windstärken bis 5 Bft. Mit Hilfe der Schlepper wäre ein An- und Ablegen bis 5 Bft sicher möglich .Bei Windstärken > 5 Bft muss zunehmend das Drehmoment des Schiffes (luvgierig) von den Schleppern mit kontrolliert werden und auf Grund der geringen Leistung die Positionierung in Längsschiffsrichtung mit durch die Schlepper vorgenommen werden. Deswegen scheint hier ein Pfahlzug von vorne 50 t und achtern 80 t als notwendig.

5.4.4 Massengutfrachter

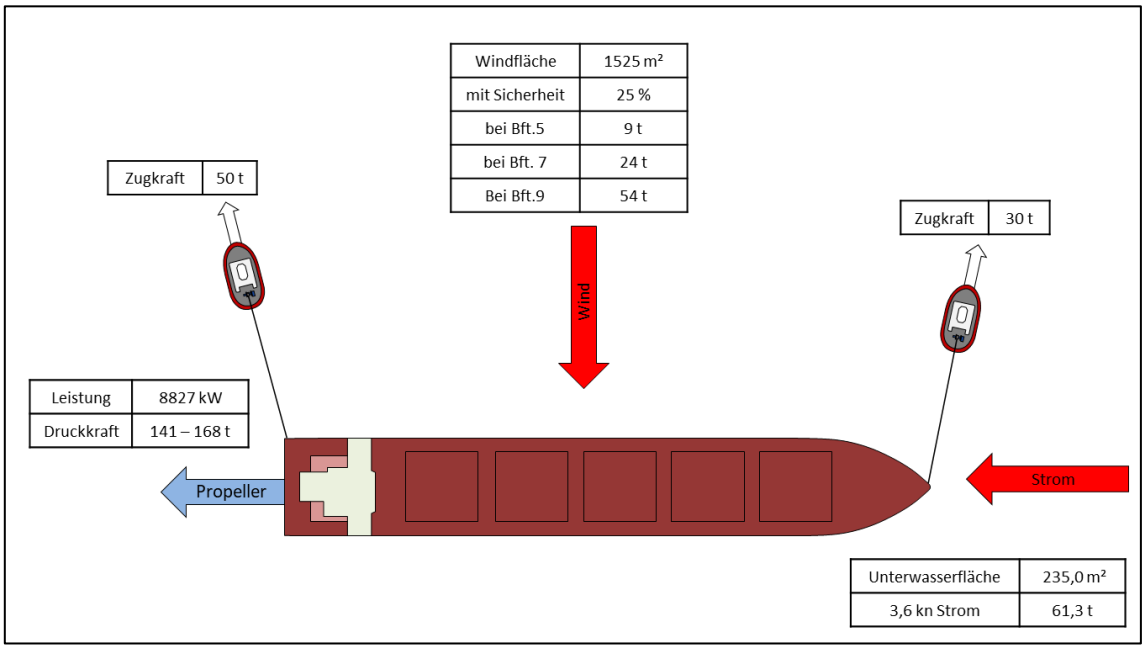


Abb. 64: Kräfte - Massengutschiff

Der Massengutfrachter verfügt auf Grund seiner geringen Antriebsleistung gerade über ausreichend Schub durch den Propeller um die längsschiff angreifenden Kräfte durch den Strom auszugleichen und einen gewissen Vortrieb zu erzeugen. Dadurch, dass der Wind in nicht der Nähe des Hauptspantes angreift, wird ein Drehmoment erzeugt, die entstehenden Kräfte können nur schwer durch Ruder und Propellerschub kontrolliert werden.

Da er über keine Querstahleinrichtungen verfügt ist ein sicheres An- und Ablegen ohne Schlepper nicht möglich. Mit Hilfe der Schlepper ist ein An- und Ablegen bis 5 Bft sicher möglich. Bei Windstärken > 5 Bft muss zunehmend das Drehmoment des Schiffes (luvgierig) von den Schleppern mit kontrolliert werden und auf Grund der geringen Leistung die Positionierung in Längsschiffsrichtung mit durch die Schlepper vorgenommen werden. Deswegen scheint hier ein Pfahlzug von vorne 50 t und achtern 80 t als notwendig.

6 Auswertung der Ergebnisse

6.1 Versuchsläufe

Im Rahmen der Simulation wurden insgesamt 46 Simulationsläufe mit jeweils einem Eigenschiff und zwei Schleppern durchgeführt. Von diesen 46 Simulationsläufen wurden 38 für die Erstellung des Gutachtens genutzt. Eine vollständige Liste der Versuchsläufe ist im Anhang dieses Abschlussberichtes beigefügt.

Tag/Lauf	Szenario	Üb	Eigenschiff	Simulation von (Manöver)	Simulation nach (Manöver)	Richt.	Stärke	HW	Richt.	Stärke	Böen
4	3	an	Ro-Ro Schiff	Seebäderbrücke	Liegeplatz 7	319°	3,6 kn	1,6 m	225°	18 kn	30 kn
4	3	an	Ro-Ro Schiff	Seebäderbrücke	Liegeplatz 7	319°	3,6 kn	1,6 m	225°	18 kn	30 kn
10	6	an	Mehrzweckschiff	Seebäderbrücke	Liegeplatz 6	319°	3,6 kn	1,6 m	225°	18 kn	44 kn
11	6	an	Mehrzweckschiff	Seebäderbrücke	Liegeplatz 6	319°	3,6 kn	1,6 m	225°	18 kn	44 kn
39	10	an	Bulkcarrier	Seebäderbrücke	Liegeplatz 7	319°	3,0 kn	1,6 m	225°	18 kn	44 kn
40	10	an	Bulkcarrier	Seebäderbrücke	Liegeplatz 7	319°	3,0 kn	1,6 m	225°	18 kn	44 kn
43	12	an	Bulkcarrier	querab Liegeplatz 3	Liegeplatz 6	141°	3,0 kn	1,8 m	225°	18 kn	44 kn
44	12	an	Bulkcarrier	querab Liegeplatz 3	Liegeplatz 6	141°	3,0 kn	1,8 m	225°	18 kn	44 kn

Tabelle 18: Nicht in die Simulation einbezogene Läufe

Die Aufgabenstellung wurde folgendermaßen umgesetzt:

- RoRo - Schiff: 11 Simulationsläufe,
- Mehrzweckschiff: 20 Simulationsläufe,
- Tanker, Mehrzweckschiff: 7 Simulationsläufe.

Bezogen auf die beiden zu untersuchenden Liegeplätze bedeutete das:

- Liegeplatz 6: 20 Simulationsläufe,
- Liegeplatz 7: 18 Simulationsläufe.

Schiffstyp	Manöver	Anzahl
Mehrzweckschiff	Anlegen	15
	Ablegen	5
Gesamt		**20**

Tabelle 19: Simulationsläufe Liegeplatz 6

Schiffstyp	Manöver	Anzahl
RoRo-Schiff	Anlegen	7
	Ablegen	4
Tanker	Anlegen	2
	Ablegen	1
Massengutfrachter	Anlegen	3
	Ablegen	1
Gesamt		**18**

Tabelle 20: Simulationsläufe Liegeplatz 7

6.2 Kriterien für die Evaluierung der Simulationsläufe

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

Die Anlegemanöver wurden anhand folgender Kriterien bewertet:

- Beeinflussung des durchlaufenden Verkehrs auf der Elbe
- notwendige Schlepperkapazität für die Durchführung des Manövers und
- Beeinflussung / Gefährdung der Tn. 33 durch das Manöver

Die Ablegemanöver wurden anhand folgender Kriterien bewertet:

- Beeinflussung des durchlaufenden Verkehrs auf der Elbe
- notwendige Schlepperkapazität für die Durchführung des Manövers und
- Beeinflussung / Gefährdung der Tn. 33 durch das Manöver

6.2.1 Beeinflussung des durchgehenden Verkehrs

Im Rahmen der Simulation sollte untersucht werden inwieweit es zu einer Beeinflussung des durchgehenden Verkehrs während der An- und Ablegemanöver kommt.

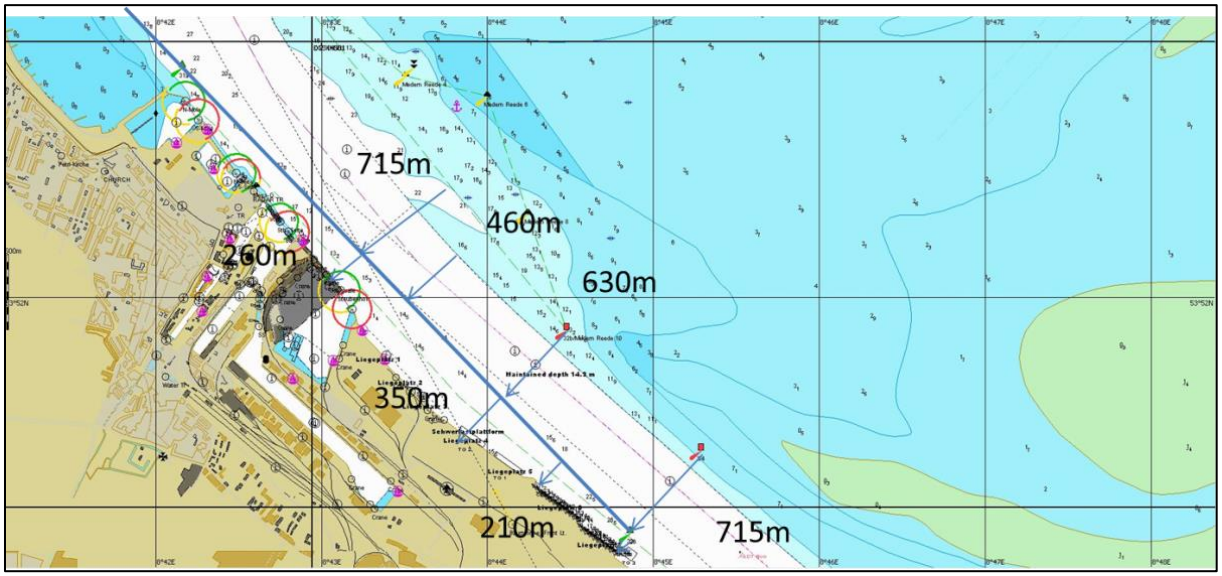


Abb. 65: südlicher Fahrwasserrand

Befindet sich das Schiff während des An- bzw. Ablegens außerhalb des Fahrwassers kommt es zu keiner Beeinflussung des durchgehenden Verkehrs.

Weitere Manöver die deutlich südlich der Radarlinie durchgeführt werden erlauben einen durchgehenden Verkehr, schließen aber eine Begegnung aus.

6.2.2 Liegeplatz 7

Bei den Manövern bezüglich Liegeplatz 7 wurden während der Simulationsläufe die folgenden Konstellationen gewählt.

Schiffstyp	Manöver	Anzahl
RoRo-Schiff	Anlegen	7
	Ablegen	4
Tanker	Anlegen	2
	Ablegen	1
Massengutfrachter	Anlegen	3
	Ablegen	1
Gesamt		**18**

Tabelle 21: Liegeplatz 7 An- und Ablegen

Die Manöver der einkommenden Schiffe begannen jeweils mit einer Geschwindigkeit von ca. 6kn über Grund

Gemessen wurde Zeitraum von Manöverbeginn bis Ende des Manövers (Schiff fest)

6.2.3 Schleppertypen

Während der Simulationsläufe kamen drei Schleppertypen zum Einsatz

- Azimuth Sten Drive Schlepper (ASD)
- Azimuth Tractor Drive Schlepper (ATD)
- Voith Schneider Schlepper (VS)

Diese sollen hinsichtlich ihrer Eignung für die Durchführung der Manöver bewertet werden. Da es während der Manöver hauptsächlich um die Machbarkeit ging und die gleichen Manöver nicht mit verschiedenen Schlepperkonstellationen gefahren werden konnten, konnten nur geringe Unterschiede bezüglich der Eignung der verwendeten Schlepper festgestellt werden.

Hinsichtlich der Bewertung von Schleppertypen gilt es bei der Bewertung folgende wichtige Kriterien.

- Pfahlzug
- Manövrierfähigkeit
- Reaktionszeit
- Schlepper Perfomance

Generell gilt zu sagen, dass auf Grund der Besonderheiten des Reviers (strömendes Gewässer) Schraubenschlepper nur eingeschränkt verwendet werden können. Reine Schraubenschlepper sind z.B. nicht in der Lage das Schiff im Strom an die Pier zu drücken. Stattdessen sollten Schlepper mit omnidirektionalen Antrieb (ASD, ATD, Voith-Schneider, Rotortug) zum Einsatz kommen.

Beim Einsatz als Kopfschlepper nähern sich Azimuth Stern Drive Schlepper dem Schiff „bow to bow“. Dies beinhaltet das Risiko der starken Annäherung der beiden Fahrzeuge und beim Schleppvorgang schleppt der ASD mit dem Bug voraus, d.h. bei starkem Seegang, besteht die Gefahr von überkommenden Wellen. Viele ASD Schlepper verfügen zwar auch über eine achtere Winde, wird diese benutzt, arbeitet der Schlepper wie ein konventioneller Schlepper. Deswegen kommt die achtere Winde nur bei Überseeverschleppungen zum Einsatz.

Azimuth Tractor Drive Schlepper nähern sich dem Schiff wie ein konventioneller Schlepper, da sich die Winde auf dem Achterdeck befindet. Sonst ist das Verhalten ähnlich wie das eines ASD Schleppers

Voith Schneider Schlepper benötigen im Vergleich zu den ASD und ATD-Schleppern durch die höheren Leistungsverluste im Antrieb beim Manövrieren eine höhere Maschinenleistung um einen vergleichbaren Pfahlzug zu erzielen. Auf der anderen Seite sind Voith Schneider Schlepper auf Grund ihres Antriebes sehr reaktionsschnell und können deswegen sehr gut in engen Hafenbereichen arbeiten.

Unterschiede zwischen den omnidirektionalen Schleppern sind im Rahmen der Simulation kaum auszumachen gewesen und sind auch sehr von der genauen Spezifikation eines Schleppers abhängig. Grundsätzlich hat ein Traktor aber leichte Vorteile gegenüber einem ASD Schlepper.bei der Positionierung im Strom. Dieser liegt vor allem im leicht kürzerem Hebelarm zwischen dem towing point und den Antriebsanlagen.

6.2.4 Liegeplatz 6 - Mehrzweckschiff

Bei den Manövern bezüglich Liegeplatz 6 wurden während der Simulationsläufe die folgenden Konstellationen gewählt.

Schiffstyp	Manöver	Anzahl
Mehrzweckschiff	Anlegen	15
	Ablegen	5
Gesamt		**20**

Tabelle 22: Liegeplatz 6 – An- und Ablegen

6.3 Liegeplatz 7

6.3.1 Anlegemanöver von See kommend

6.3.1.1 RoRo-Schiff

Tag/Lauf	Szenario	Landseite	Dauer Manöver	Richt.	Stär	Richt.	Stärk	Böen
1	*1*	Stb.	00:00	*0 °*	*0,0 kn*	*0 °*	*0 kn*	-
2	*2*	Stb.	00:34	*141 °*	*3,0 kn*	*225 °*	*18 kn*	*30 kn*
12	1	Stb.		*0 °*	*0,0 kn*			
13	14	Stb.	*00:34*	*319 °*	3,6 kn	340 °	18 kn	*30 kn*
14	13	Stb.	*00:24*	*141 °*	*3,0 kn*	340 °	18 kn	*30 kn*

Tabelle 23: Liegeplatz 7 – Anlegemanöver RoRo-Schiff

Es wurden mit dem RoRo-Schiff wg. der Lage der Rampe ausschließlich Anlegemanöver mit Stb.-Seite als Landseite gefahren. Zwei Simulationsläufe (1, 13) waren Eingewöhnungsläufe und wurden ohne Wind und ohne Strom gefahren.

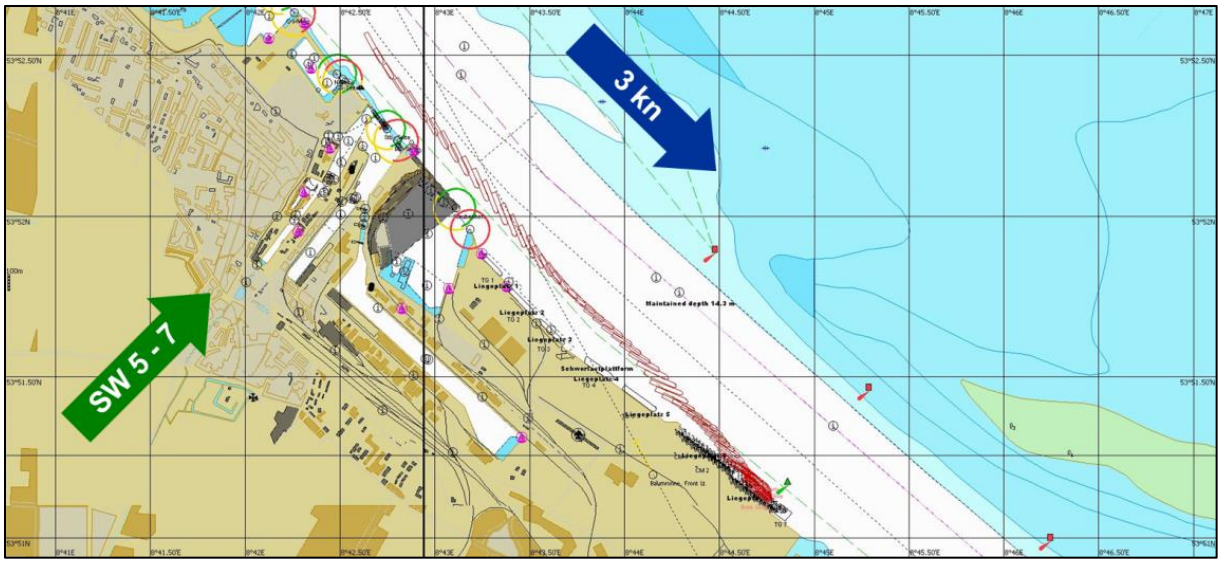


Abb. 66: Anlegemanöver Liegeplatz 7 - RoRo-Schiff[22]

Alle Manöver wurden bei den untersuchten Windrichtungen und Stromverhältnissen mit einer Schlepperkapazität von 1 x 30t (Vorschlepper) und 1 x 50t (Achterschlepper) Pfahlzug gefahren.

Um sich von der Tn 33. sicher freizuhalten kam es während des Anlaufens an den Liegeplatz 7 bei einlaufendem Strom in beiden Fällen zu einer starken Annäherung an den Liegeplatz 6. Der Abstand betrug teilweise weniger als 10 m. Der Abstand zur Tn 33. blieb in beiden Fällen mehr als 100m.

.

[22] Simulationslauf 13

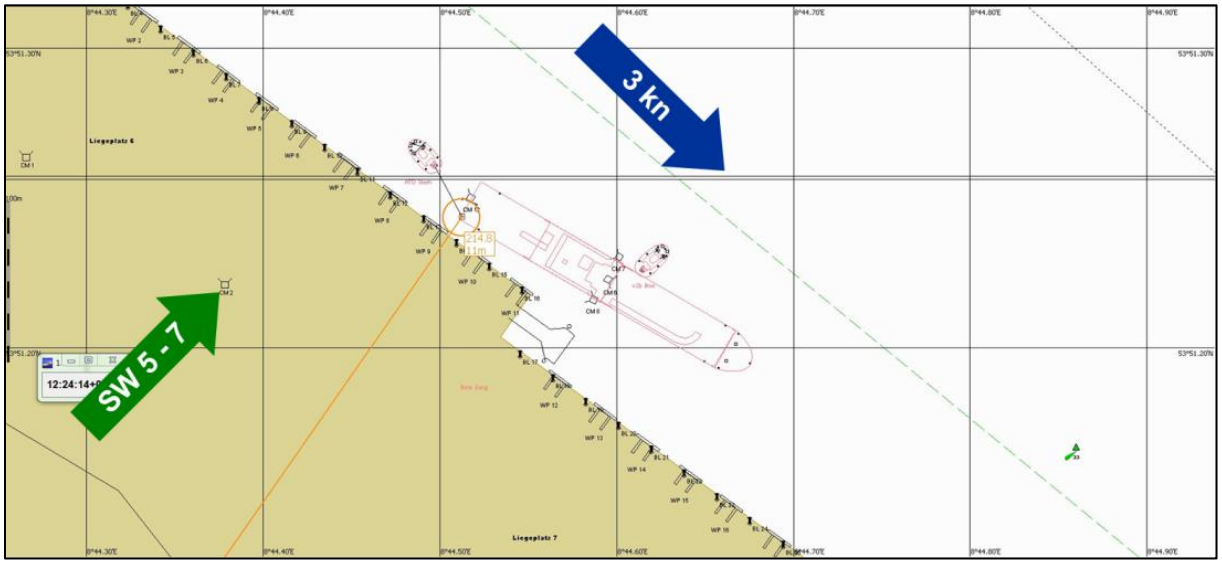


Abb. 67: Anlegen Liegeplatz 7 - Abstand

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Das Anlaufen des Liegeplatzes ist mit Schlepperkapazitäten von 1 x 30 t. (Vorschlepper) und 1 x 50 t. (Achterschlepper) möglich**
- **Bei einlaufendem Strom führt das Manöver auf Grund der Lage der Tn. 33 zu einer dichten Annäherung an den Liegeplatz. Eine höherer Pfahlzug des Achterschleppers (80 t.) würde das Risiko der Annäherung minimieren**

6.3.1.2 Tanker und Massengutfrachter

Tag/Lauf	Szenario	Landseite	Dauer Manöver	Eigenschiff	Richt.	Stär	Richt.	Stärk	Böen
19	8	Stb.	*00:47*	Tanker	*141 °*	*3,0 kn*	225 °	18 kn	*44 kn*
20	20	Bb.	*00:36*	Tanker	*141 °*	*3,0 kn*	225 °	18 kn	*30 kn*
33	19	Stb.	00:27	Bulkcarrier	*141 °*	*3,0 kn*	340 °	18 kn	*44 kn*
41	10	Stb.	00:47	Bulkcarrier	*319 °*	3,6 kn	225 °	*18 kn*	*44 kn*
45	11	Bb.	-	Bulkcarrier	*319 °*	3,6 kn	225	*18 kn*	44

Abb. 68: Liegeplatz 7 - Tanker und Massengutfrachter von See kommend

Der Tanker und das Massengutschiff haben im Vergleich zum RoRo-Schiff und zum Mehrzweckschiff ein kleineres Überwasserschiff und verfügen nur über geringe (Tanker) oder keine (Massengutfrachter) Querstrahleinrichtungen sowie eine geringe Antriebsleistung.

Insbesondere bei einlaufendem Strom setzt die Winddrift die Schiffe bei ablandigen Winden sehr schnell in den Norden, da die Hauptmaschine nur begrenzt eingesetzt werden kann, um nicht zu viel Geschwindigkeit zusätzlich zu den 3,0 kn Strom aufzubauen. Laut Aussage der beteiligten Lotsen würde in diesem Fall immer Bb. als Landseite gewählt werden.

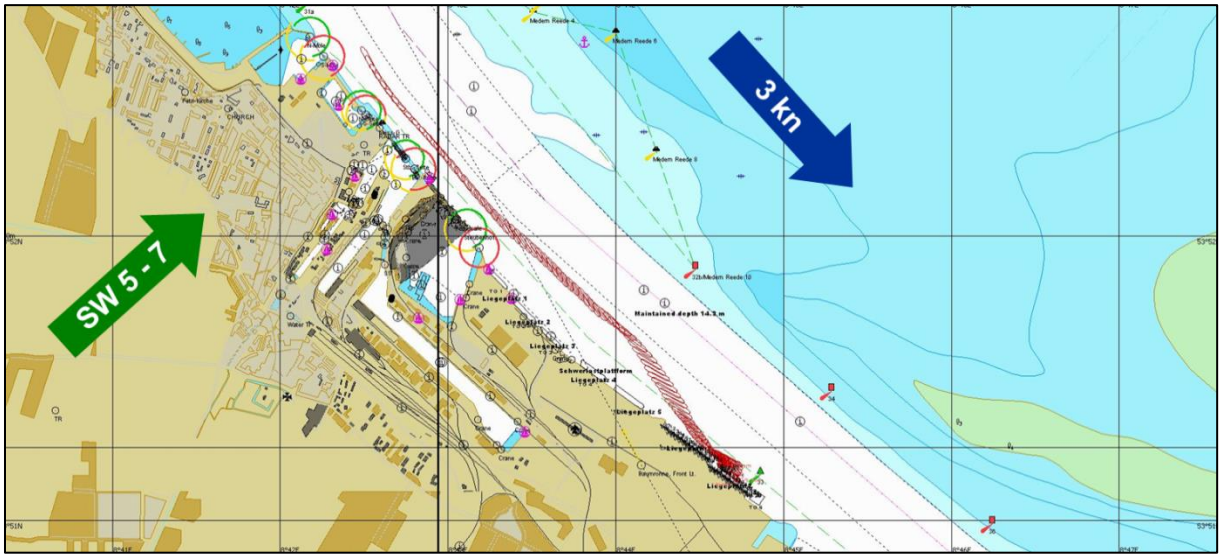


Abb. 69: Anlegemanöver Liegeplatz 7 - Anlauf Tanker[23]

Die Beteiligten Schlepper mit einer Schleppleistung von 30t (Vorschlepper) und 50t (Achterschlepper) sind kaum in der Lage das Schiff Richtung Pier zu ziehen. Das Schiff verweilt relativ lange am südlichen Trassenrand im Fahrwasser.

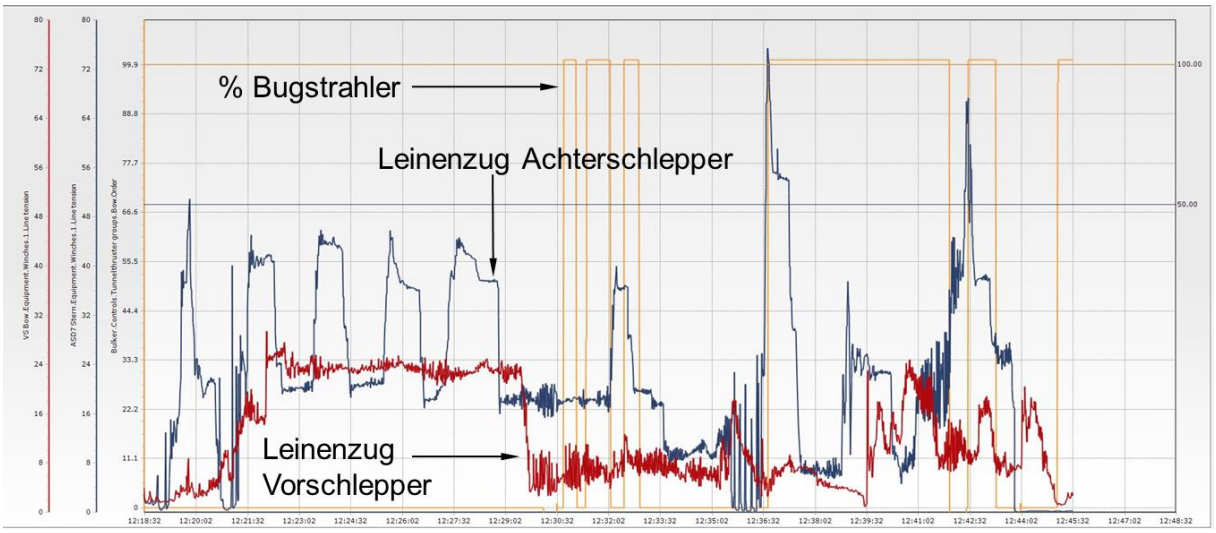


Abb. 70: Querstrahler und Leinenkräfte

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Um das Anlaufen bei allen Wind- und Stromverhältnissen zu gewährleisten ist eine Schlepperkapazität von 80 t. für den Achterschlepper und 50 t. für den Vorschlepper notwendig.**
- **Durch den erhöhten Pfahlzug wäre es möglich, das Schiff weiter südlich zu halten und damit das Fahrwasser frühzeitig zu verlassen**
- **Mit den vorhandenen Schlepperkapazitäten war es nicht möglich das Massengutschiff bei ablandigem Wind im südlichen Teil des Fahrwassers zu drehen.**

[23] Simulationslauf 19

6.3.2 Anlegemanöver Liegeplatz 7 vom NOK kommend

Tag/Lauf	Szenario	Landseite	Drehen	Dauer Manöver	Eigenschiff	Richt.	Stär	HW	Richt.	Stärk	Böen
15	23	Stb.	nein	*00:29*	Ro-Ro Schiff	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	225 °	18 kn	*30 kn*
16	22	Stb.	ja	-	Ro-Ro Schiff	*141 °*	3,0 kn	0,9 m	225 °	18 kn	*30 kn*
46	28	Bb.	nein	00:26	Massengutfrachter	*319 °*	3,0 kn	1,6 m	225	*18 kn*	44

Abb. 71: Liegeplatz 7 - Tanker und Massengutfrachter vom NOK kommend

6.3.2.1 RoRo-Schiff

Bedingt durch die Lage der RoRo-Rampe steht für dieses Schiff nur die Stb.-Seite als Landseite zur Verfügung. Das Drehen des RoRo-Schiffes erfolgte nicht vor der Pier, sondern im Fahrwasser. Ausgehend von einer Startposition zwischen Tn. 36 und Tn. 38 mit 6 kn Fahrt über Grund ist für das Manöver eine Zeitdauer von 30 Minuten zu veranschlagen. Bei ausgehendem Strom wurde das Drehmanöver im Bereich der Tn.34 begonnen, bei einlaufendem Strom dagegen deutlich weiter nördlich querab von Liegeplatz 1.

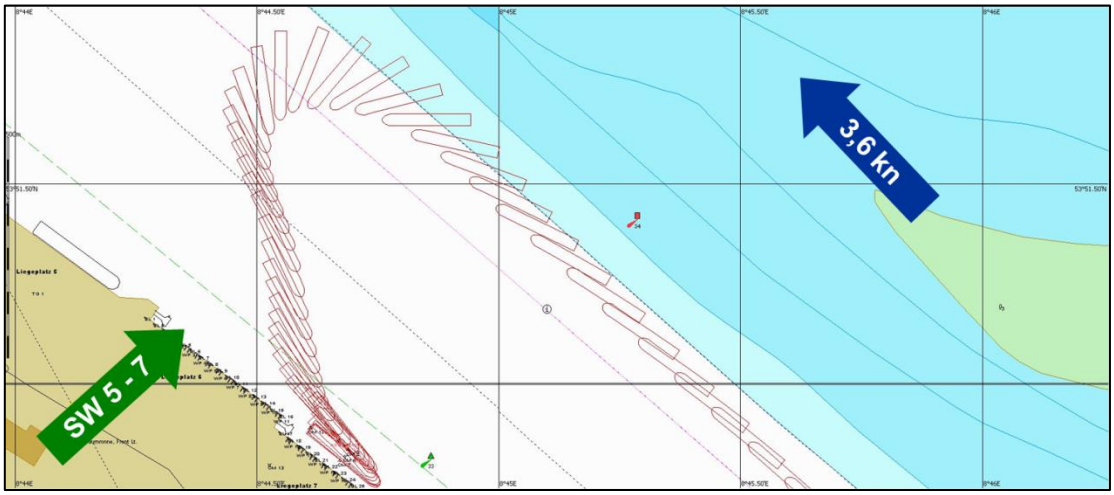


Abb. 72: Liegeplatz 7- Anlaufen vom NOK kommend (RoRo-Schiff mit Stb.-Seite)[24]

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Durch das Drehen im nördlichen Teil des Fahrwassers kommt es zu einer Behinderung des durchgehenden Verkehrs.**
- **Bei der gewählten Windstärke war das Manöver mit einem Achterschlepper mit 50t Pfahlzug und einem Vorschlepper mit 30t Pfahlzug durchführbar. Sollten während des Manövers Böen der Stärke 9 auftreten könnte die Kapazität sich als nicht ausreichend erweisen**

[24] Simulationslauf 15

6.3.2.2 Tanker und Massengutschiff

In diesem Fall wurde ein Versuchslauf mit dem Massengutfrachter durchgeführt. Das Anlegen erfolgte erschwerend mit dem Strom. Der gewählte Kurs führte zu einem kreuzen des Fahrwassers in einem Winkel von 20°. Dadurch bedingt ist über einen längeren Zeitraum ca. 30 Minuten kein durchgehender Verkehr möglich.

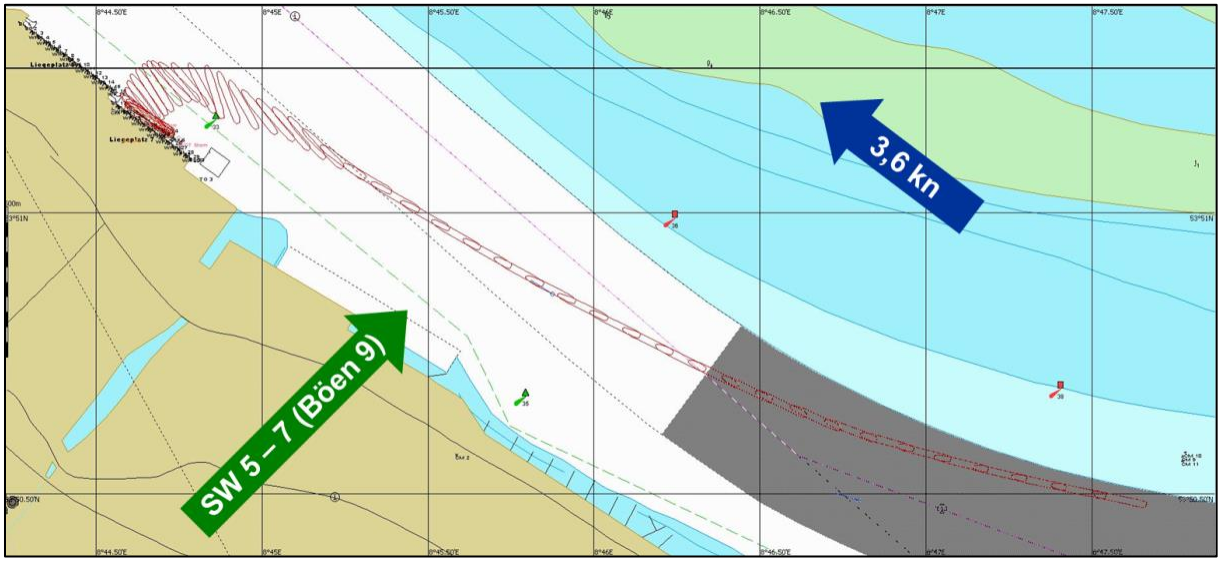


Abb. 73: Liegeplatz 7- Anlaufen vom NOK kommend (Massengutfrachter mit Bb.-Seite)

Durch die geringe Maschinenleistung im Vergleich zum Verdrängung war der Massengutfrachter nicht in Lage sich im Strom auf einer Position querab zur Pier zu halten. Zum Ausrichten des Bugs mussten zudem regelmäßig voraus Manöver gegeben.

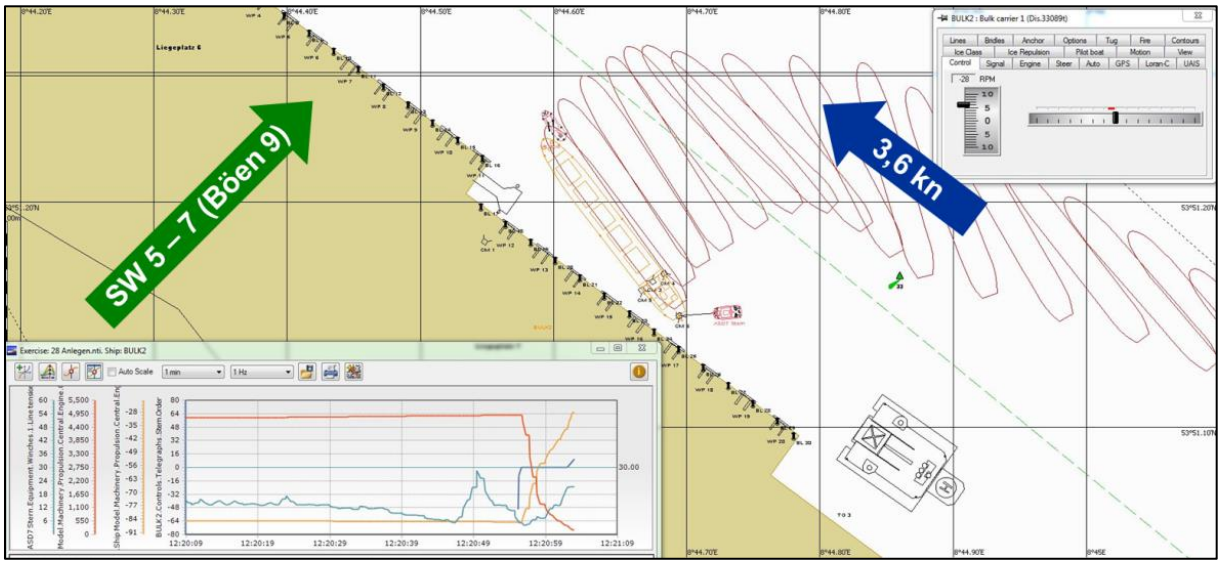


Abb. 74: Liegeplatz 7 - Annäherung des Massengutfrachters an die Pier

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Das Manöver konnte nicht sicher durchgeführt werden**
  - **Es kam zu einer längerfristigen Beeinträchtigung des durchgehenden Verkehrs**
  - **Die Tn. 33 konnte nicht sicher passiert werden**
  - **Das Massengutschiff kollidierte mit der Rampe von Liegeplatz 6**
- **Durch den Einsatz von Schleppern mit einem höheren Pfahlzug (vorn 50t und achtern 80t Pfahlzug) würden dem Massengutschiff mehr Reserven für die Durchführung des Manövers zur Verfügung stehen.**

6.3.3 Ablegemanöver

Tag/Lauf	Szenario	Landseite	Dauer Manöver	Richt.	Stär	HW	Richt.	Stärk	Böen
3	29	Stb.	00:12	*141 °*	3,0 kn	0,9 m	45 °	18 kn	-
5	30	Stb.	00:11	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	45 °	18 kn	-
17	37	Stb.	*00:13*	*141 °*	3,0 kn	0,0 m	45 °	30 kn	-
18	34	Bb.	*00:11*	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	45 °	18 kn	-
21	32	Stb.	*00:12*	*141 °*	3,0 kn	0,9 m	45°	18 kn	-
42	33	Stb.	00:08	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	45 °	*18 kn*	-

Tabelle 24: Liegeplatz 7 - Ablegemanöver

Es wurden insgesamt 6 Simulationsläufe durchgeführt. 4 Simulationsläufe mit dem RoRo-Schiff sowie jeweils ein Vergleichslauf mit dem Massengutschiff und mit dem Tanker. Simuliert wurde bei nord-östlichen Winden mittlerer Stärke 5 -7 Bft und einkommenden bzw. auslaufendem Strom.

6.3.3.1 Ablegemanöver RoRo-Schiff- Richtung See

Das Ablegemanöver mit Stb.-Landseite und dem Drehen Richtung See bereite keine Probleme. Gedreht wurde über Bb. Bug im Fahrwasser. Die Manöverdauer betrug 12 Minuten. Es wurde ein sicherer Abstand zur Tn. 33 eingehalten:

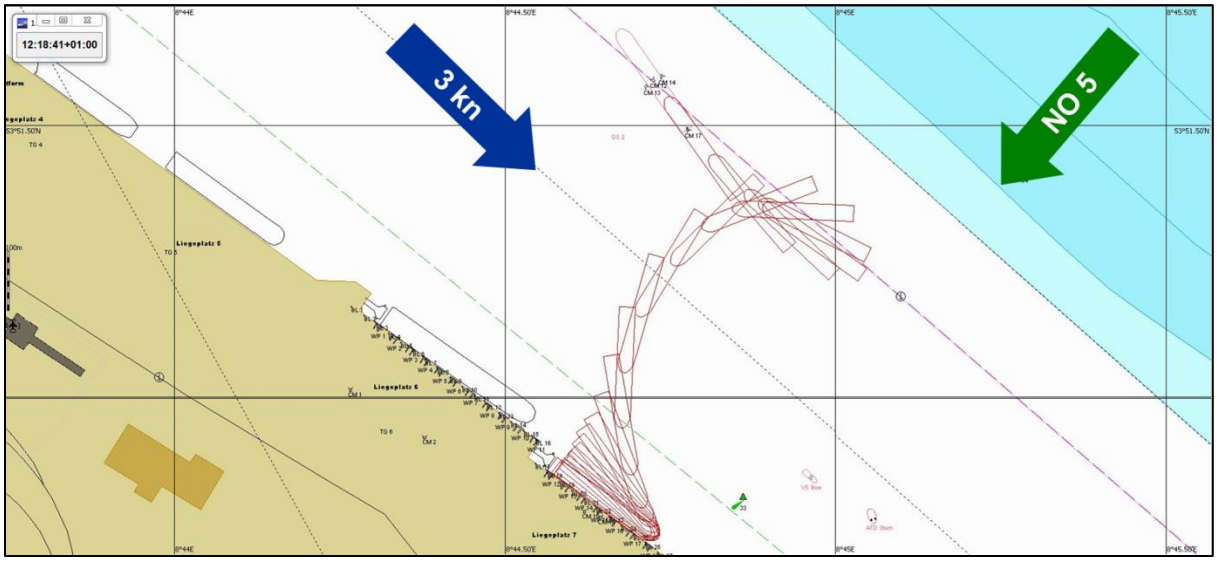


Abb. 75: Liegeplatz 7 - Ablegen mit RoRo-Schiff bei einlaufendem Strom

Beim Ablegen gegen den Strom wurde auf einen Vorschlepper verzichtet. Es wurde direkt vor der Pier gedreht. Zur Tn. 33 wurde ein Abstand von 70m eingehalten. Der durchgehende Verkehr wurde somit in keinster Weise beeinträchtigt, der Begegnungsverkehr nur kurzzeitig eingeschränkt.

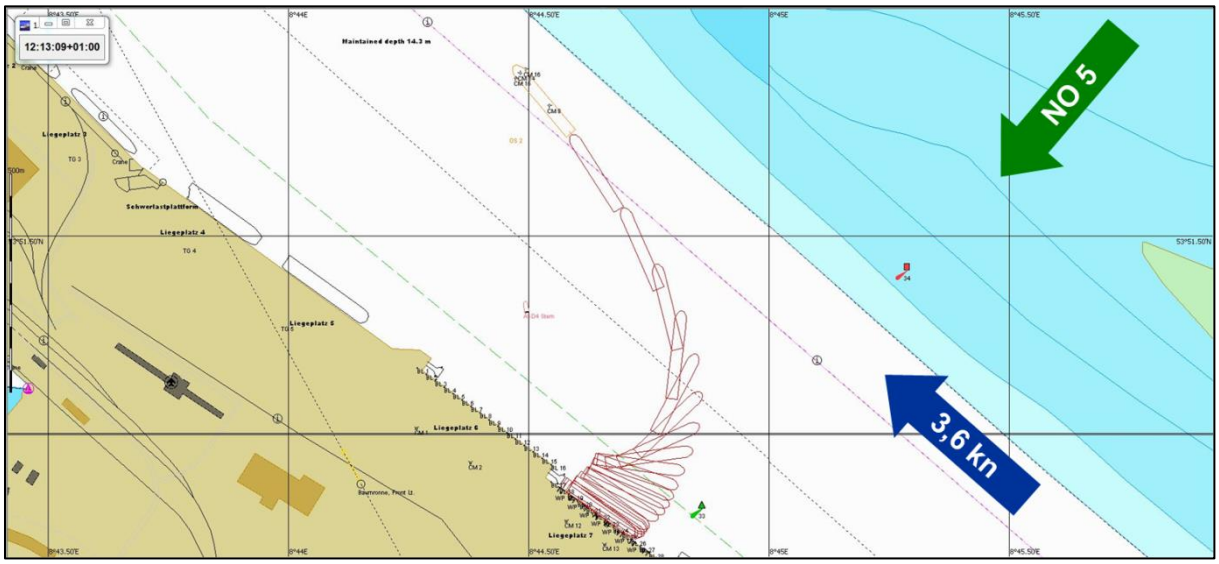


Abb. 76: Liegeplatz 7 - Ablegen mit RoRo-Schiff bei ausgehendem Strom

Bei diesen Windverhältnissen arbeiteten die Querstrahlanlagen des RoRo-Schiffes über einen längeren Zeitraum an ihren Leistungsgrenzen.

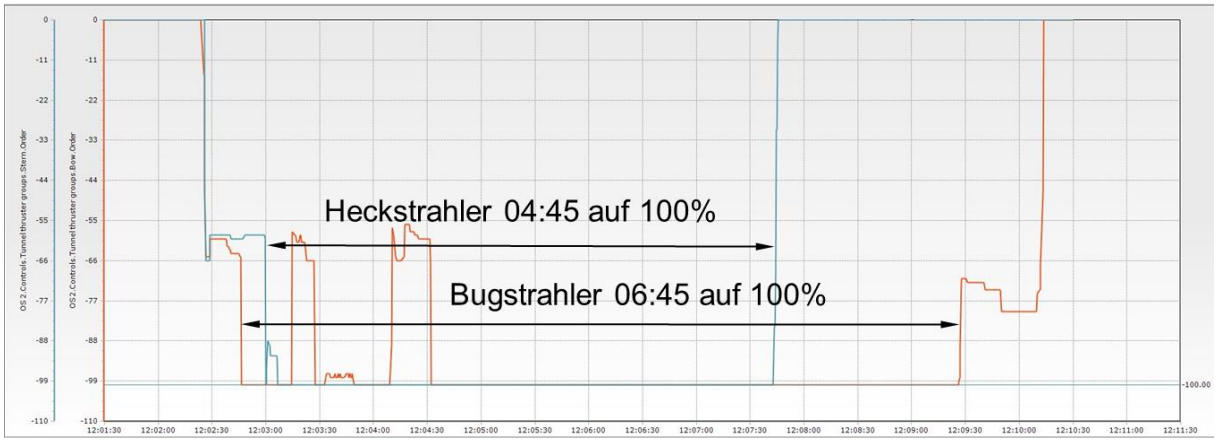


Abb. 77: : Liegeplatz 7 - Ablegen mit RoRo-Schiff bei ausgehendem Strom (Querstrahler)

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Bei der vorgegebenen Windstärke (Nordost 5) und mit den vorgegebenen Schlepperkapazitäten (Achterschlepper 50 t. Pfahlzug, Vorschlepper 30 t. Pfahlzug) ließen sich die Manöver sicher durchführen**
- **Während des Drehmanövers kommt es zu einer kurzfristigen Beeinträchtigung des durchgehenden Verkehrs, die aber durch den Zeitpunkt des Ablegemanövers beeinflusst werden kann.**

6.3.3.2 Ablegen RoRo-Schiff- Richtung NOK

Die Ablegemanöver mit Bb. und Stb. Seite konnte bei den gegebenen Umweltbedingungen mit den vorgegebenen Schleppkapazitäten sicher durchgeführt werden. Die Tn. 33 wurde jeweils in einem sicheren Abstand passiert. Mit Stb. Landseite und einlaufendem Strom wurde gegen Strom abgelegt um eine ausreichende Distanz zur Tn. 33 einhalten zu können. Das RoRo-Schiff wurde am südlichen Fahrwasserrand in Höhe des Liegeplatzes 6 ausgerichtet und lief dann in das Fahrwasser ein.

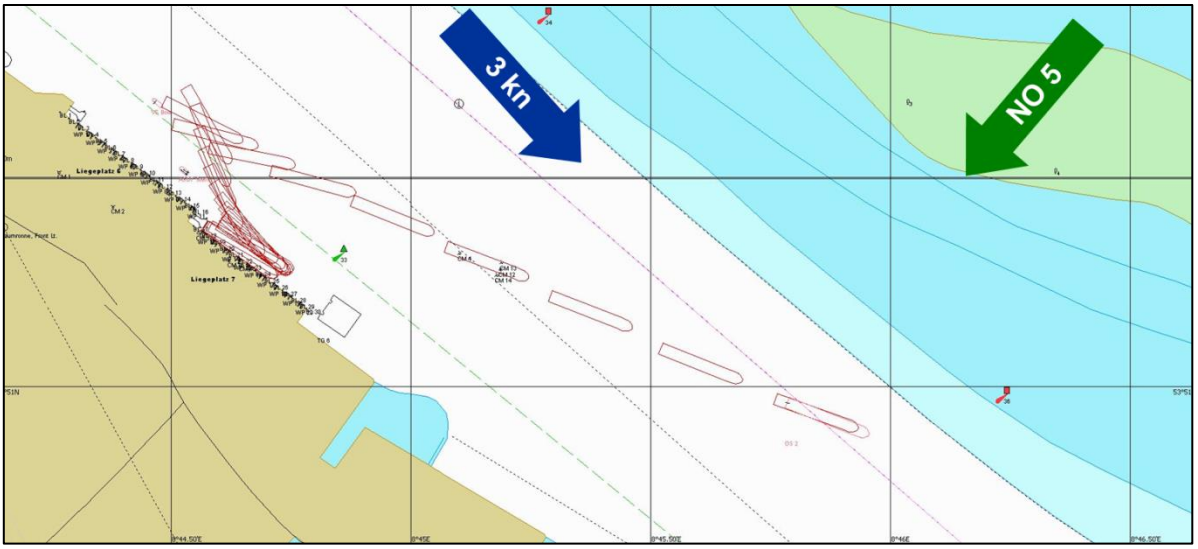


Abb. 78: Liegeplatz 7 - Ablegen mit RoRo-Schiff Richtung NOK bei einlaufendem Strom

Mit Bb. Landseite und ausgehendem Strom wurde das Schiff von den Schleppern von der Pier bis auf Höhe der südliche Fahrwasserbegrenzung von der Pier abgezogen, um dann mit dem Drehmanöver zu beginnen. Die Tn. 33 wurde mit 45 Metern relativ dicht passiert, was aber auf Grund des ausgehenden Stromes trotzdem als sicher zu betrachten ist. Während des Drehmanövers im Fahrwasser kommt es kurzfristig zu einer Behinderung des durchgehenden Verkehrs.

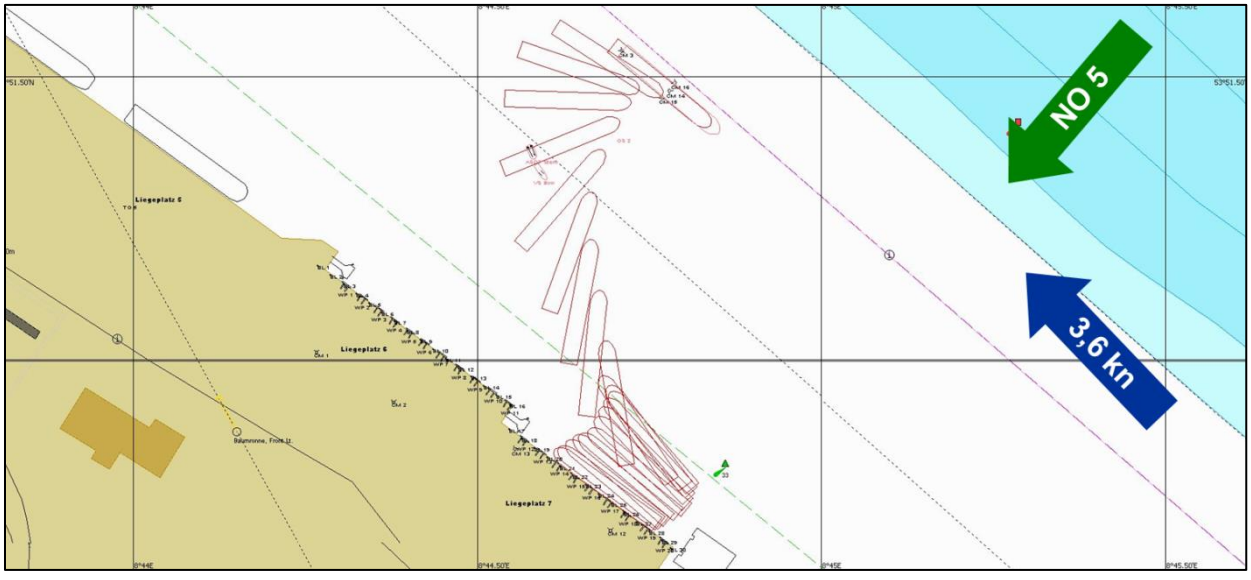


Abb. 79: Liegeplatz 7 - Ablegen mit RoRo-Schiff Richtung NOK bei ausgehendem Strom

Die beiden eingesetzten Schlepper arbeiteten bei diesem Manöver an ihrer Leistungsgrenze.

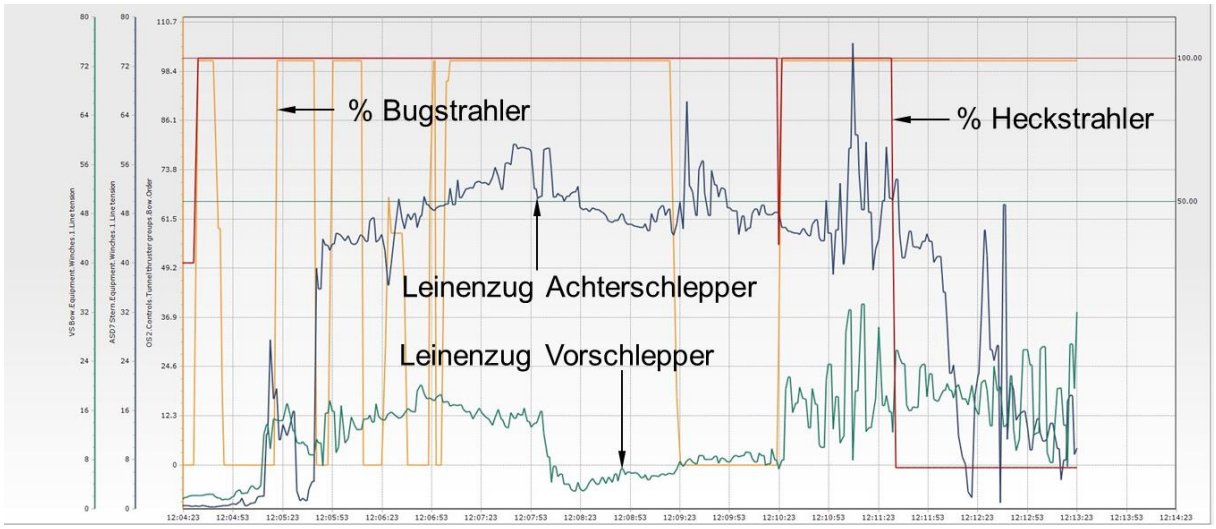


Abb. 80: Liegeplatz 7 - Ablegen mit RoRo-Schiff Richtung NOK bei ausgehendem Strom (Querstrahler und Leinenkräfte)

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Bei der vorgegebenen Windstärke (Nordost 5) und mit den vorgegebenen Schlepperkapazitäten (Achterschlepper 50 t. Pfahlzug, Vorschlepper 30 t. Pfahlzug) ließen sich die Manöver sicher durchführen**
- **Während des Drehmanövers flussabwärts kommt es zu einer kurzfristigen Beeinträchtigung des durchgehenden Verkehrs, die aber durch den Zeitpunkt des Ablegemanövers beeinflusst werden kann.**

6.3.3.3 Ablegen Tanker und Massengutschiff- nach See gehend

Das Ablegemanöver mit dem Tanker bzw. Massengutschiff wurde sehr stark durch den vorherrschenden Strom beeinflusst. Bei Flutstrom war das Manöver nicht erfolgreich, bei Ebbstrom konnte der Liegeplatz jedoch sicher verlassen werden.

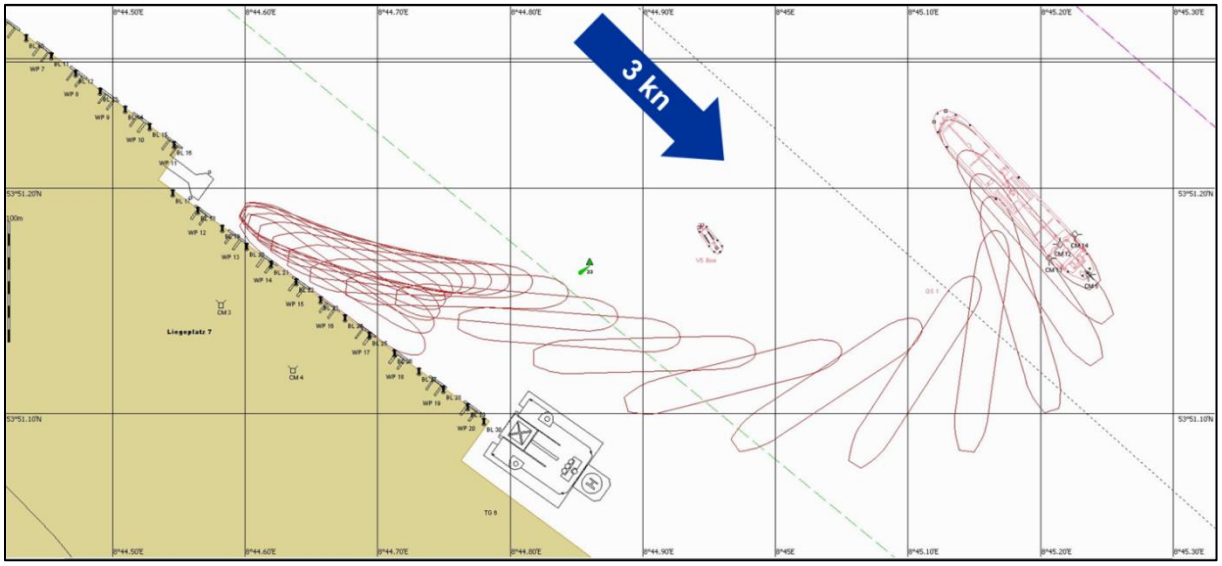


Abb. 81. Liegeplatz 7 - Ablegen mit Tanker Richtung See bei einlaufendem Strom

Auf Grund der Schlepperkapazität und der geringen Maschinenleistung im Verhältnis zur Verdrängung konnte der Tanker ablegen und an der Pier mit 30m Abstand angedreht werden. Das Schiff vertrieb aber durch den Strom sehr schnell elbaufwärts. Deshalb wurde das geplante Manöver abgebrochen und zwischen Tn. 33 (18m Abstand) und Jack-Up (22m Abstand) passiert und dann die Drehung fortgesetzt. Obwohl dieses Manöver erfolgreich war, ist es auf Grund der geringen Passierabstände als nicht sicher anzusehen. Wie aus der unteren Abbildung ersichtlich, ist der Schlepper obwohl er mit 50t Pfahlzug zieht, nicht in der Lage ein vertreiben des Schiffes Richtung Süden zu verhindern. Für ein erfolgreiches Manöver hätten die Schlepper über einen höheren Pfahlzug verfügen müssen.

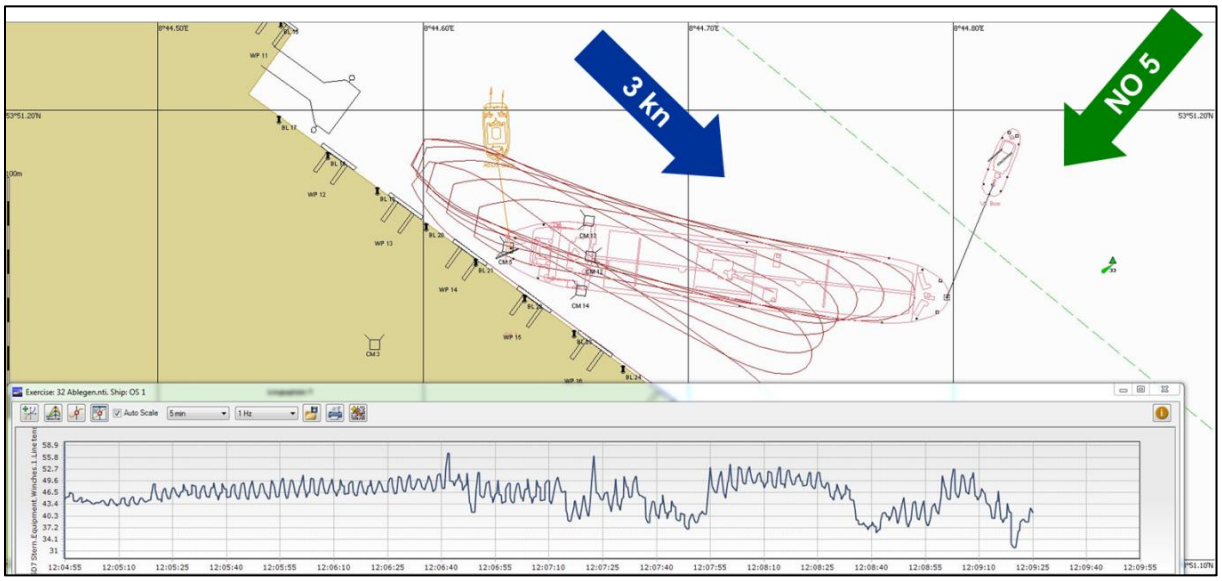


Abb. 82: Liegeplatz 7 - Ablegen mit Tanker Richtung See bei einlaufendem Strom (Drehen vor der Pier)[25]

Das Drehmanöver erfolgte im südlichen Teil des Fahrwassers. Der Tanker blieb während des Manövers deutlich südlich der Radarlinie. Durchgehender Verkehr war während des gesamten Zeitraum möglich. Der Begegnungsverkehr für die Zeit des Drehmanövers (10 Minuten) nicht möglich.

Bei dem Ablegemanöver Richtung See bei auslaufendem Strom besteht nur eine geringe Möglichkeit sich der Tn. 33 zu dicht zu nähern. Der Passierabstand betrug in diesem Fall 80m.

[25] Simulationslauf 21

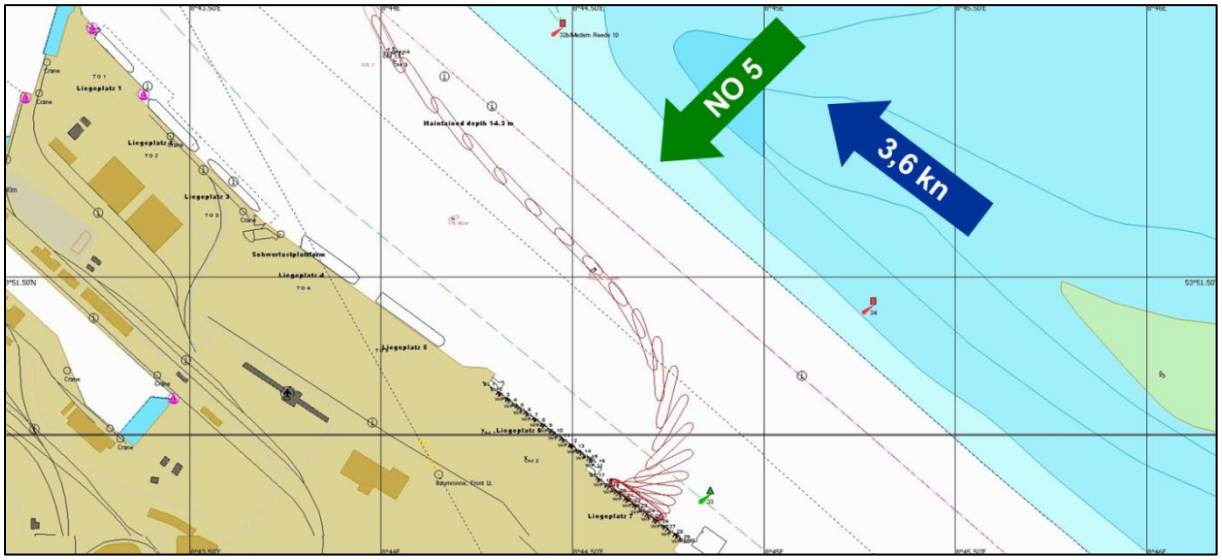


Abb. 83: Liegeplatz 7 - Ablegen mit Massengutfrachter- Richtung See bei ausgehendem Strom[26]

Nachdem der Bug einen kleinen Anstellwinkel zur Pier erreichte hatte wirkte der Strom unterstützend für das Drehmanöver. Insofern war in diesem Fall die gewählte Schlepperkonstellation (Achterschlepper 40 t., Vorschlepper 30 t.) ausreichend.

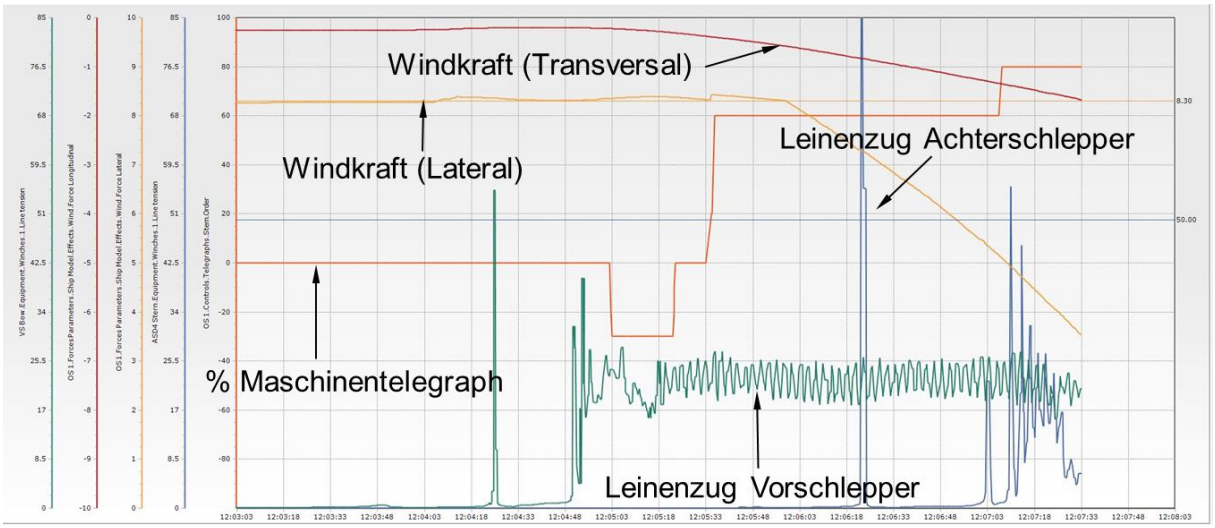


Abb. 84: Liegeplatz 7 - Ablegen mit Massengutfrachter- Richtung See bei ausgehendem Strom (Leinenkräfte)

Als Ergebnis ist hier festzuhalten:

- **Das Ergebnis der Simulation variiert stark abhängig von der herrschenden Stromrichtung**
- **Bei einlaufendem Strom ist die Schlepperkapazität nicht ausreichend, um das Schiff in sicherer Entfernung vom Jack-Up und der Tn. 33 passieren zu lassen. Hier wäre eine Schlepperleistung von 50t Pfahlzug vorne und 80t Pfahlzug achtern notwendig.**
- **Das Drehmanöver erfolgt jeweils im südlichen Teil des Fahrwassers und nimmt wenig Zeit in Anspruch (10 Minuten) so dass der Verkehrsfluss auf der Elbe kaum beeinträchtigt wird.**

[26] Simulationslauf 42

6.4 Liegeplatz 6 - Mehrzweckschiff

6.4.1 Anlegemanöver Liegeplatz 6 von See kommend

Startpunkt der Simulationsläufe war jeweils eine Position in Höhe der Seebäderbrücke. Die Läufe 6 und 7 wurden abgebrochen sollten aber nach Meinung der Beteiligten Bestandteil der Auswertung sein.

Tag/Lauf	Szenario	Landseite	Dauer Manöver	Simulation von (Manöver)	Richt.	Stär	HW	Richt.	Stärk	Böen
6	4	Stb.	*00:19*	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	0,9 m	225 °	18 kn	*44 kn*
7	4	Stb.	*00:25*	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	0,9 m	225 °	18 kn	*44 kn*
8	4	Stb.	*00:40*	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	0,9 m	225 °	18 kn	*44 kn*
22	1	Stb.	-	Seebäderbrücke	*0 °*	*0,0 kn*	0,0 m	*0 °*	*0,0 kn*	-
23	18	Bb.	00:41	Seebäderbrücke	*319 °*	3,0 kn		340 °	18 kn	*44 kn*
24	5	Bb.	00:35	Seebäderbrücke	*141 °*	3,6 kn	1,8 m	225 °	18 kn	*44 kn*
26	7	Bb.	-	Seebäderbrücke	*319 °*	3,0 kn	1,6 m	225 °	18 kn	*44 kn*
27	7	Bb.	00:46	Seebäderbrücke	*319 °*	3,0 kn	1,6 m	225 °	18 kn	*44 kn*
31	16	Stb.	00:19	Tn. 31a	*141 °*	3,6 kn	1,8 m	340 °	18 kn	*44 kn*
32	16	Stb.	00:20	Seebäderbrücke	*141 °*	3,6 kn	1,8 m	340 °	18 kn	*44 kn*
34	17	Bb.	00:27	Seebäderbrücke	*141 °*	3,6 kn	1,8 m	340 °	18 kn	*44 kn*
38	26	Stb.	00:20	Seebäderbrücke	*319 °*	3,0 kn	1,6 m	225	18	*44 kn*

Tabelle 25: Anlegemanöver Liegeplatz von See kommend (Mehrzweckschiff)

Für ein Anlegemanöver von See kommend mit einem Drehen vor dem Liegeplatz sind im Schnitt ca. 40 Minuten einzuplanen.

Tag/Lauf	Szenario	Dauer Manöver	Eigenschiff
6	4	00:19	Mehrzweckschiff
7	4	00:25	Mehrzweckschiff
8	4	00:40	Mehrzweckschiff

Abb. 85: Anlegemanöver Liegeplatz 6 von See kommend mit Stb. Seite – Mehrzweckschiff

Bis auf zwei Ausnahmen fanden alle Manöver bei Flutstrom statt. Da durch die Rampe des Schiffes die Stb.-Seite als Landseite vorgegeben ist, kann die oft genutzte Möglichkeit, das Schiff zu drehen und gegen den Strom anzulegen nicht gewählt werden. Das Anlegen mit dem Strom ist prinzipiell als das schwierigere Manöver zu betrachten.

Das Manöver mit ablandigem Wind (SW 5-7 (Böen 9)) führte erst durch die Nutzung eines dritten Schleppers zum Erfolg.

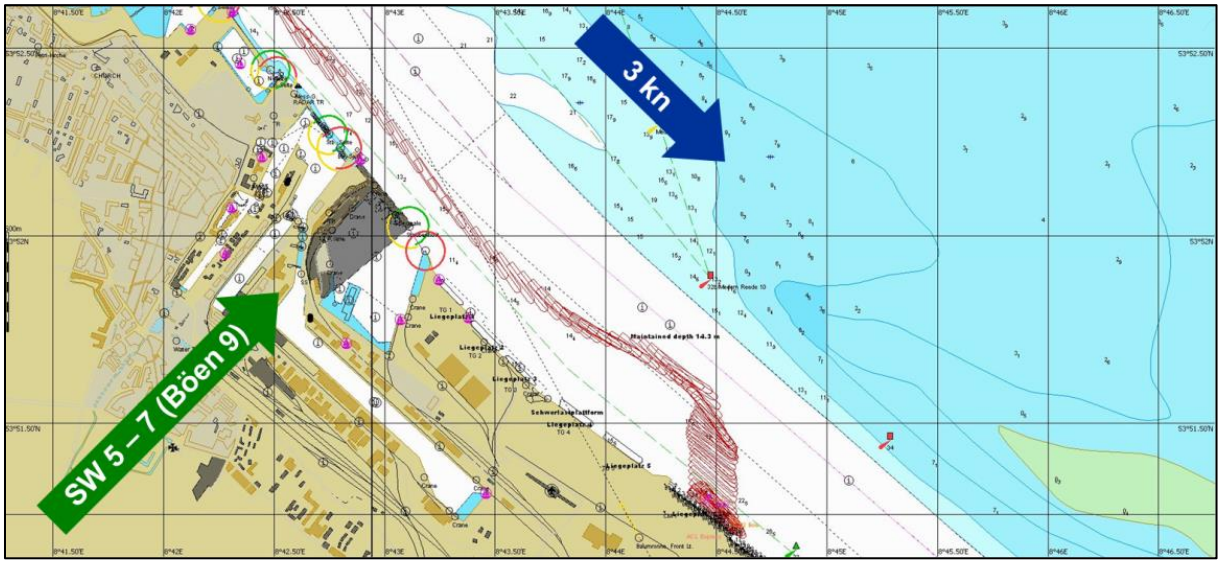


Abb. 86: Anlegemanöver Liegeplatz 6 Mehrzweckschiff[27]

Das gleiche Manöver mit ausgehendem Strom hingegen bereitete keine Probleme beim Anlegen. Dies entspricht der generellen Aussage, das Strom der von vorne auf das Schiff wirkt vom Lotsen als zusätzliche Hilfe eingesetzt werden kann. Durch die höhere Anlaufgeschwindigkeit gegen den Strom lässt sich eine bessere Steuerwirkung erzielen.

Ablandige Winde führen wie in der Simulation gezeigt dazu, dass die Schiffe sehr schnell in den nördlichen Teil des Fahrwassers vertreiben und den durchgehenden Verkehr behindern.

In Kombination mit dem auslaufenden Strom waren die beiden auf 50 t. Pfahlzug gedrosselten Schlepper nicht in der Lage dieses Manöver sicher auszuführen.

Die Manöver mit stark achterlichen Winden (NNW 5-7 (Böen 9)) führten zu keinem Erfolg und mussten abgebrochen werden. Das Heck des Schiffes kollidierte jeweils mit der Pier.

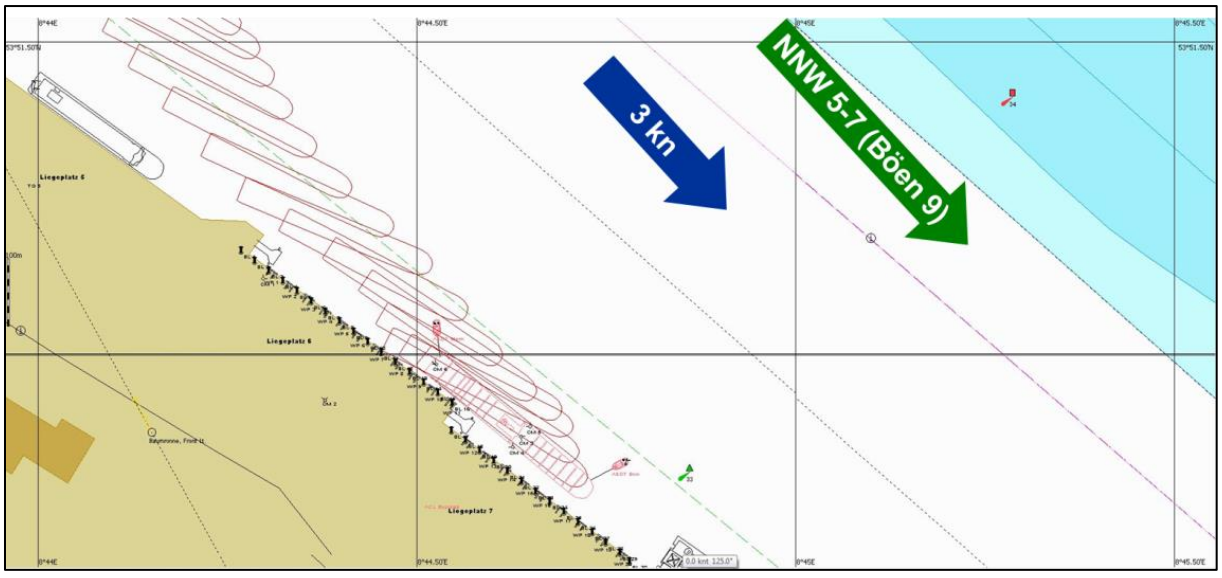


Abb. 87: Kontakt mit der Pier[28]

[27] Lauf 8

Der Achterschlepper war nicht in der Lage das Schiff achteraus zu ziehen und gleichzeitig von der Pier fern zu halten. Infolge des mitlaufenden Stromes hat der Heckstrahler nur sehr geringen Effekt auf das Verhalten des Schiffes. Grund hierfür ist die Lage des Pivot Point im achteren Schiffsbereich und die Störung der Anströmung des Strahlers bei rückwärtslaufendem Propeller. Dieses erfordert in der Konsequenz eine höhere Schlepperkapazität von 2 Schleppern mit mindestens 160 t. Pfahlzug.

Eine Behinderung des durchgehenden Verkehrs findet nur in sehr geringem Maße statt, da sich das Schiff während der gesamten Zeit am südlichen Fahrwasserrand befindet.

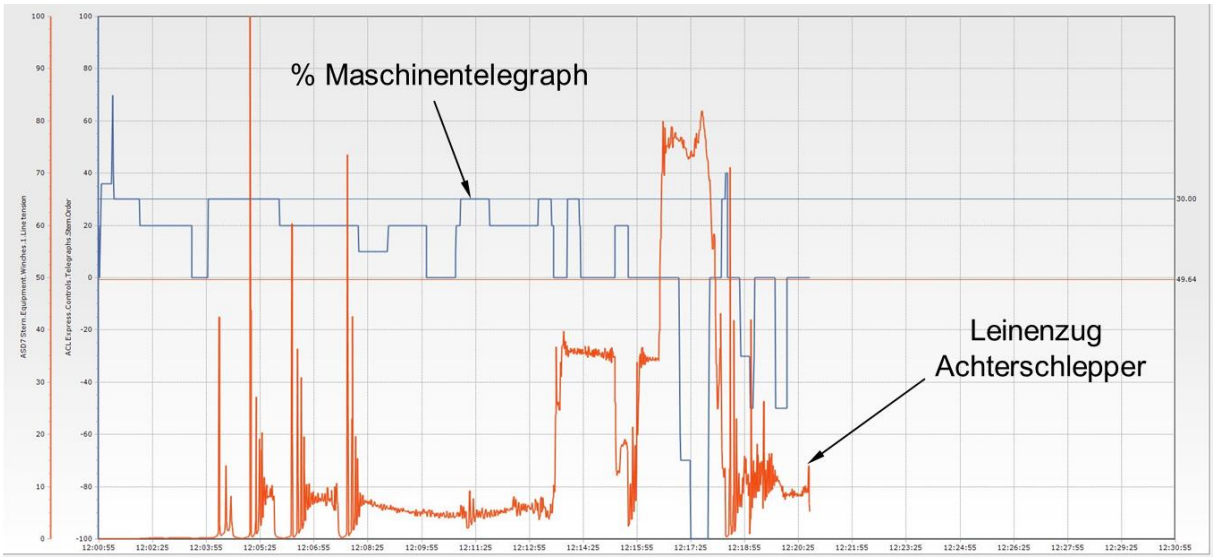


Abb. 88: Einsatz der Bug- und Heckstrahler sowie Schleppkräfte[29]

Als Ergebnis bleibt hier festzuhalten:

- **Bei ablandigen Winden und einlaufendem Strom sind mindestens 2 Schlepper mit einem Pfahlzug von 80t bei diesem Schiffstyp notwendig um ein Vertreiben in den nördlichen Fahrwasserteil zu verhindern**
- **Bei achterlichen Winden und einlaufendem Strom führten die Manöver nicht zum Erfolg. 2 Schlepper mit einem Pfahlzug von je 80t sind hierfür bei diesem Schiffstyp notwendig**
- **Eine Beeinträchtigung des durchgehenden Verkehrs sollte bei ausreichender Schlepperkapazität nicht auftreten, da das Schiff von den Schleppern am südlichen Fahrwasserrand gehalten wird**

[28] Simulationslauf 32
[29] Simulationslauf 32

Tag/Lauf	Szenario	Dauer Manöver	Eigenschiff
23	18	00:41	Mehrzweckschiff
24	5	00:35	Mehrzweckschiff
26	7	-	Mehrzweckschiff
27	7	00:46	Mehrzweckschiff
34	17	00:27	Mehrzweckschiff

Tabelle 26: Anlegemanöver Liegeplatz 6 von See kommen mit Bb. - Seite – Mehrzweckschiff

Dass die Zeiten identisch sind ist nicht ungewöhnlich, durch das Drehen erfolgt ein schnelles Aufstoppen und das Schiff kann für ein Anlegemanöver optimal positioniert werden.

Bei achterlichem Wind lässt sich das Manöver ebenfalls durchführen, allerdings ist die Schlepperkapazität von insgesamt 2 x 50t. Pfahlzug für ein sicheres Manöver insgesamt zu klein.

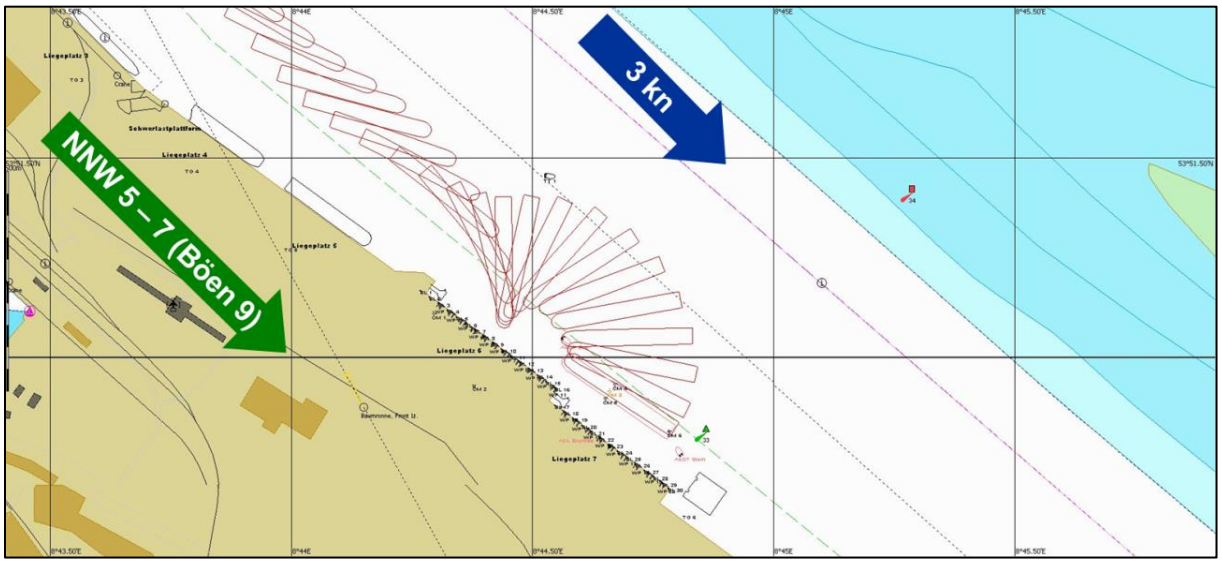


Abb. 89: Drehen vor Liegeplatz 6 - Mehrzweckschiff[30]

Um den durchgehenden Verkehr nicht zu beeinträchtigen, sollte das Drehmanöver wie in der Abbildung gezeigt mit einem Abstand von 30m vor der Pier durchgeführt werden. Das Schiff dreht im Fahrwasser bleibt aber südlich der Trasse, so dass der durchgehende Verkehr, außer Begegnungsverkehr, sicher durchlaufen kann. Durch eine geeignete Wahl des Andrehpunktes lässt sich das Manöver optimieren und der Abstand zur Tn. 33, hier 55m, vergrößern.

Bei ablandigen Winden vertreibt das Schiff beim Drehen weiter in den Norden, bleibt aber südlich der Radarlinie.

[30] Simulationslauf 34

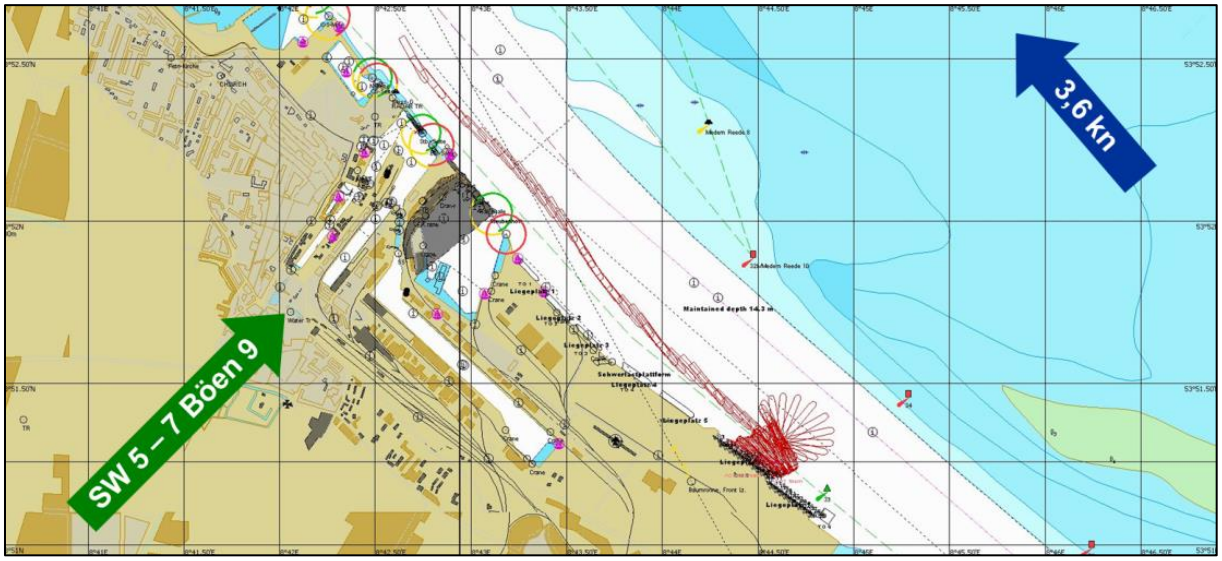


Abb. 90: Drehen vor Liegeplatz 6 - Mehrzweckschiff[31]

Als Ergebnis bleibt hier festzuhalten:

- **Die Drehmanöver erfordern einen größeren Raumbedarf als das Anlegen mit Steuerbord-Seite. Das Heck schwingt in das Fahrwasser. Es ist während dieser Zeit kein Begegnungs-verkehr möglich**
- **Bei den simulierten Windrichtungen (achterlicher Wind, ablandiger Wind) sind 2 Schlepper mit einem Pfahlzug von jeweils 80t. bei diesem Schiffstyp notwendig**

6.4.2 Anlegemanöver Liegeplatz 6 von Hamburg

Tag/Lauf	Szenario	Landseite	Dauer Manöver	Simulation von (Manöver)	Richt.	Stär	HW	Richt.	Stärk	Böen
6	4	Stb.	*00:19*	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	0,9 m	225 °	18 kn	*44 kn*
7	4	Stb.	*00:25*	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	0,9 m	225 °	18 kn	*44 kn*
8	4	Stb.	*00:40*	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	0,9 m	225 °	18 kn	*44 kn*
22	1	Stb.	-	Seebäderbrücke	*0 °*	*0,0 kn*	0,0 m	*0 °*	*0,0 kn*	-
23	18	Bb.	00:41	Seebäderbrücke	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	340 °	18 kn	*44 kn*
24	5	Bb.	00:35	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,6 kn*	1,8 m	225 °	18 kn	*44 kn*
26	7	Bb.	-	Seebäderbrücke	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	225 °	18 kn	*44 kn*
27	7	Bb.	00:46	Seebäderbrücke	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	225 °	18 kn	*44 kn*
31	16	Stb.	00:19	Tn. 31a	*141 °*	*3,0 kn*	1,8 m	340 °	18 kn	*44 kn*
32	16	Stb.	00:20	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	1,8 m	340 °	18 kn	*44 kn*
34	17	Bb.	00:27	Seebäderbrücke	*141 °*	*3,0 kn*	1,8 m	340 °	18 kn	*44 kn*
38	26	Stb.	00:20	Seebäderbrücke	*319 °*	3,6 kn	1,6 m	225	18	*44 kn*

Tabelle 27: Anlegen Liegeplatz 6 - von Hamburg kommend (Mehrzweckschiff)

[31] Simulationslauf 27

Generell besteht auch hier bei ablandigen Winden das Problem, dass ein Pfahlzug von 2 x 50t nicht ausreicht, sondern dass auch hier mindestens 2 x 80t Pfahlzug benötigt werden, um das Manöver sicher durchzuführen.

Gewählt werden sollte ein Anlauf des Liegeplatzes, der den durchgehenden Verkehr möglichst wenig beeinflusst, d.h. dem Fahrwasserverlauf möglichst lange folgen um dann den Liegeplatz anzusteuern.

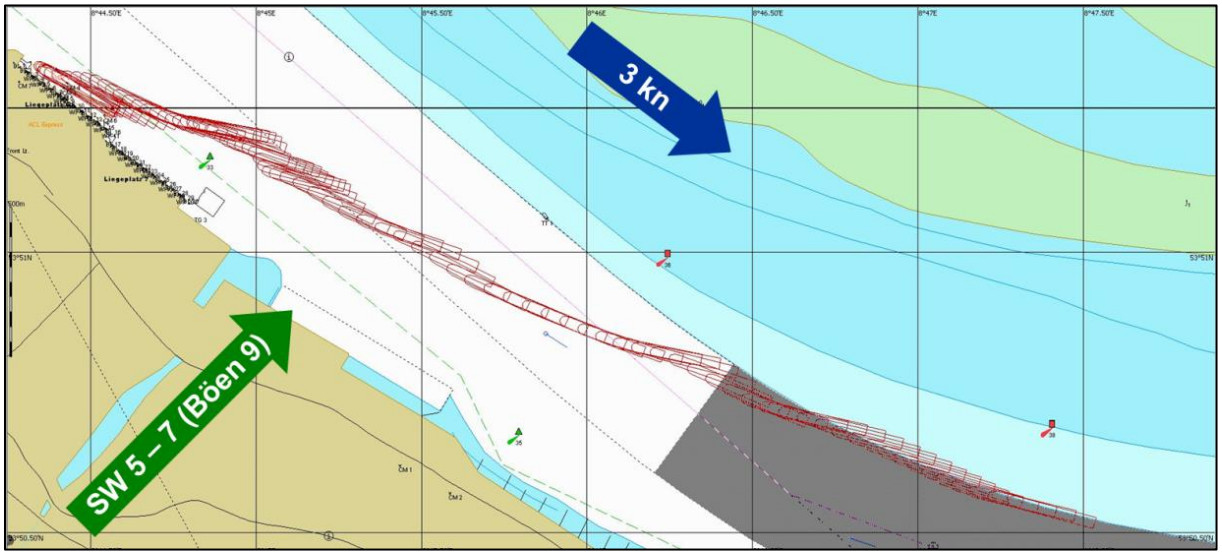


Abb. 91 Liegeplatz 6 Anlauf von Hamburg kommend – ungünstige Manöverstrategie[32]

Im Idealfall sollte der Kurs kurz vor Erreichen der Tn. 34 geändert werden, um den Liegeplatz anzusteuern. Sollte ein Drehmanöver notwendig erscheinen sollte dieses südlich der Radarlinie erfolgen, um einen durchgehenden Verkehr (keinen Begegnungsverkehr) zu ermöglichen.

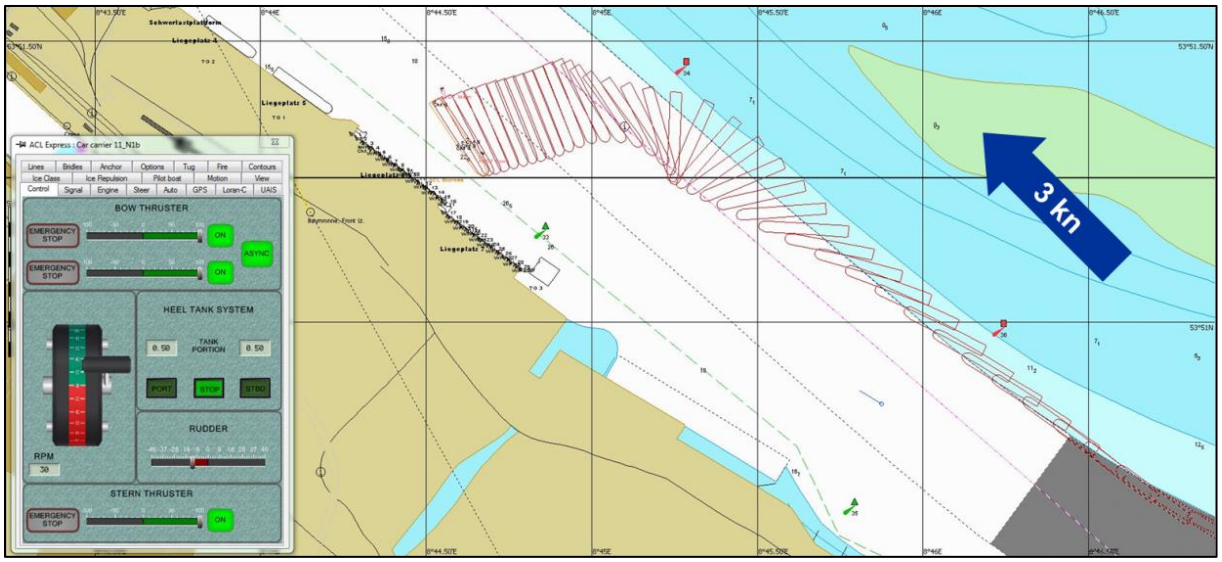


Abb. 92: Liegeplatz 6 Anlauf von Hamburg kommend – drehen im nördlichen Teil des Fahrwassers

[32] Simulationslauf 36

Während der Simulationsläufe wurde im nördlichen Teil des Fahrwassers gedreht, aber das Schiff muss dann mit den Schleppern quer durch das gesamte Fahrwasser gezogen werden, was über einen längeren Zeitraum (ca. 15 Minuten) keinen weiteren Verkehr auf der Elbe zulässt.

Weiterhin besteht bei ablandigen Winden die Gefahr, dass das Schiffe nördlich aus dem Fahrwasser vertreibt und die Gefahr einer Grundberührung besteht.

Für ein Anlegemanöver von Hamburg kommend, mit Drehen vor dem Liegeplatz, sind ca. 55 Minuten einzuplanen.

Als Ergebnis bleibt hier festzuhalten:

- **Bei dem ablandigen Wind sind 2 Schlepper mit einem Pfahlzug von jeweils 80 t. bei diesem Schiffstyp notwendig**
- **Das Drehen sollte insbesondere bei ablandigen Winden im südlichen Teil des Fahrwassers erfolgen**
- **Abhängig von der gewählten Manöverstrategie des Lotsen kann es zu einer längeren Beeinträchtigung des durchgehenden Verkehrs kommen.**

6.4.3 Ablegen von Liegeplatz 6 mit dem Mehrzweckschiff

Tag/Lauf	Szenario	Dauer	Landseite	Simulation nach (Manöver)	Richt.	Stär	Richt.	Stärk
9	31	*00:20*	Stb.	Ausgehend	*141 °*	*3,0 kn*	45 °	18 kn
25	35	00:24	Bb.	Hamburg	*319 °*	3,6 kn	45 °	18 kn
28	38	-	Stb.	Ausgehend	*141,0 kn*	*3,0 kn*	45 °	37 kn
29	38	00:20	Stb.	Ausgehend	*141,0 kn*	*3,0 kn*	45 °	37 kn
30	39	00:16	Stb.	Ausgehend	*319 °*	3,6 kn	45 °	37 kn

Tabelle 28: Liegeplatz 6 und drehen bei NE - Wind Mehrzweckschiff

Es wurden fünf Simulationsläufe gefahren. Vier Simulationsläufe mit Stb.-Seite als Landseite und Richtung See gehend und ein Simulationslauf mit Bb.-Seite als Landseite und Richtung Hamburg gehend. Die durchschnittliche Manöverdauer beim Ablegen und Drehen im Fahrwasser Richtung See bzw. Hamburg ist mit 20 Minuten anzunehmen.

Ein Ablegen bei auflandigem Wind und den vorhandenen Schlepperkapazitäten war nicht möglich. Wie aus der unten aufgeführten Abbildung ersichtlich, liegt der Zug auf der Leine immer zwischen 50 – 80t und selbst das ist in diesem Fall nicht ausreichend. Beide Versuchsläufe endeten mit einer Grundberührung im südlichen Teil der Elbe. Der Liegeplatz konnte verlassen werden, aber während des Drehmanövers verdriftete das Schiff immer zu weit in den Süden.

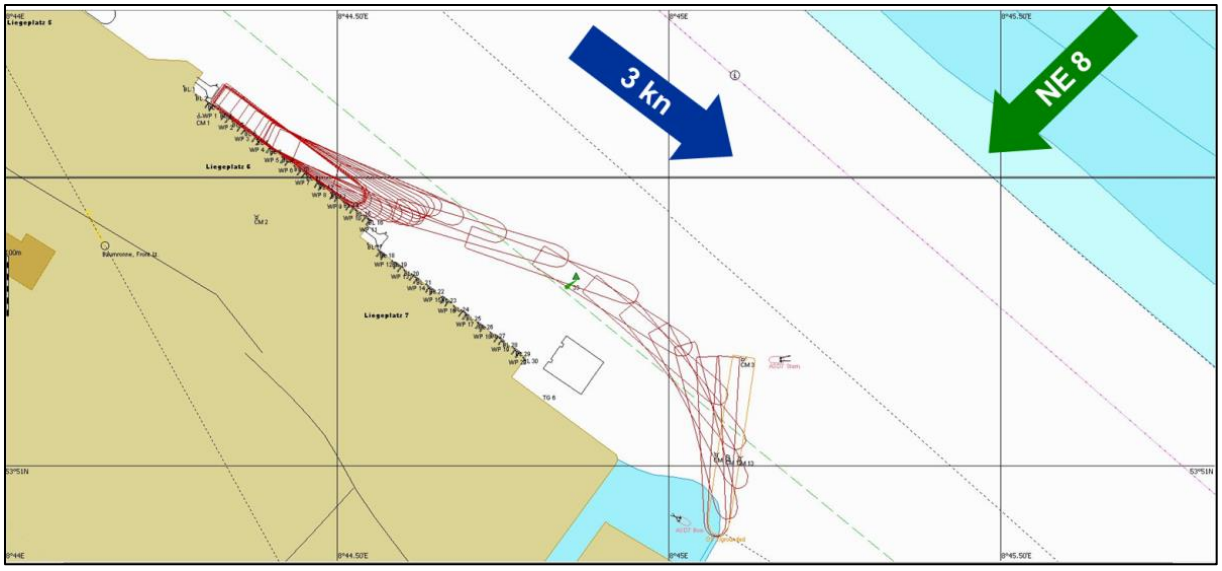


Abb. 93: Ablegen Liegeplatz 6 und drehen bei NE - Wind Mehrzweckschiff

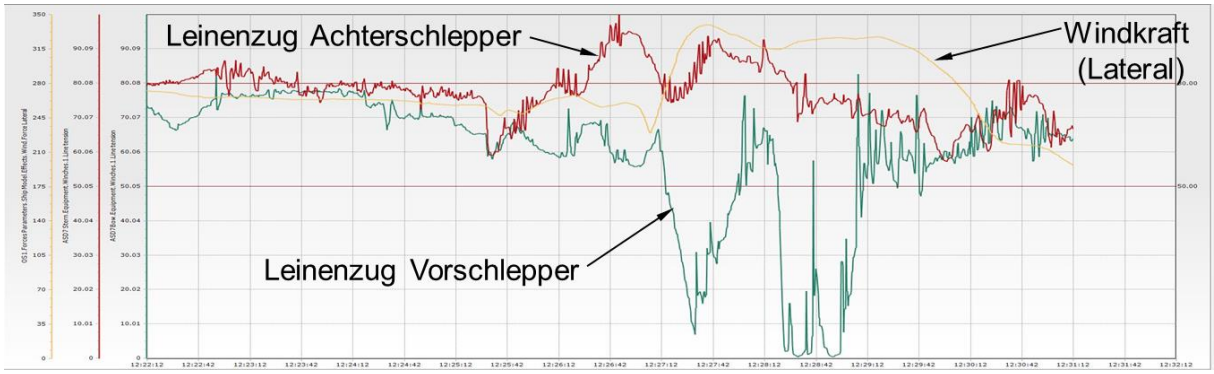


Abb. 94: Zug auf der Schleppleine

Nicht ohne Grund gibt es deswegen für diesen Schiffstyp im Hamburger Hafen klare Vorgaben bezüglich des erforderlichen Pfahlzuges in Relation zur Windstärke. Wobei davon auszugehen ist, dass auf Grund der exponierten Lage der Liegeplätze (dicht an der Küste, freie Landschaft) bei ablandigen Wind im Mittel von höheren Windgeschwindigkeiten in Cuxhaven ausgegangen werden muss.

Schlepper	Immer		≥ 5 Bft		≥ 6 Bft	
	Anzahl	Pfahlzug	Anzahl	Pfahlzug	Anzahl	Pfahlzug
Einkommend	2	n.a.	2	120 t	3	170 t
Ausgehend	n.a.	n.a.	2	100 t	2	150 t

Tabelle 29: Matrix Schlepperanforderungen ACL-Neubauten (Hamburg)

Als Ergebnis bleibt hier festzuhalten:

- **Für die Ablegemanöver mit dem Mehrzweckschiff erscheint ein Pfahlzug von 2 X 80 t. als notwendig**
- **Generell sollte bei Anzeichen einer Windböe mit Windstärke > 7 Bft. soweit möglich das Manöver unterbrochen und bis nach dem Ende des Durchgangs der Böe gewartet werden.**

6.5 Schleppertypen

Während der Simulationsläufe kamen drei Schleppertypen zum Einsatz

- Azimuth Stern Drive Schlepper (ASD)
- Azimuth Tractor Drive Schlepper (ATD)
- Voith Schneider Schlepper (VS)

Diese sollen hinsichtlich ihrer Eignung für die Durchführung der Manöver bewertet werden. Da es während der Manöver hauptsächlich um die Machbarkeit ging und die gleichen Manöver nicht mit verschiedenen Schlepperkonstellationen gefahren werden konnten, konnten nur geringe Unterschiede bezüglich der Eignung der verwendeten Schlepper festgestellt werden.

Hinsichtlich der Bewertung von Schleppertypen gilt es die folgenden Kriterien zu beachten:

- Pfahlzug
- Manövrierfähigkeit
- Reaktionszeit
- Schlepper Perfomance

Generell gilt zu sagen, dass auf Grund der Besonderheiten des Reviers (strömendes Gewässer) Schraubenschlepper nur eingeschränkt verwendet werden können. Schraubenschlepper sind z.B. nicht in der Lage das Schiff im Strom an die Pier zu drücken. Stattdessen sollten Schlepper mit omnidirektionalen Antrieb (ASD, ATD, Voith-Schneider, Rotortug) zum Einsatz kommen.

Beim Einsatz als Kopfschlepper nähert sich der Azimuth Stern Drive Schlepper (ASD) dem Schiff „bow to bow“. Dies beinhaltet das Risiko der starken Annäherung der beiden Fahrzeuge und beim Schleppvorgang schleppt der ASD mit dem Heck voraus, d.h. bei starkem Seegang, besteht die Gefahr von überkommenden Wellen. Viele ASD Schlepper verfügen zwar auch über eine achtere Winde, wird diese benutzt, arbeitet der Schlepper wie ein konventioneller Schlepper. Deswegen kommt die achtere Winde nur bei Überseeverschleppungen zum Einsatz.

Der Azimuth Tractor Drive Schlepper (ATD) nähert sich dem Schiff wie ein konventioneller Schlepper, da sich die Winde auf dem Achterdeck befindet. Sonst ist das Verhalten ähnlich wie das eines ASD Schleppers.

Voith Schneider Schlepper benötigen im Vergleich zu den ASD und ATD-Schleppern durch die höheren Leistungsverluste im Antrieb beim Manövrieren eine höhere Maschinenleistung um einen vergleichbaren Pfahlzug zu erzielen. Auf der anderen Seite sind Voith Schneider Schlepper auf Grund ihres Antriebes sehr reaktionsschnell und können deswegen sehr gut in engen Hafenbereichen arbeiten.

Unterschiede zwischen den omnidirektionalen Schleppern sind im Rahmen der Simulation kaum auszumachen gewesen und sind von der genauen Spezifikation eines Schleppers abhängig. Grundsätzlich hat ein Traktor aber leichte Vorteile gegenüber einem ASD Schlepper bei der Positionierung im Strom. Das liegt vor allem an dem kürzeren Hebelarm zwischen dem Zugpunkt (towing point) und den Antriebsanlagen.

7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse stichwortartig zusammengefasst.

- **Die durchgeführten Simulationsläufe stellten für alle Beteiligten eine neue Situation da. Jeder Simulationslauf war für sich gesehen ein Versuchslauf. Insofern dienen die durchgeführten Simulationsläufe auch dazu, die durchgeführten Manöver kritisch zu reflektieren und darauf basierende Standardmanöver zu entwickeln.**
- **Generell sollte in Betracht gezogen werden, dass bei modernen Schiffsdesign sehr viel Wert auf Energieeffizienz gelegt wird:**
  - **Größere Propellerdurchmesser bei niedrigen Drehzahlen (U/min)**
  - **Geringere Leistung der Hauptmaschine bezogen auf die Verdrängung (kW /t)**

  Das kann unter Umständen die Manövrierfähigkeit der Schiffe negativ beeinflussen.

- **Die Fahrwassertonne 33 nordöstlich des Liegeplatzes 7 kann auf ihrer Position verbleiben. Die An- und Ablegemanöver am Liegeplatz 7 bei auflaufendem Strom müssen allerdings sorgfältig geplant werden um die Fahrwassertonne 33 nicht zu gefährden. Beim Ablegen mit Stb.-Landseite wird empfohlen, das Schiff mit Bug auf die Pier zu drehen und südlich der Fahrwassertonne 33 auszurichten.**
- **Von Westen kommende einlaufende Schiffe, die direkt den Liegeplatz anlaufen, stehen in der Regel sehr weit südlich im Fahrwasser und beeinflussen den durchgehenden Verkehr kaum.**
- **Generell sollten zwischen den beteiligten Parteien Zonen vereinbart werden um Drehmanöver beim An- und Ablegen so durchzuführen, dass der durchgehende Verkehr möglichst wenig beeinflusst wird.**
  - **Von Westen kommende und nach Westen gehende Schiffe sollten am südlichen Fahrwasserrand gedreht werden.**
  - **Von Osten kommende und nach Osten gehende Schiffe sollten das Fahrwasser zügig queren und vor der Pier am südlichen Fahrwasserrand.**
- **Abhängig von den herrschenden Windstärken sollten Restriktionen für einzelne Schiffstypen festgelegt werden**
  - **Generell sollte die max. Windstärke für das Anlaufen der Liegeplätze 6 und 7 Bft. 7 (Böen nicht mit eingerechnet) nicht überschreiten**
  - **Für die beiden verwendeten Schiffstypen ergibt sich daraus, dass**
    - **das Mehrzweckschiff (L=296m, 9900m²) zwei Schlepper mit je 80t Pfahlzug benötigt und**
    - **das RoRo-Schiff (L=200m, 3913m²) einen (Vor)Schlepper mit 50t und einen (Achter)Schlepper mit 80t Pfahlzug benötigt.**
  - **Für die verwendeten Referenzschiffe bedeutet das für den Tanker (182m 1787m²) und den Massengutfrachter (182m 1525m²) einen (Vor)Schlepper mit 50t und einen (Achter)Schlepper mit 80t Pfahlzug.**
  - **Beim Ablegen bei auflandigen Winden (NO) größer 7 Bft. sollte im Einzelfall geprüft werden, ob und unter welchen Bedingungen ein sicheres Auslaufen möglich ist.**

- **Unterschiede zwischen den omnidirektionalen Schleppern sind im Rahmen der Simulation kaum auszumachen gewesen und eher von der genauen Spezifikation des jeweiligen Schleppers abhängig.**

8 Bibliographie

Dr. C. B. Barrass	Ship Squat and Interaction, Witherby Seamanship International Ltd., Edinburgh, 2009
W. Blendermann	Bericht 574 – Wind loading of ships – Collected Data from Wind Tunnel Tests in uniform flow, Institut Schiffbau der Universität Hamburg, 1996
Henk Hensen	Bow Tug Operations with Azimuth Stern Drive Tugs: Risks and Effectiveness", The Nautical Institute, 2006
Henk Hensen	Tug use in Port, Nautical Institute, 2003
International Maritime Organisation (IMO)	MSC.137(76) "Resolution Standards for Ship Maneuverability, 4 Dezember 2002
International Maritime Organisation (IMO)	MSC/Circ 1053 Explanatory Notes to the Standards for Ship Maneuverability, 16 Dezember 2002
NPorts	LP5-7_Lageplan_Variante4
H. Schneekluth	Hydromechanik zum Schiffsentwurf, 3. Verb. und erw. Auflage, Herford, 1988
D. M. Todorov	Ro-Ro Handbook: A Practical Guide to Roll-On Roll-Off Cargo Ships, Cornell Maritime Press; 2016

9 Anlagen

Abgestimmte Aufstellung der Simulationsläufe

Durchgeführte Simulationsliste

Expertenrating

Plots der Simulationsläufe