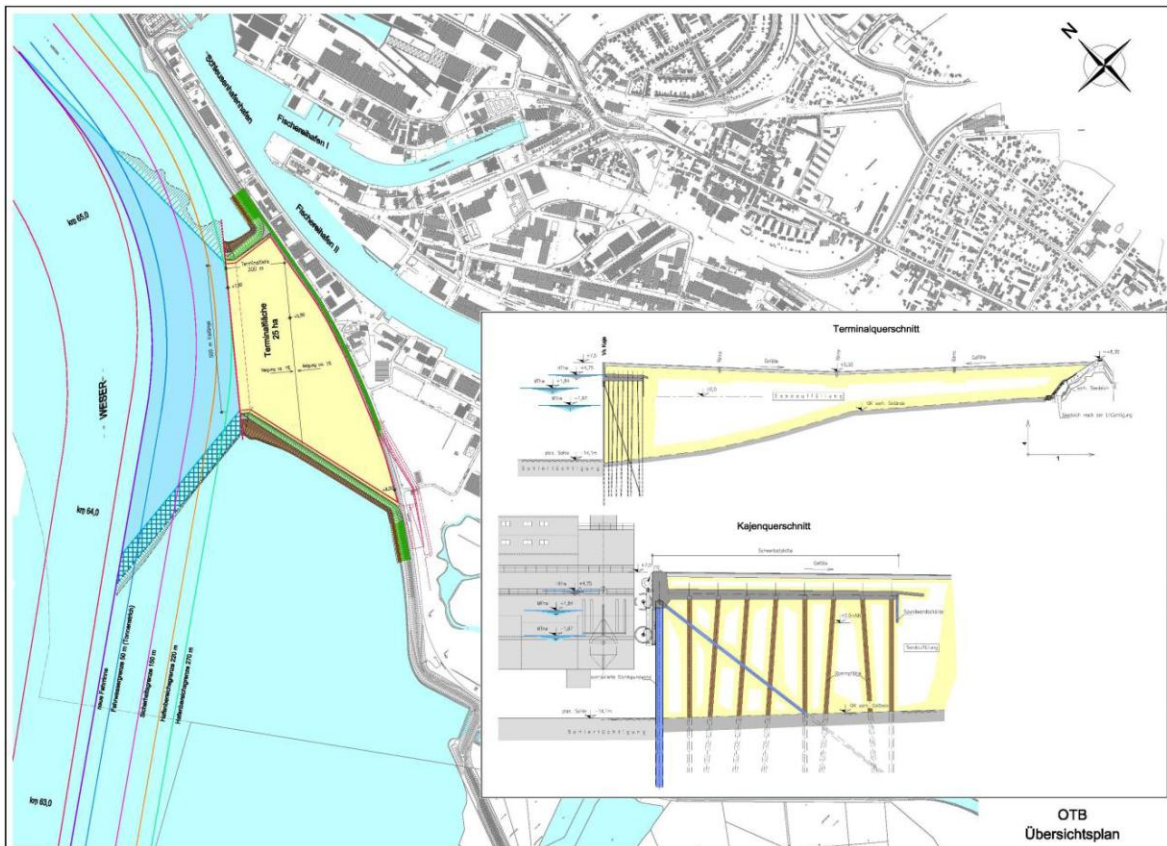


Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB)

Vertäukonzept unter Berücksichtigung von Schwall und Sunk



Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB)

Vertäukonzept unter Berücksichtigung von Schwall und Sunk

DHI-WASY GmbH
Niederlassung Syke
Max-Planck-Str. 6
D-28857 Syke

Tel: +49 4242 1638-10
Fax: +49 4242 1638-18
e-mail: dos@dhi-wasy.de
Web: www.dhigroup.com
www.dhi-wasy.de

Amtsgericht Charlottenburg HRB 36263
Geschäftsführer Prof. Dr. Stefan Kaden

Member of the DHI-Group
WATER • ENVIRONMENT • HEALTH

Auftraggeber bremenports GmbH & Co.KG Am Strom 2 27568 Bremerhaven	Auftraggeber vertreten durch Herrn Kraus Frau Teuteberg
---	---

Projekt Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB)	Bericht Nr. 14801205				
Erstellt Dipl.-Ing. Anja Brüning M. Sc. Dominic Spinnreker	Datum Februar 2013				
	Genehmigt Dr. Oliver Stoschek				
2	Endfassung Rev.1	DOS/ABU	OST/ MOD	OST	19.02.2013
1	Vorläufige Endfassung	DOS/ABU	OST/ MOD	OST	14.12.2012
Ausgabe	Beschreibung	Erstellt	Geprüft	Genehmigt	Datum
Schlüsselwörter Vertäukonzept, Schiffsbewegungen, WAMSIM, WAMIT		Klassifikation <input type="checkbox"/> Frei <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Geschützt <input type="checkbox"/> Forschung			

Verteiler bremenports GmbH & Co. KG DHI-WASY:	Kraus, Teuteberg DOS, MOD, ABU, OST	Anzahl Kopien
		PDF PDF

Inhaltsverzeichnis

1.	AUFGABENSTELLUNG	7
2.	VORGEHEN	8
3.	DEFINITION MAßGEBLICHER LASTFÄLLE	9
3.1	Generelle Wirkungsweise der Lasten auf die vertäuten Einheiten am Terminal	9
3.2	Rahmenbedingungen am OTB	15
3.3	Wechselwirkung von Schiffswellen und Umwelteinflüssen	23
4.	ERMITTLUNG VON SCHWALL UND SUNK (MIKE 21 HD)	25
4.1	Modellbeschreibung	25
4.2	Modellvalidierung des Modells mit Naturmessungen	25
4.3	Modellierung der Schiffpassagen am OTB	31
4.3.1	Untersuchungsergebnisse entsprechend der Lastfalldefinitor	32
4.3.2	Ergebnisse Szenario Begegnungsverkehr	34
4.3.3	Ergebnis Szenario Einzelschiff „worst-case“	38
4.3.4	Ergebnis Szenario Einzelschiff „worst-case“ – Modelloptimierung	39
4.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	41
5.	EMPFEHLUNG MÖGLICHER LASTFALLKOMBINATIONEN FÜR DIE BEMESSUNG DER TROSSENKRÄFTE	44
6.	RANDBEDINGUNGEN	45
6.1	Schiffsdaten	45
6.2	Materialdaten (Poller, Fender und Leinen)	46
6.3	Vertäuerung: Initial Setups	47
6.3.1	Schwergutsschiff P2-800	47
6.3.2	Arbeitsponton	48
6.3.3	Jack-Up Schiff 1	48
6.3.4	Jack-Up Schiff 2	49
7.	EINFLUSSGRÖßEN UND ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG DER LASTKOMPONENTEN ⁵⁰	
7.1	Ansatz für die Windlasten nach EAU 2004	50
7.2	Ansatz für die Strömungslasten	53
7.3	Ansatz für die hydrodynamischen Lasten am Pfahl: Pfahlkräfte	55
7.4	Ansatz für Schwall und Sunk: WAMSIM – Resonanzmodell für Schiffsbewegungen und Trossenkräfte	57
8.	ERGEBNISSE	58
8.1	Windlasten nach EAU 2004	58

8.2	Strömungslasten	60
8.3	Hydrodynamische Lasten am Pfahl: Pfahlkräfte	62
8.4	Lasten aus Schwall und Sunk: WAMSIM Berechnungen	63
8.4.1	Schwergutschiff P2-800 – Szenario–1 - ohne Shore Tension®	65
8.4.2	Schwergutschiff P2-800 – Szenario–2 - mit Shore Tension®	67
8.4.3	Zusammenfassung: Vertäuung des Schwergutschiffes P2-800	69
8.4.4	Arbeitsponton - unbeladen	70
8.4.5	Zusammenfassung: Vertäuung des Arbeitsponton (unbeladen)	71
8.4.6	Arbeitsponton - beladen	72
8.4.7	Zusammenfassung: Vertäuung des Arbeitsponton (beladen)	73
8.4.8	Jack-Up Schiff 1 (schwimmend)	74
8.4.9	Jack-Up Schiff 1 - vertäut ohne Vorspannung der Trossen	75
8.4.10	Jack-Up Schiff 1- Szenario 1 unter Annahme vorgespannter Trossen	77
8.4.11	Jack-Up Schiff 1 – Szenario 2 (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)	79
8.4.12	Zusammenfassung: Vertäuung des Jack-Up Schiffes 1	81
8.4.13	Jack-Up Schiff 2 (schwimmend)	82
8.4.14	Jack-Up Schiff 2	83
8.4.15	Zusammenfassung: Vertäuung des Jack-Up Schiffes 2	85
8.5	Analyse der Lastanteile	86
8.6	Auswertung der Schiffsbewegung	88
9.	ZUSAMMENFASSUNG DER UNTERSUCHUNG	90
10.	LITERATUR	93

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lage des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven (OTB), Quelle: bremenports	7
Abb. 2:	Schiffsbewegungen bezogen auf den Körperschwerpunkt (3 Translationen und 3 Rotationen)	9
Abb. 3:	Squat-Effekt bei symmetrischer Fahrt (BAW, 2006)	12
Abb. 4:	Darstellung des Teilquerschnitts einer Wasserstraße mit ausgewählten Einflussgrößen auf die schiffserzeugten Belastungen (schematisch) (BAW, 2006)	13
Abb. 5:	Einflussparameter auf die Ausbildung des Absunk (Wuebben, 1995)	13
Abb. 6:	Seitliche Ansicht des Schiffswellensystems am Standort des Beobachters (BAW, 2006)	14
Abb. 7:	Resultierende schiffserzeugte Verdrängungsströmung (BAW, 2006)	14
Abb. 8:	Windzonenkarte der DIN 1055-4 (DIN 1055-4: 2005-03 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten)	16
Abb. 9:	Pegelkurve Bremerhaven Alter Leuchtturm „BAL“ mit 10 min Intervallen. (Quelle: Morgenstern, 2011)	17
Abb. 10:	Lage des OTB, roter Stern: Extraktionspunkt Wellenatlas Hannover), (Quelle Hintergrundkarte: Google Earth, Quelle OTB: bremenports)	19
Abb. 11:	Absunkwelle im Testlauf, entnommen aus BAW (BAW, 2006b),	21
Abb. 12:	Bathymetrie des untersuchten Weserabschnitts bei Dedesdorf und Messpunkte	26
Abb. 13:	Übersicht der Fahrlage/ Passierabstand für die aufkommende Weser Stahl	27
Abb. 14:	Übersicht der Fahrlage/ Passierabstand für die Abgänger	28
Abb. 15:	Graphische Gegenüberstellung der Absunkgröße (Kleinensiel oben, Dedesdorf unten)	29
Abb. 16:	Graphische Gegenüberstellung der Primärwellenhöhe (Kleinensiel oben, Dedesdorf unten)	30
Abb. 17:	Links: Darstellung der Schiffshüllenauflösung inkl. Diskretisierung; Rechts: Bathymetrie und Messpunkte am OTB	31
Abb. 18:	Fahrrinnen und OTB Diskretisierung	32
Abb. 19:	Darstellung der Vorbeifahrt eines Bulklers. Räumliche Ausprägung des Wellenbildes (Bugwelle, Absunk, Heckwelle).	33
Abb. 20:	Wasserstand und zeitlicher Ablauf des Begegnungsverkehrs: Links oben: Annäherung (13:54 Uhr); Mitte unten: Begegnung (13:56 Uhr); Rechts oben: Entfernung (13:57 Uhr)	35
Abb. 21:	Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Begegnungsfall (+1,76 mNN WL)	36
Abb. 22:	Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Abgänger (+1,76 mNN WL)	36
Abb. 23:	Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Begegnungsfall (+2 mNN WL)	37
Abb. 24:	Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: östlicher Abgänger, großer Bulker (+1,76 mNN WL)	38
Abb. 25:	Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: mittiger Abgänger, kleiner Bulker (1,76 mNN WL)	39
Abb. 26:	Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Abgänger (1,76 mNN WL) Modelloptimiert	40
Abb. 27:	Darstellung der Fahrspuren für den Begegnungsfall	42
Abb. 28:	Darstellung der Fahrspuren für den Fall einer östlichen Fahrt („worst-case“)	43
Abb. 29:	Vertäulayout Containerschiff P2-800	47
Abb. 30:	Vertäulayout Arbeitsponton	48
Abb. 31:	Vertäulayout Schwergutschiff 1	48
Abb. 32:	Vertäulayout Schwergutschiff 2	49
Abb. 33:	Ansatz der Windlasten auf das vertäute Schiff nach EAU (EAU, 2004), Vorzeichenkonvention und Koordinatensystem	50
Abb. 34:	Windrichtung zur Schiffslängsachse (Wind aus 135° ergibt einen Wind aus $\alpha = 95,71^\circ$ zur Schiffslängsachse).	51

Abb. 35: Ansatz der Strömungslasten nach (OCIMF, 2008), Vorzeichenkonvention und Koordinatensystem	53
Abb. 36: Schematische Darstellung der Pfahlbelastung	55
Abb. 37: Initiales Vertäulayout: Schwergutschiff P2-800	65
Abb. 38: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Schwergutschiff P2-800	65
Abb. 39: Initiales Vertäulayout: Schwergutschiff P2-800	67
Abb. 40: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Containerschiffs P2-800	67
Abb. 41: Initiales Vertäulayout: Arbeitsponton unbeladen	70
Abb. 42: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Arbeitspontons unbeladen	70
Abb. 43: Initiales Vertäulayout: Arbeitsponton beladen	72
Abb. 44: Schematische Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Arbeitspontons beladen	72
Abb. 45: Initiale Position des Schwergutschiffs 1 vor der Kaje (ohne Vertäuerung)	74
Abb. 46: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Schwergutschiffs 1 (schwimmend/ ohne Vertäuerung)	74
Abb. 47: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 1 vertäut ohne Vorspannung der Trossen	75
Abb. 48: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 1 vertäut ohne Vorspannung der Trossen	75
Abb. 49: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 1 vertäut unter Annahme vorgespannter Trossen	77
Abb. 50: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 1 vertäut unter Annahme vorgespannter Trossen	77
Abb. 51: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 1 vertäut (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)	79
Abb. 52: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 1 vertäut (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)	79
Abb. 53: Initiale Position des Jack-Up Schiff 2 vor der Kaje (ohne Vertäuerung)	82
Abb. 54: Schematische Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 2 (schwimmend/ ohne Vertäuerung)	82
Abb. 55: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 2 vertäut	83
Abb. 56: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 2 vertäut	83
Abb. 57: Vorgaben der Seelotsenbrüderschaft Weser II / Jade	1
Abb. 58: Vorgaben der Seelotsenbrüderschaft Weser II / Jade Gemessene	2
Abb. 59: Schiffswellenereignisse am Messquerschnitt D (Kleinensiel - Dedesdorf) aus (BAW, 2006)	3
Abb. 60: Schiffswellenmessung: Weser Stahl (Bulk) 23,10,2005; (BAW, 2006)	3
Abb. 61: Schiffswellenmessungen: Weser Stahl (Bulk) 24,10,2005; (BAW, 2006)	3
Abb. 62: Schiffswellenmessung: Star Ikebana (General Cargo) 05,11,2005; (BAW, 2006)	4
Abb. 63: Schiffswellenmessung: Weser Stahl (Bulk) 08,11,2005; (BAW, 2006)	4
Abb. 64: Ansatz der Windlasten auf das vertäute Schiff (nach OCIMF 2008), Vorzeichenkonvention und Koordinatensystem	1
Abb. 65: Windrichtung zur Schiffslängsachse (Wind aus 135° ergibt einen Wind aus $\Theta = 84,29^\circ$ zur Schiffslängsachse),	2

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Absolute Abmessungen der zu untersuchenden Schiffseinheiten (Designwerte)	10
Tabelle 2: Signifikante Strömungen (Nautik-Modell der HS-Bremen, Morgenstern, 2011)	18
Tabelle 3: Windwellenereignisse am OTB für erhöhte Windgeschwindigkeiten und Wasserstände (Mai, 2004)	19
Tabelle 4: Relevante Schiffspassage Einzelschiff, Auftrag	20
Tabelle 5: Relevante Schiffspassage Einzelschiff, „worst-Case“	21
Tabelle 6: Relevanter Begegnungsverkehr	21
Tabelle 7: Zur Modellvalidierung verwendete Schiffspassagen - Eingangsparameter	27
Tabelle 8: Modellvalidierung: Vergleich der Ergebnisse aus dem numerischen Modell und den Naturmessungen	28
Tabelle 9: Simulationsfälle entsprechend der Lastfalldefinition	33
Tabelle 10: Zusammenstellung der Simulationsergebnisse	41
Tabelle 11: Schiffsdimensionen	45
Tabelle 12: Geometrie und Materialdaten der Poller	46
Tabelle 13: Geometrie und Materialdaten der Fender	46
Tabelle 14: Geometrie und Materialdaten der Trossen	46
Tabelle 15: Lastfälle mit entsprechenden Last- und Exzentrizitätskoeffizienten	51
Tabelle 16: Eingangsgrößen	52
Tabelle 17: Eingangsdaten zur Lastermittlung nach OCIMF (OCIMF, 2008)	54
Tabelle 18: Ergebnisse der Windlastkomponenten bezogen auf den Schiffsschwerpunkt nach EAU (EAU, 2004)	58
Tabelle 19: Strömungslastkoeffizienten nach OCIMF (OCIMF, 2008)	60
Tabelle 20: Ergebnisse der Strömungslasten bezogen auf den Schiffsschwerpunkt für eine Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 kn = 0,80 m/s	60
Tabelle 21: Ergebnisse der Strömungslasten bezogen auf den Schiffsschwerpunkt für eine Strömungsgeschwindigkeit von 2,5 kn = 1,3 m/s	61
Tabelle 22: Ergebnisse der Berechnung der Pfahllasten (Querkraft) infolge Tide (max. 2,5 kn) und langwelliger Schiffswellenbelastung (auf 1 m Pfahlänge normiert)	62
Tabelle 23: Eingangsdaten Schwergutschiff P2-800	65
Tabelle 24: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 240 kN) – Schwergutschiff P2-800	66
Tabelle 25: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Schwergutschiff P2-800	66
Tabelle 26: Eingangsdaten Containerschiff P2-800	67
Tabelle 27: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 240 kN) – Containerschiff P2-800	68
Tabelle 28: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Containerschiff P2-800	68
Tabelle 29: Eingangsdaten zum Arbeitsponton unbeladen	70
Tabelle 30: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 495 kN) – Arbeitsponton unbeladen	71
Tabelle 31: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Arbeitsponton unbeladen	71
Tabelle 32: Eingangsdaten Arbeitsponton beladen	72
Tabelle 33: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 495 kN) – Arbeitsponton beladen	73
Tabelle 34: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Arbeitsponton beladen	73
Tabelle 35: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 1 vertäut ohne Vorspannung der Trossen	75
Tabelle 36: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.45*BL) = 230 kN) - Jack-Up Schiff 1	76

Tabelle 37: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Jack-Up Schiff 1	76
Tabelle 38: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 1 vertäut unter Annahme vorgespannter Trossen	77
Tabelle 39: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.45*BL) = 230 kN) – Jack-Up Schiff 1	78
Tabelle 40: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) Jack-Up-Schiff 1	78
Tabelle 41: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 1 vertäut (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)	79
Tabelle 42: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.45*BL) = 230 kN) – Jack-Up Schiff 1	80
Tabelle 43: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Jack-Up Schiff 1	80
Tabelle 44: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 2 vertäut	83
Tabelle 45: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 425 kN) Jack-Up Schiff 2	84
Tabelle 46: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Jack-Up Schiff 2	84
Tabelle 47: Zusammenstellung der WAMSIM Ergebnisse aus der dynamischen Belastung infolge Schwall und Sunk ohne Wind und Strömung.	86
Tabelle 48: Überlastungen und Reserven der Trossenkraft ohne Wind und Strömung	87
Tabelle 49: Zusammenstellung der Ergebnisse mit stat. Lastangriff im Schwerpunkt	87
Tabelle 50: Empfohlene max. zulässige Schiffsbewegung (peak-to-peak Werte, sway: zero-peak Werte) nach PIANC (PIANC, 1995)	88
Tabelle 51: Maximalbewegung (Absolutwerte) der untersuchten Schiffe infolge Schwall und Sunk	89
Tabelle 52: Anströmflächen der Schiffseinheiten	3
Tabelle 53: Ergebnisse der Windlastkomponenten nach OCIMF 2008 für den unbeladenen Zustand	4
Tabelle 54: Ergebnisse der Windlastkomponenten nach OCIMF 2008 für den beladenen Zustand	5

1. Aufgabenstellung

An der Weser bei Bremerhaven ist im Rahmen eines geplanten Ausbaus des südlichen Fischereihafens zu einem Zentrum der Offshore Windenergiebranche der Bau eines Offshore-Terminals vorgesehen. Dieses Terminal ist im Blexer Bogen nördlich des Neuen Lunesiels (Abb. 1) zwischen Weser-km 63 (Bereich der Blexenreedee) und Weser-km 65 (Geestemündung) geplant.

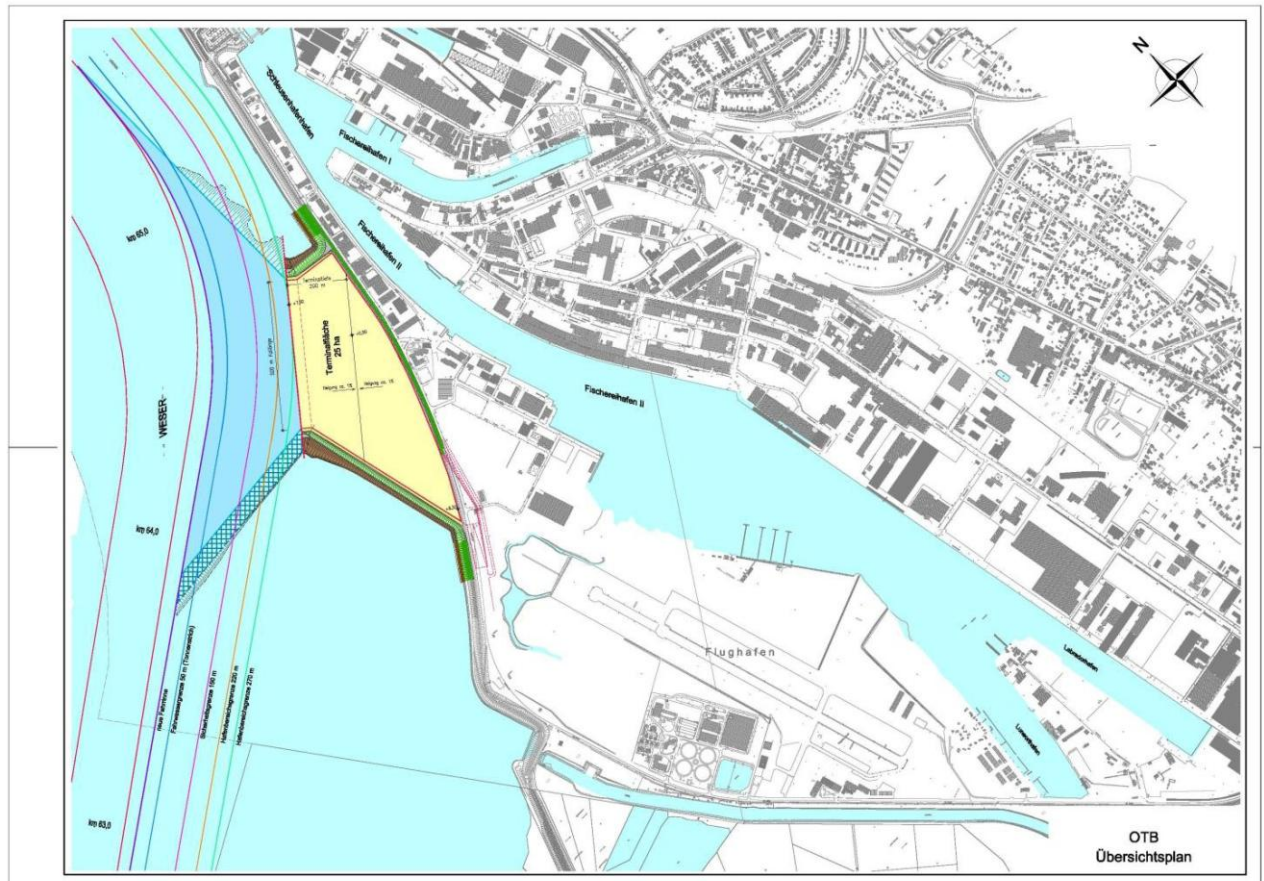


Abb. 1: Lage des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven (OTB), Quelle: bremenports
Im Rahmen der Planung stellte sich als eine zentrale Fragestellung heraus: „Ist ein sicheres Liegen vor dem OTB bei einer ungehinderten Passage der durchgehenden Schifffahrt möglich?“.

Da aus nautischen Sicherheitsaspekten der durchgehende Verkehr nicht geregelt werden darf, ist zu untersuchen, inwieweit die festgemachten Schiffseinheiten, bei der Beibehaltung der Fahrstrategien zur sicheren Durchfahrt des Blexer Bogens, gefährdet werden. Entsprechend sind kritische Lastfälle auf Basis der nautischen Simulationen zu definieren.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Untersuchungen, die zur Ermittlung von Schwall und Sunk durch vorbeifahrende Schiffe und deren Auswirkungen auf die an der Kaje liegenden Schiffe durchgeführt wurden. Ferner ist unter Berücksichtigung dieser Einwirkungen ein Konzept für die Vertäuerung der Schiffseinheiten am OTB entwickelt worden. In diesem Zusammenhang war nachzuweisen, dass die durch den durchfahrenden Schiffsverkehr induzierten, auf die am Terminal liegenden Schiffseinheiten wirkenden Schwall- und Sunkkräfte durch die Vertäuerung abgetragen werden.

Im Rahmen des zu entwickelnden Vertäukonzepts werden folgende Fragen untersucht:

1. Welche Kräfte (Schwall / Sunk / Wind / Strömung / Wellenschlag etc.) haben einen signifikanten/ relevanten Einfluss auf die am Terminal liegenden Schiffe?
2. Wie können die einwirkenden Kräfte durch die Vertäuerung abgetragen werden?

Alle Betrachtungen erfolgen unter Beachtung der unabhängig von diesem Vorhaben seitens der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung verfolgten Anpassung der Außen- und Unterweser und der hafenbezogenen Wendestelle sowie der mit diesem Vorhaben verbundenen Verlegung des Fahrwassers im Bereich des geplanten Terminals.

2. Vorgehen

Die Erstellung des Vertäukonzeptes gliedert sich in fünf wesentliche Arbeitspakete:

- (1) Definition maßgeblicher Lastfälle
- (2) Aufbau und Validierung des numerischen Modells für Schwall und Sunk
- (3) Ermittlung von Schwall und Sunk für die maßgeblichen Lastfälle
- (4) Berechnung der Schiffsbewegungen und Trossenkräfte verschiedener Schiffstypen für eine primäre Vertäuerung (WAMSIM) bzw. von Pfahlkräften einer aufgejackten Barge
- (5) Optimierung des Vertäukonzepts durch die Prüfung einer alternativen Vertäuerung

In dem zu diesem Projekt vorliegenden Zwischenbericht (DHI-WASY, 2012) wurden die Ergebnisse der Arbeitspakete (1) bis (4) ausführlich präsentiert. Im Verlaufe des Projektes sind einige Änderungen im Rahmen des Punktes (5) diskutiert worden, wodurch zusätzliche Aspekte, wie der Einsatz von Shore Tension®, im Weiteren vorrangig und vertieft bearbeitet wurden. Desweiteren wurden ursprünglich angesetzte Fallbeispiele wie das Bebunkern von aufgejackten Schiffseinheiten ausgeschlossen. Die fehlenden Angaben zu den Schiffs- und Terminalausrüstungen wurden durch zusätzliche Recherchen ergänzt und stellen somit die Grundlagen für die hier unternommenen Untersuchungen dar.

3. Definition maßgeblicher Lastfälle

Die Trossen einer am Terminal festgemachten Schiffseinheit müssen Lasten aus verschiedenen Einwirkgrößen abtragen. Zur Eingrenzung der Arbeitsschritte im Modellierungsprozess ist zunächst eine Definition der zu untersuchenden Lastkombinationen festzulegen. Hierbei werden folgende Parameter in ihrer generellen Wirkungsweise auf vertäute Einheiten und ihre Ausprägung am OTB berücksichtigt:

- Wind
- Strömung
- Wellenschlag: kurzperiodische Wind- und langperiodische Dünungswellen
- Passierender Verkehr: Primär- und Sekundärwellen

Aus dem Tidehub und in Kombination mit den unterschiedlichen Ladezuständen resultieren kontinuierliche Änderungen der vertikalen Lage und daraus folglich unterschiedliche Trossenkräfte. Diese müssen über die auf dem Schiff vorliegenden und hierauf dimensionierten Winschen kompensiert werden können (OCIMF, 2008). Auf eine entsprechende Dimensionierung der Winschen wird in der vorliegenden Untersuchung nicht näher eingegangen.

Im Folgenden wird ausschließlich auf die Wirkungsweise von Wind, Strömung und Wellen sowie deren Interaktion eingegangen.

3.1 Generelle Wirkungsweise der Lasten auf die vertäuten Einheiten am Terminal

Für die Bestimmung der Trossenkräfte ist neben den einwirkenden Lasten (Actio) auch immer die Schiffseinheit zu berücksichtigen, deren Trägheit überwunden werden muss, um maßgebliche Bewegungen (Reactio) zu vollführen. Werden diese Bewegungen durch die Vertäuung eingegrenzt, so kommt es je nach Randbedingungen zu erheblichen Rückstellkräften in den verwendeten Trossen.

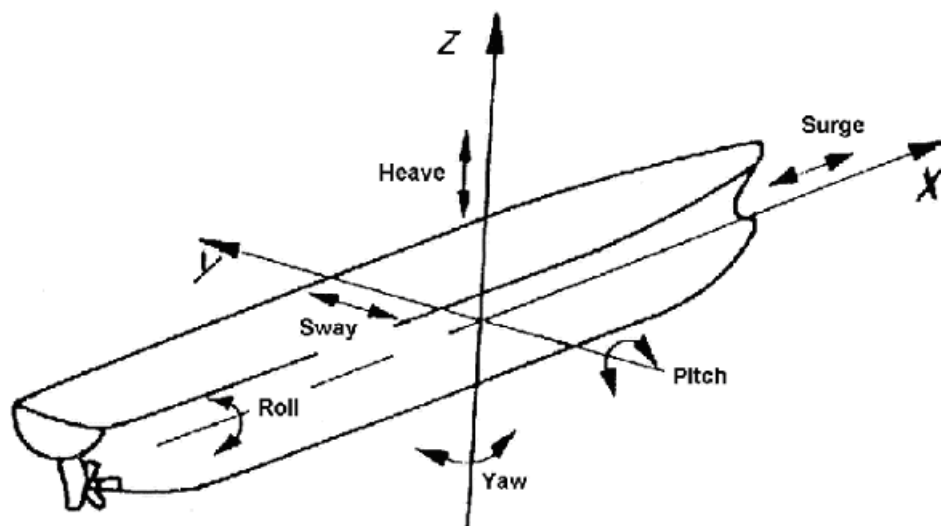


Abb. 2: Schiffsbewegungen bezogen auf den Körperschwerpunkt (3 Translationen und 3 Rotationen)

Für die bauliche Planung des OTB werden folgende Schiffseinheiten berücksichtigt und sind maßgebend für die Auslegung der Kajenausrüstung:

Tabelle 1: Absolute Abmessungen der zu untersuchenden Schiffseinheiten (Designwerte)

Schiffs-Typ	Abmessungen (L _{0A} xBxT _D)
Schergutschiff P2-800	(168,68 m x 25,20 m x 8,10 m)
Arbeitsponton (unbeladen)	(90,00 m x 32,00 m x 5,00 m)
Arbeitsponton (beladen)	(90,00 m x 32,00 m x 5,00 m)
Jack-Up Schiff 1	(100,00 m x 40,00 m x 4,50 m)
Jack-Up Schiff 2	(147,50 m x 42,00 m x 7,00 m)
Bunkerbarge	(84,76 m x 9,00 m x 2,25 m)

Folgende Lasten werden hinsichtlich ihrer Relevanz betrachtet:

a) *Wind (EAU, 2004; OCIMF, 2008)*

Die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe über der Meeresoberfläche überproportional zu. Der Einfluss auf die Vertäuerung kann somit maßgeblich werden, wenn das Schiff genügend Windangriffsfläche bietet.

Entscheidend für die Wirkung des Windes ist die Windanströmrichtung des Schiffes und die Höhe/ Fläche der Aufbauten. Zu unterscheiden sind hierbei die Windwirkungen in der Quer- und in Längsachse des Schiffes. Grundsätzlich wirkt der Staudruck auf die projektierte Angriffsfläche des Schiffes oberhalb der Wasserlinie. Je größer die Anströmfläche des Schiffes desto größer ist auch der Staudruck der auf die Trossen umgelagert wird.

In der EAU 2004 ist der Lastfall Wind im Abschnitt 5.11 wie folgt beschrieben: [„... Die Belastungen für Vertäueinrichtungen (...), die sich nach dieser Empfehlung ergeben, ersetzen die Lastgrößen nach E12, Abschn. 5.2 nur dann, wenn die Einflüsse aus Dünung, Wellen und Strömung am Schiffs Liegeplatz vernachlässigt werden können. (...) Wegen der Massenträgheit der Schiffe ist nicht die kurzzeitige (Größenordnung Sekunde) Spitzenböe für die Ermittlung von Trossenzugkräften maßgeblich, sondern der mittlere Wind in einem Zeitraum *T*. Für Schiffe bis 50,000 dwt sollte *T* zu 0,5 min und für größere Schiffe *T* zu 1,0 min gewählt werden.“]

Die aus dem Staudruck resultierenden Windlasten variieren anhand des schiffsspezifischen Luftwiderstandsbeiwerts eines Schiffes. Im schiffsspezifischen Zertifizierungsprozess z.B. bei der Auslegung der Vertäueinrichtungen und des „Mooring arrangement plans“ wird dies bereits überschläglich berücksichtigt. Für die neuartigen Jack-Up Einheiten und Pontons ist dieser Luftwiderstandsbeiwerts nicht eindeutig festgelegt, da aufgrund variabler Beladung auch unterschiedliche Koeffizienten angenommen werden können.

Weitere Lastermittlungsansätze für Wind liefert OCIMF (2008) auf die jedoch nur vergleichend zur EAU 2004 eingegangen wird (siehe Anlage D).

b) *Strömung (OCIMF, 2008)*

Die Lastanteile aus Strömung auf das Unterwasserschiff ermitteln sich mit den Formwiderstandsbeiwerten für eine laterale und longitudinale Anströmung. Diese Koeffizienten sind neben der Bugform (nur longitudinaler Faktor) besonders von der Kielfreiheit (UnderKeelClearance - UKC) und folglich dem Verhältnis von Wassertiefe zu Tiefgang abhängig. Maßgebend ist hierbei die maximale Strömungsgeschwindigkeit vor der Kaje. Die Belastung aus Strömung ruft Kraftkomponenten in x- und y-Richtung, sowie ein Giermoment um die lokale z-Achse hervor (Abb. 2).

c) *Wellenschlag: kurzperiodische Wind- und langperiodische Dünungswellen*

Um große schwimmende Einheiten in Bewegung zu bringen, muss zunächst deren Massenträgheit überwunden werden. Als Haupteinflussfaktoren hierfür sind neben der Form des Schiffes folgende Größen:

1. Breite
2. Länge
3. Tiefgang des Schiffes

Somit ist als Richtgröße das verdrängte Wasservolumen zu nennen.

Diese Einflussfaktoren wirken sich direkt auf die Resonanzwirkung des durch Wellen angeregten Schiffskörpers aus. Im Gegensatz zu den kurzperiodischen Windwellen wird der langperiodische Dünungsanteil auch große Schiffseinheiten in Bewegung versetzen können.

Für die betrachteten großen Schiffseinheiten und Arbeitspontons mit Tiefgängen zwischen 4 und 9 m und Schiffsbreiten von 25 bis 42 m ist davon auszugehen (Tabelle 1), dass die hier vorhandenen kurzen Windwellen keinen maßgeblichen Einfluss auf die am Terminal vertäuten Einheiten haben.

- d) *Passierender Verkehr – Fahrt in beschränktem Gewässer (Fahrwasser)*
Durch fahrtbedingte, erhöhte Strömungsgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Rückströmung kommt es zu einem Absinken des Wasserspiegels seitlich und unter dem Schiff. Es entsteht eine Sunk- und eine Schwallwelle am fahrenden Schiff. Beide schiffsinduzierten Wellen breiten sich bis an das Ufer aus.

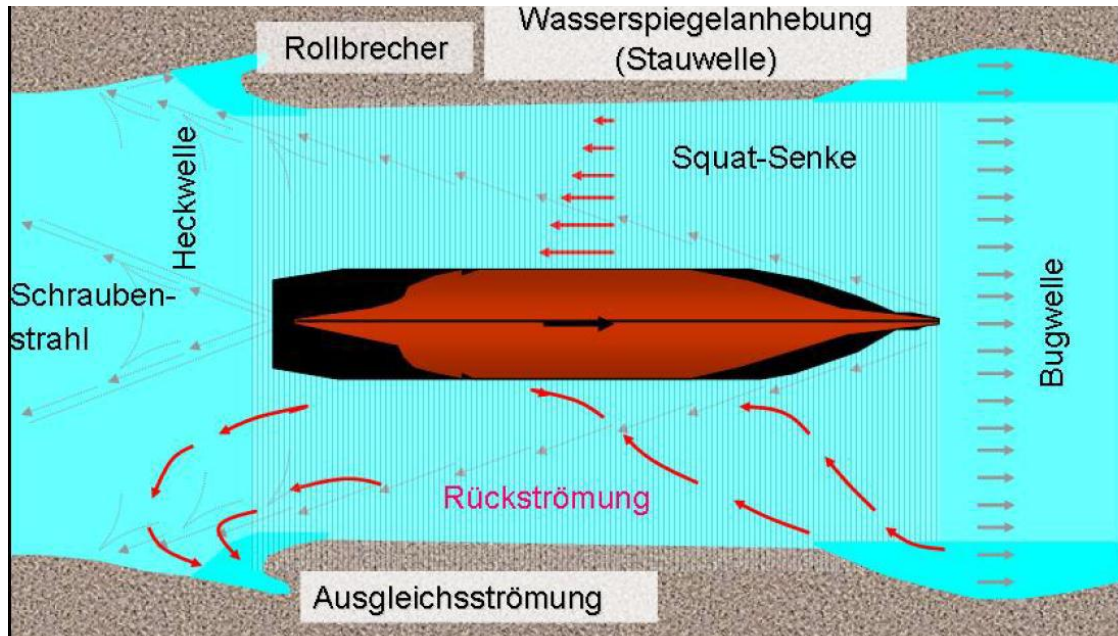


Abb. 3: Squat-Effekt bei symmetrischer Fahrt (BAW, 2006)

In ihrem Gutachten zur Unterweseranpassung nennt die BAW die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Ausbildung der schiffsinduzierten Schwall und Sunklasten (BAW, 2006): [„(...) Die Größen der von fahrenden Schiffen erzeugten Wasserspiegelschwankungen und Strömungen sind eine Funktion

- Von Schiffsgeschwindigkeit v_s und Passierabstand L ,
- Der Schiffsabmessungen (Länge l , Breite b , Tiefgang t , eingetauchter Hauptspantquerschnitt A_s , Blockfaktor c_B),
- Gesamtwiderstand des Schiffes $R_{T,K}$ (Schiffsform),
- Der Fahrwasserverhältnisse (Wasserspiegelbreite B , Sohlbreite B_s , Wassertiefe h , Querprofilform und -fläche A sowie Teilquerschnitt A_T Uferform und Böschungsneigung 1:m),
- Der Strömungsverhältnisse in der Wasserstraße v_0 (z.B. v_e oder v_f),
- Sonstige Einflüsse, wie z.B. Krümmungsradius D , Driftwinkel β , Antriebsart,
- Dichte des Wassers.

(...)“]

Diese, sich zum Ufer bzw. zum Terminal hin ausbreitenden Schwall- und Sunkwellen, sind in ihrer Größe im Wesentlichen abhängig von folgenden Parametern (siehe auch BAW, 2006):

[„(...) Anhand von Veröffentlichungen und eigener Untersuchungen haben sich als wesentliche Parameter für die schiffserzeugten Belastungen in inhomogenen Seeschiffahrtsstraßen

- die Schiffsgeschwindigkeit v_s
- der Passierabstand vom Ufer L
- das Teilquerschnittsverhältnis n_T ($n_T = A_T/0,5 \cdot A_s$) für asymmetrische Belastung der Ufer

- das Verhältnis von Gesamtwassertiefe zum Tiefgang h/t

herausgestellt. (...)]

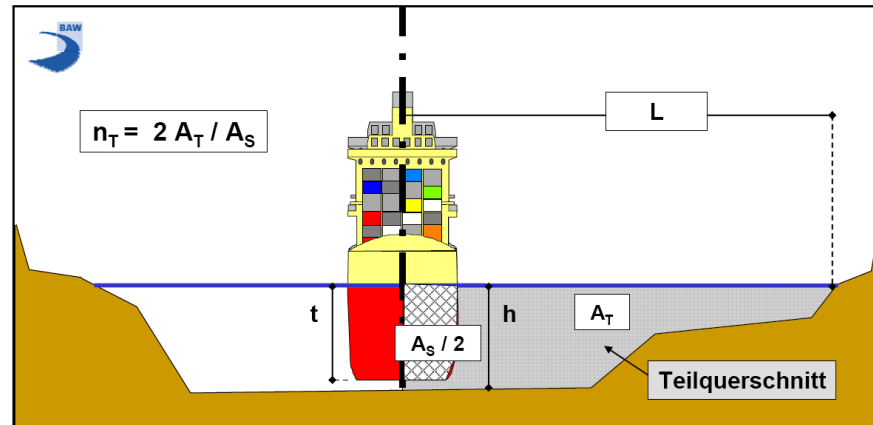


Abb. 4: Darstellung des Teilquerschnitts einer Wasserstraße mit ausgewählten Einflussgrößen auf die schiffserzeugten Belastungen (schematisch) (BAW, 2006)

Die Wirkung einiger dieser Einflussgrößen auf den Absenk (Drawdown) wurde bereits von Wuebben (1995) anhand von physikalischen Versuchen in den Great Lakes untersucht. Den generellen Einfluss der Schiff- und Kanalparameter auf den Sunk zeigt Abb. 5. Hierbei ist zu beachten, dass die einzelnen Parameter auf der Abzisse in Fuß (ft) bzw. Fuß/Sekunde (ft/s) angegeben sind.

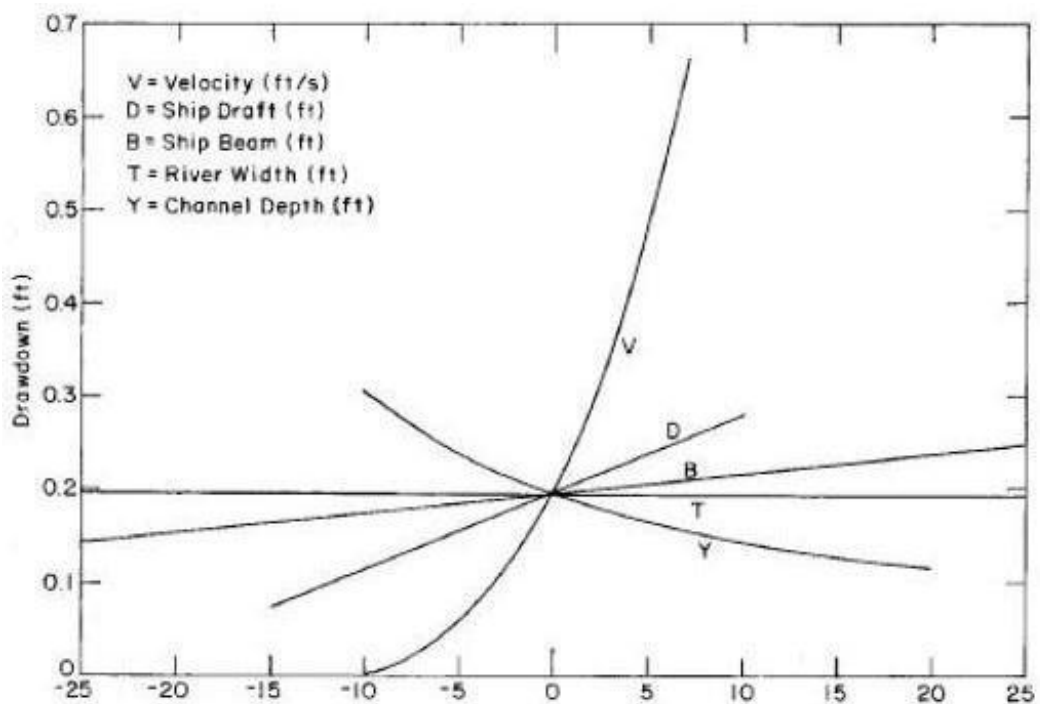


Abb. 5: Einflussparameter auf die Ausbildung des Absenk (Wuebben, 1995)

Aus der Abb. 5 wird deutlich, dass die Schiffsgeschwindigkeit den größten Einfluss auf den Sunk hat.

Aus den Darstellungen von Wellensystem und Rückströmung lässt sich ableiten, dass entsprechend der Beurteilung von Wind- und Dünungswellen, der langperiodische Anteil einen direkten Einfluss auf die vertäuten Schiffe hat.

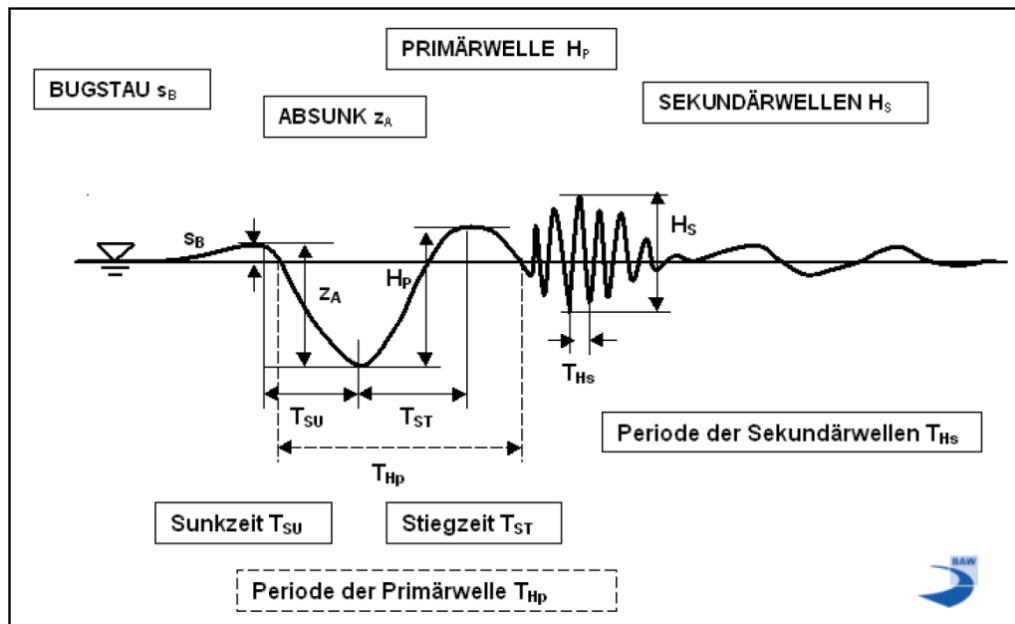


Abb. 6: Seitliche Ansicht des Schiffswellensystems am Standort des Beobachters (BAW, 2006)

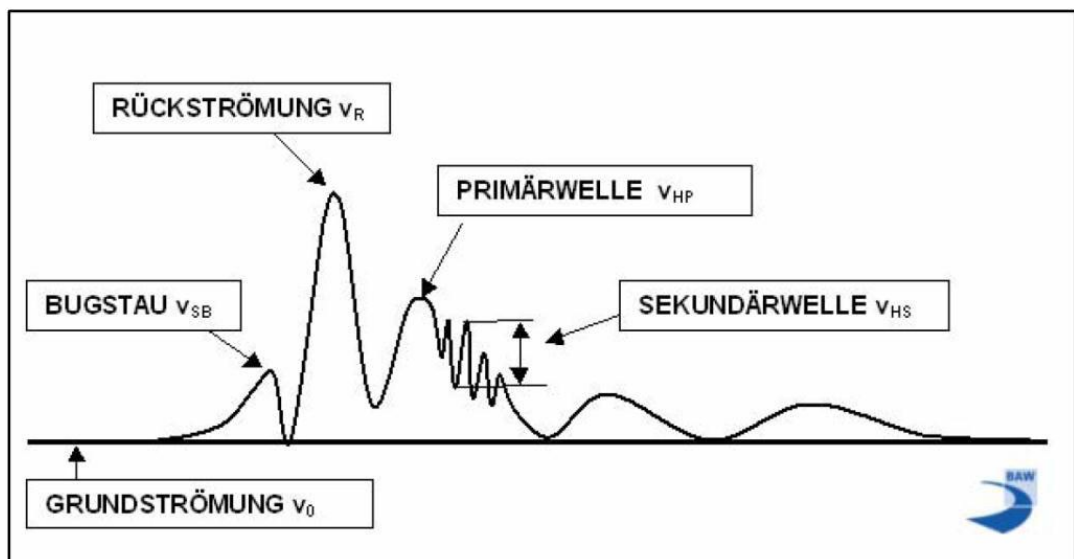


Abb. 7: Resultierende schiffserzeugte Verdrängungsströmung (BAW, 2006)

Das schiffinduzierten „Primärwellensystem“ (Kollektiv aus Bugstau, Absenk, Heckwelle) mit ihren relativ hohen und zeitlich langanhaltenden Strömungsgeschwindigkeiten, sind demnach maßgeblich für die Reaktion großer, am Ufer liegender Schiffskörper. Hierbei werden die Trossenkräfte in der Form aktiviert, in der der Absenk durch das Wellental ausgeprägt wird. Die kurzperiodischen Anteile der Sekundärwellen hingegen haben aufgrund der hohen Frequenz keine signifikante Auswirkung auf am Ufer vertäute Schiffseinheiten.

3.2 Rahmenbedingungen am OTB

Das Offshore-Terminal befindet sich im Weserverlauf zwischen dem Weserkilometer 63 und 65, in der Außenkrümmung des nördlichen Bereichs im Blexer Bogen, auf Höhe des Flughafens Luneort in unmittelbarer Nachbarschaft zur Stadt Bremerhaven und dem Fischereihafen. Die Hauptwindrichtung für diesen Bereich ist Wind aus Nord-Nord-West, welcher aufländig auf die vertäuten am OTB liegenden Schiffe wirkt. Der Bereich ist tidebeeinflusst.



Für die Beurteilung der maßgeblichen Lastfälle ist eine Zusammenstellung der vorherrschenden äußeren Bedingungen am OTB notwendig. Die im Folgenden zusammengestellten Lastannahmen werden in Kap. 3.3 hinsichtlich weiterer Wechselwirkungen beurteilt, bevor in Kap. 5 eine abschließende Empfehlung für die Lastfallkombinationen gegeben wird.

a) *Wind*

Wie unter Kap. 3.1 erwähnt sind nicht die Spitzengeschwindigkeiten des Windes für die Berechnung von vorherrschenden Trossenzuglasten maßgeblich sondern mittlere Windgeschwindigkeiten. Die EAU 2004 empfiehlt daher die Verwendung von Windmessungen zur Bestimmung des Bemessungswertes für ein Wiederkehrintervall von 50 Jahren auf Basis einer Extremwertstatistik. Da diese Messdaten für den OTB nicht vorliegen, können nach EAU 2004 [„...als maßgebende Windgeschwindigkeiten v für alle Windrichtungen die Werte nach DIN 1055, Teil 4 angesetzt werden.“].

Der geplante OTB liegt nach DIN 1055-Teil 4 in der Windzone 4. Für die Bemessung der Trossenkräfte kann entsprechend eine Referenzgeschwindigkeit v_{ref} von 30 m/s (in 10 m Höhe über Grund) für alle Windrichtungen angesetzt werden.



Windzone	v_{ref} m/s	in	q_{ref} kN/m ²	in
1	22,5		0,316	
2	25,0		0,391	
3	27,5		0,473	
4	30,0		0,563	

Abb. 8: Windzonenkarte der DIN 1055-4 (DIN 1055-4: 2005-03 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten)

Aufgrund der SW-NE Ausrichtung des Anlegers und den als unkritisch anzusehenden auflandigen Winden, geht in die Bestimmung der Windlasten nur die Betrachtung für nordöstliche bis südwestliche Winde ein (NE, E, SE, S und SW).

b) *Strömung*

Durch die Errichtung des OTB erfolgt eine bauliche Veränderung in der Unterweser innerhalb des Blexer Bogens (Weser-km 65), welche Auswirkungen auf das Strömungsverhalten in diesem Streckenabschnitt der Weser hat. Im Zuge der nautischen Voruntersuchungen wurde von der BAW ein neues Tidemodell basierend auf der Bathymetrie des Planungsausbaus aufgebaut (Morgenstern, 2011).

Die Strömungsbedingungen am OTB innerhalb des Blexer Bogens werden maßgeblich von der Tide beeinflusst. Der Referenzpunkt für die Beobachtung und Auswertung der Tide ist der nahe gelegene Pegelmesspunkt „Alter Leuchtturm“ (Gauss Krüger KOS: 5934916,00; 3471446,00). Aus der nautischen Modellierung der Strömungssimulationen (Morgenstern, 2011) stehen bis zu 96 Zeitschritte für einen Tideverlauf zur Verfügung. Das heißt, dass die 12 ½ -stündige Tidekurve in Zeitintervalle von etwa 8,1 Minuten untergliedert wird (siehe Abb. 9). Diese zeitliche Auflösung ist für die Analyse der Hydrodynamik und Übertragung der Ergebnisse auf die Schiffssimulation hinreichend genau.

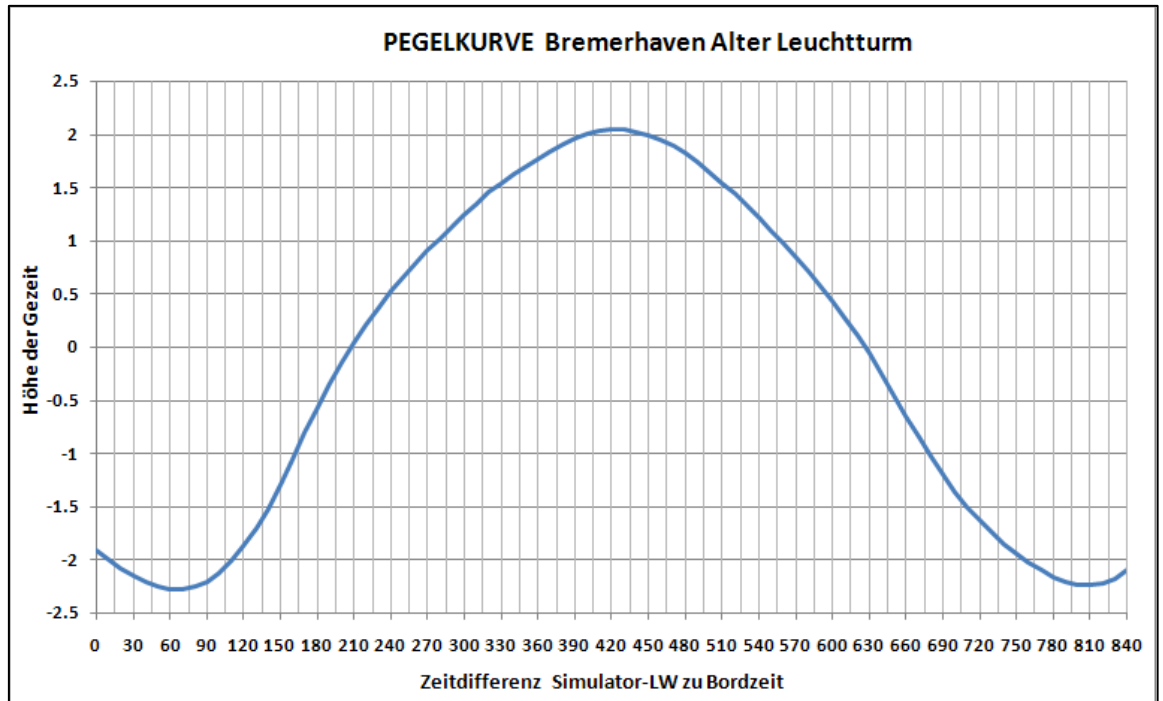


Abb. 9: Pegelkurve Bremerhaven Alter Leuchtturm „BAL“ mit 10 min Intervallen.
(Quelle: Morgenstern, 2011)

Im Rahmen der nautischen Modellierung wurden die aus dem BAW Gutachten (BAW, 2006a) vorliegenden 3-D Strömungsdaten verwendet und auf tiefengemittelte, 2-dimensionale Daten reduziert. Die tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit auf Basis des BAW Gutachten wurde dabei auf Empfehlung der Nautikgruppe (Lotsenerfahrung) um den Faktor 1,237 erhöht.

Die vorliegenden Untersuchungen zum Vertäukonzept sind eng mit den Ergebnissen aus dieser nautischen Untersuchung verknüpft und berücksichtigen die verwendeten Strömungsbedingungen, welche nachfolgend für verschiedene maßgebliche Tidezeitpunkte beschrieben sind.

Generell ist in den Darstellungen der Simulations-Studie OTB (Morgenstern, 2011) zu erkennen, dass sich die Strömung am OTB parallel zum Ufer bzw. dem späteren Terminal/ Kaje ausbildet, sich jedoch im Ober- und Unterwasser der Kaje jeweils Abrissströmungen entwickeln.

Die erhöhten Strömungsdaten auf Basis der BAW Untersuchungen und deren Auswirkungen im Nahbereich des OTB können wie folgt für einzelne Tidezeitpunkte zusammengefasst werden (Tabelle 2):

Tabelle 2: Signifikante Strömungen (Nautik-Modell der HS-Bremen, Morgenstern, 2011)

Zeitpunkt:	Strömungsgeschwindigkeit:
Max. Flutströmung (TS 240) (max Flood)	1,5 - 2,0 kn
Tidehochwasser (TS 410) (High Tide - HT)	0,5 - 1,0 kn im Norden des Anlegers; 1,5 - 2,0 kn am südwestlichen Ende der Kaje
Max. Ebbströmung (TS 670) (max. Ebbe)	1,5 - 2,0 kn; bis zu 2,5 kn am südwestlichen Ende der Kaje
Tideniedrigwasser (TS 410) (Low Tide - LT)	< 0,5 kn im Norden des Anleger; 0,5 - 1,0 kn am südwestlichen Ende der Kaje

Aus den Ergebnissen zeigt sich, dass die maximale Ebbströmung im Vergleich zur maximalen Flutströmung geringfügig stärker ausgeprägt ist. Aufgrund der parallelen Ausrichtung des Terminals zur vorherrschenden Strömungsrichtung sollten die durch Strömung am Schiff angreifenden Lasten bereits auf ein Minimum reduziert sein. Für die weiteren Betrachtungen wird die Schiffsquerschnittsfläche senkrecht zur Strömungsrichtung für die Berechnung der strömungsinduzierten Trossenlasten verwendet.

Für den Lastfall Strömung wird in einer konservativen Betrachtung mit einer Strömungsgeschwindigkeit von max. 2,5 Knoten gerechnet. Dieser Lastfall tritt zum Zeitpunkt der maximalen Flut- bzw. Ebbströmung und nicht zeitgleich mit einer Schiffspassage großer Schiffe (die nur bei Thw stattfindet) auf.

c) *Windwellen*

Aufgrund der SW-NE Ausrichtung der Kaje und der Öffnung der Wesermündung in Richtung Nordwesten sind Windwellen aus WNW bis N als relevant zu betrachten (siehe Abb. 10). Für diese Bedingungen steht eine ausreichende Windstreichlänge (Fetch) zur Verfügung, so dass sich die Wellenhöhe je nach Wasserstandsbedingungen und Windgeschwindigkeiten ausbilden kann. Generell ist aufgrund der vorgelagerten Wattgebiete und den entsprechend geringen Wassertiefen bereits davon auszugehen, dass sich nur geringe Wellenhöhen und -perioden ausbilden können (BAW, 2006a).

Zur Beurteilung der Größenordnung dieser Windwellen wurde der nordwestliche Sektor des Bereichs Jade-Weser-Ästuar auf Basis des Wellenatlas der Universität Hannover ausgewertet (Mai, 2004). Hierbei wurden verschiedene Wasserstandshöhen und Windrichtungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten berücksichtigt. Für die Beurteilung wird von einem erhöhten Windwellenereignis für normale Tidebedingungen ausgegangen, da Extremereignisse wie Sturmfluten separat für den Betrieb am Terminal zu betrachten sind.



Abb. 10: Lage des OTB, roter Stern: Extraktionspunkt Wellenatlas Hannover),
(Quelle Hintergrundkarte: Google Earth, Quelle OTB: bremenports)

Im Hinblick auf die oben angesprochene Referenzwindgeschwindigkeit von 30 m/s auf 10 m Höhe über Gelände (10-11 kn) und einen für Bremerhaven konservativ angenommenen erhöhten Wasserstand (Wasserstand = MSPHW + Windstau = 2,02 mNN + 1,0 m/ 2,0 m \approx 3,02 m-4,02 m) wurden als maßgebliche Fälle die in Tabelle 3 aufgeführten Windwellenereignisse zusammengestellt.

Tabelle 3: Windwellenereignisse am OTB für erhöhte Windgeschwindigkeiten und Wasserstände (Mai, 2004)

Windrichtung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Wasserstand [m]	Wellenhöhe [m]	Wellenperiode [s]
N [0°]	28,0	3,00	0,85	3,1
NNW [330°]	28,0	3,00	0,95	3,3
WNW [300°]	28,0	3,00	0,85	3,1
N [0°]	28,0	4,00	0,95	3,4
NNW [330°]	28,0	4,00	1,05	3,5
WNW [300°]	28,0	4,00	0,90	3,3
N [0°]	32,0	3,00	1,00	3,4
NNW [330°]	32,0	3,00	1,05	3,5
WNW [300°]	32,0	3,00	0,95	3,3
N [0°]	32,0	4,00	1,05	3,5
NNW [330°]	32,0	4,00	1,15	3,6
WNW [300°]	32,0	4,00	1,05	3,4

Aus den in Tabelle 3 aufgeführten Windwellenereignissen sollte der farblich hinterlegte kritische Fall (NNW [330°]) als signifikant angesetzt werden, da dieser Fall die höchste Wellenhöhe, die längste Periode und einen hohen Wasserstand aufweist. Für die spätere Ermittlung der Vertäulasten wurde der Lastfall Windwellen nicht zusätzlich berücksichtigt, da diese Windwellen für größere Schiffseinheiten nicht relevant sind.

Zudem kann die Kombination der maßgeblichen Windlasten und Windwellenlasten nicht gemeinsam eintreten, da für die Windwellen der nordwestliche Sektor maßgebend ist, wohingegen für die reine Windlast Wetterlagen aus NE bis SW maßgeblich sind.

d) *Dünung*

Der einlaufende Seegang erfährt im Weserästuar eine signifikante Verringerung seines Energiehaushaltes. Diese Verringerung ist der Energiedissipation aufgrund der Watttopografie geschuldet. Daher ist anzunehmen, dass der Dünungsanteil am OTB zu vernachlässigen ist (BAW, 2006a).

e) *Schwall und Sunklasten aus Schiffspassagen*

Für den Streckenabschnitt im Blexer Bogen wurden bereits entsprechende nautischen Simulationen durchgeführt, um den Einfluss der baulichen Querschnittsveränderung auf die Manövrierbarkeit des durchgehenden Schiffsverkehrs zu beurteilen und mögliche kritische Passagen zu identifizieren.

Die nautischen Simulationsläufe berücksichtigten neben der Passage von einzelnen Schiffen unter verschiedenen vorherrschenden Randbedingungen (Tide und Windeinwirkungen) auch die Möglichkeit eines Begegnungsverkehrs. Als Ergebnis, welches auch für die Ermittlung von Schwall und Sunk bedeutend ist, wurden die Fahrtlagen und die benötigten Schiffsgeschwindigkeiten (*Fahrt durchs Wasser* STW und *Fahrt über Grund* SOG) festgehalten und beurteilt.

In den vorangegangenen Überlegungen wurden die folgenden Szenarien als voraussichtlich kritische Fälle im nautischen Leistungsbild festgehalten. Für diese konnten entsprechend der o.g. Rahmenbedingungen folgende Simulationsläufe aus dem nautischen Bericht als relevant für die größtmögliche realitätsnahe Schwall- und Sunkbelastung herausgefiltert werden (siehe Tabelle 4 bis Tabelle 6):

A) Einzelnes einlaufendes großes Massengutschiff (LxBxT: 290m/46m/12,90m)

Tabelle 4: Relevante Schiffspassage Einzelschiff, Auftrag

Lauf Nr.	Schiffstyp	Fahrtlage	Tide	Max. SOG	Max. STW
418	BU_290x46x12,90	IN-mittig	Flutstrom	11,0 kn	9,3 kn

In den nautischen Simulationen wurden vereinzelt höhere Schiffsgeschwindigkeiten berücksichtigt als in dem oben vordefinierten Fall (Tabelle 4). Zudem erfolgten Simulationen mit einer östlicheren Fahrtlage. Es wird daher der Referenzfall auf eine östlichere Fahrspur angepasst, um die Auswirkung der Schiffsgeschwindigkeit und Fahrtlage zusätzlich zu berücksichtigen.

Tabelle 5: Relevante Schiffspassage Einzelschiff, „worst-Case“

Lauf Nr.	Schiffstyp	Fahrtlage	Tide	Max. SOG	Max. STW
Ref.	BU_290x46x12,90	OUT-östlich	Flutstrom	11,0 kn	13,0 kn

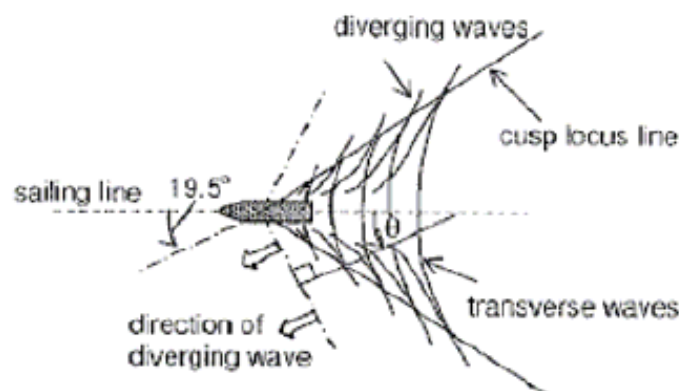
Es sei darauf hingewiesen, dass dieser konstruierte „worst-case Einzelschiff“ Fall in dieser Form weder der Realität noch einer der nautischen Simulationen entspricht, sondern aus deren Gesamtheit abgeleitet wurde. Die Fahrtlage wurde auf Basis der nautischen Modelle angenommen. Die Geschwindigkeiten sind in der Regel geringer und die Fahrtlage liegt westlicher. Somit stellt diese Passage einen Sonderfall dar.

- B) Begegnungsverkehr eines einzelnen großen auslaufenden Massengutschiffs (LxBxT: 230m/32m/12,50m) von Brake kommend mit einem Schiff mit geringerem Tiefgang von 10,50 m.

Tabelle 6: Relevanter Begegnungsverkehr

Lauf Nr.	Schiffstyp	Fahrtlage	Tide	Max. SOG	Max. STW
107-1	BU_230x32x12,20	OUT-östlich	Flutstrom	10,9 kn	12,6 kn
107-2	BU_190x25x10,50	IN-westlich	Flutstrom	11,4 kn	9,7 kn

Bei einem ungünstigen Begegnungsverkehr vor dem OTB ist zu beachten, dass sich die Auswirkungen des Absunks für die hier vorgenommene Betrachtung direkt vor dem Terminal überlagern müssen. Dies leitet sich aus folgender Charakteristik ab (Abb. 11): Hinter einem fahrenden Schiff bildet sich annähernd eine keilförmige, nachlaufende und sich partiell ausbreitende Absunkwelle aus. Mit zunehmendem Abstand zur Schiffsmittle vergrößert sich die Wirklänge dieser Welle bei gleichzeitiger Abnahme ihrer Amplitude.



unterkritischer Bereich

Abb. 11: Absunkwelle im Testlauf, entnommen aus BAW (BAW, 2006b),

Im Moment der Schiffsbegegnung und kurz darauf erfolgen dann die Überlagerung der Absunkwellen beider Schiffe und daraus eine möglicherweise stärkere Lasteinwirkung am OTB-Anleger.

Die Fahrt der tidenabhängigen Schiffe erfolgt in der Regel bei geringer Strömung oder kurz vor Strömungskenterung im Bereich des Terminals. Als konservativer Ansatz wird daher auf eine Betrachtung der Strömung zusammen mit Schwall und Sunk in der Weser verzichtet, da die Verformung der Schwall- und Sunk-Wellen durch die Strömung als geringfügig und nicht ergebnisrelevant eingestuft wird.

3.3 Wechselwirkung von Schiffswellen und Umwelteinflüssen

Die für die Untersuchung relevanten Schwall- und Sunklasten, welche in den vorherigen Kapiteln diskutiert wurden, können weiteren Umwelteinflüssen und zukünftigen Veränderungen unterliegen. Wie unter Kap. 3.1 bereits angemerkt sind die maßgeblichen Einflussgrößen für die Ausbildung der Wellen die Schiffsgeschwindigkeit v_S , das Teilquerschnittsverhältnis n_T und das Verhältnis von Gesamtwassertiefe zum Tiefgang h/t .

Die Wirkweise äußerer Einflüsse auf die Schiffswellen wurde von der BAW (BAW, 2006) zusammengefasst:

„In Abhängigkeit von Wassertiefe und Wellenperiode werden die schiffserzeugten Wellen – wie auch natürlicher Seegang – durch Sohlreibung, Umformungsprozesse wie Refraktion (Wellenbeugung), Strömungsrefraktion und Shoaling (Wellenaufsteilen), Teilreflexion sowie durch Wellenbrechen und die entsprechende Energiedissipation beeinflusst. Im Nahbereich von Bauwerken werden Umformungsprozesse wie Wellendiffraktion (Wellenbeugung) wirksam.“

Im Einzelnen kann festgehalten werden, dass Einflüsse passiv (Einfluss auf die zuvor genannten Hauptparameter) oder aktiv in Form einer Transformation der Welle wirken. Die nun folgende Diskussion soll die Wirkung verschiedener Größen auf die schiffsinduzierten Absunkwellen bewerten. Folgende Parameter sind hier von Interesse:

a) *Bathymetrie*

Für den Einfluss der Bathymetrie auf Schiffswellen ist von einer vergleichbaren Wirkungsweise wie bei Wind-/ Dünungswellen auszugehen, die eine zum Ufer zunehmende Wellenaufsteilung und –beugung bedingt. Aufgrund der vorhandenen Wassertiefen sind diese am OTB aber nicht relevant.

b) *Strömungseinfluss*

Je nach Ausrichtung der Fahrt (mit oder gegen die Strömung) ist die Refraktion der Schiffswelle zu betrachten. Zanke (Zanke, 2002) beschreibt dies wie folgt: [...“In mitlaufender Strömung werden die Wellenlängen größer während entgegenlaufende Strömung die Wellenlänge verkürzt. (...) Die Aufsteilung bei gegenlaufender Strömung (v negativ) kann so weit gehen, dass die Wellen brechen und auch stehen bleiben.“]. Für die Schiffswellen ist zwar von einer Veränderung der Wellenlänge und Aufsteilung auszugehen. Allerdings sollte diese aufgrund der geringen Wellenhöhen und der bereits großen Wellenlänge nicht zu signifikanten Änderungen oder gar zu Wellenbrechen führen. Des Weiteren sind die Strömungsgeschwindigkeiten für den Zeitpunkt der als relevant betrachteten Schiffspassagen um den Tidekenterpunkt bei Hochwasser gering.

c) *Windeinfluss*

Die Trägheit der Welle, in Abhängigkeit der geringen Laufzeit der Welle zwischen der Wellengenerierung am Schiff und Eintreffen an der OTB-Kaje, verhindert einen signifikanten Einfluss auf das Verhalten und die Form der schiffsgenerierten Welle. Daher ist der Windeinfluss auf das schiffseitige Wellensystem als gering zu bewerten.

d) *Überlagerung mit Windwellen oder Dünungswellen*

Eine Überlagerung von Dünungswellen und Windwellen ist aufgrund des kurzen Wirkungsfensters der schiffsinduzierten Welle und den unterschiedlichen Frequenzspektren, als extrem unwahrscheinlich zu erachten. Daher ist ein superpositionierender Effekt an der induzierten Welle kein maßgeblicher Lastfall.

e) *Einflüsse zukünftiger Schiffsgrößen*

Der Einfluss größerer Schiffe unter den miteinhergehenden wasserbaulichen Veränderungen wurden bereits durch die BAW in ihrem Gutachten zur Anpassung der

Unterweser beleuchtet, hier wurde festgestellt, dass für Schiffsgeschwindigkeiten von $v_s = 8 \text{ kn}$ und $v_s = 10 \text{ kn}$ die Änderungen des Absunks bzw. Primärwelle, Rückströmungsgeschwindigkeit und Sekundärwelle gering ausfallen werden:

$$\Delta z_A = \Delta H_P < 0,05[m]; \Delta v_R < +0,05[m/s]; \Delta H_S < +0,05m$$

Folglich ist festzuhalten, dass zukünftige Änderungen der Umwelteinflüsse im Hinblick auf die schiffserzeugten Wellen für das Vertäukonzept nicht relevant werden (BAW, 2006).

4. Ermittlung von Schwall und Sunk (MIKE 21 HD)

Für die Ermittlung von Schwall und Sunk wird ein gekoppeltes numerisches Modell zur Ermittlung der Interaktion zwischen Schiff und Hydrodynamik zugrunde gelegt. Das durch ein Schiff verdrängte Wasservolumen wird im hydrodynamischen Modell über ein sich bewegendes Druckfeld nachgebildet. Hierfür werden spezifische Angaben für die einzelnen vordefinierten Lastfälle verwendet:

- Schiffbezogene Angaben (Typ, $L \times B \times T$, c_B -Wert)
- Fahrtweg und Schiffsgeschwindigkeit
- Tidezeitpunkt (Wasserstand)

Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei dem numerischen Modell um eine hydrodynamische Applikation handelt, welche die Verdrängungsströmung am „Schiffkörper“ und die hieraus folgenden Veränderungen der Drücke und Wasserspiegellage (Bugstau, Absunk, Primärwelle) ermitteln kann. Durch die zeitliche Auflösung der Simulation werden nur die langperiodischen Anteile berücksichtigt. Die kurzperiodischen Sekundärwellen, welche aus den Druckunterschieden am Bug, vorderer und hinterer Schulter sowie dem Heck entstehen, werden aufgrund der im Vergleich zur Periode relativ „großen“ Zeitschrittweite der Simulation nicht ausgegeben.

Da die Ergebnisse sensitiv auf die oben genannten Angaben reagieren ist die klare Vorabdefinition der Lastfälle ein wichtiger Schritt. In Kap. 3 wurden bereits die maßgeblichen Lastfälle für den OTB im Detail erörtert und die in den folgenden Kapiteln untersuchten Fälle festgelegt.

4.1 Modellbeschreibung

Die zur numerischen Berechnung der Hydrodynamik verwendete Software Mike 21 FM HD (Flexible Mesh, Hydrodynamik) ist Teil der marinen Softwareproduktpalette von DHI. Diese hat sich durch jahrelange Entwicklung und Anwendung als zuverlässige und anerkannte Software der numerischen Modellierung im Wasserbau und Küsteningenieurwesen weltweit etabliert.

Mike 21 FM HD ist ein 2-dimensionaler Lösungsansatz, der auf der numerischen Lösung der 2-dimensionalen, tiefenintegrierten, inkompressiblen Flachwassergleichung, den Reynoldsgemittelten Navier-Stokes-Gleichungen, beruht. Daher berücksichtigt das Modell Kontinuität, Impuls- und Massenerhalt inkl. Temperatur und Salinität. In horizontaler Richtung können sowohl kartesische als auch sphärische Koordinatensysteme angewendet werden. Die räumliche Diskretisierung der Grundgleichung wird durch eine elementzentrierte Finite-Volumen-Methode erreicht. Der räumliche Untersuchungsraum wird durch Unterteilung des Kontinuums in sich nicht-überschneidende Elemente diskretisiert. In der horizontalen Ebene wird ein unstrukturiertes Gitter (Mesh), das aus viereckigen (quadrangular) und dreieckigen (triangular) Elementen besteht, angewendet. Ein genäherter Riemannlösungsansatz wird für die Berechnung der konvektiven Strömungen genutzt, was die Lösung von Diskontinuitätsgleichungen ermöglicht. Für die zeitliche Integration wird eine explizite Methode hinzugezogen.

4.2 Modellvalidierung des Modells mit Naturmessungen

Vor der Berechnung der maßgeblichen Szenarien vorbeifahrender Schiffe wurde das aufgebaute und im Weiteren verwendete Hydrodynamik-Schiffswellen-Modell anhand von Naturmessungen validiert. Hierzu wurden die Ergebnisse von Schiffswellenmessungen in der Weser verwendet, die im Jahr 2005 in einer Kampagne für die BAW erhoben wurden (BAW, 2006b). Eine grafische Darstellung aller Ablesungen aus den Messungen ist in Anlage A zu finden.

Für die Validierung wurde der im Bericht beschriebene Messquerschnitt D bei Dedesdorf verwendet. Hier wurden die durchgeführten Messungen beidseitig der Fahrrinne an den Anlegern der ehemaligen Fährverbindung Dedesdorf-Kleinensiel durchgeführt. Im betrachteten Weserabschnitt passiert das in den nautischen Simulationen berücksichtigte einlaufende Massengutschiff / Bulker (Panmax: LxBxT: 190 x 32 x 11,10 m) bereits mit erhöhten Fahrgeschwindigkeiten. Zusätzlich konnten für die Validierung in diesem Abschnitt Messungen eines General Cargo mit Fahrgeschwindigkeiten von ca. 14 kn verwendet werden.

Das kleinräumige Untersuchungsgebiet erstreckt sich ca. 3 km nördlich und 3 km südlich der ehemaligen Fährtrasse. Dieser Abschnitt wurde gesondert im Modell auf Basis der DHI vorliegenden bathymetrischen Daten der Weser nachgebildet und die Messstationen Kleinensiel (D1) und Dedesdorf (D2) entsprechend der Dokumentation von IMS als Pegelmessungen in das Modell integriert (siehe Abb. 12).

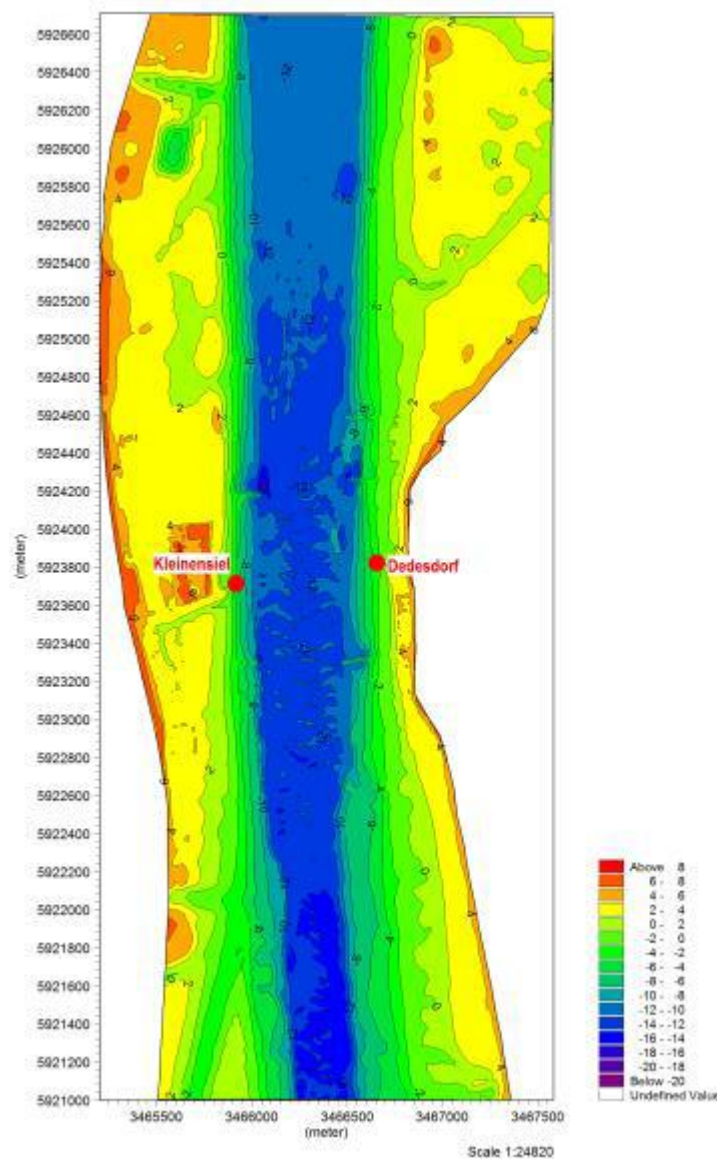


Abb. 12: Bathymetrie des untersuchten Weserabschnitts bei Dedesdorf und Messpunkte

Für die betrachteten Zeiträume lagen keine Informationen über die dort herrschenden Strömungsgeschwindigkeiten vor und wurden daher in den Simulationen nicht berücksichtigt. Dies wurde bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt. Aus den

zeitlichen Angaben im Messbericht konnte allerdings darauf zurückgeschlossen werden, dass die Schiffspassage (insbesondere für den tiefgehenden Bulker) im letzten Drittel der Flut und dem erstem Drittel der einsetzenden Ebbe (rundum das Thw) erfolgte. Aus diesen Angaben konnte mittels vorliegender Daten der Pegel Nordenham/ Bremerhaven Alter Leuchtturm auf den vorhandenen Wasserstand geschlossen werden.

Neben den Informationen zum Wasserstand (Einfluss auf die UKC) sind insbesondere die Angaben zum Schiff (Länge, Breite, Tiefgang und Fahrgeschwindigkeit) und der Fahrlage (Passierabstand) wesentlich. Die Passagen der vorliegenden Simulationen können in Aufkommer und Abgänger unterschieden werden (entsprechend der Fahrtrichtung 180° bzw. 360°). Für keine der an der Weser gemessenen Schiffswellen gab es den Fall in dem eine Passage „gegen Strom“ erfolgte. Somit sind alle Schiffsgeschwindigkeiten über Grund inkl. Strom angesetzt. Dies ist, aufgrund der o.g. fehlenden Strömung im Modell, später bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt worden.

In Tabelle 7 sind die Schiffspassagen dargestellt, die für die Validierung verwendet wurden.

Tabelle 7: Zur Modellvalidierung verwendete Schiffspassagen - Eingangsparameter

Datum	Wasserstand	Schiffsdaten			Fahrtrichtung	Passierabstand	
		Typ	Tiefgang	SoG		Kleinensiel D1	Dedesdorf D2
23.10.2005	0,91 m	Weserstahl (Bulker)	10,4 m	10 kn	179°	318,0 m	414,0 m
24.10.2005	1,00 m	Weserstahl (Bulker)	7,1 m	12 kn	356°	381,0 m	351,0 m
05.11.2005	0,74 m	Star Ikebana (GeneralCargo)	8,7 m	14,1 kn	355°	390,0 m	342,0 m
08.11.2005	1,26 m	Weserstahl (Bulker)	10,1 m	9,3 kn	184°	278,0 m	454,0 m

Die Fahrlagen der Schiffspassage wurden entsprechend der angegebenen Abstände im Bericht angepasst, hierfür wurde die aus den nautischen Simulationen stammende mittige Fahrlage „parallel“ verschoben. In den Abb. 13 und Abb. 14 sind die simulierten Fahrlagen der untersuchten Ereignisse dargestellt.

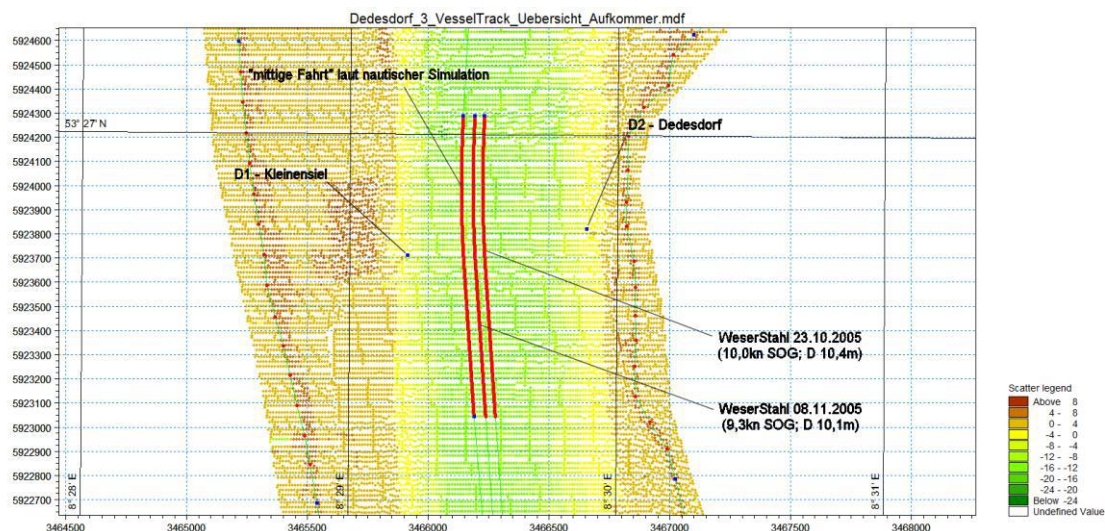


Abb. 13: Übersicht der Fahrlage/ Passierabstand für die aufkommende Weser Stahl

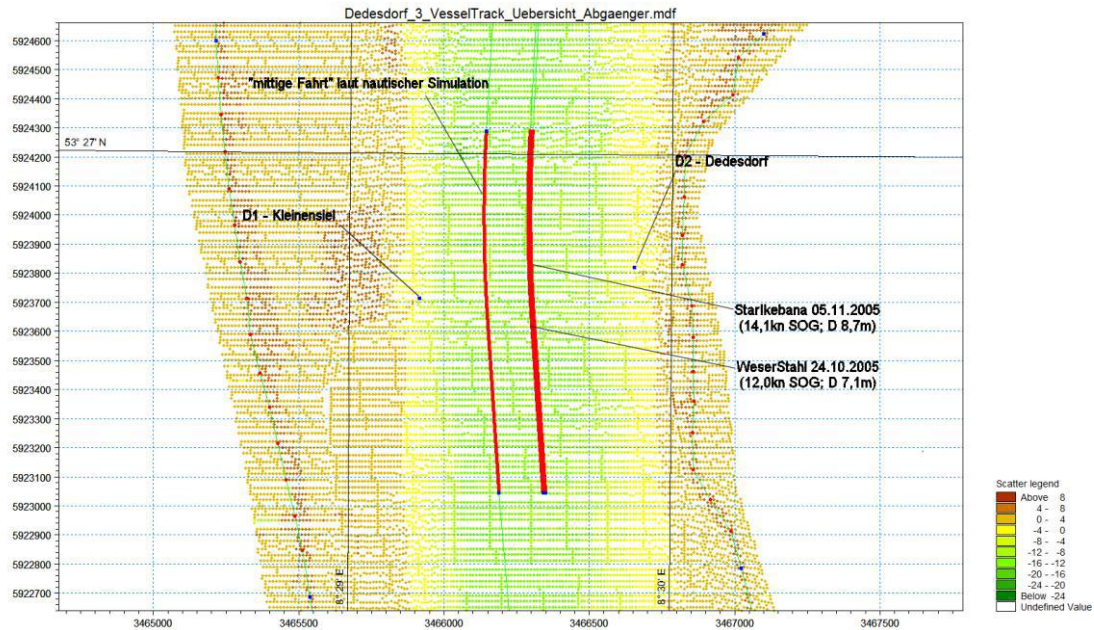


Abb. 14: Übersicht der Fahrlage/ Passierabstand für die Abgänger

Die Ergebnisse der Simulationen im Modell für die oben aufgeführten Schiffspassagen sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Die Messergebnisse aus den Untersuchungen von IMS sind im Vergleich dazu dargestellt. Genauere Informationen zu den vorliegenden Messdaten sind aus dem Gutachten der BAW (BAW, 2006b) zu entnehmen.

Tabelle 8: Modellvalidierung: Vergleich der Ergebnisse aus dem numerischen Modell und den Naturmessungen

Datum	Schiffstyp	Ergebnisse							
		Modell - DHI				Messung - IMS			
		Absunk z_A [m]		Primärwellen- höhe H_P [m]		Absunk z_A [m]		Primärwellen- höhe H_P [m]	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
23.10.2005	Weserstahl (Bulkler)	0,14	0,11	0,11	0,10	0,08	0,07	0,08	0,12
24.10.2005	Weserstahl (Bulkler)	0,13	0,17	0,11	0,12	0,15	0,12	0,10	0,10
05.11.2005	Star Ikebana (GeneralCargo)	0,48	0,83	0,31	0,71	0,31	0,50	0,39	0,59
08.11.2005	Weserstahl (Bulkler)	0,11	0,08	0,08	0,06	0,07	0,04	0,08	0,02

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Messungen und Modellsimulationen graphisch gegeneinander aufgetragen. Es ist klar erkennbar, dass das Modell den Absunk und die Primärwelle tendenziell überschätzt. Des Weiteren zeigt sich das der Absunk und die Primärwellen in der Größenordnung kaum voneinander abweichen. Der Einfluss der Schiffsgeschwindigkeit, des Fahrabstandes und der UKC auf die Größe von Absunk und Primärwelle zeigt sich im Vergleich der Ereignisse vom 23.10.2005 und dem 08.11.2005. Hier ist in beiden Fällen die Weserstahl (Bulkler) als Aufkommer mit einem Tiefgang von 10.1 m - 10.4 m unterwegs gewesen.

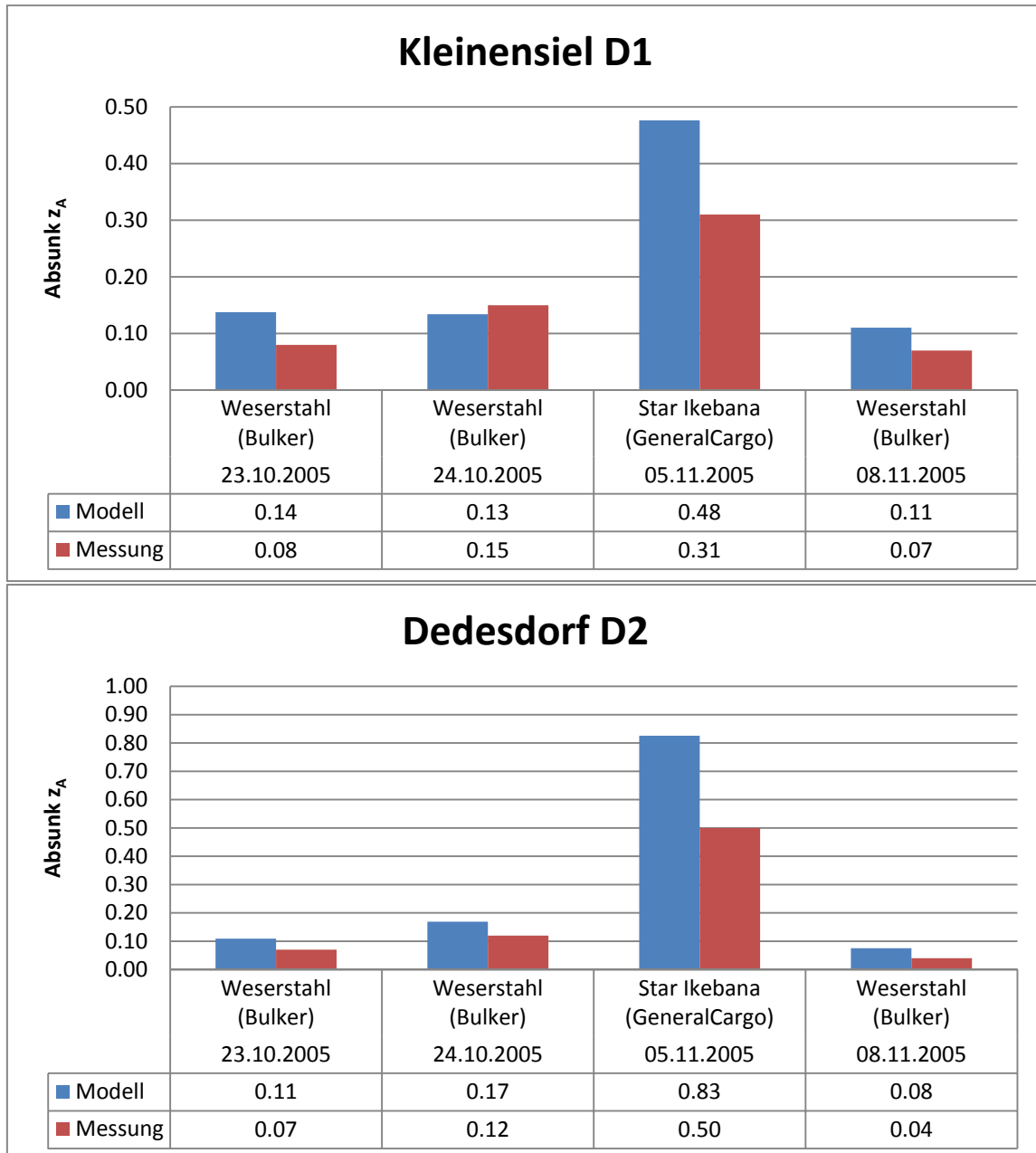


Abb. 15: Graphische Gegenüberstellung der Absinkgröße (Kleinensiel oben, Dedesdorf unten)

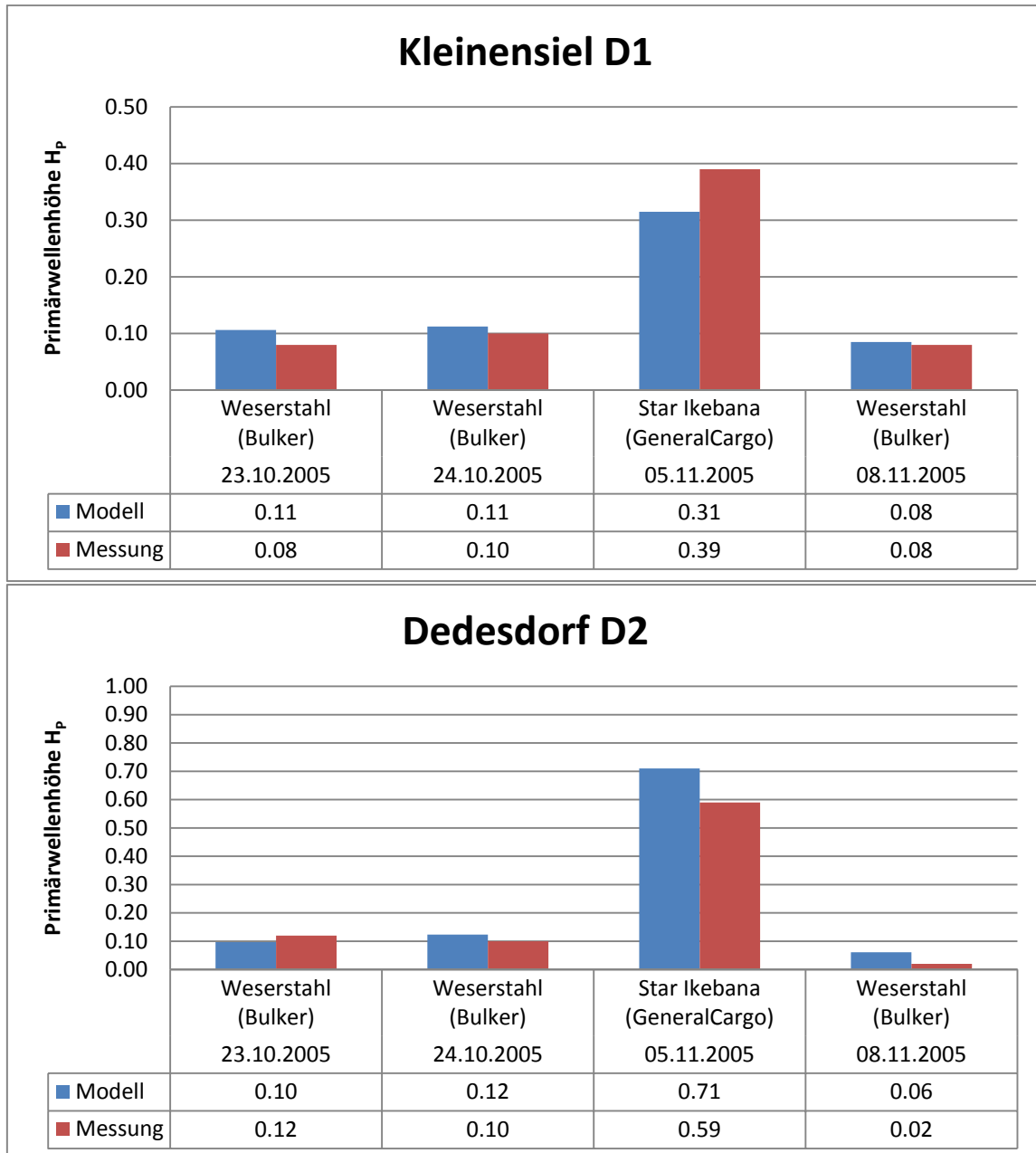


Abb. 16: Graphische Gegenüberstellung der Primärwellenhöhe (Kleinensiel oben, Dedesdorf unten)

4.3 Modellierung der Schiffspassagen am OTB

Die durch die Verdrängungsströmung generierten schiffsinduzierten Wellen werden nach Absprache mit bremenports entsprechend der in Kap. 3.2 e) getroffenen Annahmen für die vorgegebenen Schiffstypen berechnet.

Wie bereits in Kap. 3.2 erläutert sind die Strömungsgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt der Schiffspassage (Tidezeitfenster: max. 1 h bis 2 h um THW Bremerhaven, siehe Anhang B, Richtlinien Seelotsenbrüderschaft Weser II / Jade gering und wirken sich eher positiv auf die Entwicklung der schiffsinduzierten Welle aus, so dass eine Vernachlässigung der Strömung im Modell zu konservativen Ergebnissen führt. Nicht zu vernachlässigen ist hingegen der Wasserstand im Modellgebiet, der einerseits die Passage der tiefgehenden Schiffe erst ermöglicht, andererseits auch wie oben beschrieben die Ausprägung der Absunkwelle beeinflusst.

Das numerische Modell basiert auf einer räumlichen Diskretisierung des Untersuchungsgebietes. Dieses erstreckt sich ca. 5 km nördlich (Höhe Stromkaje/ CT1) und 5 km südwestlich (kurz vor Nordenham) des OTB.

Die räumliche Diskretisierung erfolgt mittels Dreiecken im Böschung- und Vorlandbereich und mittels Vierecken in der Fahrrinne. Diese beiden unterschiedlichen Modellauflösungen stellen eine optimierte Form der räumlichen Diskretisierung der Topografie dar und erlauben weiter die optimierte Einbindung der passierenden Schiffshülle als Druckfeld (siehe Abb. 17). In Abb. 18 sind die unterschiedlichen Auflösungen zu erkennen, unmittelbar vor der Kajenanlage wurde die Auflösung auf 8 m² erhöht. Innerhalb der Fahrrinne liegt die Gitterauflösung (Mesh) bei 2,25 m². Hintergrund dieser hohen räumlichen Auflösung ist die optimale Darstellung der Wellendeformation. Zudem ermöglicht diese und die spätere geringere Zeitschrittweite in der numerischen Simulation eine möglichst hohe und dadurch genaue Lösung der jeweiligen Gleichungen in Abhängigkeit der jeweiligen Schiffposition im DGM.

Die von der Hochschule Bremen zur Verfügung gestellten bathymetrischen Daten wurden auf das Untersuchungsgeritter interpoliert, welches die räumliche Basis der Simulation bildet.

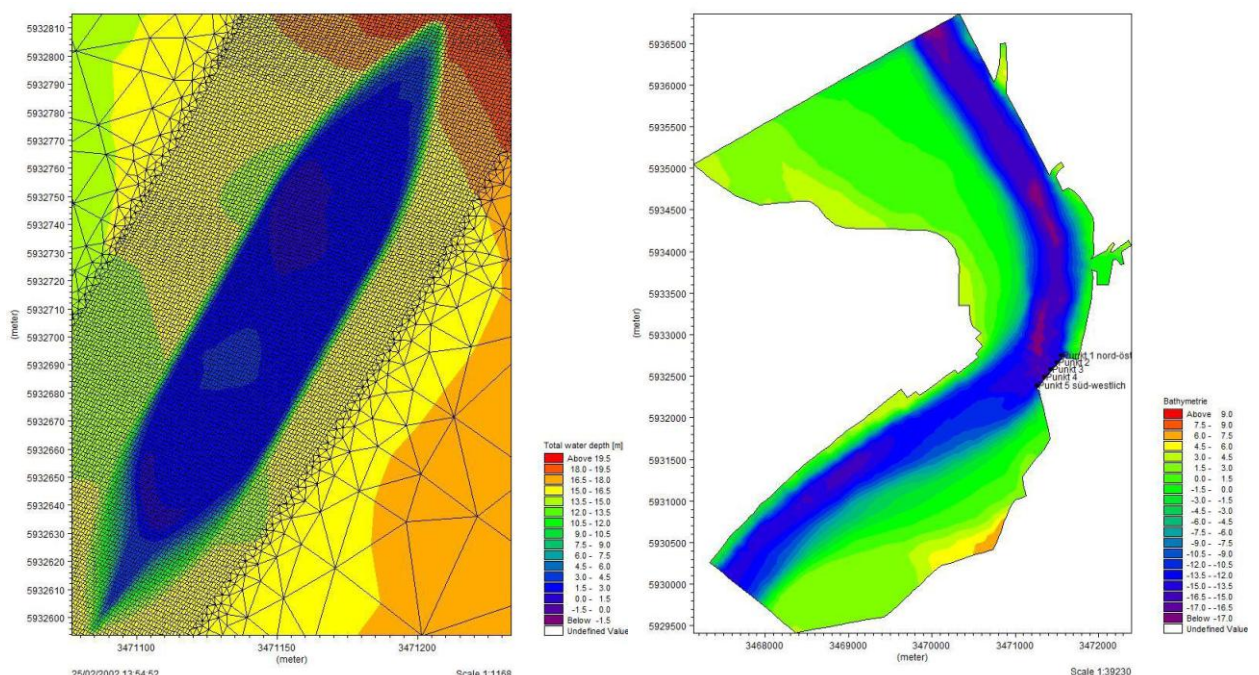


Abb. 17: Links: Darstellung der Schiffshüllenauflösung inkl. Diskretisierung; Rechts: Bathymetrie und Messpunkte am OTB

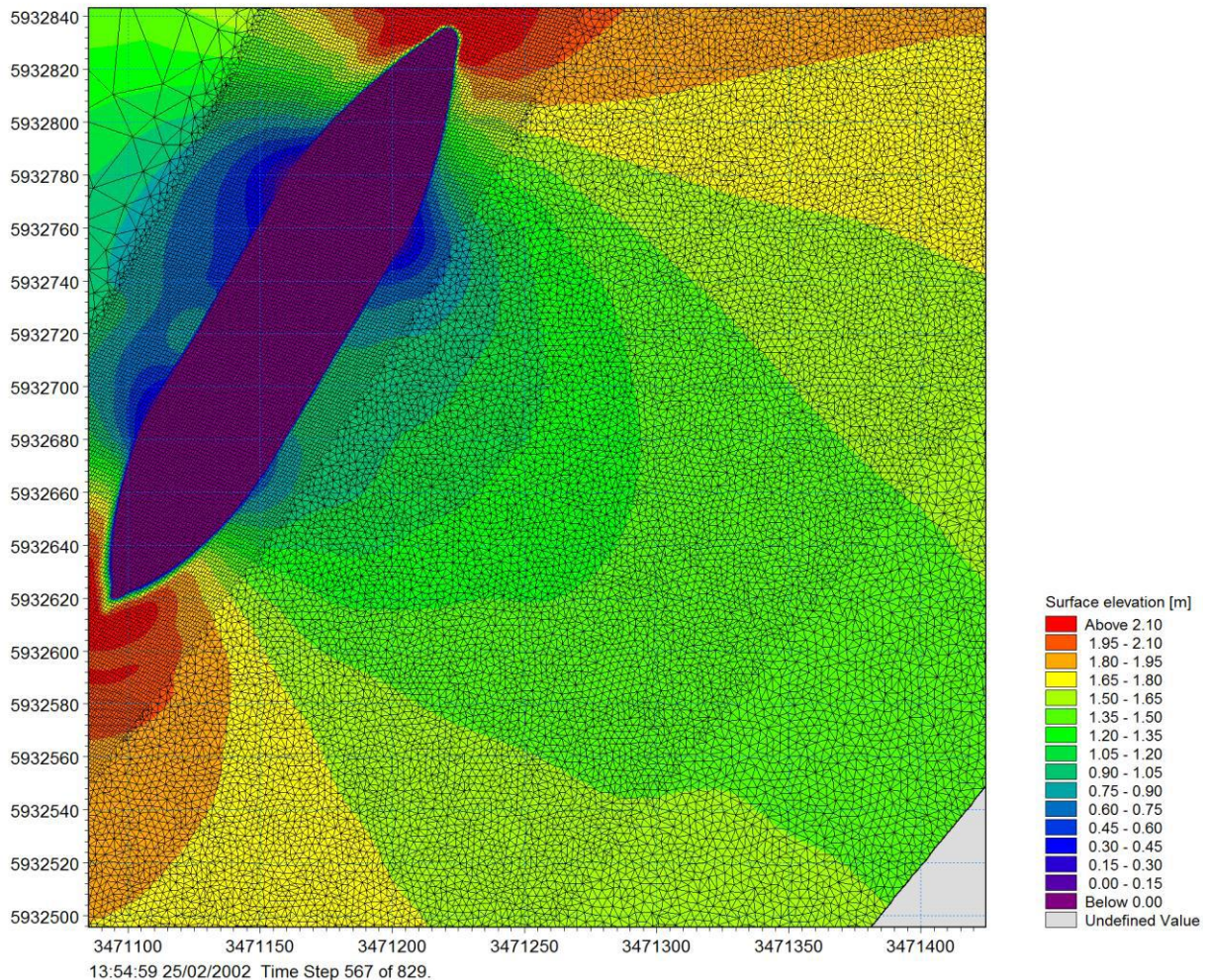


Abb. 18: Fahrrinnen und OTB Diskretisierung

Weiterhin berücksichtigt das System folgende Randbedingungen:

- Wasserstand konstant am oberen, südlichen und unteren, nördlichen Rand (da keine Strömung simuliert wird)
- Luftdruck als zeitlich und räumlich variierendes Druckfeld zur Abbildung des sich bewegenden Bulklers (Schiffskörper als „Stempel“)
- Anfangsbedingungen mit konstantem horizontalem Wasserstand im Modellgebiet inklusive des verdrängten Wasservolumens am Startpunkt des fahrenden Schiffes

Der vorherrschende Wasserstand, welcher als wesentliche Randbedingung in das Modell einfließt, basiert entsprechend der nautischen Simulationen auf dem Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm. Da die Simulationen mit stationären (über die Zeit konstanten) Randbedingungen aus rein hydrodynamischer Sicht gesteuert werden, werden keine Strömungen und somit auch keine Veränderungen der Wasserstände über die Zeit berücksichtigt.

4.3.1 Untersuchungsergebnisse entsprechend der Lastfalldefinitor

In dem Dokument „Definition der maßgeblichen Lastfälle“ vom 13.07.2012 (Lastfälle, 2012) in Koordination mit Herrn Kraus (bremenports) und Dr. Oliver Stoschek (DHI-WASY) in den nachgehenden Gesprächen wurden folgende Schiffspassagen in Anlehnung an die nautischen Simulationen (Morgenstern, 2011) als maßgeblich identifiziert und anschließend in der hydrodynamischen Simulation berücksichtigt.

Tabelle 9: Simulationsfälle entsprechend der Lastfalldefinition

Szenario	Lauf Nr. (entspr. Nautik)	Schiffstyp	Fahrtlage	Tide	Max. SOG	Max. STW
Begegnungsverkehr	107-1	BU_230x32x12,20	OUT-östlich	Flutstrom	10,9 kn	12,6 kn
	107-2	BU_190x25x10,50	IN-westlich	Flutstrom	11,4 kn	9,7 kn
Einzelschiff „worst-Case“	Ref.	BU_290x46x12,90	OUT-östlich	Flutstrom	11,0 kn	13,0 kn

Als konservative Annahme wurde nicht die für die Ausbildung der Schiffswelle relevante Fahrt durchs Wasser (STW) sondern die jeweils größere Geschwindigkeit ohne Strömung angesetzt. Folglich ist der jeweils größere Wert aus Tabelle 9 in die Simulation eingegangen.

In Abb. 19 ist beispielhaft die Passage eines Bulkers am OTB bei einem Ausgangswasserstand von +1,76 m NN dargestellt.

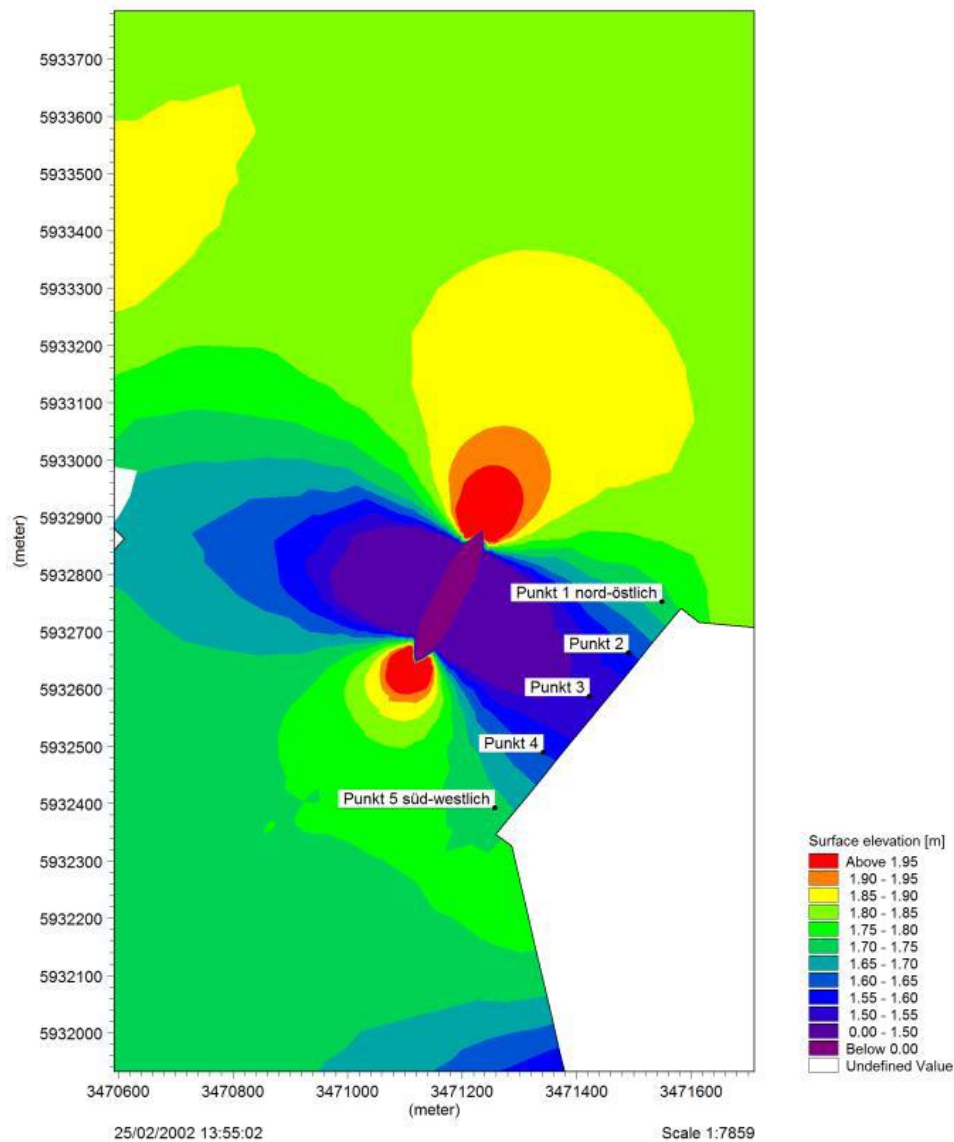


Abb. 19: Darstellung der Vorbeifahrt eines Bulkers. Räumliche Ausprägung des Wellenbildes (Bugwelle, Absenk, Heckwelle).

Bei der Betrachtung der Veränderung der Wasserspiegellagen vor, neben und hinter dem fahrenden Schiff ist deutlich die Ausprägung von Bugwelle, Absunk und Heckwelle zu erkennen (siehe Abb. 19).

Bei der Fahrt durchs Wasser wird von den Schiffen zunächst ein lokaler Anstieg des Wasserspiegels erzeugt, welcher sich nicht nur lokal begrenzt, sondern sich über die Zeit vom Schiffkörper aus ausbreitet. In dem Bereich vor dem OTB werden Schwall und Sunk durch die starre seitliche Begrenzung der Kaje reflektiert und verstärkt. Die Verzerrung der Wellenkämme und die Deformationen infolge von bathymetrischen Änderungen werden ebenfalls berücksichtigt.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden entlang des OTB etwa in 20 m Abstand vor der Kaje die Wasserspiegellagen an definierten Punkten (siehe Abb. 19) extrahiert. In den folgenden beiden Unterkapiteln werden diese Ergebnisse der beiden Simulationsfälle kurz erläutert und anschließend bewertet.

4.3.2 Ergebnisse Szenario Begegnungsverkehr

Für den Begegnungsverkehr wurde die ungünstige Situation „Begegnung vor dem OTB“ gewählt, so dass dort eine maximale Überlagerung der beiden Absunkwellen betrachtet werden konnte, siehe hierzu Anm. Kap. 3.2 e).

Die in den folgenden Abbildungen dargestellte Passage der beiden Schiffe am OTB zeigt, dass sich die entgegengesetzten Ausprägungen bei Annäherung/ Passage und Entfernung vorm OTB superponieren.

So kommt es im Vorfeld der Begegnung zu einer etwas höheren Bugwelle gegenüber der Passage des Einzelschiffs (vgl. Abb. 21 und Abb. 22), die allerdings über die gesamte Kaje (Punkte 1 -5, Abb. 19) gleichermaßen ausgeprägt ist (siehe Abb. 20). Alle hier genannten Simulationsergebnisse beziehen sich auf einen Wasserstand von +1,76 mNN.

Auffällig ist, dass zum Zeitpunkt der Begegnung gegen 13:56 Uhr (etwa auf Höhe des Punktes 4, Abb. 19) der maximale Absunk berechnet wurde. Dies wird hervorgerufen, durch die oben beschriebene Überlagerung (Superposition beider Schiffswellen). Denn die benachbarten Punkte liegen zu diesem Begegnungszeitpunkt bereits am Rand der Absunkwelle. Im weiteren zeitlichen und räumlichen Verlauf zeigt sich ähnliches für die Ausprägung der Primärwelle. Diese tritt zum Zeitpunkt 13:57 Uhr (etwa in Höhe des Punktes 4) ein und ist in ihrer Größe abhängig von der Lage der Punkte und entsprechend der Überlagerung der sich entfernenden Einzelereignisse.

Als maximales Ergebnis für den Begegnungsfall bei einem Wasserstand von +1,76 mNN ergeben sich folgende Größen:

- Absunk: 22 cm
- Primärwellenhöhe: 15 cm

Die Abb. 23 stellt zusätzlich den Einfluss eines veränderten Wasserstandes von +2,00 mNN dar.

Für einen Wasserstand von +2,00 mNN ergeben sich folgende Maximalgrößen:

- Absunk: 21 cm
- Primärwellenhöhe: 15 cm

Somit vermindert der 24 cm höhere Wasserstand/ Under Keel Clearance (UCK) die Größe des Absunks marginal um ca. 1 cm.

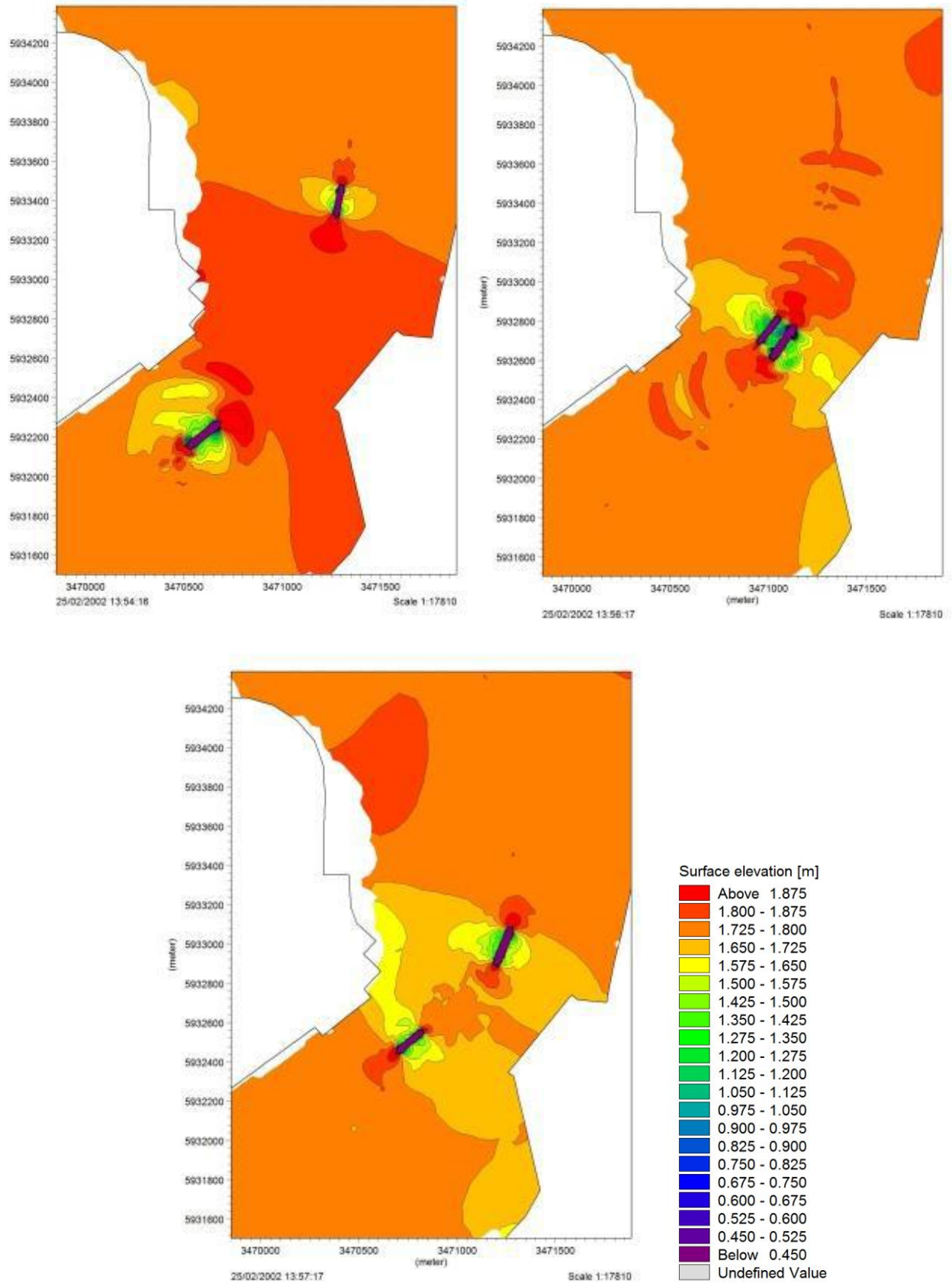


Abb. 20: Wasserstand und zeitlicher Ablauf des Begegnungsverkehrs: Links oben: Annäherung (13:54 Uhr); Mitte unten: Begegnung (13:56 Uhr); Rechts oben: Entfernung (13:57 Uhr)

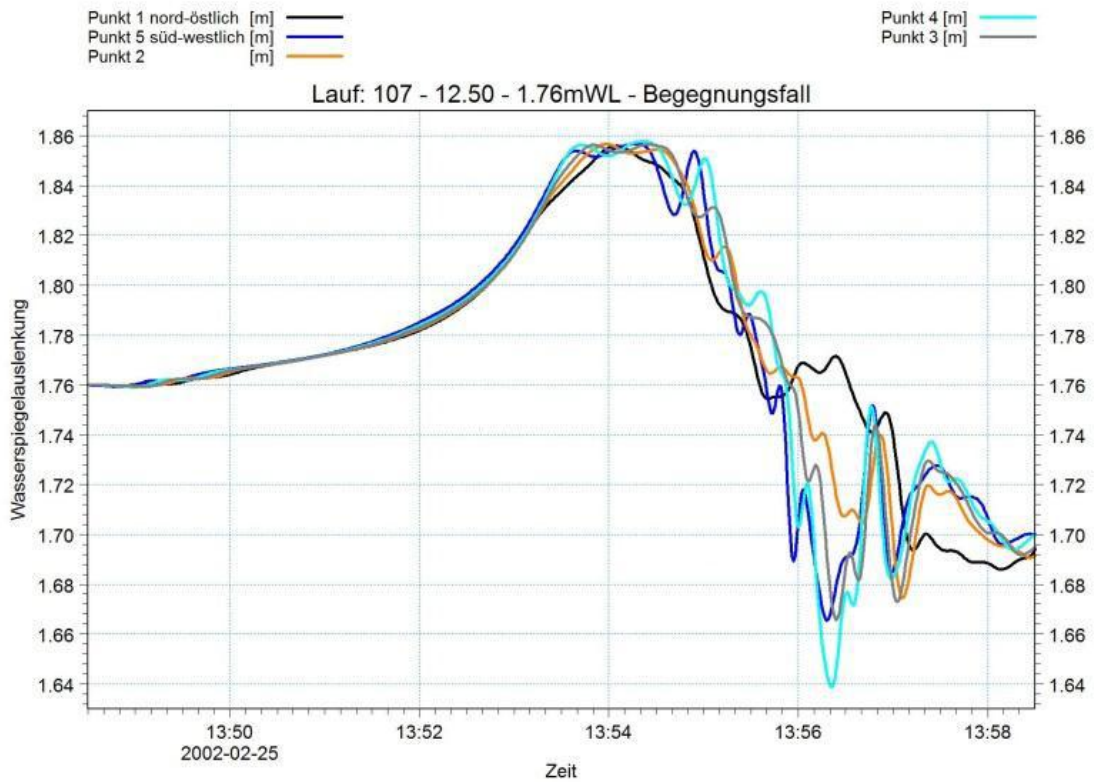


Abb. 21: Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Begegnungsfall (+1,76 mNN WL)

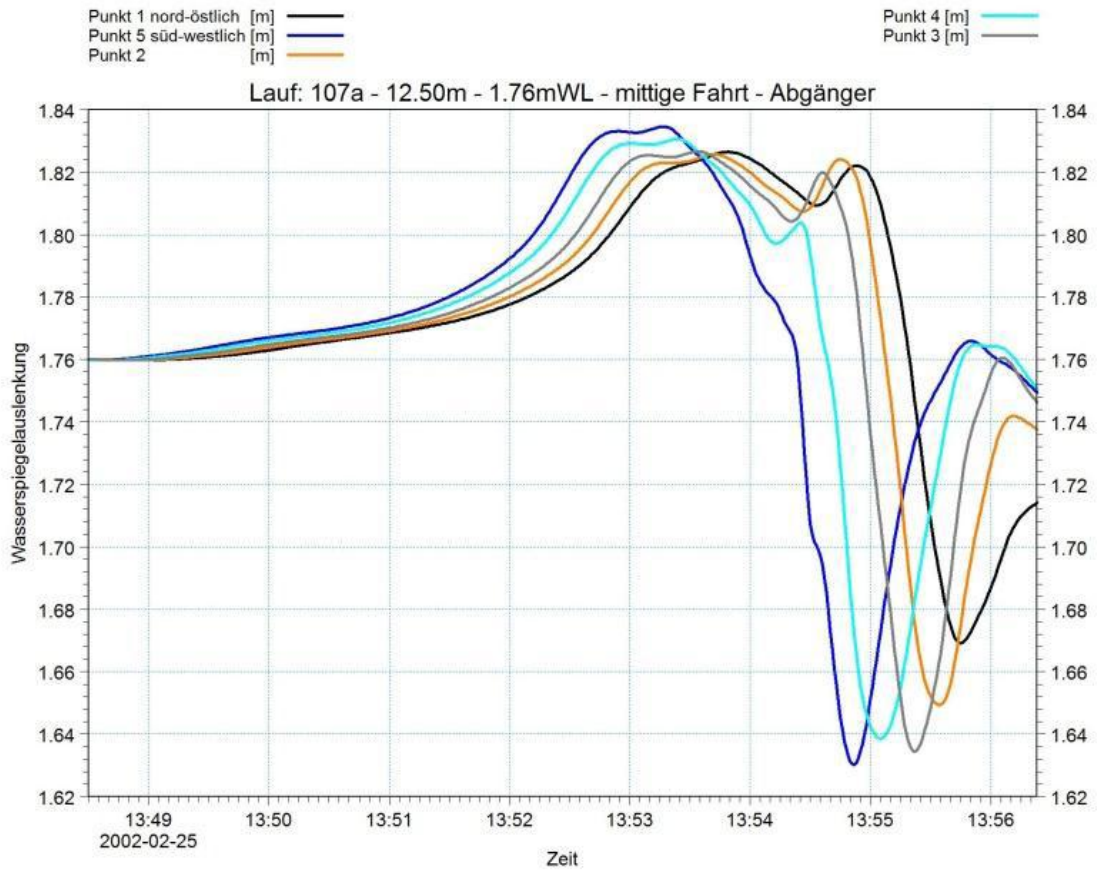


Abb. 22: Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Abgänger (+1,76 mNN WL)

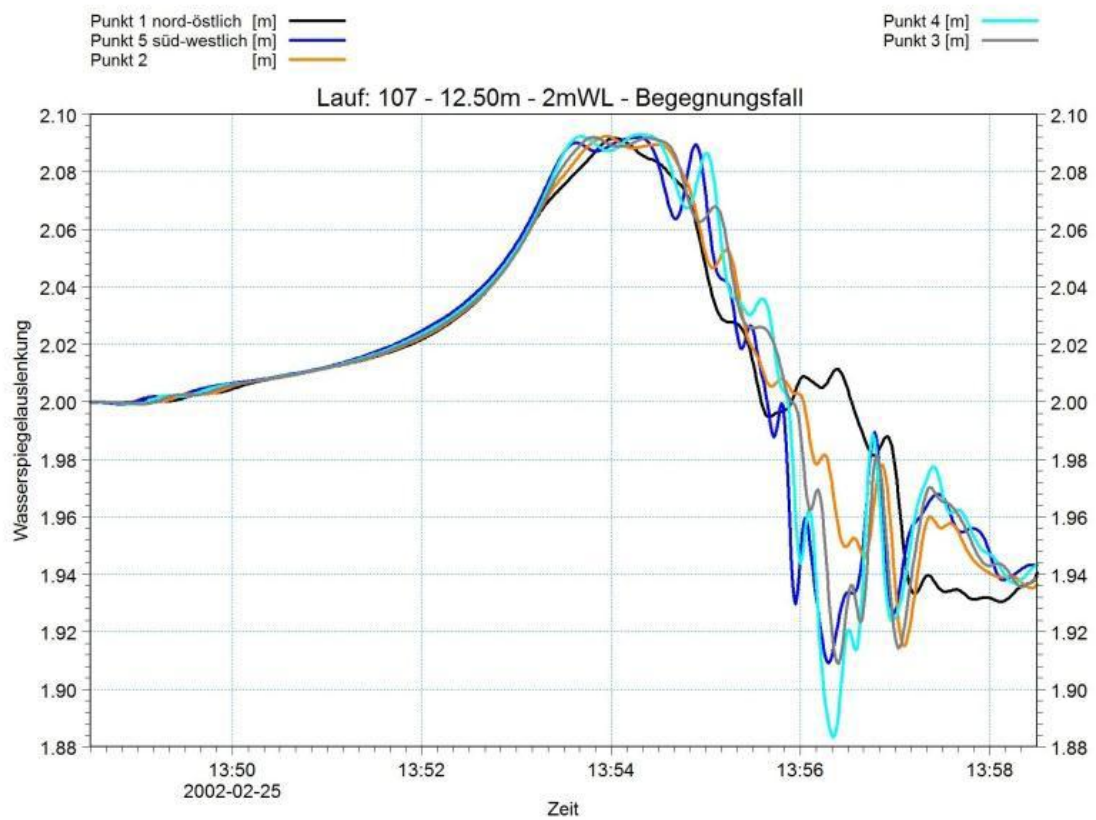


Abb. 23: Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Begegnungsfall (+2 mNN WL)

4.3.3 Ergebnis Szenario Einzelschiff "worst-case"

Das worst-case Szenario für das Einzelschiff wurde wie in Kap. 3.2, Tabelle 5 beschrieben aus den Informationen der nautischen Simulationen konstruiert. Der nachfolgend beschriebene Fall ist folglich nicht direkt aus diesen nautischen Simulationen ableitbar, sondern stellt eine Zusammensetzung aus den ungünstigsten Parametern Wassertiefe, Fahrgeschwindigkeit, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Tiefgang dar. Als Fahrweg wurde der östliche Verlauf eines großen Abgängers aus dem oben beschriebenen Begegnungsfall (Kap. 4.3) festgelegt. Als passierendes Schiff wurde der größtmögliche Abgänger mit einer Tiefe von 12,90 m gewählt und eine max. Fahrtgeschwindigkeit von 13 kn über Grund vorgegeben.

Anmerkung: Diese theoretische worst-case Kombination kann unter der momentanen Ausbildung der Fahrrinne so in der Realität nicht vorkommen, da der Tiefgang des Schiffes über der verfügbaren Wassertiefe im angenommenen Fahrbereich liegt.

Im Gegensatz zum Begegnungsfall ist in Abb. 24 der zeitlich versetzte Verlauf von Bugstau, Absunk und Primärwelle bei einem initialen Wasserstand von +1,76 m NN gut zu erkennen. Zudem ist ein etwas unterschiedlich ausgeprägter Anstieg der Wasserspiegellage aufgrund des Bugstaus festzustellen. Die kontinuierliche Abnahme der Wasserspiegelauslenkungen zeigt, dass mit fortschreitender Fahrt von Punkt 5 zu Punkt 1 (vgl. Abb. 19) die Entfernung des Schiffes zum Terminal zunimmt

Als Ergebnis für das Einzelschiff „worst-case“ bei einem Wasserstand von +1,76 mNN (Abb. 24) haben sich folgende maximale Größen ergeben:

- Absunk: 37 cm
- Primärwellenhöhe: 27 cm

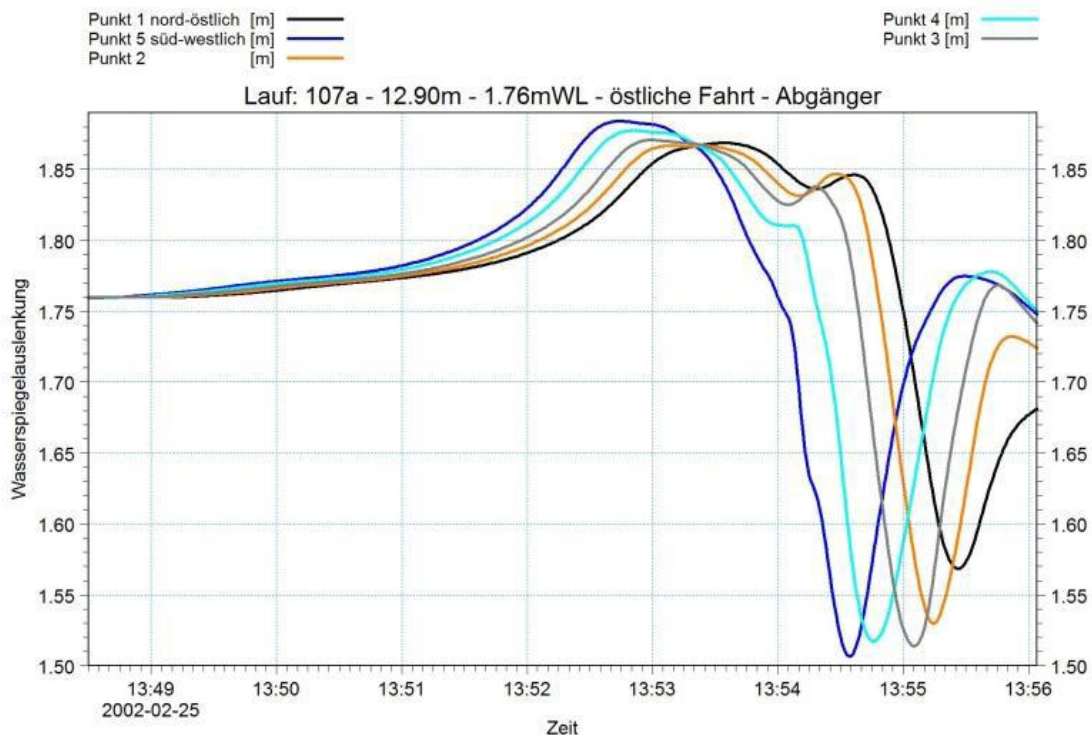


Abb. 24: Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: östlicher Abgänger, großer Bulker (+1,76 mNN WL)

Ein Vergleich der Ergebnisse mit einer mittigeren Fahrt eines kleineren Bulker zeigt eine deutliche Abnahme der Wellenhöhen und des Absunkes.

Als Ergebnis für den kleineren Bulker Abb. 25 können folgende Größen festgehalten werden:

- Absunk: 21 cm
- Primärwellenhöhe: 14 cm

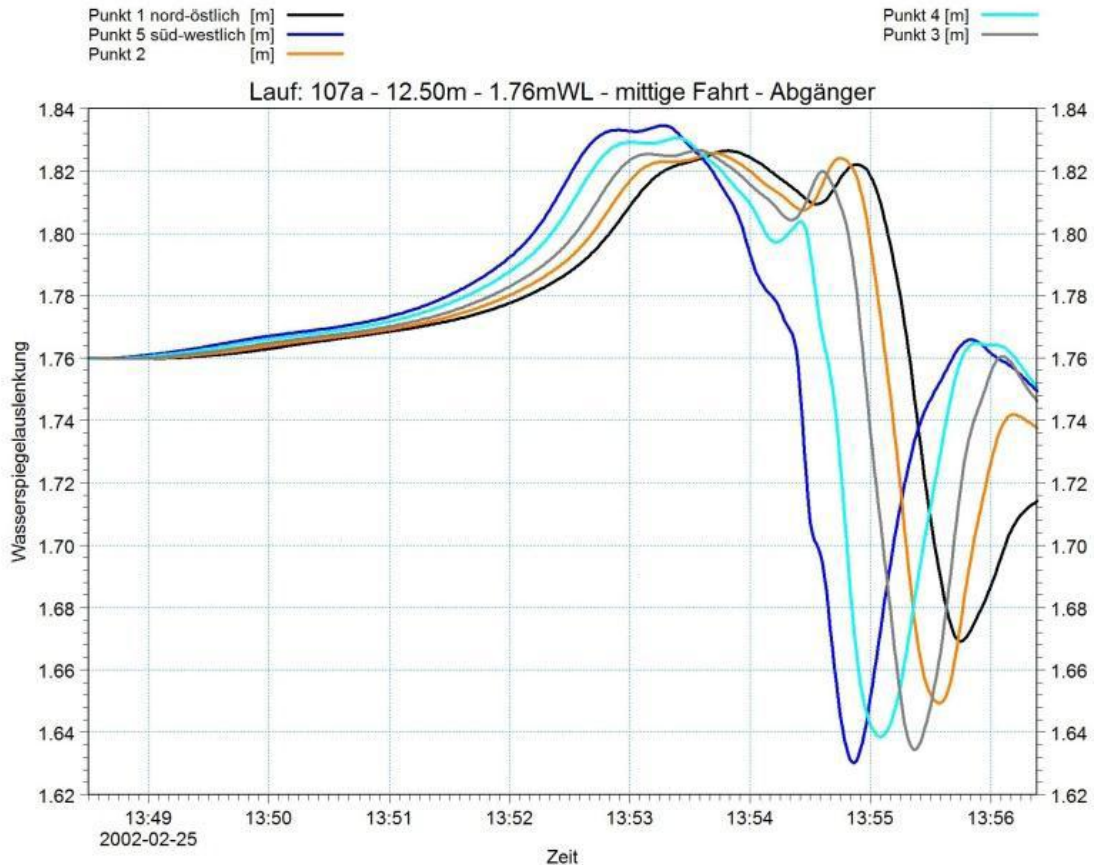


Abb. 25: Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: mittlerer Abgänger, kleiner Bulker (1,76 mNN WL)

4.3.4 Ergebnis Szenario Einzelschiff „worst-case“ – Modelloptimierung

Das Ziel der Modelloptimierung für das Szenario Einzelschiff „worst-case“ ist die Erhöhung des Detailgrades der Ergebnisse der numerischen Berechnung der Schiffswellen. Aus den o.g. Ergebnissen (Kap. 4.3.2 und 4.3.3) hat sich das Einzelschiff auf östlicher Fahrspur als das maßgebliche Schiff herausgestellt. Die in den genannten Kapiteln dargestellten Berechnungen sind das Ergebnis aus zahlreichen nautischen Untersuchungen mit unterschiedlichen Fahrspuren. Diese Untersuchungen sind für eine schnellere Bearbeitung mit einem für alle Varianten gültigem Modellnetz untersucht worden.

Durch die Verwendung einer Modellierung mit einer höheren Auflösung und einer längeren Laufzeit kann eine detailliertere Auswertung und eine verbesserte Datengrundlage für die Berechnung der Absunkeffekte auf die anschließend modellierten Schiffe erreicht werden.

Insbesondere durch die erhöhte zeitliche Auflösung haben sich als Ergebnis für das Einzelschiff „worst-case“ (Abb. 26) bei einem Wasserstand von +1,76 mNN folgende maximale Größen ergeben:

- Absenk: 42 cm
- Primärwellenhöhe: 32 cm

Der Absenk und die Primärwelle fallen um 5 cm höher aus als in den vereinfachten Untersuchungen in Kap.4.3.3.

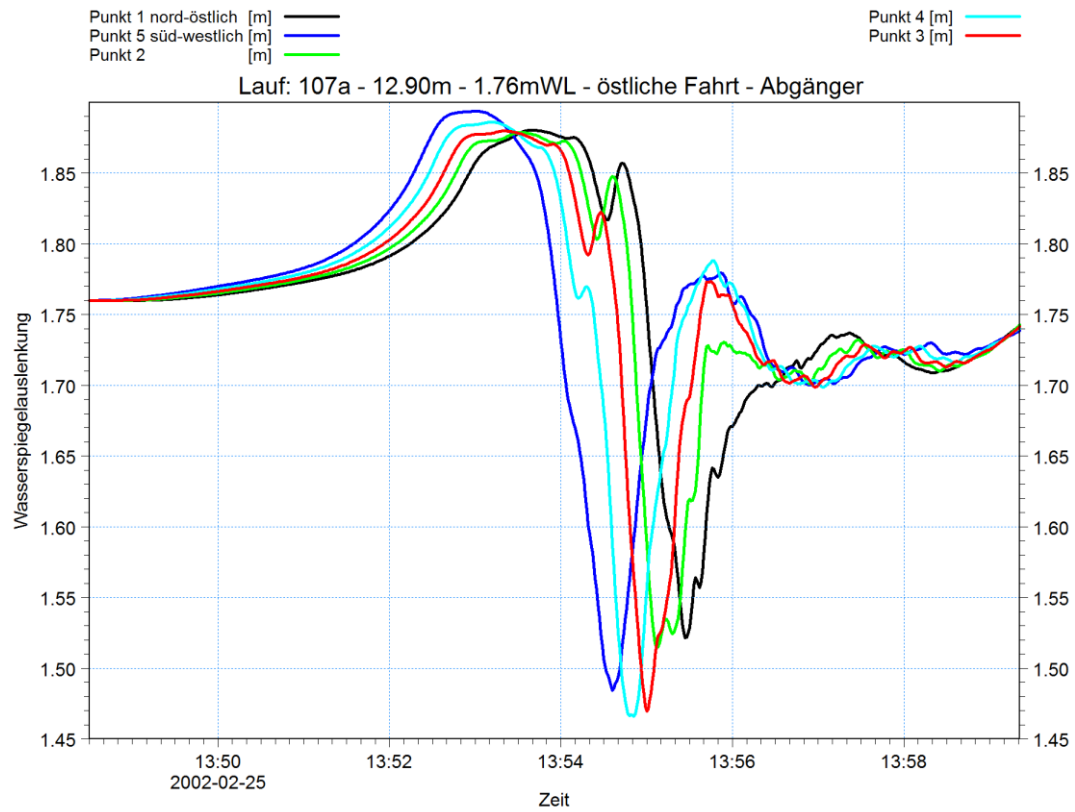


Abb. 26: Berechnete Wasserspiegellagenauslenkung: Abgänger (1,76 mNN WL)
Modelloptimiert

4.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wurden für die Ermittlung der größten Schiffswelle sowohl ein ungünstiger Begegnungsverkehr mit großem Abgänger und der „worst-case Fall“ großer Abgänger auf östlicher Spur untersucht.

Es hat sich gezeigt, dass der worst-case Fall „großer Abgänger auf östlicher Spur“ die größten schiffsinduzierten Wellen verursachen wird und entsprechend für die Berechnung der Trossenkräfte als konservativer Ansatz gewählt wird. In Tabelle 10 sind die Eingangsgrößen und Ergebnisse der gesamten Simulationen zusammengefasst. Die Abb. 27 bis Abb. 28 zeigen die untersuchten Fahrspuren.

Tabelle 10: Zusammenstellung der Simulationsergebnisse

Szenario	Schiffstyp	Fahrlage	Wasserstand	Max. Speed	Max. Absunk z_A	Max. Primärwelle H_p
Begegnungsverkehr	BU_230x32x12,20 BU_190x25x10,50	OUT-östlich IN-westlich	1,76 m NN	12,6 kn 11,4 kn	22 cm	15 cm
Begegnungsverkehr	BU_230x32x12,20 BU_190x25x10,50	OUT-östlich IN-westlich	2,00 m NN	12,6 kn 11,4 kn	21 cm	15 cm
„Abgänger mittig“	BU_230x32x12,50	OUT-mittig	1,76 m NN	13,0 kn	21 cm	14 cm
„worst-case“	BU_290x46x12,90	OUT-östlich	1,76 m NN	13,0 kn	37 cm	27 cm
„worst-case“ Modelloptimierung“	BU_290x46x12,90	OUT-östlich	1,76 m NN	13,0 kn	42 cm	32 cm

Die Fahrspuren für das worst-case Szenario stellen einen theoretisch Ansatz dar. Dieser ergibt sich aus den unterschiedlichen Annahmen, welche in Kapitel 3 formuliert wurden. Ein Schiff mit der in Tabelle 10 angenommenen Geschwindigkeit und dem dort definierten Tiefgang würde den Fahrverlauf nicht realisieren können. Aus dieser theoretischen Fahrlage ergibt sich eine maximale Belastung durch die erzeugten Wellen.

Für den Regelverkehr in üblicher Fahrlage ergibt sich daher eine reduzierte Belastung infolge schiffinduzierter Wellen.

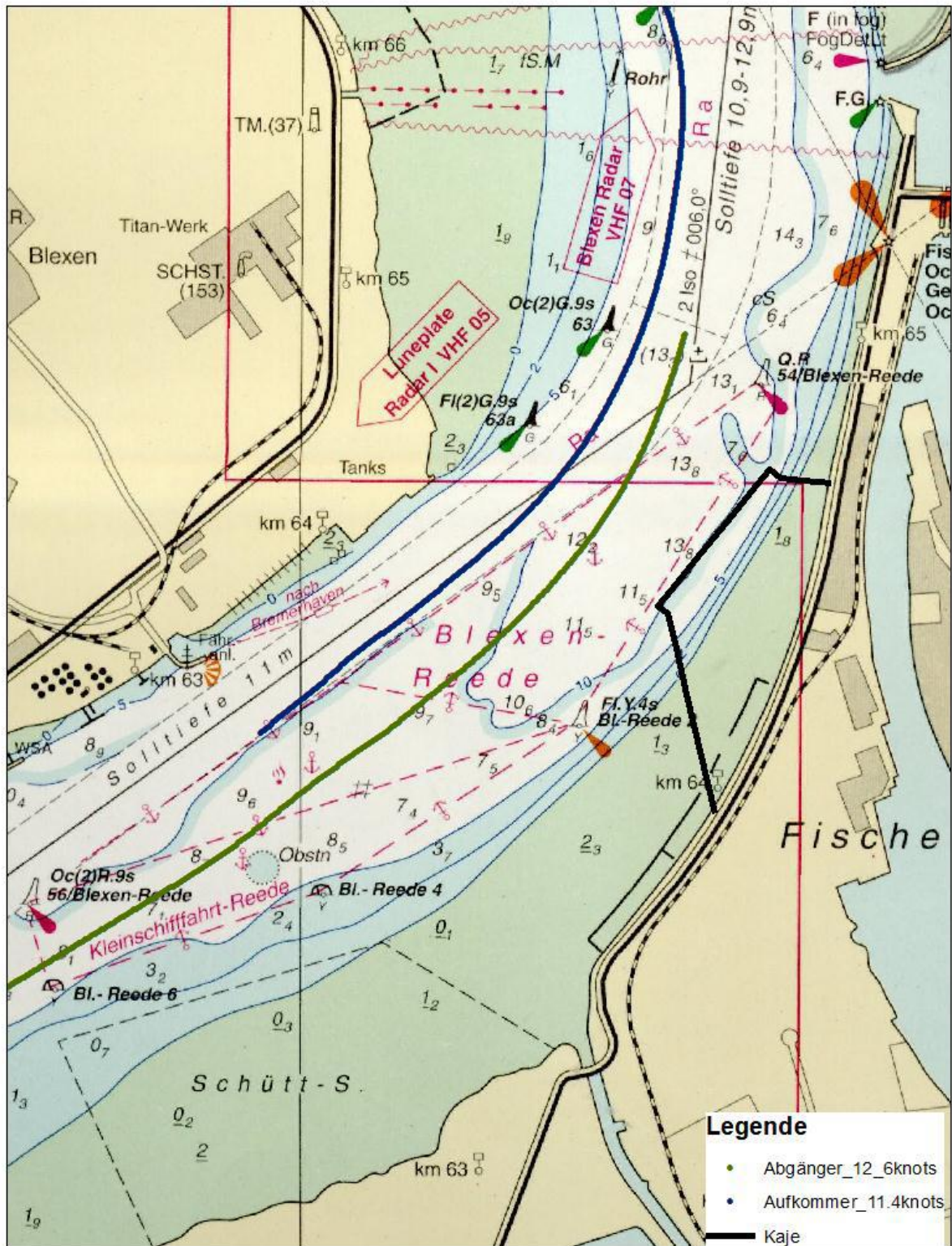


Abb. 27: Darstellung der Fahrspuren für den Begegnungsfall

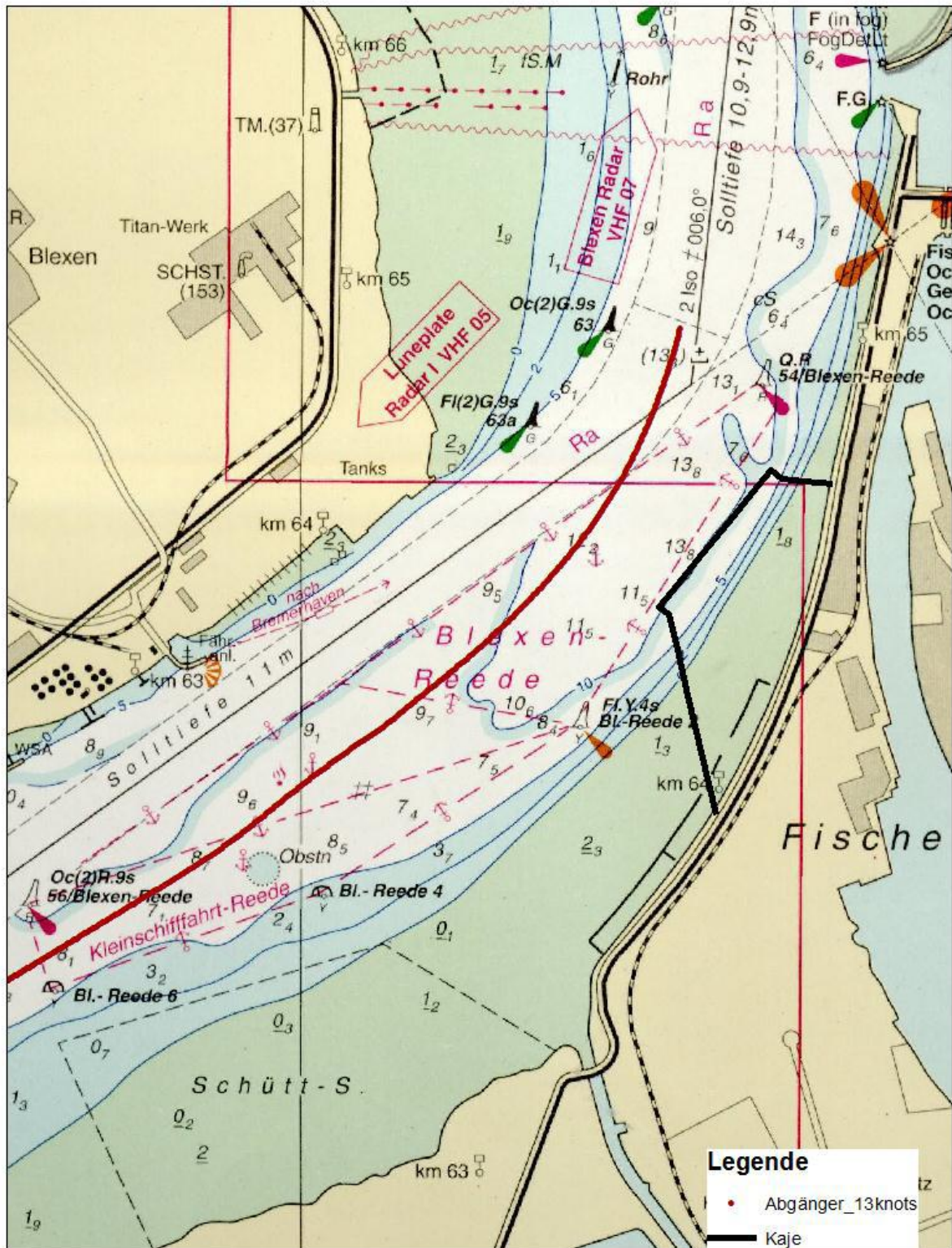


Abb. 28: Darstellung der Fahrspuren für den Fall einer östlichen Fahrt („worst-case“)

5. Empfehlung möglicher Lastfallkombinationen für die Bemessung der Trossenkräfte

Wie aus dem Kapiteln 3.1 bis 3.3 hervorgeht, können verschiedene äußere Einwirkungsgrößen für die Ermittlung der Trossenkräfte maßgeblich werden. Für die Ermittlung der Trossenkräfte werden folgende Lasten einzeln untersucht:

- Wind: NE/SW [45°/225°]; E [90°]; SE [135°]; S [180°]
- Strömung: 2,5 kn aus NE bzw. SW
- Schiffswellen: "worst-case" Szenario (siehe Kap. 4.3.3)

Eine erste Betrachtung der resultierenden Trossenkräfte erfolgte somit getrennt für die untersuchungsrelevanten Schiffseinheiten. Die zentrale Fragestellung der Ermittlung der Trossenkräfte auf Basis des am 03.04.2012 versendeten ersten Vertäulayouts und der eingegangenen Anmerkungen seitens der „Nautikgruppe“ berücksichtigt die bereits in Kapitel 3 aufgeführten **schwimmenden** und **vertäuten** Einheiten.

Auf Basis der bisher einzeln betrachteten Lastfälle ergeben sich mögliche Kombinationen für die weiteren Untersuchungen zur Bemessung der Trossen.

Der Lastfall Wind kann nicht mit den Schiffswellen kombiniert werden. Ein solch starker SW-Wind würde zu Niedrigwasserständen in der Weser führen. Einzig die Kombination mit den Strömungen ist sinnvoll.

Da die maßgeblichen Schiffspassagen nur zu einem bestimmten Tidefenster von zwei Stunden um das Tidehochwasser auftreten können (siehe Anhang A: Richtlinien für Schiffe nach Nordenham), wird auch eine Kombination Schiffswellen mit den Lastfall Strömung nicht maßgeblich, da diese am Terminal für diesen Zeitpunkt gering ist (siehe Kap. 3.2, Tabelle 2).

Insgesamt ergeben sich keine sinnvollen Überlagerungen der einzelnen Kräfte mit der Ausnahme von Strömung und Wind.

6. Randbedingungen

Aus den Angaben der Hersteller und Schiffsbetreiber wurden im Vorfeld der Untersuchungen die Eingangsdaten zur Ermittlung der Trossenkräfte zusammengestellt.

In Absprache mit bremenports wurde für die Kaje folgende Ausrüstung in Anlehnung an den CT-4 gewählt:

- Blocklänge: 20 m ($\leq 0.25 \text{ LoA} \approx 0.25 * 90\text{m} = 22,5 \text{ m}$, siehe (PIANC , 2002) und Kap. 4.2.3)
- Doppelpoller: max. Trossenzug 200 Tonnen
- Fender :Durchmesser 2,00 m; Länge 3,50 m

Für jeden Block ist mittig ein Doppelpoller angeordnet, vor dem wiederum ein Fender angebracht ist. Die Eigenschaften der gewählten Fender und Poller sind in Tabelle 12 und Tabelle 13 zusammengestellt.

Auf Basis der Angaben der Schiffsbetreiber wurden ähnliche Schiffstypen aus der vorliegenden Datenbank ausgewählt und skaliert, um diese möglichst naturnah im Modell abzubilden.

In den folgenden Unterkapiteln sind diese Daten zusammengefasst.

6.1 Schiffsdaten

Zur Ermittlung der Schiffsbewegungen und Trossenkräfte sind eine möglichst naturgetreue Nachbildung der Verdrängung des betrachteten Schiffes und die korrekte Abbildung des angesetzten Mooring-Arrangements wichtig. Hierfür ist entscheidend die richtige Lage des Schiffsschwerpunktes und die Abstände der Leinenzwangspunkte zu diesem zu kennen.

Für die einzelnen Schiffstypen sind in den folgenden Tabellen die aus vorliegenden Angaben der Schiffseigner abgeleiteten Eingangsdaten für die Simulationen dargestellt. Bei fehlenden Angaben wurden möglichst genaue Annahmen getroffen.

Namentliche Nennungen und exakte Angaben zu den Schiffskonfigurationen können an dieser Stelle aufgrund der Verschwiegenheitsvereinbarungen nicht veröffentlicht werden. Die hier angesetzten Beispielschiffe orientieren sich allerdings stark an den bekannten Typen.

Tabelle 11: Schiffsdimensionen

Schiffsname	LoA [m]	Lpp [m]	T [m]	B [m]
Schergutschiff P2	168,68	155,79	9,50	25,20
Arbeitsponton (unbeladen)	90,00	90,00	2,00*	32,00
Arbeitsponton (beladen)	90,00	90,00	5,00*	32,00
Jack-Up Schiff 1	100,00	99,20	4,44*	40,00
Jack-Up Schiff 2	147,50	146,80	7,00*	42,00
Bunkerbarge	84,76	-	2,25	9,00

* aus Stabilitätstabellen für realistischen Ballast-/ Beladungsfall angenommen

Die Auswahl und detaillierteren Informationen zu den Schiffshüllen sind in Anlage B zusammengefasst.

6.2 Materialdaten (Poller, Fender und Leinen)

Die Tabellen 13 und 14 zeigen die in die Berechnung der Trossenkräfte eingegangenen Annahmen und Lasten der Poller und Fender. Der in Tabelle 13 angenommene Fender „Willebrandt“ entspricht in seinen Eigenschaften einem Reifen, der zwischen Bunkerbarge und Schiff hängt. Tabelle 14 zeigt die Materialdaten der Trossen. Die Trossen wurden nicht im Rahmen dieser Untersuchung gewählt, sondern waren aus den Schiffsplänen vorgegeben.

Tabelle 12: Geometrie und Materialdaten der Poller

Hersteller	Typ	Höhe [m]	Breite [m]	MBF [kN]
Anker Schröder	Doppelpoller Midgard	0,775	1,850	2000

Tabelle 13: Geometrie und Materialdaten der Fender

Hersteller	Typ	Durchmesser [m]	Länge [m]	Energy [kNm]	Reaction [kN]
Trelleborg	Sea Guard	2,00	3,50	454	845
Willbrandt	D-Fender WGDF 6225	0,50	-	35,8	384

Tabelle 14: Geometrie und Materialdaten der Trossen

Schiffsname	Trossentyp	Durchmesser [mm]	Bruchlast (BL) [kN]	Anzahl Trossen
Schwergutsschiff P2	Polypropylene Octoply	64	480	8
Arbeitsponton (unbeladen/beladen)	Tipto Winchline*	70	990	4
Jack-Up Schiff 1	Geo Twin Polyamid*	46	511,5	8
Jack-Up Schiff 2	Tipto Winchline	64	850	12
Bunkerbarge	MegaTwin Dyneema® Plus	40	619,5	3

*Die hier aufgeführten Werte passen nicht genau mit den Angaben auf den Schiffbauplänen überein. Bei den Recherchen konnten allerdings keine passenderen Angaben gefunden werden.

Die Datenblätter zu den angegebenen Materialeigenschaften finden sich in Anlage C wieder.

6.3 Vertäuung: Initial Setups

Auf Basis der oben aufgelisteten Daten und den Angaben der Schiffsbetreiber (Mooring Arrangement Plans) wurden für die einzelnen Schiffstypen erste Setups gebildet. Hierbei sind je Doppelpoller max. vier Trossen erlaubt.

Die statische Bestimmung der Wind- und Strömungslasten sowie die Ergebnisse der dynamischen Lasten Schiffswellen-Vertäu-Interaktion aus den WAMSIM-Berechnungen (Schiffsbewegungen und Trossenkräfte) für die hier dargestellten „mooring arrangements“ sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

(Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass eine weitere Betrachtung des ursprünglich angesetzten Fallbeispiels wie „Bebunkern von aufgejackten Schiffseinheiten“ gemäß dem Protokoll vom 19.10.2012 nicht weiter betrachtet wurde.)

6.3.1 Schwergutschiff P2-800

Das Schwergutschiff ist laut dem vorliegenden Mooring Arrangement Plan mit insgesamt maximal 8 Trossen vertäut. Diese teilen sich auf in

- 2 Achterleinen,
- 2 Vorspringleinen
- 2 Achterspringleinen,
- 2 Vorleinen

und sind gemäß Abb. 29 angeordnet.

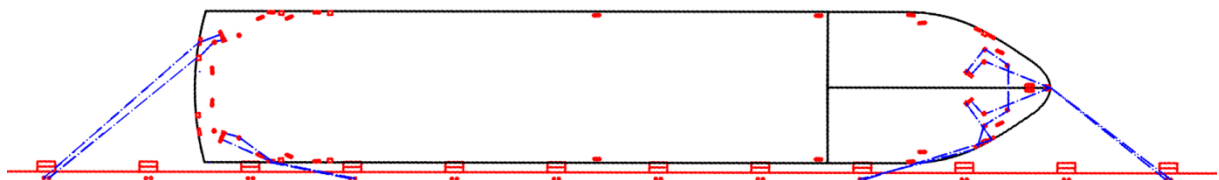


Abb. 29: Vertäulayout Containerschiff P2-800

6.3.2 Arbeitsponton

Der Arbeitsponton ist mit insgesamt 4 Trossen vertäut. Diese teilen sich auf in

- 1 Achterleine,
- 1 Vor- und 1 Achterspringleine,
- 1 Vorleine

und sind gemäß Abb. 30 angeordnet.

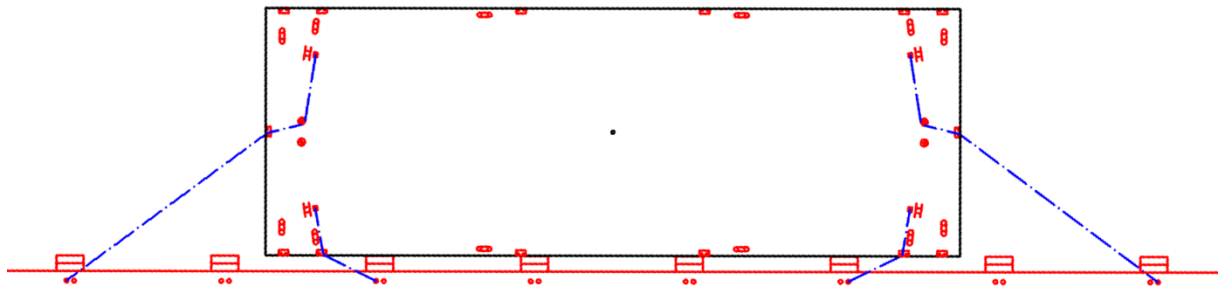


Abb. 30: Vertäulayout Arbeitsponton

6.3.3 Jack-Up Schiff 1

Das Jack-Up Schiff 1 ist mit insgesamt 6 Trossen vertäut. Diese teilen sich auf in

- 2 Achterleinen,
- 1 Vor- und 1 Achterspringleine,
- 2 Vorleinen

und sind gemäß Abb. 31 angeordnet.

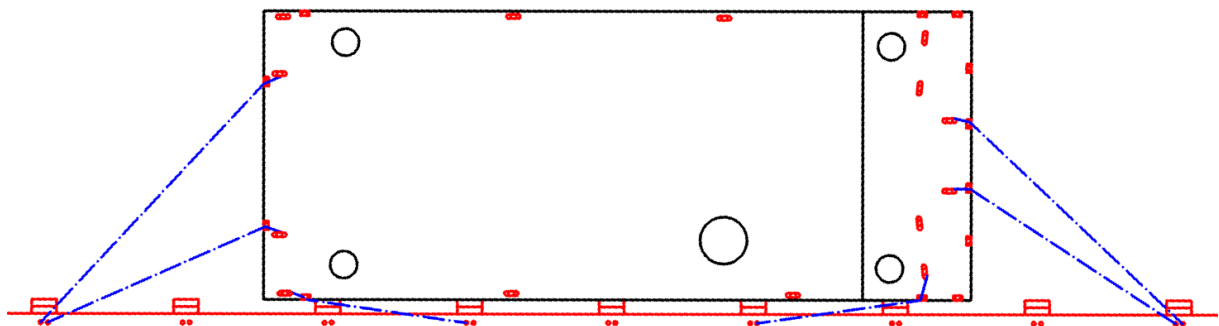


Abb. 31: Vertäulayout Schwergutschiff 1

6.3.4 Jack-Up Schiff 2

Die Jack-Up Schiff 2 ist mit insgesamt 12 Trossen vertäut. Diese teilen sich auf in

- 4 Achterleinen,
- 2 Vor- und 2 Achterspringleinen,
- 4 Vorleinen,

und sind gemäß Abb. 32 angeordnet.

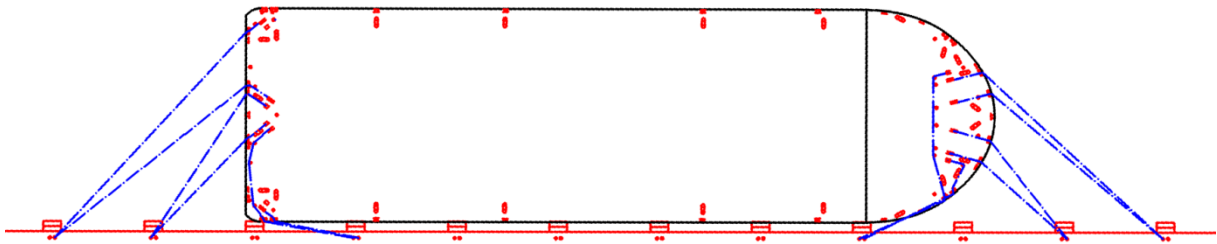


Abb. 32: Vertäulayout Schwergutschiff 2

7. Einflussgrößen und Ansätze zur Ermittlung der Lastkomponenten

7.1 Ansatz für die Windlasten nach EAU 2004

Die Ermittlung der charakteristischen Windlasten erfolgt auf Grundlage der EAU. Es werden die folgenden Windlastenkomponenten berechnet (EAU, 2004, Abb. 30):

$$W_t = (1 + 3,1 \sin \alpha) k_t H L_{\bar{u}} v^2 \quad \text{Gl. 7-1}$$

$$W_l = (1 + 3,1 \sin \alpha) k_l H L_{\bar{u}} v^2 \quad \text{Gl. 7-2}$$

Als Ersatzlasten für $W_t = W_{tb} + W_{th}$ gilt:

$$W_{tb} = W_t (0,50 + k_e) \quad \text{Gl. 7-3}$$

$$W_{th} = W_t (0,50 - k_e) \quad \text{Gl. 7-4}$$

mit:

- H = größte Freibordhöhe des Schiffes (in Ballast bzw. leer) [m]
- $L_{\bar{u}}$ = Länge über alles [m]
- v = maßgebende Windgeschwindigkeit [m/s]
- W_l = Windlastkomponenten [kN]
- k_t und k_l = Windlastkoeffizient [$\text{kN s}^2/\text{m}^4$]
- k_e = Exzentrizitätskoeffizient [-]

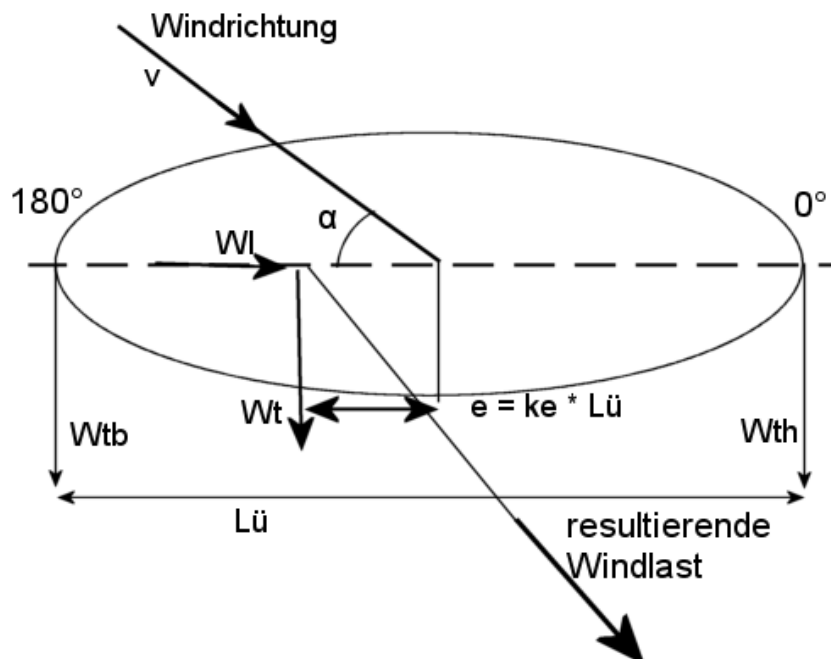


Abb. 33: Ansatz der Windlasten auf das vertäute Schiff nach EAU (EAU, 2004), Vorzeichenkonvention und Koordinatensystem

Als Rahmenbedingungen zur Bestimmung der Windlasten dienen die Windrichtungen aus NE/SW; E; SE und S. Zur Bestimmung der Windrichtung zur Schiffslängsachse wird hierbei die parallele Ausrichtung der Schiffseinheiten zur Kaje herangezogen.

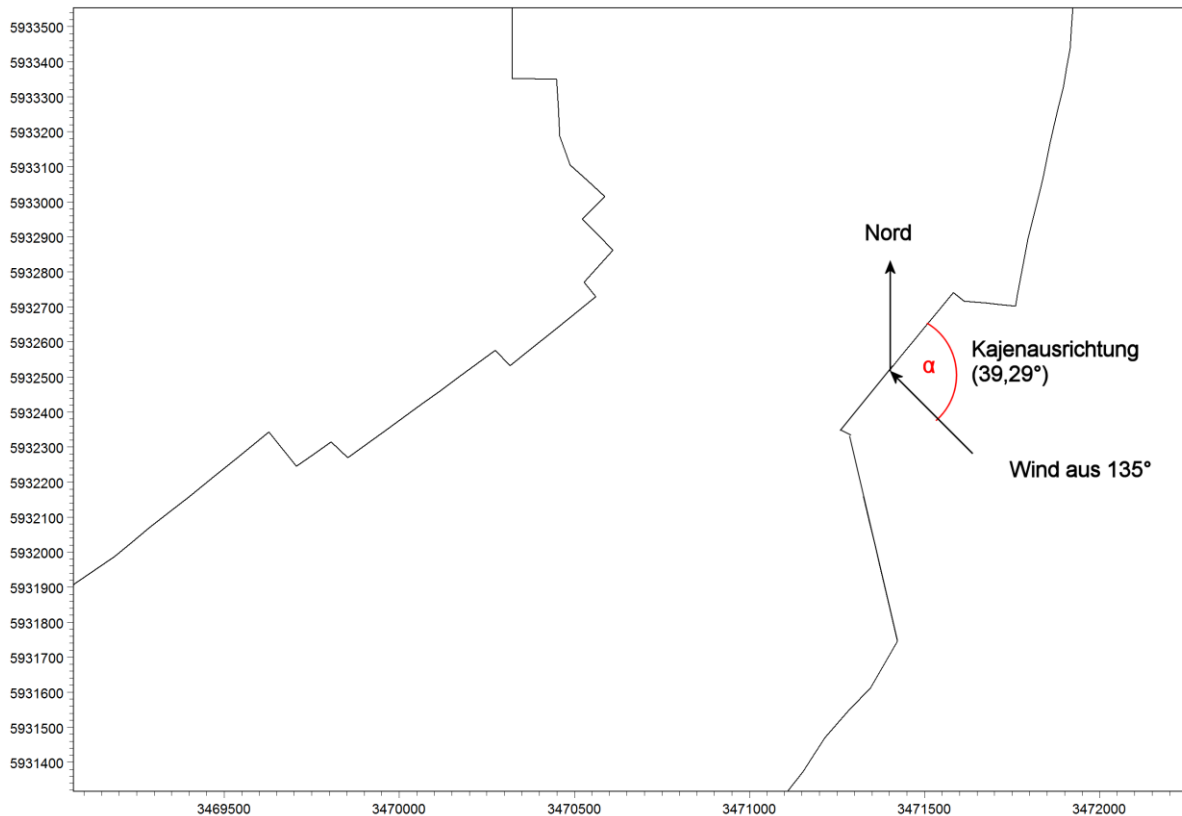


Abb. 34: Windrichtung zur Schiffslängsachse (Wind aus 135° ergibt einen Wind aus $\alpha = 95,71^\circ$ zur Schiffslängsachse).

Entsprechend der Tabelle E153-1 (EAU, 2004) werden die Last- und Exzentrizitätskoeffizienten für Schiffe bis 50 000 dwt genutzt. Nach linearer Interpolation ergeben sich für die zu untersuchenden Windrichtungen folgende Lastenfälle mit entsprechenden Koeffizienten (Tabelle 15).

Tabelle 15: Lastfälle mit entsprechenden Last- und Exzentrizitätskoeffizienten

Windrichtung bezogen auf Nord [°]	Kajenausrichtung bezogen auf Nord [°]	Windrichtung zur Schiffsachse α [°]	k_t [kN*s ² /m ⁴]	k_e [-]	k_l [kN*s ² /m ⁴]
45	39,29	5,71	2,30E-05	2,66E-02	7,94E-05
90	39,29	50,71	1,49E-04	9,86E-02	2,31E-05
135	39,29	95,71	1,75E-04	-1,33E-02	-3,81E-06
180	39,29	140,71	1,30E-04	-1,25E-01	-3,45E-05
225	39,29	185,71	-2,30E-05	-2,66E-02	-7,94E-05

Die Windgeschwindigkeit wird nach Kap. 3.2 a) mit 30 m/s angenommen.

Die größte Freibordhöhe setzte sich aus der maximalen Seitenhöhe ohne die Aufbauten minus dem Tiefgang des Schiffes (in Ballast oder leer) zusammen. Hierbei wurde eine

Berücksichtigung eventueller Ersatzflächen für vorhandene Beladung (Ausnahme Ponton (beladen)) nicht berücksichtigt. Die verwendeten Größen finden sich in Tabelle 16.

Tabelle 16: Eingangsgrößen

Schiffsname	LoA [m]	B [m]	Lpp [m]	HoA [m]	T [m]	Freibord H [m]	A [m ²]
Schergutschiff P2 (unbeladen)	168,68	25,20	155,79	13,85	9,50	4,35	734
Arbeitsponton (unbeladen)	90,00	32,00	90,00	6,68	2,00	4,68	422
Arbeitsponton (beladen)	90,00	32,00	90,00	6,68	5,00	1,68	152
Jack-Up Schiff 1	100,00	40,00	99,20	8,00	4,44	3,56	356
Jack-Up Schiff 2	147,50	42,00	146,80	11,00	7,00	4,00	590

Um dynamische und anderen nicht erfassbaren Einflüsse in die Vertäulasten mit einzubeziehen, wird empfohlen die Ergebnisse der Windlasten mit einem Teilsicherheitsbeiwert ($\gamma_d = 1,25$) zu multiplizieren (EAU, 2004). In dieser Untersuchung wird die Windlast ohne den Teilsicherheitsbeiwert angegeben, da andere Einflüsse gesondert berechnet werden.

7.2 Ansatz für die Strömungslasten

Die angegebenen Strömungslasten werden auf Basis der „Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition“ (MEG3) (OCIMF, 2008) wie folgt berechnet:

$$F_{Xc} = \frac{1}{2} C_{Xc} \rho_c v_c^2 L_{pp} T \quad \text{Gl. 7-5}$$

$$F_{Yc} = \frac{1}{2} C_{Yc} \rho_c v_c^2 L_{pp} T \quad \text{Gl. 7-6}$$

$$M_{XYc} = \frac{1}{2} C_{XYc} \rho_c v_c^2 L_{pp} T \quad \text{Gl. 7-7}$$

mit:

F_{Xc} = Strömungskraft in Längsrichtung (longitudinal current force) [kN]

F_{Yc} = Strömungskraft in Querrichtung (lateral current force) [kN]

M_{XYc} = Giermoment infolge Strömung (current yaw moment) [kNm]

C_{Xc} = Formwiderstandsbeiwert infolge längs Anströmung (longitudinal current drag force coefficient) [-]

C_{Yc} = Formwiderstandsbeiwert infolge quer Anströmung (lateral current drag force coefficient) [-]

C_{XYc} = Beiwert für das Giermoment (current yaw moment coefficient) [-]

ρ_c = Wasserdichte [1025 kg/m³]

T = Tiefgang (durchschnittlich) [m]

v_c = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

L_{pp} = Länge zwischen den Loten [m]

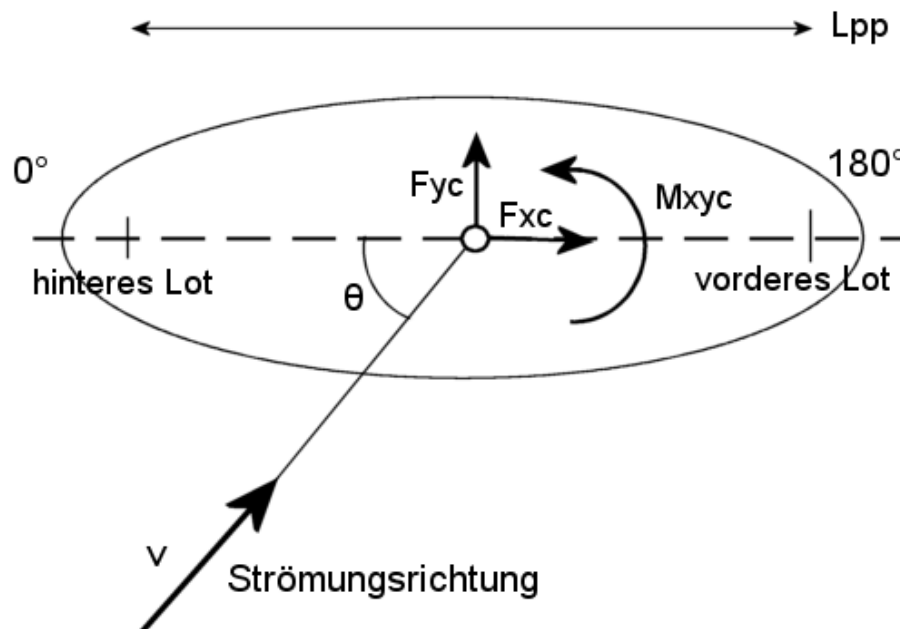


Abb. 35: Ansatz der Strömungslasten nach (OCIMF, 2008), Vorzeichenkonvention und Koordinatensystem

Die eingehenden Koeffizienten basieren auf ursprünglichen Angaben für Öltanker und Gasfrachter mit über 150.000 „tonnes deadweight“. Untersuchungen zeigen, dass diese

Koeffizienten auch für Schiffe bis min. 16.000 „tonnes deadweight“ ausreichend genau sind (OCIMF, 2008). Da die hier analysierten Schiffe erheblich kleiner sind, ist davon auszugehen dass die angewandten Koeffizienten konservativ sind, jeweils bezogen auf die 150.000 dwt Schiffe in der OCIMF-Betrachtung. In der vorliegenden Untersuchung liegen die Schiffsabmessungen deutlich unter diesen Abmessungen, wodurch die Beiwerte auf der sicheren Seite liegen, da diese für größere Schiffe ausgelegt sind.

Folgende Umwelteinflüsse gehen in die Bestimmung der Lastkoeffizienten ein:

- max. Strömung (entspr. BAW, 2006a): 2,5 kn uferparallel
- Dichte des Wassers: 1025 kg/m³
- Wassertiefe h (≈ WD):
 - MThw 15,94 m
 - MTnw:12,13 m

Die Rahmenbedingungen der einzelnen Lastfälle sind in Kap. 3.2 b) definiert. In der Betrachtung wird die Ausbildung einer uferparallelen Strömungsrichtung herangezogen, dieses entspricht einer Strömungsrichtung von 180° bzw. 0° zur Schiffslängsachse.

Um den Formwiderstandsbeiwert zu ermitteln, wird für jedes Schiff für mögliche Wassertiefen der jeweilige „water dephdt draft ratio“ (WD/T) ermittelt. Zusätzlich wird die Rumpfform der Schiffe benötigt. Hierbei wird zwischen einem elliptisch-zylindrischem Bug („cylindrical“) und einem konventionellerem v-förmigen (bzw. zwiebel förmigen) Bug („conventional“) unterschieden.

Mit Hilfe dieser Angaben können die Werte für die Lastkoeffizienten (C_{Xc} , C_{Yc} und C_{XYc}) aus den entsprechenden Diagrammen in Anhang D ausgelesen werden (OCIMF, 2008). Die Beiwerte dieser Strömungskoeffizienten basieren auf Daten von Modelltests des Maritime Research Institute Netherlands (1975-1991).

Für den WD/T-Wert wird der maximale Tiefgang des jeweiligen Schiffstyps herangezogen, wodurch die Strömungslast auf der sicheren Seite liegt. Hierzu dienen die Angaben des „design draught“ bzw. des Tiefgangs für die jeweilige Ladebedingung.

Tabelle 17: Eingangsdaten zur Lastermittlung nach OCIMF (OCIMF, 2008)

Schiffsname	L _{pp} [m]	T [m]	Rumpfform
Containerschiff P2	155,79	9,50	conventional
Arbeitsponton (unbeladen)	90,00	2,00	cylindrical
Arbeitsponton (beladen)	90,00	5,00	cylindrical
Schwergutschiff 1	99,20	4,44	cylindrical
Schwergutschiff 2	146,80	7,00	conventional

* Für den Schiffs-Typ Bominflot5 ist keine Angabe für L_{pp} vorhanden, daher wird für die weiteren Berechnungen der Wert L_{oA} zugrunde gelegt.

7.3 Ansatz für die hydrodynamischen Lasten am Pfahl: Pfahlkräfte

Für die Berechnung des Strömungsdrucks infolge Tide und Schiffswelle auf die Jack-Pfähle im ausgefahrenen Zustand wird der Ansatz nach MORISON (EAU, 2004) verwendet:

$$f_{\text{ges}} = f_M + f_D \quad \text{Gl. 7-8}$$

$$f_M = C_M \rho_w \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u}{\partial t} \quad \text{Gl. 7-9}$$

$$f_D = \frac{1}{2} C_D \rho_w D |u| u \quad \text{Gl. 7-10}$$

mit:

- f_{ges} = Gesamtkraft auf einen Meter Pfahllänge ($\Delta z = 1 \text{ m}$) [kN/m]
- f_M = Trägheitskraft auf einen Meter Pfahllänge ($\Delta z = 1 \text{ m}$) [kN/m]
- f_D = Strömungskraft auf einen Meter Pfahllänge ($\Delta z = 1 \text{ m}$) [kN/m]
- C_M = Massenbeiwert [-]
- C_D = Formwiderstandbeiwert infolge Anströmung [-]
- u = Orbitalgeschwindigkeit der Wellen [m/s]
- $\frac{\partial u}{\partial t}$ = lokale Beschleunigung [m/s²]
- D = Pfahldurchmesser [m]

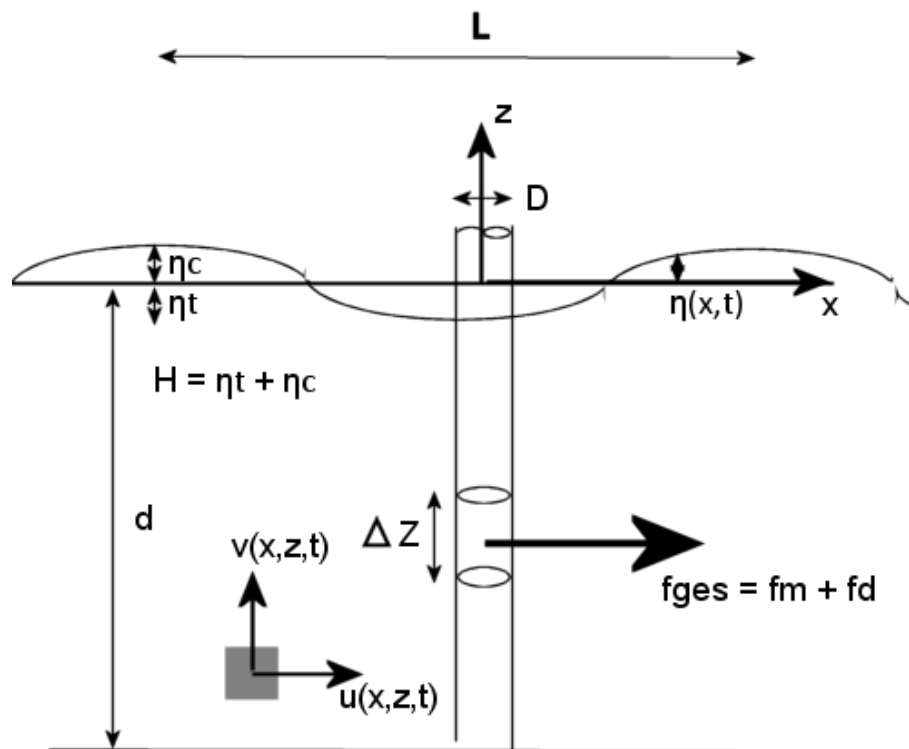


Abb. 36: Schematische Darstellung der Pfahlbelastung

Hier wurde der Ansatz nach Morison vereinfacht, da für den vorliegenden Fall einer einzelnen langen Verdrängungswelle die lokale Beschleunigung gering ist. Folglich kann die Trägheitskraft vernachlässigt werden.

Die auf den Pfahl wirkenden Lasten entstammen dem Strömungsdruck infolge Tide bzw. der horizontalen Orbitalgeschwindigkeit der Einzelwelle.

Für die Berechnung der maximalen Ereignisse wurden folgende Daten und Annahmen verwendet:

- Tide: max. Ebbströmung 2,5 kn \approx 1,3 m/s
- Einzelwelle: max. horiz. Orbitalgeschwindigkeit $u_{\max} = 0,16$ m/s
- Pfahldurchmesser Schwergutschiff 1: 3,75 m
- Pfahldurchmesser Schwergutschiff 2: 4,75 m
- Abminderung der Pfahlkräfte um 25% für aufgelöste Gitterstrukturen

7.4 Ansatz für Schwall und Sunk: WAMSIM – Resonanzmodell für Schiffsbewegungen und Trossenkräfte

Das Trossenkraft-Simulations-Paket WAMSIM ist ein Softwarepaket von DHI zur Analyse von Bauwerken oder Schwimmkörpern die einer Wellenauslenkung ausgesetzt sind. Hierzu werden neben geometrischen und materialspezifischen auch hydrodynamische Eigenschaften des Körpers benötigt. Die sogenannten Frequenzganglinien werden mit Hilfe der Software WAMIT (WAMIT, 2011) ermittelt. WAMIT ist allgemein als Industrie-Standard für die Analyse von schwimmenden Körpern anerkannt.

WAMSIM führt eine Fourier-Transformation der Frequenzganglinien durch und ermittelt daraus das Impulsansprechverhalten dieses Körpers, das dann mit eintreffenden Wellen, Hydrostatik, der Vertäuuung, Wind, Strömungen und viskosen Dämpfungskräften in die Bewegungsgleichungen für den Körper eingehen, die für alle sechs Freiheitsgrade gelöst werden.

Berücksichtigt werden Wellen in Form:

- Einer Überlagerung von einlaufenden langkämmigen Wellen an einem Punkt im Raum,
- eines beliebig einlaufenden Wellendruckfeldes und dessen Geschwindigkeit in jedem Hüllenelement des Schiffskörpers oder
- der Wassertiefe und des Durchflusses einer MIKE 21 Boussinesq – Berechnung auf einem Rechteckgitter, das den Schiffskörper umschließt.

Im hier vorliegenden Fall, in dem die Wellenreflektion durch benachbarte Strukturen nicht vernachlässigbar ist, wurde die Überlagerung von einlaufender und reflektierter Schiffswelle im Nahbereich des Terminals gewählt.

Maßgebende nicht-lineare Kräfte auf den Schiffskörper wurden ebenfalls für die Simulation berücksichtigt. Dabei handelt es sich um

- Reaktionskräfte, die durch die Trossen, Fender und/oder Ankerketten verursacht werden, wobei jede Komponente als eine vordefinierte Funktion der Dehnung (oder Kompression oder Biegung und/ oder einer Ableitung dieser Verformungen angesetzt wird) betrachtet wird.

Die generelle Qualität von WAMSIM wurde mit Hilfe physikalischer Modellversuche validiert.

8. Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der unter Kap. 5 aufgeführten Lastfälle getrennt nach Wind, Strömung und Schwall und Sunk aufgeführt. Eine abschließende gemeinsame Bewertung der Ergebnisse erfolgt anschließend in Kap. 9.

8.1 Windlasten nach EAU 2004

Für die in Kap. 3.2 a) aufgezeigten Randbedingungen wurden unter Verwendung des in Kap. 7.1 beschriebenen Ansatzes die folgenden, ausmittig angreifenden Windlasten ermittelt.

Abschattungseffekte durch die Kaje oder eine Abminderung der laminar angesetzten Windgeschwindigkeit aufgrund eventuell vorhandener Bebauungen (EAU, 2004, siehe Kap. 5.11.4) sind in den Ergebnissen nicht berücksichtigt. Folglich sind diese Werte als konservativ anzusehen.

Erläuterung zur Tabelle 18:

- e = Ausmitte zum Schiffsschwerpunkt (CG)
- $W_l = F_x$ und $W_t = F_y =$ vektorielle Anteile der Windlast in Schreibart der OCIMF.

Tabelle 18: Ergebnisse der Windlastkomponenten bezogen auf den Schiffsschwerpunkt nach EAU (EAU, 2004)

Schiffsname	Windlastkomponente	Windrichtung				
		45° N	90° N	135° N	180° N	225° N
		$\alpha = 5,71^\circ$	$\alpha = 50,71^\circ$	$\alpha = 95,71^\circ$	$\alpha = 140,71^\circ$	$\alpha = 185,71^\circ$
Schwergutschiff P2	Ausmitte e [m]	4,49	16,63	-2,25	-21,12	-4,49
	W_l [kN]	69,00	52,00	-11,00	-68,00	-69,00
	W_t [kN]	20,00	334,00	473,00	255,00	-20,00
Arbeitsponton (unbeladen)	Ausmitte e [m]	2,40	8,87	-1,20	-11,27	-2,40
	W_l [kN]	40,00	30,00	-6,00	-39,00	-40,00
	W_t [kN]	12,00	192,00	272,00	147,00	-12,00
Arbeitsponton (beladen)	Ausmitte e [m]	2,40	8,87	-1,20	-11,27	-2,40
	W_l [kN]	15,00	11,00	-3,00	-14,00	-15,00
	W_t [kN]	5,00	69,00	98,00	53,00	-5,00
Jack-Up Schiff 1	Ausmitte e [m]	2,66	9,86	-1,33	-12,52	-2,66
	W_l [kN]	34,00	26,00	-5,00	-33,00	-34,00
	W_t [kN]	10,00	162,00	230,00	124,00	-10,00
Jack-Up Schiff 2	Ausmitte e [m]	3,93	14,54	-1,97	-18,47	-3,93
	W_l [kN]	56,00	42,00	-9,00	-55,00	-56,00
	W_t [kN]	17,00	269,00	381,00	205,00	-17,00

Aufgrund der Vernachlässigung der evtl. anzusetzenden Ersatzflächen für vorhandene Ladung und eine detailliertere Berücksichtigung der lateralen und transversalen Anströmfläche, wurde eine weitere Betrachtung nach Ansatz der OCIMF geprüft. Dieser

führte nur zu leicht abweichenden Ergebnissen, welche im Anlage D aufgeführt und diskutiert werden.

Die in Tabelle 18 angegebenen Windlasten beschreiben einwirkende Kräfte bezogen auf den Schiffsschwerpunkt und sind nicht mit den Reaktionskräften der Vertäuerung zu verwechseln.

Eine Umverteilung der ermittelten Windlasten auf das angenommene Vertäusystem erfolgt an dieser Stelle nicht, es wird auf Kapitel 5.11.4 (EAU, 2004) verwiesen. Entsprechend wäre zur Ermittlung der Vertäu- und Fenderkräfte ein statisches unbestimmtes Berechnungssystem einzuführen und die Elastizität der Vertäu- und Fenderbauwerke mit zu berücksichtigen.

8.2 Strömungslasten

Aufgrund der parallel angenommenen Anströmung zur Schiffslängsachse verschwinden die Lastanteile in lateraler Richtung F_{Yc} und das entsprechende Rotationsmoment M_{Xyc} um die z-Achse. Bei der Betrachtung der Lastrichtung ist die Vorzeichenkonvention entsprechend Abb. 35 zu berücksichtigen.

Tabelle 19: Strömungslastkoeffizienten nach OCIMF (OCIMF, 2008)

Schiffsname	Tidezeitpunkt	Wasserstand/ Tiefgang [WD/T, siehe OCIMF]	Lastkoeffizient C_{Xc}	
			45° N	225° N
			$\theta = 180^\circ$	$\theta = 0^\circ$
Schwergutschiff P2	MThw	1,68	-0,037	0,036
	Mtnw	1,28	-0,025	0,039
Arbeitsponton (unbeladen)	MThw	7,97	-0,033	0,049
	Mtnw	6,07	-0,033	0,049
Arbeitsponton (beladen)	MThw	3,19	-0,034	0,038
	Mtnw	2,43	-0,037	0,036
Jack-Up Schiff 1	MThw	3,59	-0,034	0,038
	Mtnw	2,73	-0,034	0,038
Jack-Up Schiff 2	MThw	2,28	-0,037	0,036
	Mtnw	1,73	-0,037	0,036

Tabelle 20: Ergebnisse der Strömungslasten bezogen auf den Schiffsschwerpunkt für eine Strömungsgeschwindigkeit von $1,5 \text{ kn} = 0,80 \text{ m/s}$

Schiffsname	Wasserstand/ Tiefgang [WD/T, siehe OCIMF (2008)]	Strömungsdruck F_x im Schiffsschwerpunkt [kN]	
		45° N	225° N
		$\theta = 180^\circ$	$\theta = 0^\circ$
Schwergutschiff P2	1,68	-18	18
	1,28	-13	20
Arbeitsponton (unbeladen)	7,97	-2	3
	6,07	-2	3
Arbeitsponton (beladen)	3,19	-6	6
	2,43	-6	6
Jack-Up Schiff 1	3,59	-5	6
	2,73	-5	6
Jack-Up Schiff 2	2,28	-13	12
	1,73	-13	12

Tabelle 21: Ergebnisse der Strömungslasten bezogen auf den Schiffsschwerpunkt für eine Strömungsgeschwindigkeit von $2,5 \text{ kn} = 1,3 \text{ m/s}$

Schiffsname	Wasserstand/ Tiefgang [WD/T, siehe OCIMF (2008)]	Strömungsdruck F_x im Schiffsschwerpunkt [kN]	
		45° N	225° N
		$\theta = 180^\circ$	$\theta = 0^\circ$
Schwergutschiff P2	1,68	-48	46
	1,28	-33	51
Arbeitsponton (unbeladen)	7,97	-6	8
	6,07	-6	8
Arbeitsponton (beladen)	3,19	-14	15
	2,43	-15	14
Jack-Up Schiff 1	3,59	-14	15
	2,73	-14	15
Jack-Up Schiff 2	2,28	-33	32
	1,73	-33	32

Die in Tabelle 20 und Tabelle 21 angegebenen Strömungslasten beschreiben einwirkende Kräfte bezogen auf den Schiffsschwerpunkt und sind nicht mit den Reaktionskräften der Vertäuerung zu verwechseln.

Eine Umverteilung der ermittelten Strömungslasten auf das angenommene Vertäusystem erfolgt an dieser Stelle nicht. Wie bereits für die Windlasten angemerkt wurde, wäre zur Ermittlung der Vertäu- und Fenderkräfte ein statisches unbestimmtes Berechnungssystem einzuführen und die Elastizität der Vertäu- und Fenderbauwerke mit zu berücksichtigen.

Aufgrund der geringen Ersatzlasten, die auf dieses System wirken ist davon auszugehen, dass der Lastfall Strömung für die Vertäuerung nicht maßgeblich ist.

8.3 Hydrodynamische Lasten am Pfahl: Pfahlkräfte

Für die in Kap. 3.2 b) und Kap. 4.3.4 aufgezeigten Randbedingungen am OTB wurden unter Verwendung des in Kap. 7.2 beschriebenen Ansatzes folgende Strömungslasten ermittelt.

Tabelle 22: Ergebnisse der Berechnung der Pfahllasten (Querkraft) infolge Tide (max. 2,5 kn) und langweilliger Schiffswellenbelastung (auf 1 m Pfahllänge normiert)

Schiffsname	Pfahldurchmesser	Strömungsdruck f_D	
		Tide	Schiffswelle
Jack-Up Schiff 1	3,75 m	3,9 kN/m	0,1 kN/m
Jack-Up Schiff 2	4,75 m	3,8 kN/m	0,1 kN/m

Berücksichtigt man die für die Simulation angesetzte Wassertiefe von 15,86 m so ergeben sich pro Pfahl folgende Lasten infolge Strömung und Welle (auf 0,5 kN aufgerundet):

- Schwergutschiff 1: 63,50 kN
- Schwergutschiff 2: 62,00 kN

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass dieser Ansatz sehr konservative Lasten ermittelt, da zum einen der Strömungsdruck der Schiffswelle nicht über die gesamte Wassertiefe wirkt und andererseits die maximale Ebbstromgeschwindigkeit nicht mit dem maximalen Wasserstand (Thw) gemeinsam eintritt.

Die ermittelten hydrodynamischen Pfahllasten an der Kajenanlage des OTB sind im Vergleich zu den im Offshorebereich herrschenden Bedingungen als nicht maßgeblich für das Gesamtlastverhalten einzustufen.

8.4 Lasten aus Schwall und Sunk: WAMSIM Berechnungen

Entgegen der bisherigen Berechnungsverfahren (Kap.8.1 – Kap.8.3) werden nun im vorliegenden Abschnitt nicht nur jeweils die Lasten auf den Schiffsschwerpunkt ermittelt, sondern auch zusätzlich die nicht-lineare Interaktion aus Einwirkungen (Lasten) und der Vertäuerung inkl. Fender und Poller berücksichtigt. Somit werden nicht nur die auftretenden Einwirkungen, sondern auch die resultierenden Kräfte in der Vertäuerung bestimmt.

Für diese Untersuchungen wurden die in Kap. 6 dargestellten Trossen und Vertäulayouts verwendet. Zusätzlich wurde bei den Berechnungen von einem Reibungsbeiwert der Fender von $\mu = 0,4$ zwischen der Stahlaußenhaut und dem Gummibelag der Fender und außerdem von einer standardmäßigen Vorspannung der Leinen von 10 t ausgegangen. Dies gilt jedoch nicht für das Jack-Up Schiff 1, da dieses nach jetzigem Kenntnisstand über keinerlei Vorspannsysteme oder anderweitige Systeme verfügt.

In den folgenden Kapiteln für die einzelnen untersuchten Fälle sind die 6 Freiheitsgrade der Bewegung (*surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* und *yaw*, vgl. Abb. 2) dargestellt, wie sie sich bei der Ausbreitung der Verdrängungswelle durch die Passage des Bulklers für das jeweils untersuchte vertäute Schiff ausbilden.

Die Einwirkung der Verdrängungswelle auf die vertäuten Schiffseinheiten ist anhand der Ergebnisse gut zu erkennen. Es zeigt sich, dass sich die größte Bewegung der vertäuten Einheiten parallel zum Ufer und somit entlang der Schiffslängsachse einstellt (*surge*). Die Rotationsbewegungen der vertäuten Einheiten sind erwartungsgemäß gering und liegen unterhalb von 0,2 rad. Verdriften in Richtung der Fahrrinne wird durch die Vorspannung der Trossen und dem resultierenden Anpressdruck auf die Fender eingeschränkt und ist daher zumeist konstant negativ. Die Hubbewegung (*heave*) der Schiffseinheit entspricht in etwa der vollen Wasserspiegelauslenkung und folgt dieser in seinem Verlauf entsprechend.

Die am aufgejackten Schwergutschiff vertäute Bunkerbarge weicht aufgrund ihrer bedeutend geringeren Größe erheblich vom Verhalten der anderen Schiffeinheiten ab. Eine weitergehende Analyse wird hier nicht vorgenommen, da in der Nautikrunde vom 19.10.2012 festgehalten wurde, dass ein Einsatz der Bunkerbarge an einem aufgejackten Schiff als gefährlich bzw. unkontrollierbar erachtet wird. Unter anderem würde die Bunkerbarge Gefahr laufen unter die aufgejackten Schiffe zu driften. Eine zeitgleiche Bebungung der Schiffe bei einer Vorbeifahrt tiefgehender Schiffe wurde ausgeschlossen (siehe Protokoll vom 19.10.2012), folglich entfallen weitere Betrachtungen.

In den folgenden Tabellen (vgl. Tabelle 24) werden die maximal auftretenden Trossenkräfte für jede einzelne Leine infolge Schwall und Sunk dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die maximalen Kräfte in den Springleinen aufgrund der starken Bewegungen entlang der Schiffslängsachse auftreten.

Ähnliches gilt für die Fender (vgl. Tabelle 25), wobei hier festzustellen ist, dass die Surge - Bewegung in zum Zeitpunkt der durchlaufenden Welle die maximalen Lasten in den äußeren Fendern hervorruft.

Auf die in Kap. 6.2 angegebenen Materialeigenschaften wird ein zusätzlicher Materialsicherheitsbeiwert angesetzt um die Gebrauchstauglichkeit der Trossen zu beurteilen. Entsprechend der OCIMF (OCIMF, 2008) wird entsprechend der verwendeten Materialien ein Abminderungsfaktor angewendet, um die maximal zulässige Trossenkraft zu bestimmen:

- Wire: 55% MBL
- Synthetic ropes: 50% MBL
- Polyamide: 45% MBL

Eine Überschreitung der rechnerischen Bruchlasten ist in den nachfolgenden Tabellen in Rot markiert.

Zusätzlich wurde für beide Jack-Up Schiffe 1 und 2 untersucht, welchen Einfluss die Verdrängungswelle auf diese Einheiten im unvertäuten, schwimmenden Zustand hat. Es zeigt sich, dass die Schiffseinheiten mehrere Meter entlang der Kaje von der Welle mitgetragen werden, bevor die Rückströmung einsetzt. Die Ausgangsposition wird jedoch nicht wieder erreicht, so dass die Schwergutschiffe um 3-4 m in Fahrtrichtung versetzt zum Liegen kommen. Ein „Ansaugen“ (Verdriftung des ruhenden Schiffes in Richtung der Fahrinnenmitte durch das Passierende Schiff) der Einheiten erfolgt nur im geringen Maße und wird durch die einsetzende Primärwelle wieder aufgehoben. Das Gleiche gilt für die Verdrehung der frei schwimmenden Jack-Up Schiffe. Diese Verdrehung wird nur im geringen Umfang ausgelöst. Jedoch ist ein verstärktes Auftreten der Roll-Bewegung im Vergleich zu den Szenarien vertäuter Einheiten zu beobachten.

8.4.1 Schwergutschiff P2-800 – Szenario-1 - ohne Shore Tension®

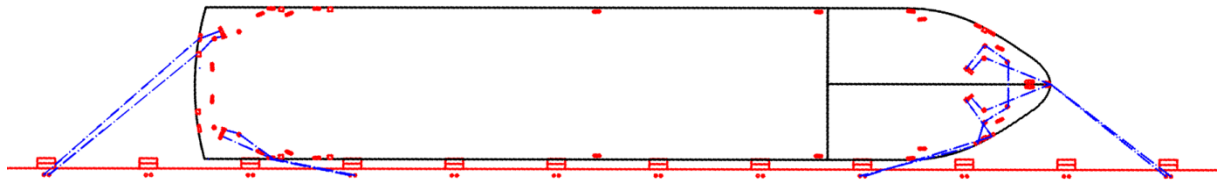


Abb. 37: Initiales Vertäulayout: Schwergutschiff P2-800

Tabelle 23: Eingangsdaten Schwergutschiff P2-800

Schiffsname	Trosstyp	Durchmesser der Trossen [mm]	Trossenbruchlast (BL) [kN]	Anzahl Trossen
Schwergutschiff P2	Polypropylene Octoply	64	480	8

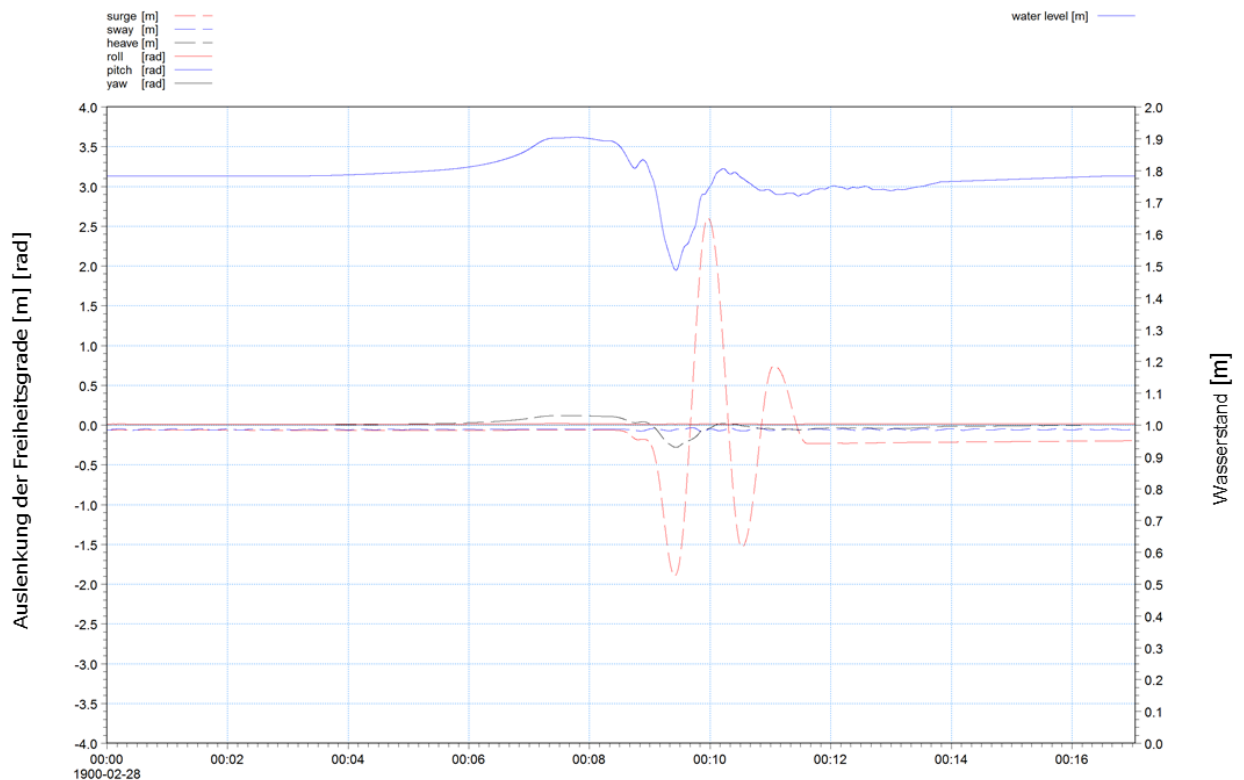


Abb. 38: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Schwergutschiff P2-800

Tabelle 24: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 240 kN) – Schwergutschiff P2-800

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine 1 (Backbord, 1 Trosse)	221
2	Achterleine 2 (Steuerbord, 1 Trosse)	223
3	Achterspring 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	258
4	Achterspring 2 (Steuerbord, 1 Trosse)	251
5	Vorspring 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	258
6	Vorspring 2 (Steuerbord 1 Trosse)	291
7	Vorleine 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	173
8	Vorleine 2 (Backbord, 1 Trosse)	172

Tabelle 25: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Schwergutschiff P2-800

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	105
2	Fender	90
3	Fender	77
4	Fender	85
5	Fender	94
6	Fender vorn	123

8.4.2 Schwergutschiff P2-800 – Szenario-2 - mit Shore Tension®

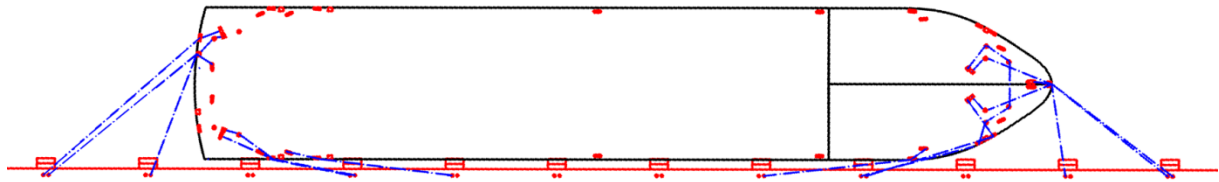


Abb. 39: Initiales Vertäulayout: Schwergutschiff P2-800

Tabelle 26: Eingangsdaten Containerschiff P2-800

Schiffsname	Trossentyp	Durchmesser der Trossen [mm]	Trossenbruchlast (BL) [kN]	Anzahl Trossen
Schwergutschiff P2	Polypropylene Octoply	64	480	8+4

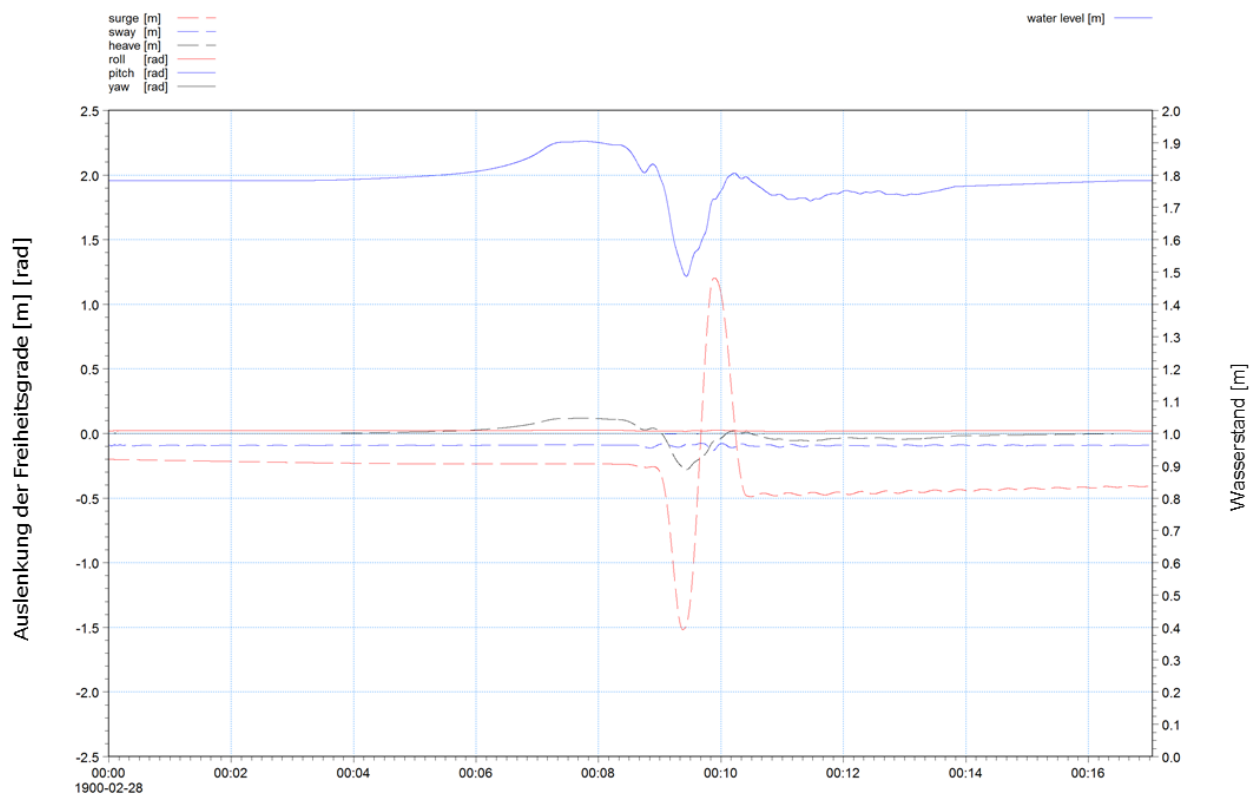


Abb. 40: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Containerschiffs P2-800

Tabelle 27: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 240 kN) – Containerschiff P2-800

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine 1 (Backbord, 1 Trosse)	153
2	Achterleine 2 (Backbord, 1 Trosse)	157
ST*	Achterquerleine (Backbord, 1 Trosse)	157
3	Achterspring 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	203
4	Achterspring 2 (Steuerbord, 1 Trosse)	199
ST*	Achterspring 3 (Steuerbord, 1 Trosse)	183
5	Vorspring 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	175
6	Vorspring 2 (Backbord 1 Trosse)	170
ST*	Vorspring 3 (Steuerbord 1 Trosse)	183
ST*	Vorquerleine (Steuerbord 1 Trosse)	114
7	Vorleine 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	150
8	Vorleine 2 (Backbord, 1 Trosse)	150

*ST = Shore Tension®

Tabelle 28: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Containerschiff P2-800

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	141
2	Fender	124
3	Fender	119
4	Fender	130
5	Fender	147
6	Fender vorn	167

8.4.3 Zusammenfassung: Vertäuung des Schwergutschiffes P2-800

Die Vertäuung für das Schwergutschiff P2-800 wurde in zwei Szenarien betrachtet: mit und ohne Shore Tension® (Kap. 8.4.1 und 8.4.2). Die Shore Tension® Vertäuung ist ein landseitiges Vertäusystem mit einer definierten Vorspannung. Im ersten Szenario ohne Shore Tension® wurde festgestellt, dass es zu teils starken Überlastungen des vorgespannten Vertäusystems kommt. Hierbei zeigt sich die stärkste Belastung in den Leinen Nr. 3 bis 6. 2 Um die resultierenden Kräfte im Szenario 2 besser verteilen zu können, wurde das vorhandene vorgespannte Vertäusystem (Kap. 8.4.1) um Shore Tension® erweitert. Erst mit einer Ergänzung von vier zusätzlich vorgespannten Shore Tension® (Kap. 8.4.2) wurde unter Schwall und Sunk eine Überschreitung der max. zulässigen Trossenzugkraft von 240 kN pro Leine verhindert.

8.4.4 Arbeitsponton - unbeladen

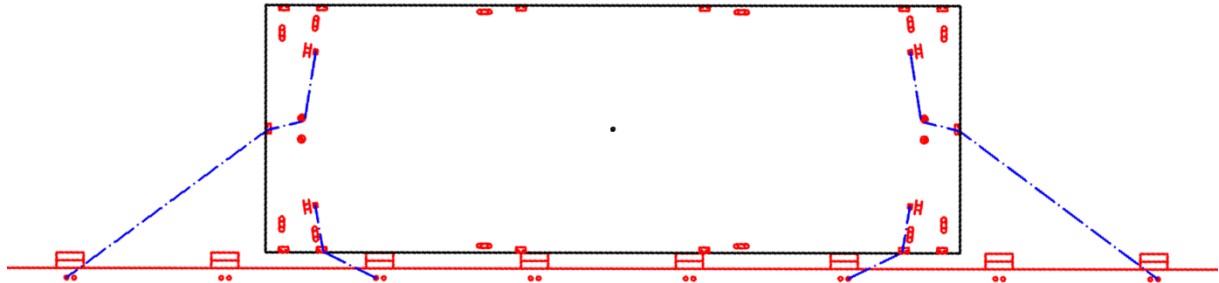


Abb. 41: Initiales Vertäulayout: Arbeitsponton unbeladen

Tabelle 29: Eingangsdaten zum Arbeitsponton unbeladen

Schiffsname	Trossentyp	Durchmesser der Trossen [mm]	BL [kN]	Anzahl Trossen
Arbeitsponton	Tipto Winchline	70	990	4

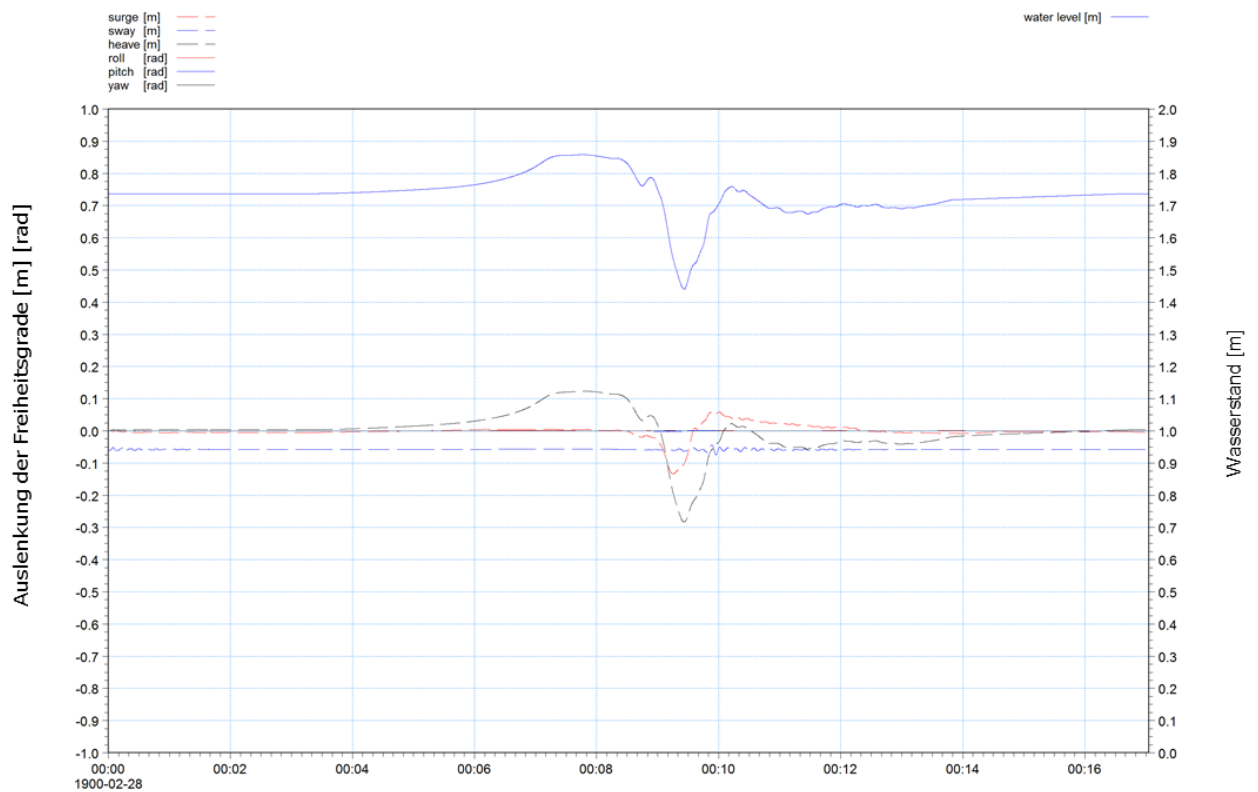


Abb. 42: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Arbeitspontons unbeladen

Tabelle 30: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft ($0.50 \cdot BL$) = 495 kN) – Arbeitsponton unbeladen

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine (Backbord, 1 Trosse)	106
2	Achterspring (Steuerbord, 1 Trosse)	144
3	Vorspring (Steuerbord 1 Trosse)	119
4	Vorleine (Backbord, 1 Trosse)	113

Tabelle 31 Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Arbeitsponton unbeladen

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	76
2	Fender	64
3	Fender	67
4	Fender vorn	71

8.4.5 Zusammenfassung: Vertäuerung des Arbeitsponton (unbeladen)

Im unbeladenen Zustand erfährt der Arbeitsponton eine Bewegung die der eintreffenden Schwall-Sunkwelle des passierenden Schiffes ähnelt. Insgesamt wird die Bewegung durch das Vertäusystem gedämpft. Eine Überlastung der Vertäuerung tritt nicht auf und die maximal zulässigen Trossenkräfte von 495 kN pro Leine werden immer unterschritten.

8.4.6 Arbeitsponton - beladen

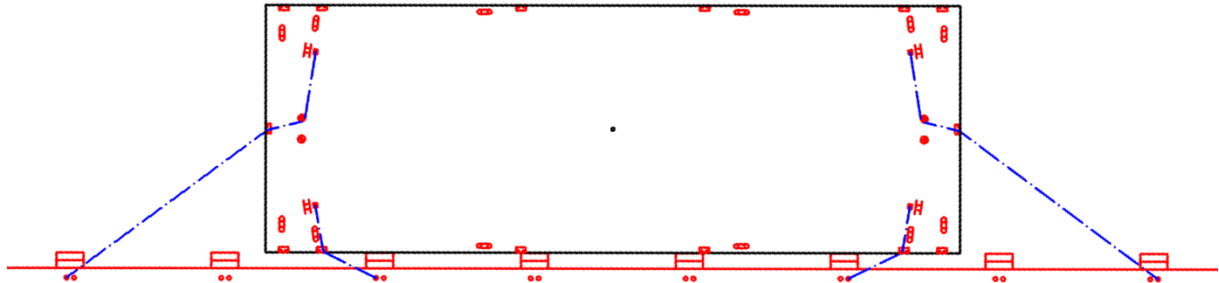


Abb. 43: Initiales Vertäulayout: Arbeitsponton beladen

Tabelle 32: Eingangsdaten Arbeitsponton beladen

Schiffsname	Trossentyp	Durchmesser der Trossen [mm]	BL [kN]	Anzahl Trossen
Arbeitsponton	Tipto Winchline	70	990	4

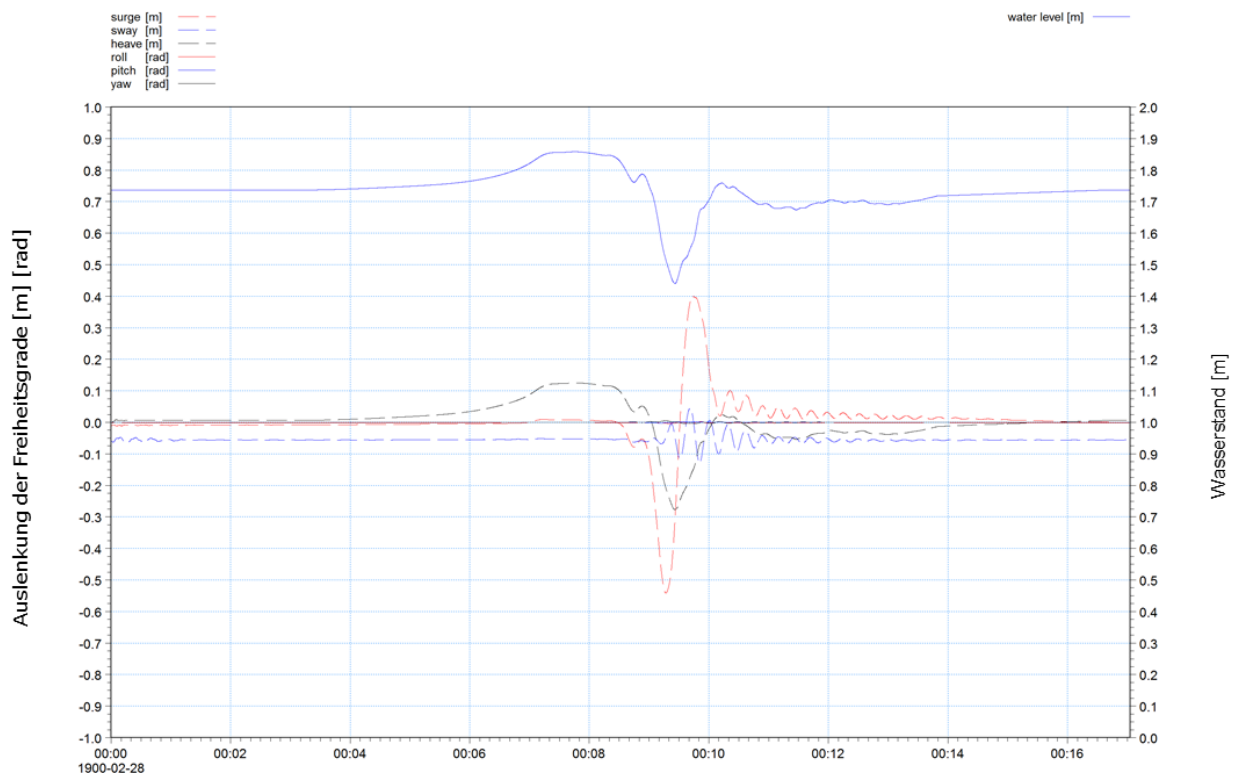


Abb. 44: Schematische Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Arbeitspontons beladen

Tabelle 33: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 495 kN) – Arbeitsponton beladen

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine (Backbord, 1 Trosse)	149
2	Achterspring (Steuerbord, 1 Trosse)	280
3	Vorspring (Steuerbord 1 Trosse)	239
4	Vorleine (Backbord, 1 Trosse)	164

Tabelle 34: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Arbeitsponton beladen

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	188
2	Fender	110
3	Fender	133
4	Fender vorn	181

8.4.7 Zusammenfassung: Vertäuung des Arbeitsponton (beladen)

Im beladenen Zustand erfährt der Arbeitsponton eine deutlich stärkere Auslenkung. Dies ist zurückzuführen auf den höheren Tiefgang, welcher dem Wellenmoment eine größere Fläche zur Verfügung stellt. Besonders der surge-Freiheitsgrad spricht deutlich auf die Belastung durch Schwall und Sunk an. Die infolge Schwall und Sunk auftretenden Lasten erreichen jedoch nicht die maximal zulässige Trossenkraft (495 kN pro Leine).

8.4.8 Jack-Up Schiff 1 (schwimmend)

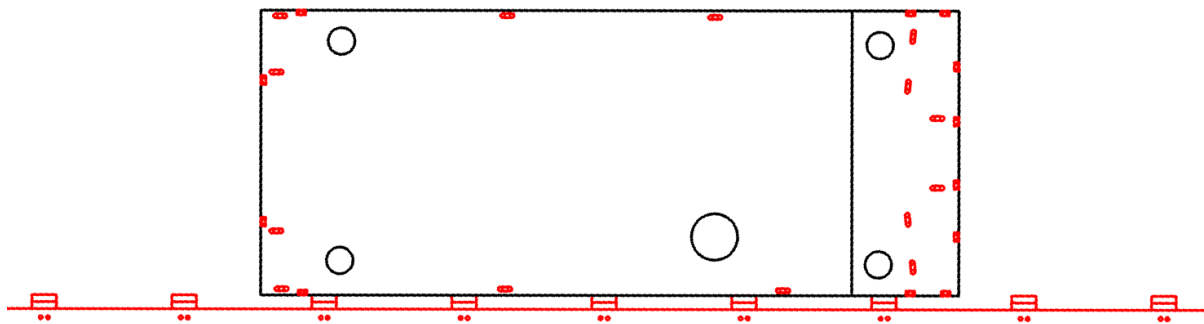


Abb. 45: Initiale Position des Schwergutschiffs 1 vor der Kaje (ohne Vertäuung)

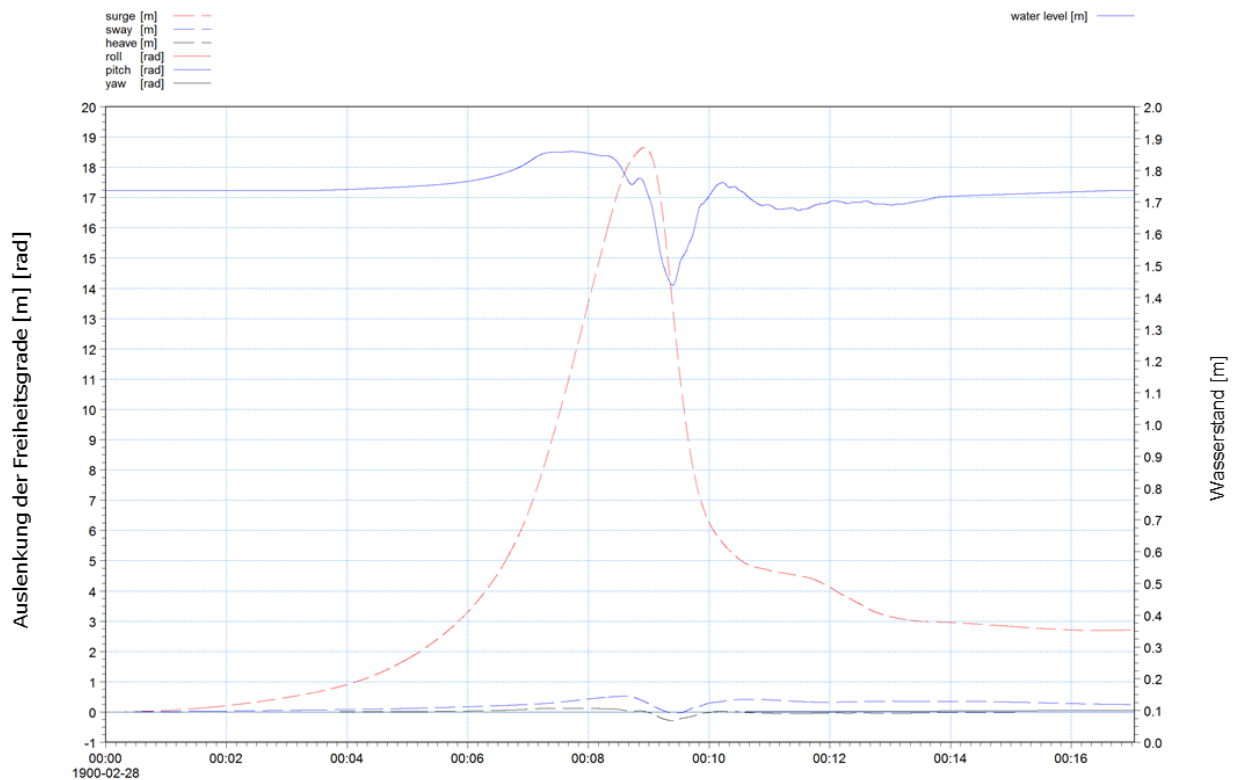


Abb. 46: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Schwergutschiffs 1 (schwimmend/ohne Vertäuung)

8.4.9 Jack-Up Schiff 1 - vertäut ohne Vorspannung der Trossen

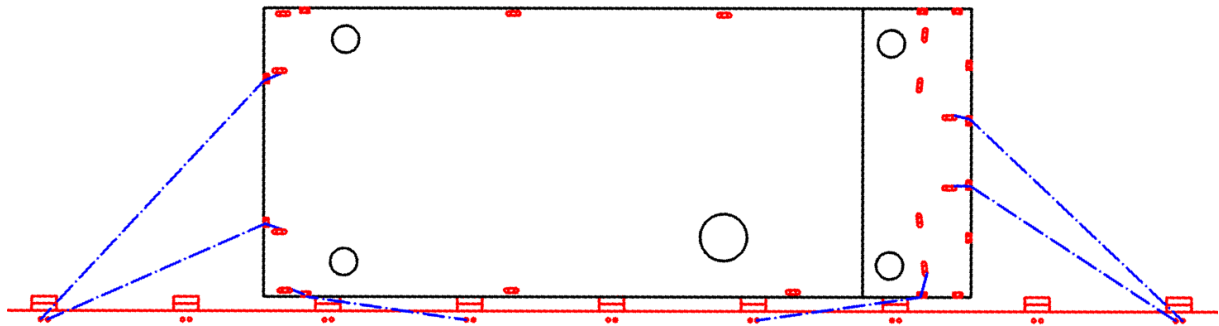


Abb. 47: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 1 vertäut ohne Vorspannung der Trossen

Tabelle 35: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 1 vertäut ohne Vorspannung der Trossen

Schiffsname	Trosstyp	Durchmesser der Trossen [mm]	BL [kN]	Anzahl Trossen
Jack-Up Schiff 1	Geo Twin Polyamid*	46	511,5	6

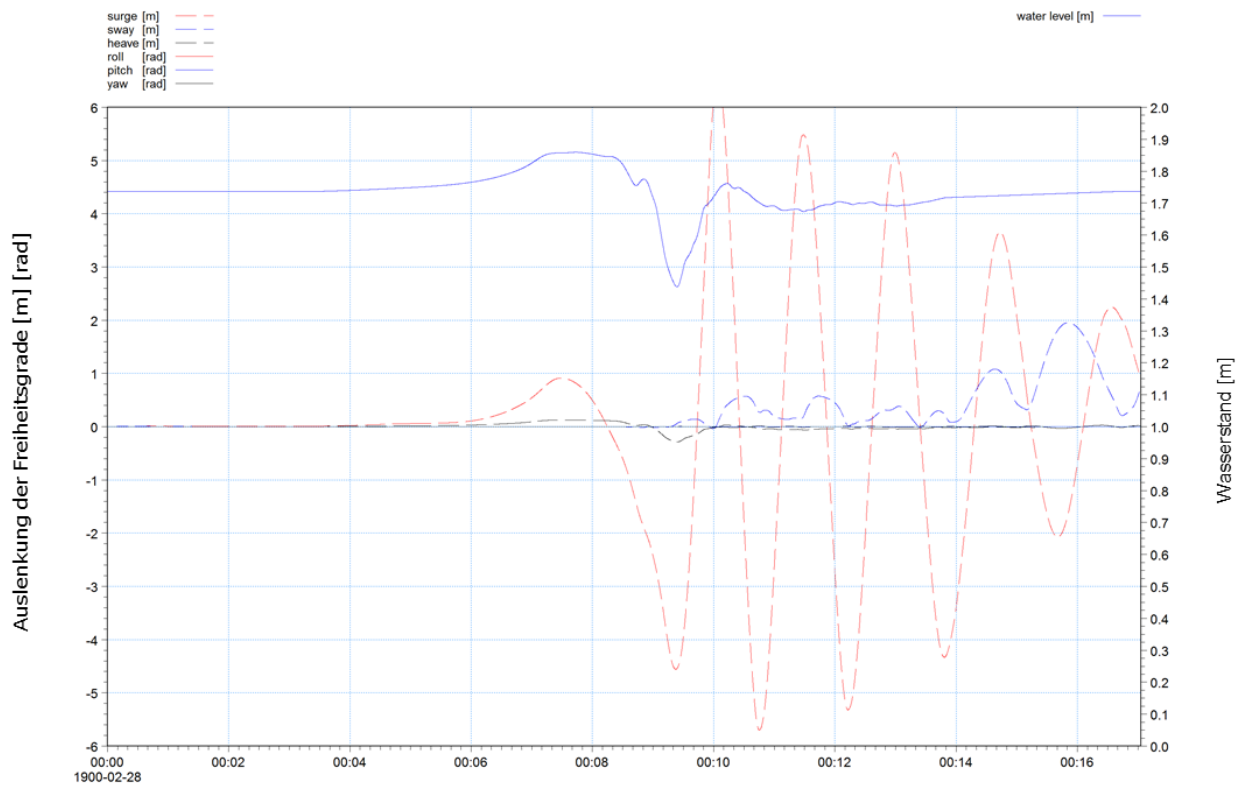


Abb. 48: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 1 vertäut ohne Vorspannung der Trossen

Tabelle 36: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.45*BL) = 230 kN) - Jack-Up Schiff 1

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine (Backbord, 1 Trosse)	116
2	Achterleine (Steuerbord, 1 Trosse)	312
3	Achterspring (Steuerbord, 1 Trosse)	489
4	Vorspring (Steuerbord 1 Trosse)	585
5	Vorleine (Steuerbord, 1 Trosse)	176
6	Vorleine (Backbord, 1 Trosse)	104

Tabelle 37: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Jack-Up Schiff 1

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	328
2	Fender	155
3	Fender	53
4	Fender	125
5	Fender vorn	309

8.4.10 Jack-Up Schiff 1- Szenario 1 unter Annahme vorgespannter Trossen

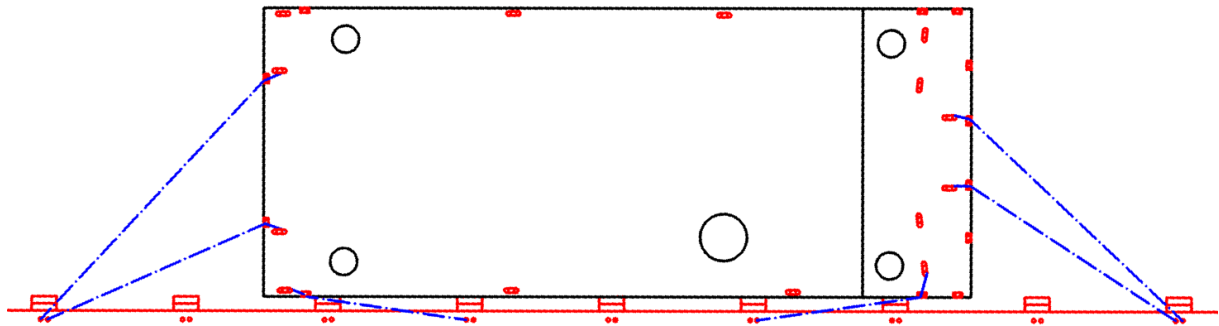


Abb. 49: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 1 vertäut unter Annahme vorgespannter Trossen

Tabelle 38: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 1 vertäut unter Annahme vorgespannter Trossen

Schiffsname	Trossentyp	Durchmesser der Trossen [mm]	BL [kN]	Anzahl Trossen
Jack-Up Schiff 1	Geo Twin Polyamid*	46	511,5	6

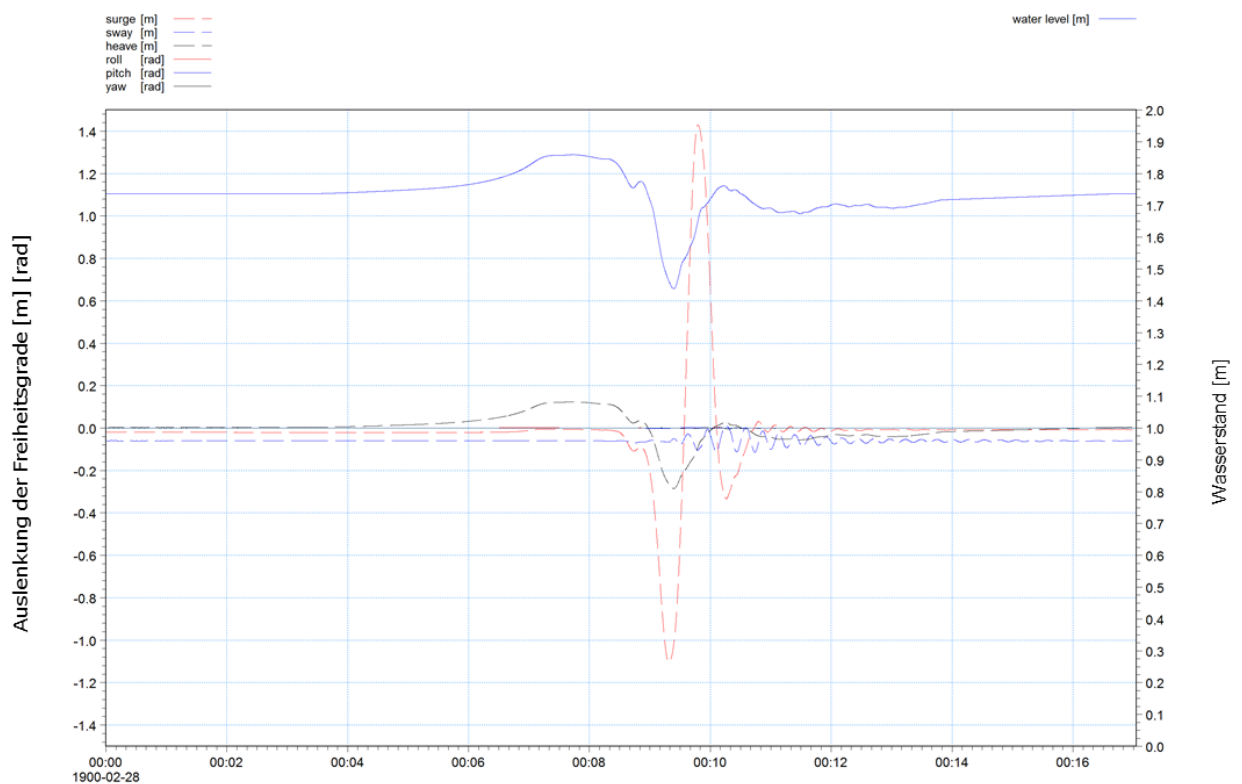


Abb. 50: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 1 vertäut unter Annahme vorgespannter Trossen

Tabelle 39: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft ($0.45 \cdot BL$) = 230 kN) – Jack-Up Schiff 1

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine (Backbord, 1 Trosse)	156
2	Achterleine (Steuerbord, 1 Trosse)	210
3	Achterspring (Steuerbord, 1 Trosse)	232
4	Vorspring (Steuerbord 1 Trosse)	263
5	Vorleine (Steuerbord, 1 Trosse)	166
6	Vorleine (Backbord, 1 Trosse)	145

Tabelle 40: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) Jack-Up-Schiff 1

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	202
2	Fender	143
3	Fender	102
4	Fender	133
5	Fender vorn	174

8.4.11 Jack-Up Schiff 1 – Szenario 2 (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)

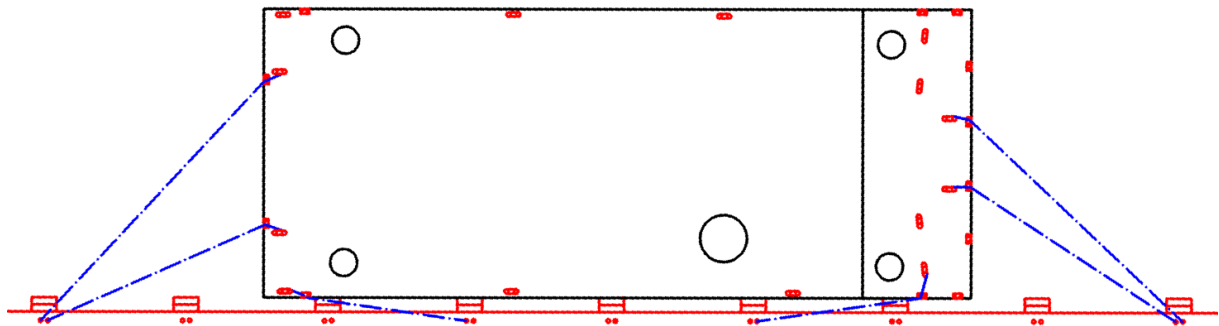


Abb. 51: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 1 vertäut (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)

Tabelle 41: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 1 vertäut (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)

Schiffsname	Trosstyp	Durchmesser der Trossen [mm]	BL [kN]	Anzahl Trossen
Jack-Up Schiff 1	Geo Twin Polyamid*	46	511,5	8

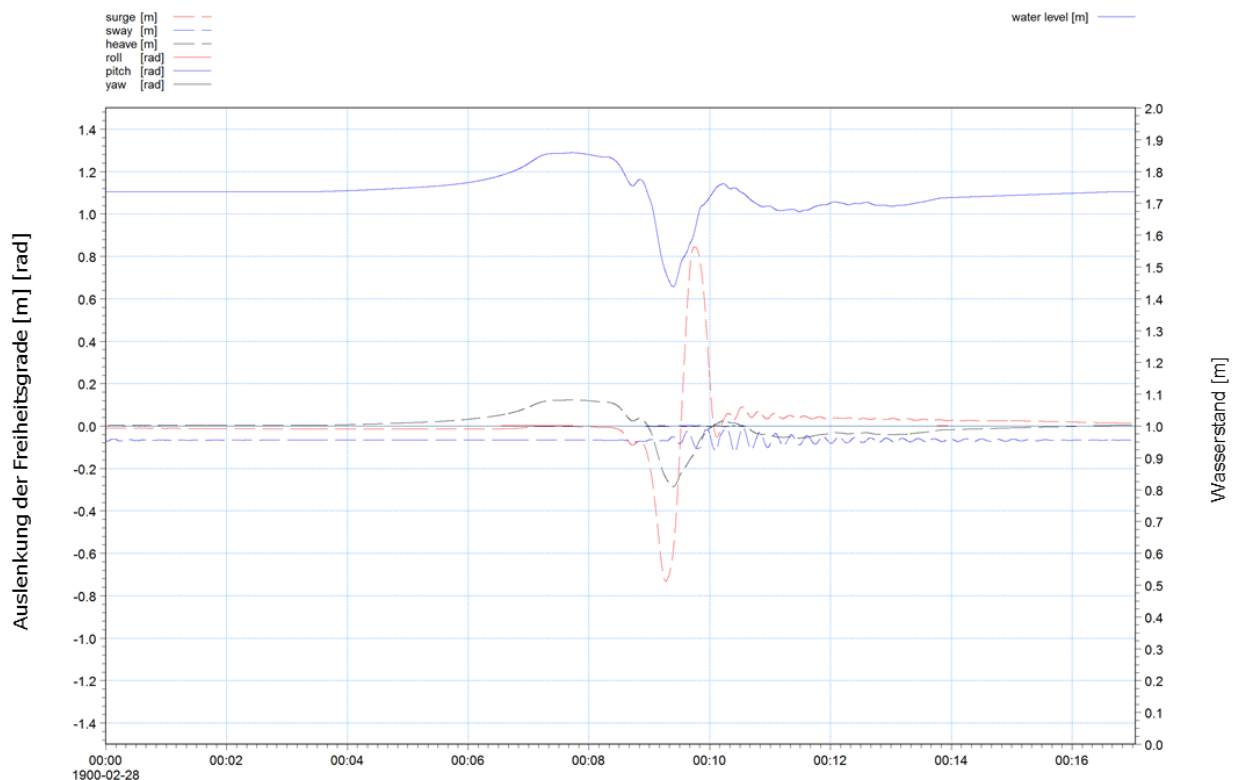


Abb. 52: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 1 vertäut (vorgespannte Trossen, verdoppelte Spring)

Tabelle 42: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.45*BL) = 230 kN) – Jack-Up Schiff 1

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine (Backbord, 1 Trosse)	132
2	Achterleine (Steuerbord, 1 Trosse)	158
3	Achterspring (Steuerbord, 1te Trosse)	175
4	Achterspring (Steuerbord, 2te Trosse)	175
5	Vorspring (Steuerbord 1te Trosse)	180
6	Vorspring (Steuerbord 2te Trosse)	180
7	Vorleine (Steuerbord, 1 Trosse)	142
8	Vorleine (Backbord, 1 Trosse)	131

Tabelle 43: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Jack-Up Schiff 1

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	208
2	Fender	154
3	Fender	110
4	Fender	125
5	Fender vorn	160

8.4.12 Zusammenfassung: Vertäuung des Jack-Up Schiffes 1

Für das Jack-Up Schiff wurden drei unterschiedliche Vertäukonzepte und zusätzlich gesondert das frei schwimmende Jack-Up Schiff betrachtet. Als ein frei schwimmendes Objekt erfährt das Schiff keinen Stabilisierungseffekt infolge eines Vertäusystems und bewegt sich in positiver Richtung, bedeutet in Richtung des passierenden Schiffs. Die resultierenden Bewegungen infolge der Passage werden somit nicht gedämpft.

Für das vertäute Jack-Up Schiff 1 (Kap. 8.4.9) liegt die maximale Trossenkraft bei 230 kN pro Leine. In den Leinen Nr. 2 bis 4 werden die maximal zulässigen Bruchlasten überschritten (siehe Tabelle 36). Einen Einsatz ohne vorgespannte Leinen erscheint nach derzeitigen Erkenntnissen nicht möglich.

Für den zweiten Fall des vertäuten Jack-Up Schiff 1 (Kap. 8.4.10) wurde die Vertäuung mit einer Vorspannung um 10 t belastet, dadurch reduzierten sich die Sekundärbewegung und auch die Primärauslenkung. Im vorliegenden Vertäuszenario wurden die Leinen Nr. 3 und 4 überlastet, dabei ist die resultierende Belastung in den Leinen um mehr als 50% geringer als in der zuvor untersuchten Vertäuung ohne Vorspannung.

In einem dritten Fall (Kap. 8.4.11) wurde eine Vorspannung berücksichtigt und eine Verdoppelung der Springleinen bei der Vertäuung verwendet. Die resultierenden Belastungen infolge Schwall und Sunk für die Leinen sind so deutlich unterhalb der Bruchlastgrenze und haben damit eine zusätzliche Kräftereserve.

8.4.13 Jack-Up Schiff 2 (schwimmend)

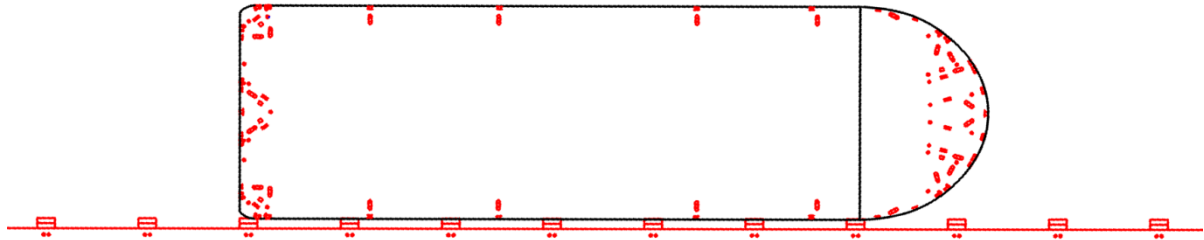


Abb. 53: Initiale Position des Jack-Up Schiff 2 vor der Kaje (ohne Vertäuerung)

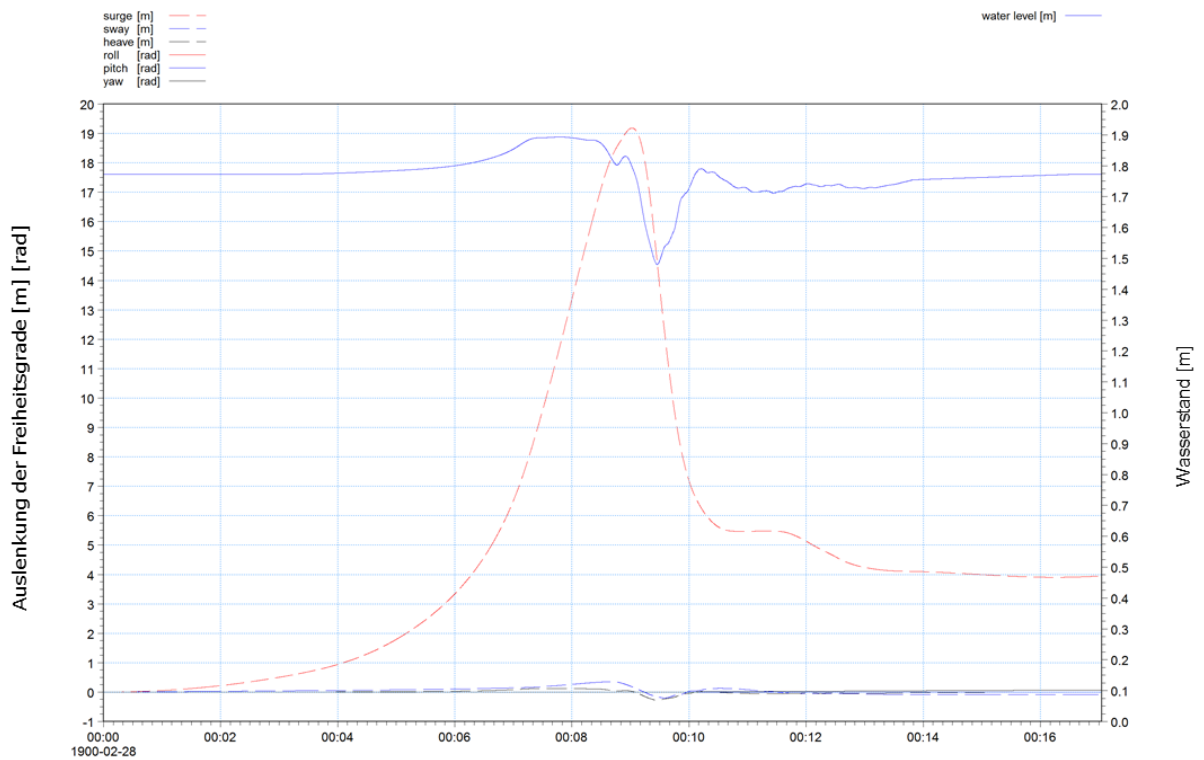


Abb. 54: Schematische Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 2 (schwimmend/ ohne Vertäuerung)

8.4.14 Jack-Up Schiff 2

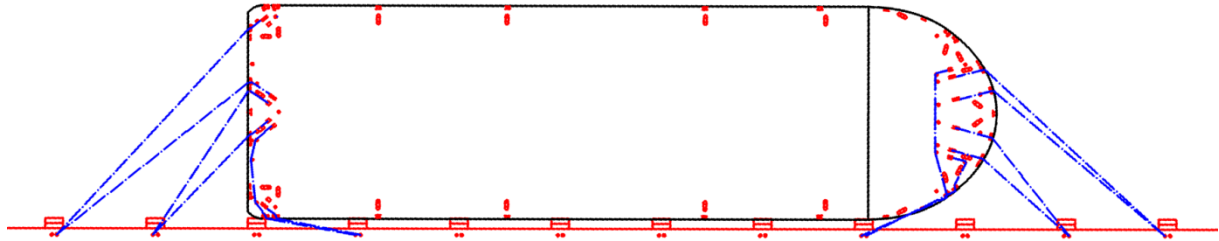


Abb. 55: Initiales Vertäulayout: Jack-Up Schiff 2 vertäut

Tabelle 44: Eingangsdaten Jack-Up Schiff 2 vertäut

Schiffsname	Trossentyp	Durchmesser der Trossen [mm]	BL [kN]	Anzahl Trossen
Jack-Up Schiff 2	Tipto Winchline	64	850	12

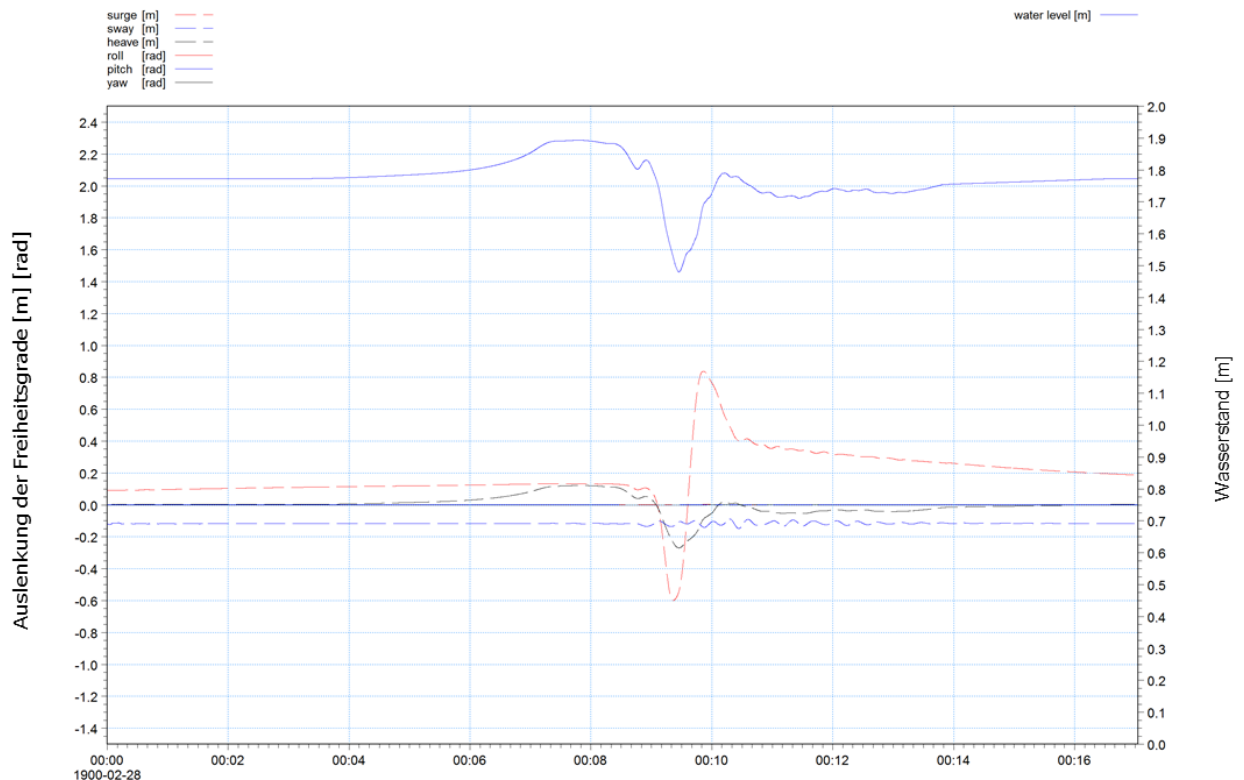


Abb. 56: Darstellung der 6 Schiffsbewegungen gegenüber der Auslenkung der Wasserspiegellage im Schiffsschwerpunkt des Jack-Up Schiff 2 vertäut

Tabelle 45: Max. Trossenkraft pro Trosse (max. zulässige Trossenzugkraft (0.50*BL) = 425 kN) Jack-Up Schiff 2

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Achterleine 1 (Backbord, 1 Trosse)	135
2	Achterleine 2 (Backbord, 1 Trosse)	146
3	Achterleine 3 (Backbord, 1 Trosse)	144
4	Achterleine 4 (Steuerbord, 1 Trosse)	170
5	Achterspring 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	197
6	Achterspring 2 (Steuerbord, 1 Trosse)	277
7	Vorspring 2 (Steuerbord 1 Trosse)	172
8	Vorspring 1 (Steuerbord 1 Trosse)	223
9	Vorleine 1 (Steuerbord, 1 Trosse)	180
10	Vorleine 2 (Steuerbord, 1 Trosse)	159
11	Vorleine 3 (Backbord, 1 Trosse)	143
12	Vorleine 4 (Backbord, 1 Trosse)	140

Tabelle 46: Max. Fenderkraft (max. zulässige Fenderkraft = 845 kN) – Jack-Up Schiff 2

Nr.	Position	Belastung [kN]
1	Fender achtern	167
2	Fender	147
3	Fender	141
4	Fender	136
5	Fender	136
6	Fender	156
7	Fender vorn	177

8.4.15 Zusammenfassung: Vertäuerung des Jack-Up Schiffes 2

Für das Jack-Up Schiff 2 wurde sowohl in einer vertäuten Variante berechnet als auch in einer schwimmenden Variante untersucht (Kap. 8.4.12 und Kap. 8.4.14). Das unvertäute Schiff erhält einen starken Bewegungsimpuls ohne eine mögliche Dämpfung durch das Vertäuerungssystem infolge der simulierten Passage. Die Bewegung beschränkt sich auf einen Surge-Freiheitsgrad (siehe Abb. 53).

Die Vertäuerung wurde so dimensioniert, dass ein Überschreiten der Bruchlasten unter Schwall und Sunk mit dem hier betrachteten Lastfall nicht eintritt. Es sind weitere Reserven innerhalb der Vertäuerung vorhanden.

8.5 Analyse der Lastanteile

Grundsätzlich ist festzustellen, dass bereits mit einer Veränderung des Durchmessers oder einer Veränderung des verwendeten Materials für die Leinen eine Erhöhung der maximal zulässigen Bruchlast erzielt werden kann. Hierbei wird nicht die Einwirkungsseite reduziert, sondern die reaktive Seite der Vertäuung erhöht.

Die kritischen Lasten in den Trossen werden in der Tabelle 47 und Tabelle 48 dargestellt und die entsprechenden Auslastungen der Leinen. Wie die Ergebnisse zeigen, sind zum Teil Vertäuungen einzelner Schiffe bereits für den alleinigen Lastfall "Schwall und Sunk" überlastet. Dies betrifft folgende Kombinationen:

Tabelle 47: Zusammenstellung der WAMSIM Ergebnisse aus der dynamischen Belastung infolge Schwall und Sunk ohne Wind und Strömung.

Schiffsname	max. zul. Trossenkraft [kN]	max. auftretende Trossenkräfte [kN]
Schergutschiff P2	240,00	291,00
Schergutschiff P2 mit st*	240,00	203,00
Arbeitsponton (unbeladen)	495,00	144,00
Arbeitsponton (beladen)	495,00	280,00
Jack-Up Schiff 1	230,00	180,00
Jack-Up Schiff 2	425,00	277,00

*st = Shore Tension®

Tabelle 48: Überlastungen und Reserven der Trossenkraft ohne Wind und Strömung

Schiffsname	max. Trossenkraft [kN] ohne Abminderung	max. zul. Trossenkraft [kN]	Auslastung der zul. Trossenkraft
Schergutschiff P2	480	240,00	121,25 %
Schergutschiff P2 mit st	480	240,00	84,58 %
Arbeitsponton (unbeladen)	990	495,00	29,10 %
Arbeitsponton (beladen)	990	495,00	56,57 %
Jack-Up Schiff 1 Szenario 2	511,5	230,00	78,26 %
Jack-Up Schiff 2	850,0	425,00	65,18 %

Wenn die in Kap. 5 empfohlenen Lastfallkombinationen angewandt werden. Ist im Folgenden zu beachten, dass Lasten aus Wind und Strömung je nach Wirkrichtung zusätzlich auf die Trossen umgelegt werden müssen. Eine Übersicht der maximalen Lastanteile aus Wind und Strömung erfolgt in Tabelle 49. Die Anteile aus Wind und Strömung entsprechen der im Schwerpunkt bzw. ausmittig (bei Wind mit der Ausmitte e) angreifenden Gesamtlasten, die noch auf die Anzahl der wirksamen Trossen (siehe hierzu die einzelnen Schiffskapitel) umgelegt werden müssen. Derzeit ist nicht davon auszugehen, dass ein gemeinsames Auftreten der hohen Windlasten bei gleichzeitiger Schiffspassage eintritt. Zudem sind die auf mehrere Trossen umzulagerenden und konservativ angesetzten Gesamtlasten im Vergleich mit den einzelnen Trossenkräften als gering anzusehen, so dass davon ausgegangen wird dass diese mit der Reserve abgedeckt werden.

Tabelle 49: Zusammenstellung der Ergebnisse mit stat. Lastangriff im Schwerpunkt

Schiffsname	Wind			Strömung
	$W_l = F_x$ (aus 225°N) [kN]	$W_t = F_y$ (aus 135°N) [kN]	Mz (aus 135°N) [kNm]	F_x (aus 225°N) [kN]
Schergutschiff P2	69,00	473,00	-1063,01	51,00
Arbeitsponton (unbeladen)	40,00	272,00	-326,16	8,00
Arbeitsponton (beladen)	15,00	98,00	-117,51	15,00
Jack-Up Schiff 1	34,00	230,00	-306,44	15,00
Jack-Up Schiff 2	56,00	381,00	-748,74	33,00

Es sollte Berücksichtigt werden, dass an dieser Stelle nur von einem begutachteten Optimalfall der Vertäuerung ausgegangen werden kann. Etwaige Unsicherheiten oder die Abweichungen von der „best practice“ liegen im Verantwortungsbereich der Kapitäne und Betreiber.

8.6 Auswertung der Schiffsbewegung

Im Folgenden werden die Auswertung zur maximalen Schiffsbewegung infolge Schwall und Sunk (siehe Tabelle 51) im Vergleich zu der maximal zulässigen Schiffsbewegung beim Be- und Entladen erläutert.

Die Berechnung der Schiffsbewegung infolge Schwall und Sunk in WAMIT und WAMSIM für die angenommenen Vertäukonzepte erfolgte auf Basis der bereits untersuchten worst-case Schiffspassage.

Als Referenzwerte für die zulässigen Schiffsbewegungen wurden die Empfehlungen der PIANC (Working Group no. 24) herangezogen. Die im „Practical Guide“ veröffentlichten Kriterien für sichere Arbeitsbedingungen unterschiedlicher Schiffstypen und Ladevorgänge basieren sowohl auf Erfahrungswerten als auch auf vormals durchgeführten Untersuchungen. Diese Werte sind als Anhaltswerte zu verstehen, für den Einzelfall sind die Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren gesondert zu begutachten.

Ausgehend von den Bedingungen, definiert durch die PIANC-Kriterien (PIANC, 1995) wurden in Tabelle 50 die Referenzwerte zur maximal zulässigen Schiffsbewegung zusammengestellt. In der Tabelle 51 wurden die auftretenden Auslenkungen infolge Schwall und Sunk der unterschiedlichen Schiffstypen zusammengestellt. Die rot markierten Felder zeigen eine Überschreitung der maximal zulässigen Schiffsbewegung durch die PIANC.

Tabelle 50: Empfohlene max. zulässige Schiffsbewegung (peak-to-peak Werte, sway: zero-peak Werte) nach PIANC (PIANC, 1995)

Schiffstyp	Cargo Handling	Surge [m]	Sway [m]	Heave [m]	Roll [°]	Pitch [°]	Yaw [°]
General cargo	100% eff.	2,0	1,5	1,0	5,0	2,0	3,0
	50% eff.	-	-	-	-	-	-
Container vessels	100% eff.	1,0	0,6	0,8	3,0	1,0	1
	50% eff.	2,0	1,2	1,2	6,0	2,0	1,5
Bulk carriers	Cranes	2,0	1,0	1,0	6,0	2,0	2,0
	Elevator	1,0	0,5	1,0	2,0	2,0	2,0

Für den Arbeitsponton wurde insbesondere die Bewegung (u.a. Heave) im Moment der Entlastung ausgewertet. Im Rahmen dieser Auswertung (Tabelle 51) zeigte sich, dass die Lageveränderung durch die Balastiersysteme des Arbeitspontons deutlich verringert wird und es somit nicht zu den starken relativen Bewegungen im Moment der Entlastung bzw. Belastung durch Ladung kommen kann.

Aus den Schiffsbewegungen (Tabelle 51) zeigen sich bei den surge- und yaw-Freiheitsgraden Überschreitungen der durch die PIANC empfohlenen maximal zulässigen Bewegungen. Die entscheidende Überschreitung (136% bei max. 2,0 m) der Surge-Bewegung erfolgt bei dem Schwergutschiff P2-800 mit Shore Tension®. Es zeigt sich, dass für den angenommenen Extremfall die optimierten Vertäuungssysteme nicht ausreichend sind, um im Sinne der PIANC-Kriterien einen unbehinderten Verladevorgang sicherzustellen.

Die Überschreitungen bei den Jack-Up Schiffen 1 & 2 sind als theoretische Überschreitung zu sehen, da eine Verladevorgang nicht unvertät und frei schwimmend durchgeführt wird.

Die Fragestellung der Nautikrunde vom 19.10.2012 bezüglich der Heave-Bewegung ist in Relation zu den Empfehlungen der PIANC in keinem begutachteten Fall als kritisch, sofern es ein Balastiersystem gibt oder die Beladung entsprechend langsam durchgeführt wird, einzustufen. Die Vorgaben seitens der PIANC werden eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten. Dennoch sollte Berücksichtigt werden, dass an dieser Stelle nur von einem begutachteten Optimalfall der Vertäuung ausgegangen werden kann. Etwaige

Unsicherheiten oder die Abweichungen von der „best practice“ liegen im Verantwortungsbereich der Kapitäne und Betreiber.

Tabelle 51: Maximalbewegung (Absolutwerte) der untersuchten Schiffe infolge Schwall und Sunk

Schiffstyp	Surge [m]	Sway [m]	Heave [m]	Roll [°]	Pitch [°]	Yaw [°]
Schwergutschiff P2-800 – ohne st	4,49	0,06	0,40	1,62	0,19	0,16
Schwergutschiff P2-800 – mit st	2,72	0,05	0,40	0,60	0,19	0,14
Arbeitsponton – unbeladen	0,19	0,03	0,39	0,11	0,18	0,08
Arbeitsponton – beladen	0,94	0,17	0,41	0,34	0,20	0,51
Jack-Up Schiff 1 - frei	18,65	0,55	0,42	0,04	0,16	3,82
Jack-Up Schiff 1 Szenario 1	2,40	0,12	0,40	0,21	0,21	0,40
Jack-Up Schiff 1 Szenario 2	1,58	0,12	0,40	0,13	0,19	0,32
Jack-Up Schiff 2 –frei	19,18	0,55	0,40	0,18	0,17	4,17
Jack-Up Schiff 2 – vertäut	1,44	0,06	0,39	0,22	0,20	0,14

9. Zusammenfassung der Untersuchung

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei zentrale Fragen beantwortet: welche Einflussgrößen haben einen signifikanten Einfluss auf die am Terminal vertäuten Schiffe und welche Kräfte innerhalb der Vertäuung müssen abgetragen werden. Um diese Fragen zu beantworten wurden mithilfe numerischer Modelle die Hydrodynamik der Weserkrümmung zusammen mit vertäuten und vorbeifahrenden Schiffen nachgebildet und untersucht. Die Ergebnisse zur Belastung der Vertäuung wurden zusammengetragen und mit den zulässigen Lasten verglichen und ggf. die Vertäuung entsprechend optimiert.

Begonnen wurde diese Untersuchung mit dem Aufbau eines hydraulischen Modells zur Weserkrümmung am Blexer Bogen, um den Schwall und Sunk der einzelnen Schiffe zu modellieren. Damit belastbare Ergebnisse entstehen, wurde eine umfangreiche Abschätzung und anschließende Auswahl der hydraulischen und schifftypischen Randbedingungen durchgeführt. Dazu wurden unterschiedliche Schiffstypen untersucht, unterschiedliche Fahrlagen innerhalb der Weser wie auch verschiedene Geschwindigkeiten verglichen. Weiter wurde untersucht, ob eine Einzelfahrt oder eine Begegnungsfahrt maßgebender ist. Die hydrodynamischen Untersuchungen wurden validiert durch Naturmessungen (BAW, 2006b).

Nach der Erstellung der numerischen Modelle zur Hydrodynamik, zu Schwall- und Sunk dessen Wirkung auf die Vertäuung (WAMSIM) wurden die unterschiedlichen Schiffsläufe mit unterschiedlichen Schiffstypen und Geschwindigkeiten verglichen um die Eingangsdaten für die WAMSIM-Simulation zu gewinnen. Das Ergebnis der WAMSIM-Simulation ist die Schiffsbewegungen und die daraus resultierenden Kräfte auf die Leinensysteme und Fender. Die Leinensysteme wurden spezifisch je nach Position, Material und Leinenart modelliert.

Anschließend erfolgte eine Auswertung und Interpretation der Lasteinwirkungen. Hierzu zählen neben dem Schwall und Sunk auch die Einwirkungen aus Wind und Strömung. Im Rahmen der Untersuchung wurde festgestellt, dass eine summarische Überlagerung ohne zusätzliche Abminderung der unterschiedlichen Lasteinwirkungen nicht zielführend ist, da die unterschiedlichen Lasteinwirkungen jeweils mit ihrer maximal möglichen Belastungen/ Einwirkungen ermittelt wurden.

Die dynamischen Lasteinwirkungen ermitteln sich aus dem schiffinduzierten Absunk. Die Modellierung der schiffsinduzierten Welle wurde mittels eines passierenden Schiffskörpers mit den Dimensionen 290m x 46m x 12,90m durchgeführt. Die Passage erfolgte mit einer Geschwindigkeit von 13 kn.

Eine weitere statische Lasteinwirkung ist die Windeinwirkung. Hier wurden nach Rücksprache mit dem AG statische Grundlagen der EAU (EAU, 2004) für die Bewertung der Belastung auf die Leinen herangezogen. Eine exakte Bestimmung der Windlasten ist auf dieser Basis nicht möglich. Im Zusammenhang mit der EAU (EAU, 2004) stellt der Lastfall Wind ein Sturmereignis dar und liefert dadurch eine Aussage zur maximal möglichen Belastung (Tabelle 49).

Als Ergebnis aus den WAMSIM-Simulationen, können zu den unterschiedlichen Schiffskonfigurationen die folgenden Aussagen getroffen werden: Das Schwergutschiff P2-800 ohne landseitige Unterstützung und das Jack-Up Schiff 1 ohne die angenommene Nachrüstung von Winschen zeigen aufgrund der aus dem Mooring Arrangement Plänen vorhandenen Informationen eine systemische Überlastung der Vertäuung. Der Lastfall Jack-Up Schiff und Bunkerbarge wird seitens des AG ausgeschlossen. Eine Bebunkerung während der Vorbeifahrt großer maßgebender Schiffe ist nicht vorgesehen. Alle weiteren Schiffstypen zeigen keine Überlastung der Vertäuung und können die Lastfälle Schwall-Sunk aufnehmen.

Die Betrachtung der Ergebnisse aus Tabelle 49 für die Lastfälle Wind und Strömung zeigen, dass der Wind einen relevanten Einfluss, die Strömung jedoch nur einen geringen Einfluss auf das Leinensystem des jeweiligen Schiffs hat. Eine Lastfall-Überlagerung wurde hier –

wie oben bereits dargelegt- jedoch nicht vorgenommen, da eine Lastfallüberlagerung ohne Abminderung nicht empfohlen wird. Nur die Lastfallkombination Strömung und Wind wäre möglich. Hier sind jedoch in beiden Lastfällen keine maßgebenden Kräfte aufgetreten.

Aus Schwall und Sunk ergaben sich folgende **unkritische** Vertäusysteme:

- Schwergutschiff P2-800 mit Shore Tension®
- Arbeitsponton (beladen und unbeladen)
- Jack-Up Schiff 1
- Jack-Up Schiff 2

Aus Schwall und Sunk ergaben sich folgende **kritische** Vertäusysteme, die im Laufe der Untersuchungen optimiert wurden und final keine weiteren Überschreitungen aufweisen:

- Schwergutschiff P2-800 **ohne** Shore Tension®

Für den Fall des Schwergutschiffes P2-800 ohne den Einsatz weiterer Leinen und dem Einsatz des landseitigen Vertäuungssystem wurden die zulässigen Grenzwerte für die Vertäuung überschritten (Tabelle 48) und sind daher nicht als sicher zu erachten. Da in diesem Fall die von der OCIMF (OCIMF, 2008) empfohlenen Grenzen der Bruchlast überschritten werden, wird das gleiche Lastfallszenario unter optimierter Vertäuung am Schwergutschiffes P2-800 mit Shore Tension® betrachtet. Mit der optimierten Vertäuungsvariante ist keine Überschreitung der zulässigen Belastungen zu erkennen. Die Empfehlung lautet daher für das Schwergutschiff den unbedingten Einsatz von 12 vorgespannten Leinen, um eine zusätzliche Dämpfung der Bewegung und der daraus resultierenden Lasten zu erreichen. Dies könnte durch den Einsatz eines landseitigen vorgespannten Leinensystems (Shore Tension®) realisiert werden. Entscheidend bei dieser Betrachtung ist, dass sich innerhalb der Leinensysteme eine Reserve von 45-50% befindet. Ein Versagen bzw. Brechen der Leinen bei **fachmännisch** und **gleichmäßig** durchgeführter Vertäuung ist daher als unwahrscheinlich zu erachten.

Die Belastung der Fendersysteme stellte sich als unkritisch dar, da alle verwendeten Fendersysteme in Bezug zu den jeweilig untersuchten Schiffstypen den Belastungen infolge Schwall und Sunk standhalten. Kein Schwall und Sunk-Szenario oder Windlastszenario führt hier zu einer Überlastung der Fendersysteme. Weiterhin sind innerhalb der Fendersysteme noch Reserven vorhanden.

Die relevante Fragestellung der Nautikrunde vom 19.10.2012 bezüglich der Schiffsbewegungen (insbesondere dem Heave) während der Verladung von Schwergütern, ist in Relation zu den Empfehlungen der PIANC in nicht als kritisch einzustufen. In wieweit die PIANC Guidelines als Maßgebend für die Schwerlastverladung anzusehen sind, ist aus den Guidelines nicht ersichtlich. Hier muss eine Risikoabschätzung durch den späteren Betreiber erfolgen.

Sofern es ein Balastiersystem gibt oder die Beladung entsprechend langsam durchgeführt wird, können Variationen in der Höhenlage ausgeglichen werden. Die Vorgaben seitens der PIANC werden eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten. Als einzige Ausnahme ist die Surge - Bewegung des Schwergutschiffes zu sehen, welche die Kriterien der PIANC kurzfristig und geringfügig überschreitet, dies sollte im operationellen Betrieb berücksichtigt werden.

An dieser Stelle wird noch einmal darauf aufmerksam gemacht, dass in diesem Gutachten nur von einem Optimalfall der Vertäuung ausgegangen werden konnte. Etwaige Unsicherheiten oder die Abweichungen von der „best practice“ liegen im Verantwortungsbereich der Kapitäne und Betreiber.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass sich in den Lastannahmen aber auch den Materialbruchlasten seitens der OCIMF 2008 und der EAU 2004, erhebliche Reserven befinden. Weiterhin wurden im Rahmen der Untersuchung extrem konservative Ansätze u.a.

für die Fahrlage, den Wind und der Strömung verfolgt. Die Annahmen sind teils theoretischer Natur und stellen nicht den Normalfall dar. Das Resultat ist somit auf einer sehr sicheren Seite zu sehen und beinhaltet eine Reihe überschätzter Einflussfaktoren wie es in dem jeweiligen Kapitel erklärt wird.

Fazit

Abschließend ist festzuhalten, dass die eingangs erwähnte Fragestellung „Ist ein sicheres Liegen vor dem OTB bei einer ungehinderten Passage der durchgehenden Schifffahrt möglich?“ wie folgt beantwortet werden konnte:

Nach den Berechnungsergebnissen halten alle in der Untersuchung angesetzten Fendersysteme der zu erwartenden Belastung infolge Schwall und Sunk stand. Hinsichtlich der Vertäuerung wird berechnet, dass für den Lastfall "Schwall und Sunk" bei einigen Schiffen Überlastungen bei einer Vertäuerung mit Bordmitteln bestehen, die unter Berücksichtigung weiterer Lastkomponenten noch kritischer werden könnten.

Insofern sind für die kritischen Schiffstypen geeignete Maßnahmen erforderlich, die Leinen von Land aus mit einer definierten Vorspannung zu versehen. Eine solche Maßnahme stellt der Einsatz sog. ShoreTension® dar, bei der die Leinen, die vom Schiff aus nicht gespannt werden, von der Landseite auf Spannung gehalten werden. Bei Umsetzung entsprechender Maßnahmen konnte eine Einhaltung der jeweils maximal zulässigen Trossenzugkräfte nachgewiesen werden, zudem ermöglicht der Einsatz des Systems die maximalen Schiffsbewegung von Land aus zu kontrollieren.

An dieser Stelle sei zu vermerken, dass in der Begutachtung nur von einer Seemännisch fachgerechten Ausführung der Vertäuerung ausgegangen werden konnte. Etwaige Unsicherheiten oder die Abweichungen von der „best practice“ können hier nicht berücksichtigt werden und liegen im Verantwortungsbereich der Kapitäne und Betreiber.

10. Literatur

- (BAW, 2006)** Fahrrinnenanpassung der Unterweser, Gutachten zur ausbaubedingten Änderung schiffserzeugter Belastungen, Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg, 2006
- (BAW, 2006a)** Anpassung der Unter- und Außenweser – Transportprozesse und Morphodynamik, Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg, 2006
- (BAW, 2006b)** Naturmessungen zur schiffserzeugten Belastung der Unterweser, Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg, 2006
- (DHI-WASY, 2012)** Zwischenbericht „Offshore Terminal Bremerhaven (OTB) -Vertäukonzept unter Berücksichtigung von Schwall und Sunk“, Syke, 2012
- (DIN1055, 2005)** DIN 1055-4: 2005-03 Einwirkungen auf Tragwerke --Teil 4: Windlasten
- (EAU, 2004)** Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen (EAU), 10. Auflage, 2004
- (Mai, 2004)** Seegangsatlas der deutschen Nordseeküste, Dr, Ing, Dipl, Phys, S, Mai, Hannover, 2004
- (Morgenstern, 2011)** Dipl,Naut, Captain Hermann von Morgenstern, Simulations-Studie Offshore Terminal Bremerhaven, Abschlussbericht, Bremen, 2011
- (OCIMF, 2008)** Mooring Equipment Guidelines" 3rd MEG3 Edition
- (PIANC, 1995)** PIANC, Criteria for Movements of Moored Ships in Harbors, A practical Guide, 1995
- (PIANC, 2002)** PIANC, Guideline for the Design of Fenders Systems, 2002
- (WAMIT, 2011)** WAMIT User Manual 7,0, WAMIT Inc, 2011
- (Wuebben, 1995)** Winter Navigation on the Great Lakes. A Review of Environmental Studies, James L. Wuebben, CRRL Report, May 1995
- (Zanke, 2002)** Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer, Ulrich C. E. Zanke, Parey, 2002
- (Lastfälle, 2012)** Definition der maßgeblichen Lastfälle" vom 13,07,2012, Dr, Ing, Stoschek, 2012

Anlage A

Richtlinien der Seelotsenbrüderschaft Weser II / Jade
(Abgeleitet aus den Tidefahrplänen der Verkehrsleitzentrale)
Schiffswellenmessung durch IMS aus dem Jahr 2006 in der Weser

RICHTLINIEN FÜR SCHIFFE VON NORDENHAM

Ablegen

Tiefgang		Abfahrtszeit Nordenham bezogen auf HW Bremerhaven		
von	bis	von	bis	Tidefenster
12,7 m	13,0 m	- 01:00	00:00	01:00
12,5 m	12,7 m	- 01:30	+ 00:30	02:00
12,3 m	12,5 m	- 02:00	+ 01:00	03:00
11,9 m	12,3 m	- 02:30	+ 01:30	04:00
11,5 m	11,9 m	- 03:00	+ 02:00	05:00
11,0 m	11,5 m	- 03:30	+ 02:30	06:00
10,5 m	11,0 m	- 04:00	+ 03:00	07:00
10,0 m	10,5 m	- 04:30	+ 03:30	08:00
9,5 m	10,0 m	- 05:00	+ 04:00	09:00

Bei notwendigem **Drehmanöver** ist die letzte Abfahrtszeit um 30 Minuten vorzulegen.

Tideunabhängig bis 9,5 m

Abb. 57: Vorgaben der Seelotsenbrüderschaft Weser II / Jade

RICHTLINIEN FÜR SCHIFFE NACH NORDENHAM

Anlegen über Ebbe

Tiefgang		Passierzeit Geeste bezogen auf HW Bremerhaven		
von	bis	von	bis	Tidefenster
12,5 m	13,0 m	+ 00:30	einzigte Zeit	00:00
12,3 m	12,5 m	+ 00:30	+ 01:00	00:30
11,9 m	12,3 m	+ 00:30	+ 01:30	01:00
11,5 m	11,9 m	+ 00:30	+ 02:00	01:30
11,0 m	11,5 m	+ 00:30	+ 02:30	02:00
10,5 m	11,0 m	+ 00:30	+ 03:00	02:30
10,0 m	10,5 m	+ 00:30	+ 03:30	03:00
9,5 m	10,0 m	+ 00:30	+ 04:00	03:30
bis	9,5 m	+ 00:30	+ 05:00	04:30

Tideunabhängig bis 9,5 m

RICHTLINIEN FÜR SCHIFFE NACH NORDENHAM

Anlegen über Flut

Tiefgang		Passierzeit Geeste bezogen auf HW Bremerhaven		
von	bis	von	bis	Tidefenster
13,0 m	* 13,4 m	- 01:00	einzigte Zeit	00:00
12,7 m	13,0 m	- 01:30	- 00:30	01:00
12,5 m	12,7 m	- 02:00	- 00:30	01:30
12,3 m	12,5 m	- 02:30	- 00:30	02:00
11,9 m	12,3 m	- 03:00	- 00:30	02:30
11,5 m	11,9 m	- 03:30	- 00:30	03:00
11,0 m	11,5 m	- 04:00	- 00:30	03:30
10,5 m	11,0 m	- 04:30	- 00:30	04:00
10,0 m	10,5 m	- 05:00	- 00:30	04:30
9,5 m	10,0 m	- 05:30	- 00:30	05:00
bis	9,5 m	- 05:30	- 00:30	05:00

Tideunabhängig bis 9,5 m

Abb, 58: Vorgaben der Seelotsenbrüderschaft Weser II / Jade Gemessene

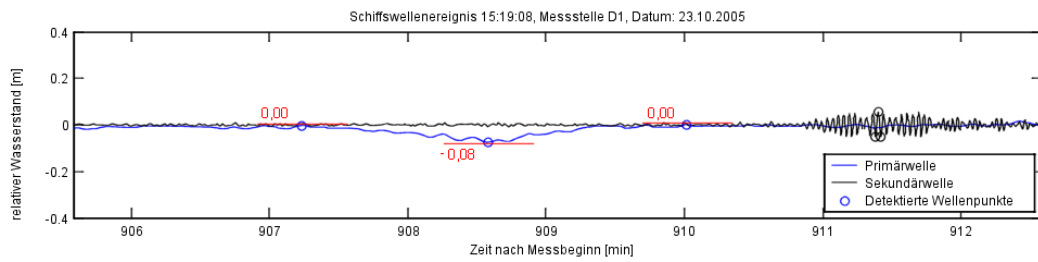


Abb. 59: Schiffswellenereignisse am Messquerschnitt D (Kleinensiel - Dedesdorf) aus (BAW, 2006)

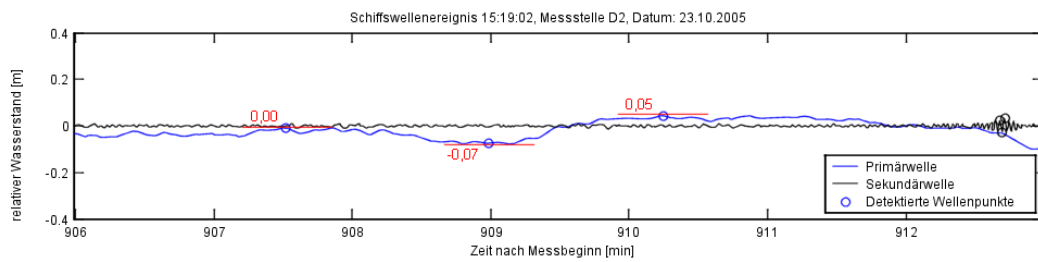


Abb. 60: Schiffswellenmessung: Weser Stahl (Bulkler) 23,10,2005; (BAW, 2006)

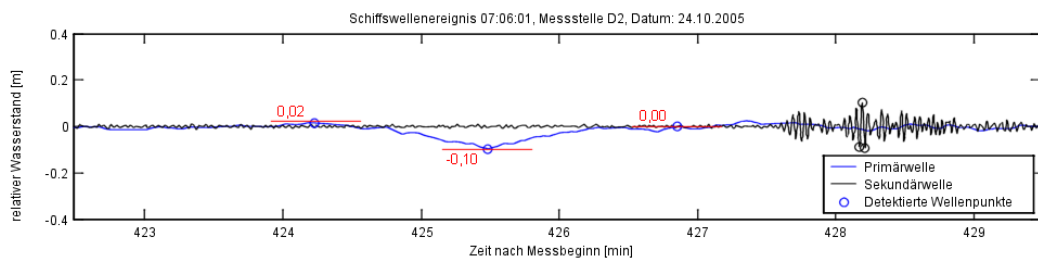
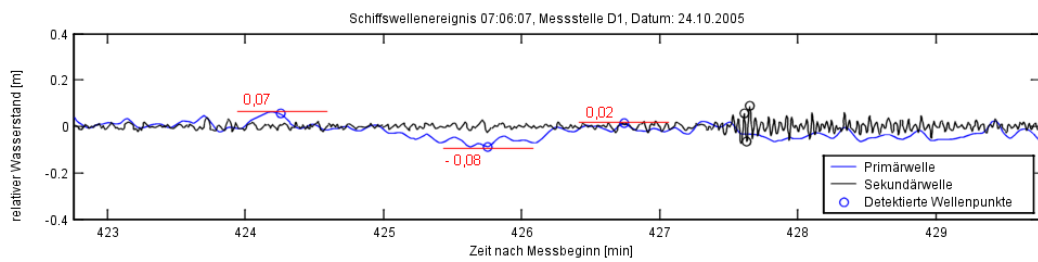


Abb. 61: Schiffswellenmessungen: Weser Stahl (Bulkler) 24,10,2005; (BAW, 2006)

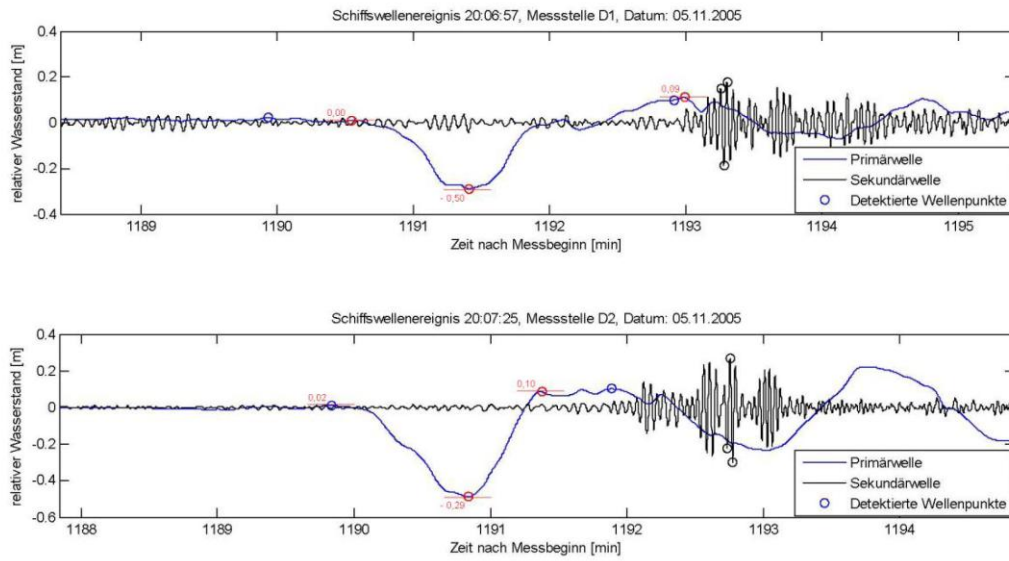


Abb. 62: Schiffswellenmessung: Star Ikebana (General Cargo) 05,11,2005; (BAW, 2006)

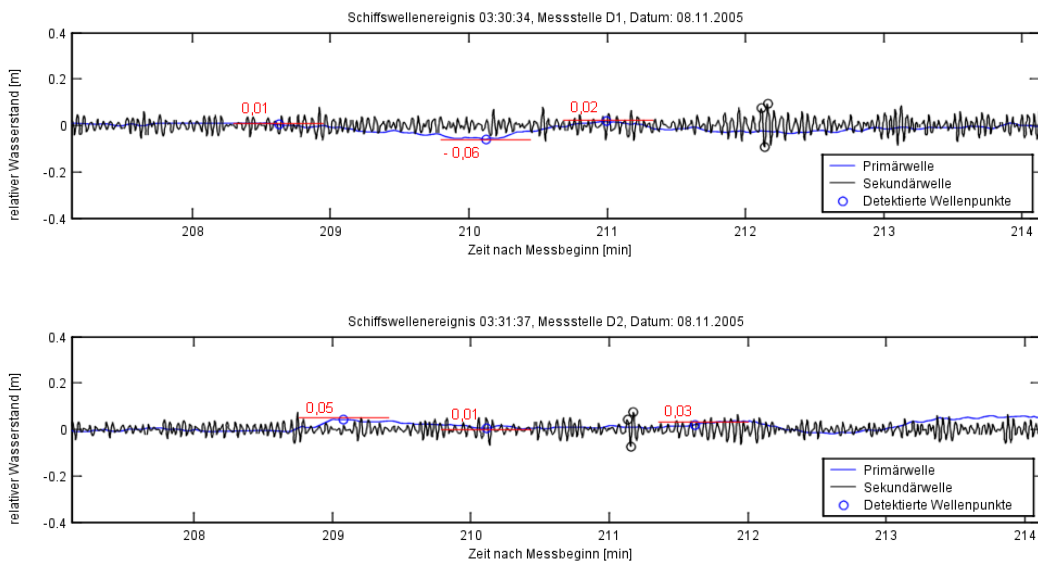
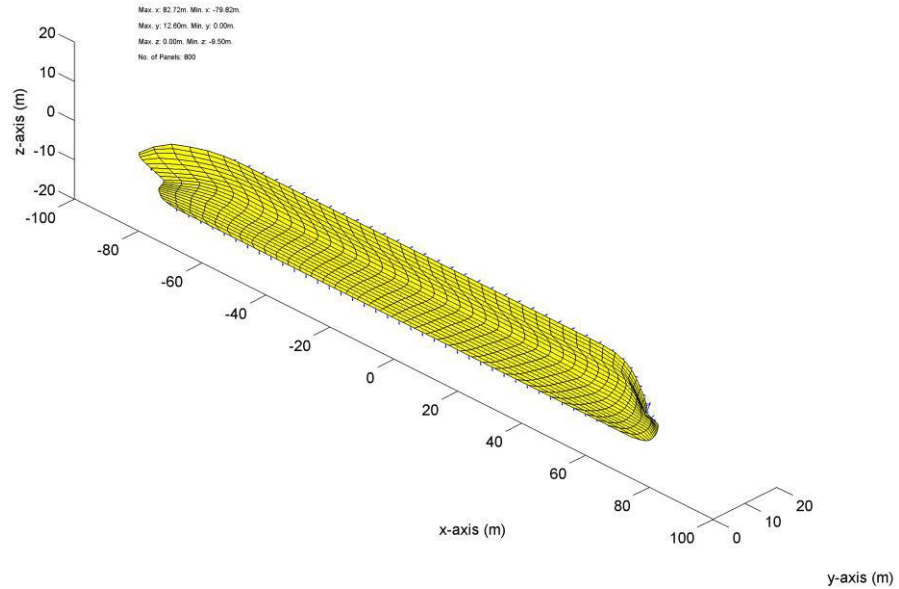


Abb. 63: Schiffswellenmessung: Weser Stahl (Bulkler) 08,11,2005; (BAW, 2006)

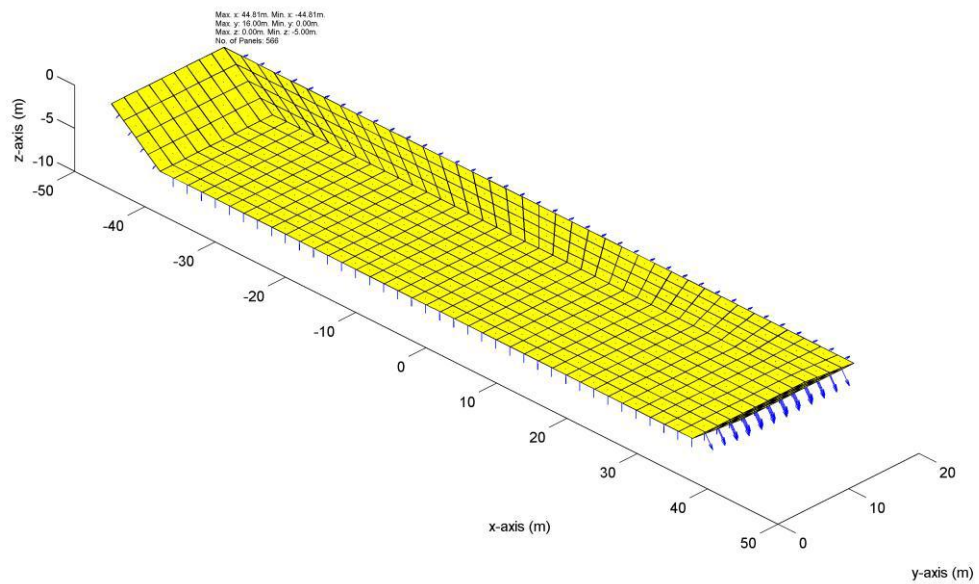
Anlage B

Schiffshüllen

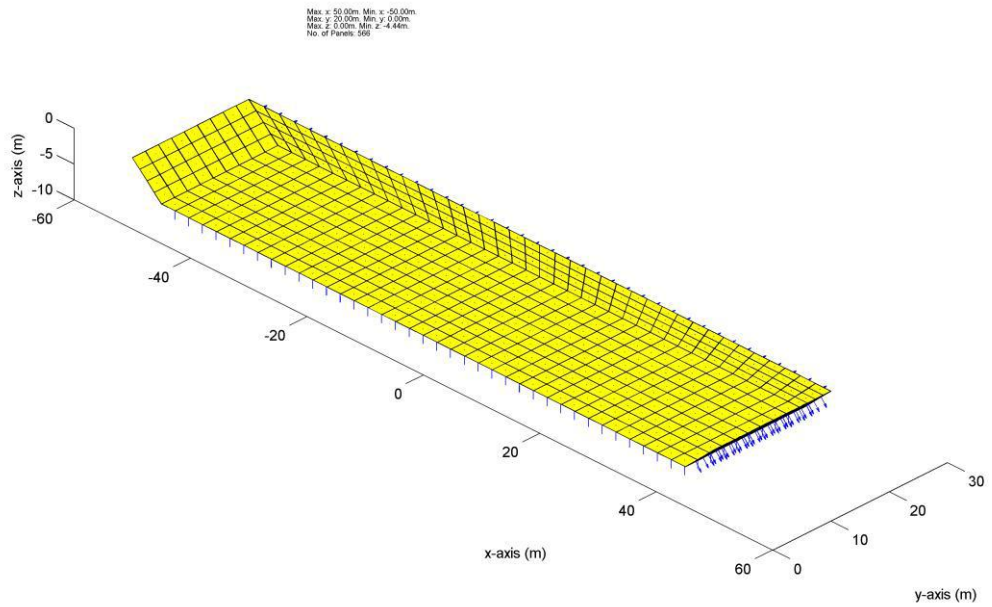
Containerschiff P2-800
(P2_sc_by_Lpp)



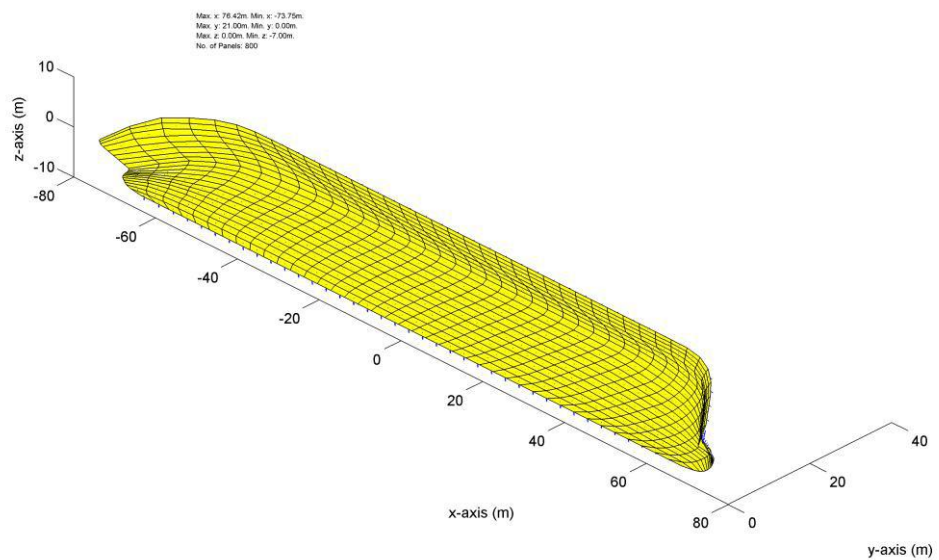
HGO-Arbeitsponton
(Ponton_5m_big_half)



RWE Seabreez
(RWE_VM_D4-4m_half)



HGO-Innovation
(Innovation)

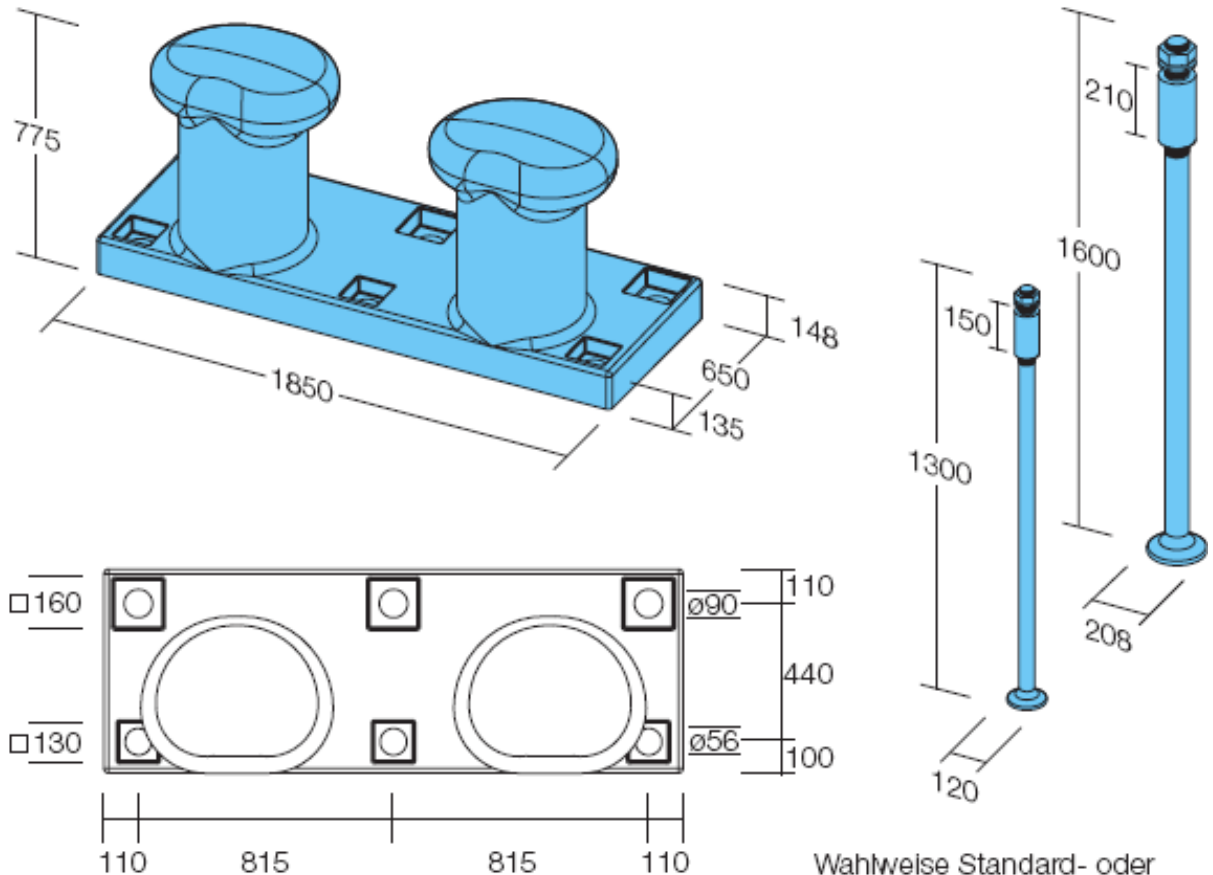


Anlage C

Materialdaten zu Fendern, Poller und Trossen

Doppelpoller Midgard

Doppelpoller 1500 kN / 2000 kN
Typ: Midgard
EN-GJL-250
Double Bollard
GG 25 Grey Cast Iron 25



Wahlweise Standard- oder
Abreißverankerung
Standard anchoring or
break-off anchoring

1500 kN:
S 355 J0 + QT
2000 kN:
42 CrNiMo 4 + QT
34 CrNiMo 6 + QT

	für Doppelpoller 1500 kN for double bollard 1500 kN					
	Teilanker S 355 J0 plate tie rod S1 52-3	Muffe S 355 J0 coupling sleeve S1 52-3	Abreißbolzen S 355 J0 break-off bolt S1 52-3	Mutter EN 24034 (DIN 5559) nut EN 24034 (DIN 5559)	Scheibe DIN 128 washer DIN 128	
3 x	2" x 620	ø 80 x 150	2" x 200	2"	56	
3 x	3 1/4" x 900	ø 125 x 230	3 1/4" x 270	3 1/4"	86	

5-4

SEA GUARD®

SeaGuard fenders can be deployed floated or suspended, against a quay wall or for ship-to-ship operations. SeaGuard fenders suit all sites with small or large tidal changes. They also work just as well on new or old structures.

Hull pressures are very low, making SeaGuard fenders gentle on soft-skinned ships. The skin is very tough but also non-marking, even against white-hulled yachts and cruise liners.

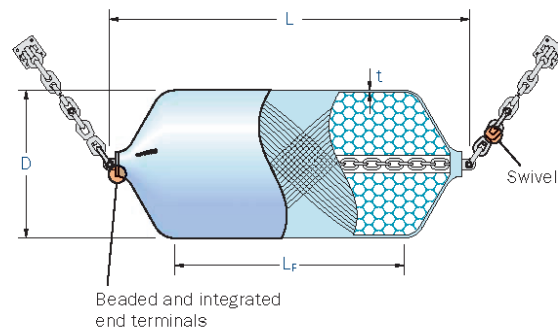
Low maintenance comes as standard because the polyurethane elastomer is highly resistant to the effects of ozone and ultra violet light. SeaGuard fenders will never sink or deflate. Even at the end of their first service life they can be returned to the factory for refurbishment before going back to work.

Features

- || Fully compliant with US Navy specifications
- || Wide range of standard and custom sizes
- || Low reaction and high energy options
- || Operate floating or suspended
- || Virtually indestructible
- || No chain/tyre net required
- || Non-marking even against white hulls
- || Unsinkable design

Applications

- || Cruise ships
- || Container vessels
- || Bulk cargo
- || RoRo and ferries
- || Oil and gas tankers
- || General cargo
- || Navy berths
- || Ship-to-ship transfers



Closed cell foam core



Internal chains



Filament Reinforcement



Fixings



Polyurethane skin

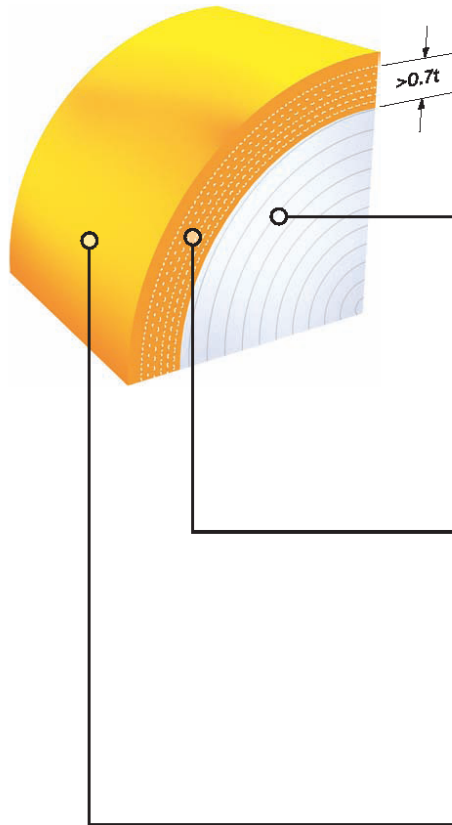


Serial number



Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12-36 to 12-39)
M1100-S05-V1-3-EN. © Trelleborg AB, 2011

SEA GUARD®



Polyethylene foam core

Property	Unit	Typical result
Density ¹	kg/m ³	64 ± 6
Tensile strength ¹	kN/m ²	>414
Elongation at break ¹	%	>120
Compressive strength (50%) ¹	kN/m ²	>140
Water absorption ¹	kg/m ²	<1
Working temperature ²	°C	-30 to +70

Reinforcement filament

Property	Unit	Typical result
Material	-	2520 denier nylon
Tensile strength (single filament)	N	230
Elongation at break	%	16
Helix angle	degrees	45-60
Filament spacing	mm	<4

Polyurethane elastomer

Property	Unit	Typical result
Hardness ³	Shore A	75-95
Tensile strength (PU only) ⁴	MPa	>13.8
Elongation at break (PU only) ⁴	%	>300
Tear strength ⁴	kN/m	>32
Flexural life (Ross) ⁵	cycles	>10000
Abrasion resistance ⁶	NBS	>100

All physical properties are typical values which can be adjusted to suit specific applications. Foam density can be increased for higher energy absorption or reduced for lower reaction force and hull pressure. Additional reinforcement layers can be added for extreme duty applications. The polyurethane elastomer skin can be increased or reduced in hardness to adjust friction and wear resistance properties. The standard fender skin colour is black. Orange, red and yellow skins are widely specified for maximum visibility, grey is common for navy applications and almost any other colour is available on special request. Please ask for further details.

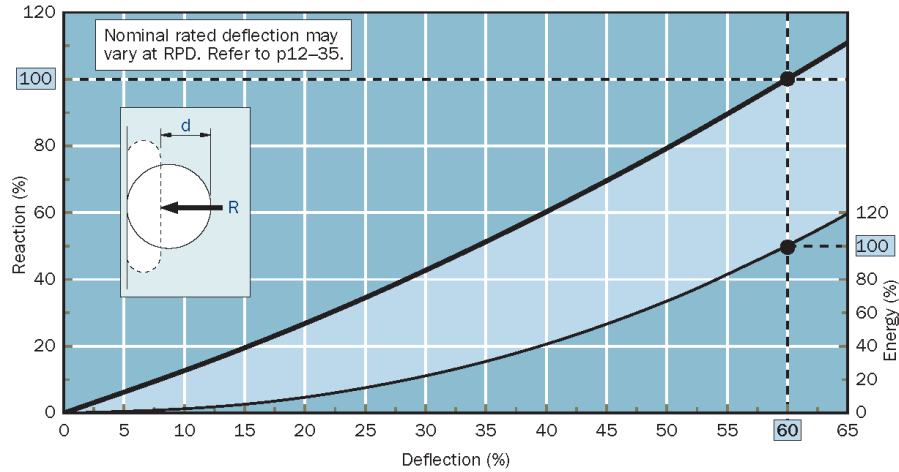
Standards

- | | |
|---------------|---------------|
| 1 ASTM D-3575 | 4 ASTM D-412 |
| 2 PPC-C-1752B | 5 ASTM D-1052 |
| 3 ASTM D-2240 | 6 ASTM D-1630 |

Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12-36 to 12-39)
M1100-S05-V1-3-EN. © Trelleborg AB, 2011



SEA GUARD®



For increased energy use High, Extra High or Super High capacity foam grades. For reduced hull pressure use Low Reaction foam grade.

Foam grades	E	Ratio
Low Reaction	LR	0.6
Standard	STD	1.0
High Capacity	HC	1.4
Extra High Capacity	EHC	1.9
Super High Capacity	SHC	2.6

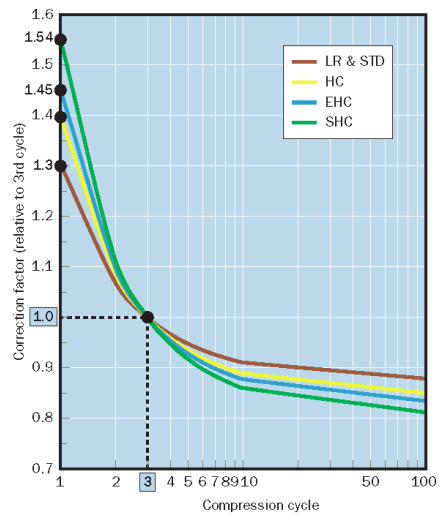
Calculation example

Determine the 1st cycle performance for SeaGuard
2000 × 4000 (LR)

$E_{3-STD} = 3rd\ cycle\ energy\ for\ STD\ grade = 540kNm$
 $R_{3-STD} = 3rd\ cycle\ reaction\ for\ STD\ grade = 1005kN$
 $P_{3-STD} = 3rd\ cycle\ hull\ pressure\ for\ STD\ grade = 172kN/m^2$

$F_R = \text{Foam Ratio for LR grade} = 0.6$
 $N_1 = 1st\ cycle\ compression\ ratio = 1.3$

$E_{1-LR} = 1st\ cycle\ energy\ for\ LR\ grade = E_{3-STD} \times F_R \times N_1$
 $= 540 \times 0.6 \times 1.3 = 421kNm$
 $R_{1-LR} = 1st\ cycle\ reaction\ for\ LR\ grade = R_{3-STD} \times F_R \times N_1$
 $= 1005 \times 0.6 \times 1.3 = 784kN$
 $P_{1-LR} = 1st\ cycle\ pressure\ for\ LR\ grade = P_{3-STD} \times F_R \times N_1$
 $= 172 \times 0.6 \times 1.3 = 134kN/m^2$



Caution

Fender selection should not be based on 1st cycle performance. Always use $\geq 3rd$ cycle performance depending on application, required safety factors and other parameters.



Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12-36 to 12-39)
M1100-S05-V1-3-EN. © Trelleborg AB, 2011

SEA GUARD®

Performance at 60% deflection, STD Grade, 3rd cycle

Diameter × Length		Energy (kNm)	Reaction (kN)	Pressure (kN/m ²)	Energy (ft-kip)	Reaction (kip)	Pressure (ksf)	Weight	
(mm)	(ft)							(kg)	(lb)
700 × 1500	2.3 × 4.9	26	133	172	19	30	3.6	109	240
1000 × 1500	3.3 × 4.9	47	173	172	35	39	3.6	147	325
1000 × 2000	3.3 × 6.5	68	254	172	50	57	3.6	200	440
1200 × 2000	3.9 × 6.5	91	280	172	67	63	3.6	299	660
1350 × 2500	4.4 × 8.2	152	418	172	112	94	3.6	426	940
1500 × 3000	4.9 × 9.8	232	578	172	171	130	3.6	653	1440
1700 × 3000	5.6 × 9.8	282	618	172	208	139	3.6	748	1650
2000 × 3500	6.5 × 11.5	454	845	172	335	190	3.6	1161	2560
2000 × 4000	6.5 × 13.1	540	1005	172	398	226	3.6	1397	3080
2000 × 4500	6.5 × 14.7	624	1161	172	460	261	3.6	1571	3465
2500 × 4000	8.2 × 13.1	801	1197	172	591	269	3.6	1925	4245
2500 × 5500	8.2 × 18.0	1200	1788	172	885	402	3.6	3059	6745
3000 × 4900	9.8 × 16.0	1430	1775	172	1055	399	3.6	3295	7265
3000 × 6000	9.8 × 19.7	1851	2295	172	1365	516	3.6	4370	9635
3300 × 4500	10.8 × 14.7	1498	1690	172	1105	380	3.6	3531	7785
3300 × 6500	10.8 × 21.3	2421	2731	172	1786	614	3.6	5485	12095

Diameter × Length		Energy (kNm)	Reaction (kN)	Pressure (kN/m ²)	Energy (ft-kip)	Reaction (kip)	Pressure (ksf)	Weight	
(ft)	(mm)							(kg)	(lb)
2 × 4	610 × 1220	15	89	172	11	20	3.6	86	190
2 × 6	610 × 1830	24	147	172	18	33	3.6	118	260
2 × 8	610 × 2440	34	209	172	25	47	3.6	150	330
3 × 6	910 × 1830	53	214	172	39	48	3.6	168	370
3 × 8	910 × 2440	75	302	172	55	68	3.6	254	560
3 × 10	910 × 3050	96	391	172	71	88	3.6	331	730
4 × 6	1220 × 1830	81	249	172	60	56	3.6	283	625
4 × 8	1220 × 2440	121	369	172	89	83	3.6	374	825
4 × 10	1220 × 3050	160	494	172	118	111	3.6	476	1050
4 × 12	1220 × 3660	198	605	172	146	136	3.6	658	1450
5 × 8	1520 × 2440	183	445	172	135	100	3.6	476	1050
5 × 10	1520 × 3050	244	596	172	180	134	3.6	680	1500
5 × 12	1520 × 3660	305	743	172	225	167	3.6	816	1800
5 × 14	1520 × 4270	365	890	172	269	200	3.6	1134	2500
6 × 12	1830 × 3660	407	827	172	300	186	3.6	1122	2475
6 × 16	1830 × 4880	579	1179	172	427	265	3.6	1701	3750
6 × 20	1830 × 6100	751	1530	172	554	344	3.6	2426	5350
7 × 14	2130 × 4270	660	1152	172	487	259	3.6	1678	3700
7 × 16	2130 × 4880	778	1357	172	574	305	3.6	1995	4400
7 × 20	2130 × 6100	1013	1766	172	747	397	3.6	2857	6300
8 × 14	2440 × 4270	839	1281	172	619	288	3.6	2132	4700
8 × 16	2440 × 4880	994	1517	172	733	341	3.6	2449	5400
8 × 20	2440 × 6100	1303	1988	172	961	447	3.6	3447	7600
9 × 18	2740 × 5490	1399	1899	172	1032	427	3.6	3288	7250
9 × 22	2740 × 6710	1787	2424	172	1318	545	3.6	4762	10500
10 × 16	3050 × 4880	1466	1788	172	1081	402	3.6	3370	7430
10 × 18	3050 × 5490	1706	2082	172	1258	468	3.6	3839	8465
10 × 20	3050 × 6100	1946	2375	172	1435	534	3.6	4535	10000
10 × 22	3050 × 6710	2186	2669	172	1612	600	3.6	5351	11800
11 × 18	3350 × 5490	2009	2229	172	1482	501	3.6	4512	9950
11 × 22	3350 × 6710	2590	2874	172	1910	646	3.6	5805	12800
12 × 24	3660 × 7320	3518	3781	172	2595	850	3.6	7324	16150
13 × 26	3960 × 7920	4393	4381	172	3240	985	3.6	9116	20100
14 × 28	4270 × 8530	5423	5026	172	4000	1130	3.6	10884	24000

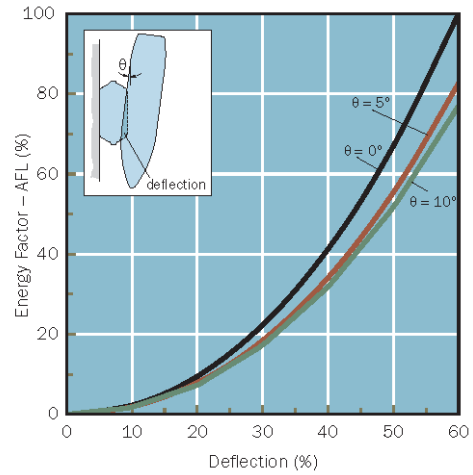
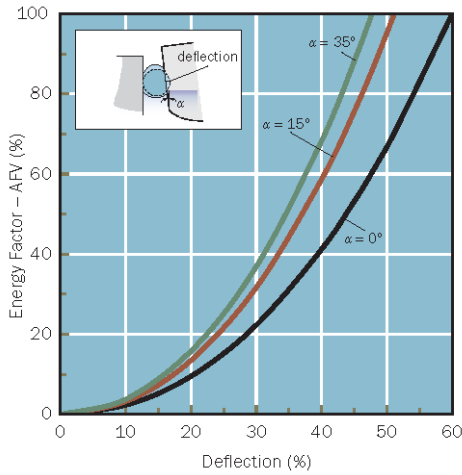
Performances and weights apply to STD Grade foam.

Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12–36 to 12–39)
M1100-S05-V1-3-EN. © Trelleborg AB, 2011

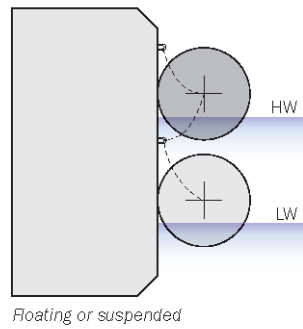


SEA GUARD®

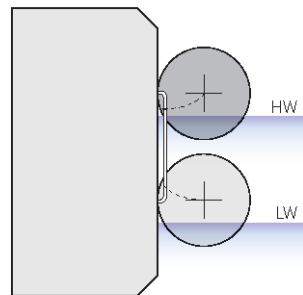
Angular compression factors



Mooring applications

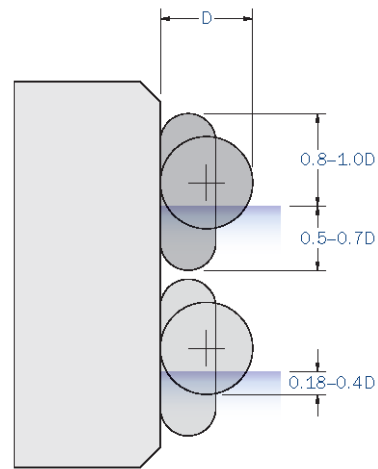


Floating or suspended



Guide rail

Mounting area



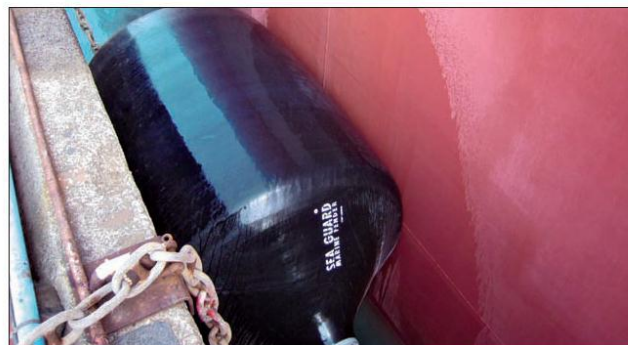
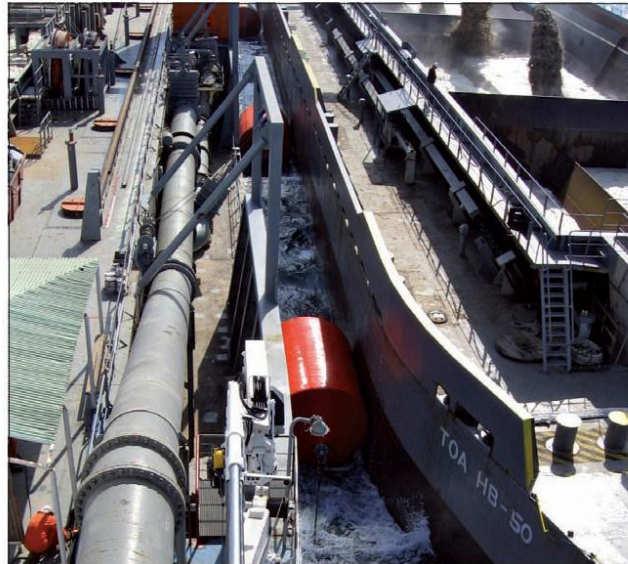
Supporting structures must be large enough to cope with tides and the fender footprint when compressed.



Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12-36 to 12-39)
M1100-S05-V1-3-EN. © Trelleborg AB, 2011

SEA GUARD®

Proven in practice



Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12-36 to 12-39)
M1100-S05-V1-3-EN. © Trelleborg AB, 2011



TRELLEBORG

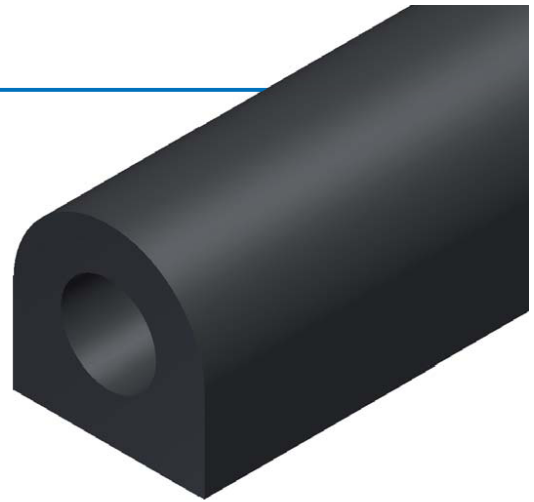


D D-Fender WGDF

D-Fender sind mit rundem oder D-förmigem Innenloch verfügbar.

Sie zeichnen sich durch die einfache Montage, entweder im U-Eisen oder direkt an der zu schützenden Fläche, aus. Sie sind flexibel einsetzbar, sehr robust und stellen einen hervorragenden Schutz der Schiffswand bzw. der Kaianlage dar.

D-Fender können vertikal, diagonal oder horizontal montiert werden.

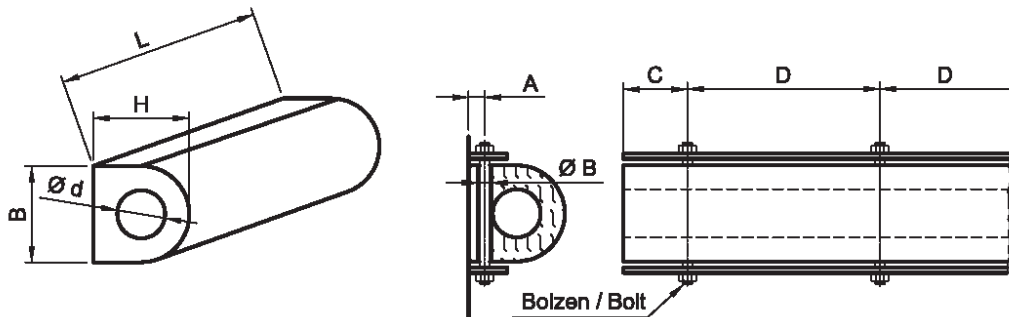


D-Fenders WGDF

D-Fenders are available with round or D-shaped inner hole.

They are easy to install, either in U-irons or directly on surfaces to be protected. They are versatile applicable, extremely rugged and provide excellent protection for ship hulls and quays.

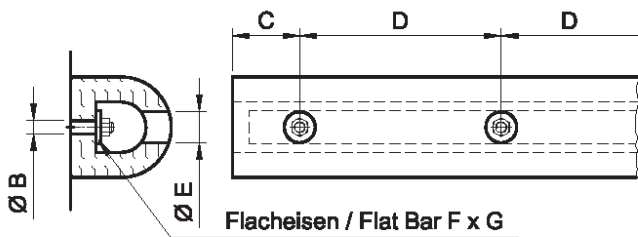
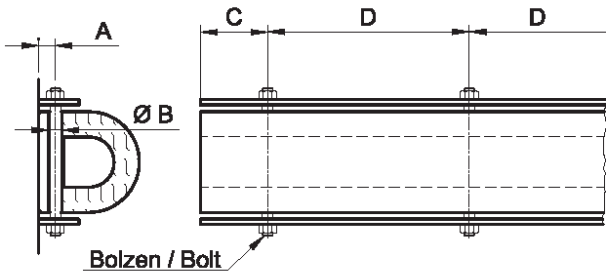
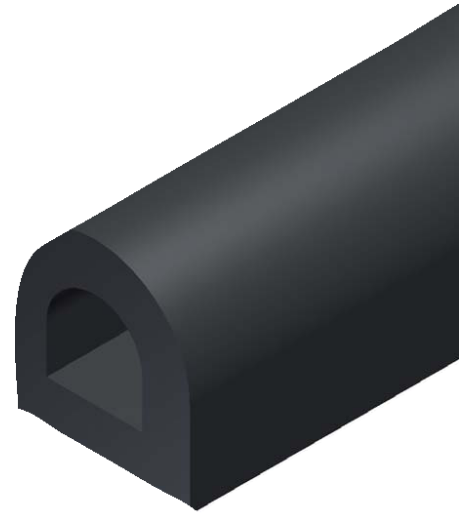
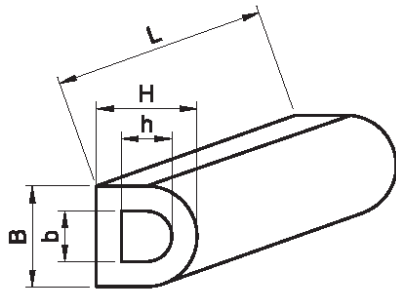
D-Fenders can be mounted vertically and diagonally and also horizontally.



Abmessungen WGDF / Dimensions WGDF

Typ / Type	H = B mm	Ø d mm	L _{max} m	A mm	C mm	D mm	Ø B mm	Befestigung / Fixing	Gewicht / Weight ca. / approx. kg/m
WGDF 6231	100	50	10	25	90 - 130	200 - 300	15	M 12	9
WGDF 6233	150	75	10	30	110 - 150	250 - 350	20	M 18	20
WGDF 6235	200	100	10	45	130 - 180	300 - 400	25	M 20	35
WGDF 6237	250	125	10	50	140 - 200	350 - 450	30	M 24	54
WGDF 6239	300	150	10	60	140 - 200	350 - 450	30	M 24	78
WGDF 6241	350	175	8	70	140 - 200	350 - 450	35	M 30	107
WGDF 6243	400	200	8	80	140 - 200	350 - 450	35	M 30	139
WGDF 6245	500	250	6	100	160 - 230	400 - 500	45	M 36	218

Sonderabmessungen auf Anfrage / Special dimensions available on request



Abmessungen WGDF-D / Dimensions WGDF-D

Typ / Type	H = B mm	h = b mm	L _{max} m	A mm	C mm	D mm	Ø E mm	F x G mm	Ø B mm	Befestigung / Fixing	Gewicht / Weight ca. / approx. kg/m
WGDF 6211	100	50	10	25	90 - 130	200 - 300	30	40 x 5	15	M12	8
WGDF 6213	150	75	10	30	110 - 150	250 - 350	40	60 x 8	20	M16	19
WGDF 6215	200	100	10	45	130 - 180	300 - 400	50	80 x 10	25	M20	34
WGDF 6217	250	125	10	50	140 - 200	350 - 450	60	80 x 12	30	M24	52
WGDF 6219	300	150	10	60	140 - 200	350 - 450	60	110 x 12	30	M24	75
WGDF 6221	350	175	8	70	140 - 200	350 - 450	75	130 x 15	35	M30	103
WGDF 6223	400	200	8	80	140 - 200	350 - 450	75	150 x 15	35	M30	134
WGDF 6225	500	250	6	100	160 - 230	400 - 500	90	180 x 20	45	M36	198

Sonderabmessungen auf Anfrage / Special dimensions available on request



Leistungsdaten WGDF / Performance WGDF

Typ / Type	50 % Einfederung / Deflection	
	Reaktionskraft / Reaction force kN	Energieaufnahme / Energy absorption kNm
WGDF 6231	158	1,9
WGDF 6233	236	4,3
WGDF 6235	312	7,5
WGDF 6237	391	11,6
WGDF 6239	470	16,8
WGDF 6241	549	23,1
WGDF 6243	629	29,5
WGDF 6245	787	46,2

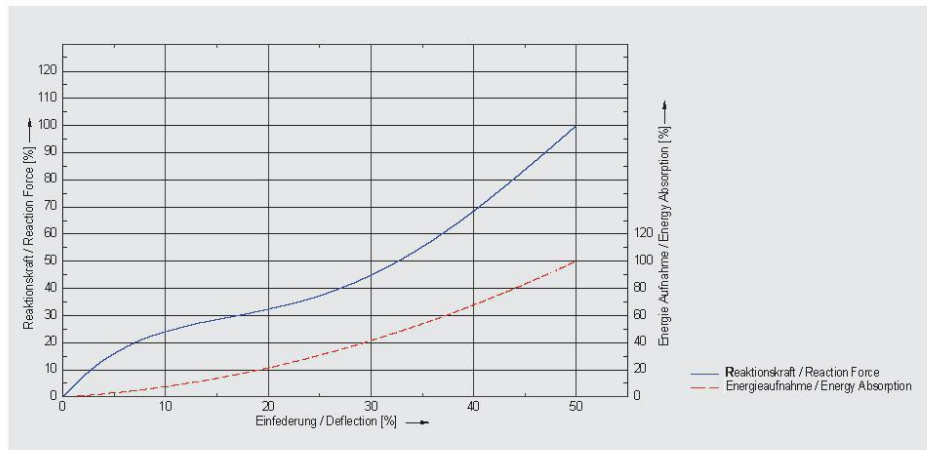
Leistungsdaten beziehen sich auf 1 m Fender / Performance per 1 m fender

Leistungsdaten WGDF-D / Performance WGDF-D

Typ / Type	50 % Einfederung / Deflection	
	Reaktionskraft / Reaction force kN	Energieaufnahme / Energy absorption kNm
WGDF 6211	78	1,5
WGDF 6213	113	3,4
WGDF 6215	151	5,8
WGDF 6217	193	9,1
WGDF 6219	231	12,7
WGDF 6221	265	17,4
WGDF 6223	307	23,1
WGDF 6225	384	35,8

Leistungsdaten beziehen sich auf 1 m Fender / Performance per 1 m fender

Kraft- und Energiekurve / Force and energy curve



46

General purpose ropes POLYPROPYLENE OCTOPLY **Lankhorst Ropes** R-16

FIBRE ROPES

The standard mooring rope for all purposes, made of polypropylene yarns. Produced according to the latest EN and ISO standards.



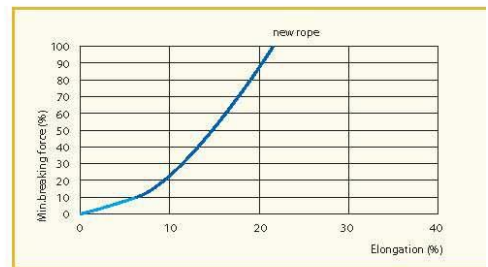
POLYPROPYLENE OCTOPLY



- | | | | |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| SPECIFIC GRAVITY | • 0,91 | CONSTRUCTION | • 8-strand plaited |
| UV-RESISTANCE | • good | TCLL VALUE | • 52% |
| ABRASION RESISTANCE | • reasonable | COLOUR | • blue |
| CHEMICAL RESISTANCE | • good | MARKER YARN | • orange |
| ELONGATION | • see graph | WATERABSORPTION | • 0,1% |
| MELTING POINT | • approx. 165°C | | |

Art. number	Circ. (inches)	Diameter (mm)	Weight (kg/100m)	MBF (kN)	Weight (lbs/100 ft)	MBF (lbs)
133.493	4	32	46	132	31	29.675
133.515	4 1/2	36	58,5	166	39	37.318
133.532	5	40	72	201	48	45.187
133.558	5 1/2	44	88	241	59	54.179
136.077	6	48	104	280	70	62.947
136.115	6 1/2	52	122	324	82	72.838
136.131	7	56	142	371	95	83.404
136.158	7 1/2	60	163	424	110	95.319
136.174	8	64	185	480	124	107.908
136.298	9	72	234	603	157	135.560
133.760	10	80	290	741	195	166.583
136.352	11	88	351	889	236	199.855
133.825	12	96	417	1.050	280	236.049
136.441	13	104	490	1.200	329	269.771
136.417	14	112	570	1.390	383	312.484
136.522	15	120	650	1.600	437	359.694
136.523	16	128	740	1.800	497	404.656
136.525	17	136	840	2.030	564	456.362
137.065	18	144	940	2.260	632	508.068

Diameter, weight and MBF (as well as other mechanical and physical properties) are determined according ISO 2307:2005. The MBF refers to the breaking strength in the rope/wire itself, without splices or any other form of termination that can be formed with or without the use of accessories/fittings.



www.lankhorstropes.com

The master of innovation in ropes



GROUP BV

01.02711



High performance ropes TIPTO-WINCHLINE®

Lankhorst Ropes

R-3

FIBRE ROPES



A dedicated floating winchline, developed especially to be used on single drum, self-tensioning winches. The load-bearing 7-strand core combines high strength and low elongation. The non load-bearing braided cover provides protection to the core (longer life-time) and increases crew-safety by minimizing the risk of snap-back. The smooth operation of the vessel is increased by the ease of handling of the rope due to its low weight and the floating characteristic of the rope. Tipto Winchline® does not lose strength when wet!



TIPTO WINCHLINE®

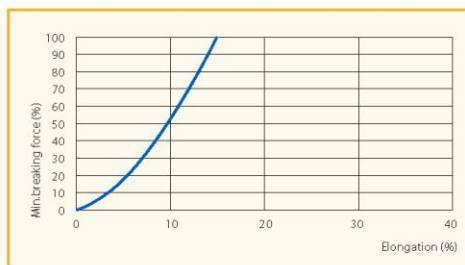


SPECIFIC GRAVITY	• 0,93	CONSTRUCTION	• 7-strand + jacket
UV-RESISTANCE	• very good	TCLL VALUE	• 70,7%
ABRASION RESISTANCE	• very good	COLOUR	• yellow
CHEMICAL RESISTANCE	• good	MARKER YARN	• orange
ELONGATION	• see graph	WATERABSORPTION	• 0%
MELTING POINT	• approx. 140°C	ON REQUEST	• larger diameters

Art.number	Diameter (mm)	Weight (kg/100m)	MBF (kN)	Weight (lbs/100 ft)	MBF (lbs)
111.952	36	74	248	50	55.753
111.953	42	98	340	66	76.435
111.934	46	115	425	77	95.544
111.956	48	125	472	84	106.110
111.935	50	133	512	89	115.102
111.936	54	150	598	101	134.436
111.896	56	160	640	108	143.878
111.937	58	167	682	112	153.320
111.967	60	184	730	124	164.111
111.966	62	190	780	128	175.351
111.938	64	203	850	136	191.088
111.939	68	221	934	149	209.972
111.970	70	240	990	161	222.561
111.940	74	256	1.100	172	247.290
111.941	80	330	1.270	222	285.507
111.942	82	356	1.350	239	303.492
111.898	84	376	1.420	253	319.229

Larger diameters on request

Diameter, weight and MBF (as well as other mechanical and physical properties) are determined according ISO 2307:2005. The MBF refers to the breaking strength in the rope/wire itself, without splices or any other form of termination that can be formed with or without the use of accessories/fitings.



01.07.09

www.lankhorstropes.com




GROUP BV

The master of innovation in ropes




GeoTwin Polyamid(e)
Hat Schläge gern ... Polyamid in Kern und Mantel für ausgezeichnetes Abrichtverhalten, hohe Festigkeit und hervorragende Allroundeigenschaften.



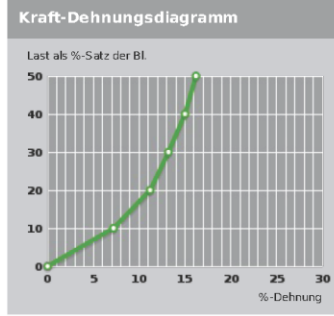
Bruchkräfte und Gewichte

Ø [mm]	Dehnung bei 10% der Bruchlast			Reißkilometer [km]***
	kg/100 m	Bl real [kN]*	Bl linear [kN]**	
6	2,2	8,5	9,4	37,9
8	4	15,4	16,9	37,7
10	6,2	24	26,4	37,9
12	9	34,4	37,9	37,5
14	12,2	46,8	51,4	37,6
16	15,9	60,8	66,9	37,5
18	20,2	76,9	84,6	37,3
20	22,5	85	93,5	37
22	30,4	115	126,5	37,1
24	35,3	136	149,6	37,8
26	42	160	176	37,3
28	48	183	201,3	37,4
30	56	210	231	36,8
32	63,5	235	258,5	36,3
34	71	265	291,5	36,6
36	80,5	300	330	36,5
38	88,5	335	368,5	37,1
40	99	375	412,5	37,1
42	108	405	445,5	36,8
44	120	430	473	35,1
46	130	465	511,5	35,1
48	142	505	555,5	34,9
52	167	600	660	35,2
56	194	690	759	34,9
60	222	781	859,1	34,5
64	253	900	990	34,9
68	283	1.000	1.100	34,6
72	320	1.090	1.199	33,4
80	395	1.380	1.518	34,2
88	480	1.670	1.837	34,1
96	570	1.950	2.145	33,5
104	670	2.280	2.508	33,3
112	775	2.625	2.887,5	33,2
120	890	3.000	3.300	33
128	1.020	3.400	3.740	32,7
136	1.150	3.825	4.207,5	32,6



- ISO 10554
- Doppelgeflecht aus sehr robusten Polyamid Endlosfasern mit 12-fach geflochtenem Kern
- Flexible Seilkonstruktion mit exzellenter Bruchkraft bei mittlerer Dehnung
- Hohe Abriebfestigkeit
- Gute UV Beständigkeit
- Das Geogard Finish vermindert Materialverhärtung durch Witterungseinflüsse
- Klassischer Doppelgeflecht Schiffsfestmacher

Kraft-Dehnungsdiagramm



* Bruchlast im Spieß
** Bruchlast nach DIN EN ISO 2307
*** Reißkilometer-Angabe im Spieß



High performance ropes EUROFLEX® MOORING TAIL

Lankhorst Ropes

R-5

FIBRE ROPES



Mooring tail to provide shock/energy absorbing within the mooring system. The EUROFLEX® Mooring Tails surpass the nylon tails in quality, the energy absorption is better, the rope remains elastic for a longer time and the rope does not lose a large portion of its dry MBF when it is wet. As the strength is higher than that of nylon, a smaller diameter of rope can be used, providing better handling. Made of polyester and polypropylene composite yarns, the standard length produced is 11m Effective Working Length, with 2 protected eyes of 2,0m and 1,0m respectively.



EUROFLEX® 11 M MOORING TAIL



SPECIFIC GRAVITY	• 1,14	CONSTRUCTION	• 8-strand plaited
UV-RESISTANCE	• good	TCLL VALUE	• 79,6%
ABRASION RESISTANCE	• very good	COLOUR	• white
CHEMICAL RESISTANCE	• good	MARKER YARN	• yellow
ELONGATION	• see graph	WATER ABSORPTION	• <0,5%
MELTING POINT	• approx. 165°C/265°C		

Art.number	Diameter (mm)	Weight (kg/ tail)	MBF (kN)	Weight (lbs/ tail)	MBF (lbs)
152.448	48	24,0	583	53	131.064
152.450	56	32,5	784	72	176.250
152.447	60	37,4	896	82	201.429
152.449	62	40,1	955	88	214.693
152.451	64	42,5	1.010	94	227.057
152.454	68	47,9	1.140	106	256.282
152.452	72	53,7	1.270	118	285.507
152.455	76	59,8	1.410	132	316.981
152.453	80	66,5	1.550	147	348.454
152.446	84	73,3	1.710	162	384.423
152.456	88	80,4	1.870	177	420.393

Diameter, weight and MBF (as well as other mechanical and physical properties) are determined according ISO 2307:2005. The MBF refers to the breaking strength in the rope/wire itself, without splices or any other form of termination that can be formed with or without the use of accessories/fittings.

OCIMF recommends mooring tails with a MBF of 125% related to the steel wire rope mooring line. EUROFLEX® MOORING TAILS have equal breaking strength under wet and dry conditions



Corresponding mooring wires for these tails, please refer to page S-10

010711

www.lankhorstropes.com

The master of innovation in ropes



MegaTwin Dyneema® Plus





MegaTwin Dyneema® Plus
Immer ganz oben. Schwimmfähig durch hochwertigen Fasermix im abriebfesten Mantel, extreme Festigkeit durch Dyneema®-Kern.

Bruchkräfte und Gewichte

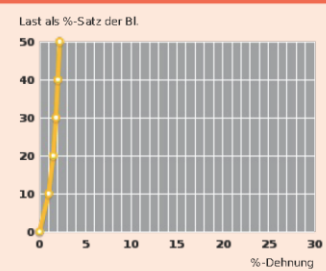
Ø [mm]	Dehnung bei 10% der Bruchlast				1.00 %
	kg/100 m	Bl. real [kN]*	Bl. linear [kN]**	Reißkilometer [km]***	
24	28	230	253	80,5	
26	31	255	280,5	80,6	
28	38	275	302,5	70,9	
30	43	317	348,7	72,2	
32	48	360	396	73,5	
34	54	410	451	74,4	
36	60	460	506	75,1	
38	75	510	561	66,6	
40	82	563,2	619,5	67,3	
42	90	624	686,4	67,9	
44	97	688	756,8	69,5	
48	114	750	825	64,5	
52	123	885	973,5	70,5	
56	143	1.032	1.135,2	70,7	
60	164	1.185	1.303,5	70,8	
64	195	1.350	1.485	67,8	
72	218	1.525	1.677,5	68,6	
80	266	1.916	2.107,6	70,6	
88	327	2.350	2.585	70,4	
96	390	2.820	3.102	70,9	

* Bruchlast im Spleiß
** Bruchlast nach DIN EN ISO 2307
*** Reißkilometer-Angabe im Spleiß

- Werknorm
- Kern 12-fach aus Dyneema® SK75 Fasern
- Robuster geflochtener Mantel aus Gleistein Plus-Garnen (Polyolefin-Polyester-Mix)
- Minimale Dehnung
- Sehr gute UV Beständigkeit
- Gute Abriebbeständigkeit
- Langlebig in Panama- und anderen Klüsen

Kraft-Dehnungsdiagramm



Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB):
Vertäukonzept



Anlage D

Shore Tension ®

Specifications

ShoreTension® is a flexible stand-alone mooring system, based on a permanent tension of shore mooring lines.

The ShoreTension system:

- Is able to provide pre-set tension up to 60 metric tons of force (600kN)
- Has a "Safe Working Load" in fully extended condition up to 150 metric tons (1500 kN)
- Can reduce vessel motions up to 50% compared to conventional mooring systems.
- Is versatile and can be installed on almost every quay or jetty
- Has sensors which register the loads in the ropes.
 - This data will be available for the ship's master, port and terminal operators.
 - Data will be logged for review of berth
 - A warning system monitors when limits are exceeded
 - GPS data provide an overview of where warnings are issued in ports across the globe.
- Is certified by Lloyd's Register as:
 - Pressure Equipment (PED)
 - Lifting appliance (Heavy lifting)
 - For use in explosive atmospheres (ATEX)



All rights reserved by ShoreTension® 2011

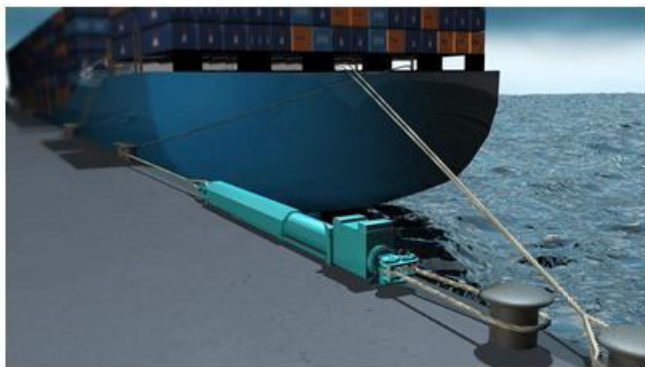
Installation

The system is placed on the quay side in between of two bollards. One end is fixated to the quay bollard while the ship's line is connected to the moveable part of the system. A second quay bollard is used for guiding the ship's line.



ShoreTension Connected to the FWD breast line

It only has to be activated once via a hydraulic system. After that it functions stand-alone without the need for external energy. This feature makes it easy to place everywhere on the quay-side.



ShoreTension connected to the AFT breast line

The ShoreTension system provides a high tension and pays out the line coping with the peak loads without exceeding the Minimum Breaking Load of the line (MBL). By doing this the system dampens the ship's motion and absorbs the energy of the ship. When the peak loads are over, the ShoreTension heaves in the line with the energy stored returning to its initial position.

Because the system doesn't require any external energy it is CO₂-neutral.

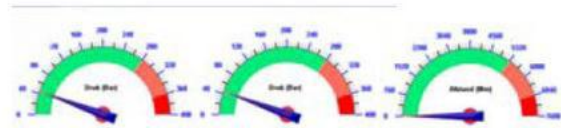
Wireless Control

Each ShoreTension has a wireless control unit, powered by solarcells connected to a battery. An electronic system gives you, besides a pre alert alarm, information about the pressure in the cylinder of the ShoreTension, the tension in the rope, battery power and displacement of the rod of the ShoreTension.

A complete data history of all above mentioned details are logged by this electronic wireless system. With the wireless control system all involved parties, including the responsible ship's master, are informed on the (possible critical) load condition of the ropes of the moored vessel. The pre alert warning system can prevent the vessel from breaking the mooring lines and breaking free.

SMS Alert

The ships' master can receive the pre-alert via mobile phone and internet when the tension in the line exceeds the defined limits. As a result, the master is better informed to take appropriate measures resulting in extra safety and better service.



Online instrument overview



Track and trace



Solarcell powered

Anlage E

Windlasten und Strömungslasten nach OCIMF 2008

Die Ermittlung der charakteristischen Windlasten erfolgt auf Grundlage der „Mooring Equipment Guidelines“ der OCIMF(2008).

$$F_{Xw} = \frac{1}{2} C_{Xw} \rho_w v_w^2 A_T$$

$$F_{Yw} = \frac{1}{2} C_{Yw} \rho_w v_w^2 A_L$$

$$M_{XYw} = \frac{1}{2} C_{XYw} \rho_w v_w^2 A_L L_{pp}$$

mit:

F_{Xw} = „longitudinal wind force“ [kN]

F_{Yw} = „lateral wind force“ [kN]

M_{XYw} = „wind yaw moment“ [kNm]

C_{Xw} = „longitudinal wind drag force coefficient“ [-]

C_{Yw} = „lateral wind drag force coefficient“ [-]

C_{XYw} = „wind yaw moment coefficient“ [-]

ρ_w = Luftdichte [1,28 kg/m³]

A_T = transversale Windangriffsfläche („head-on“) [m²]

A_L = longitudinale Windangriffsfläche („broadside“) [m²]

v_w = Windgeschwindigkeit [m/s]

L_{pp} = Länge zwischen den Loten [m]

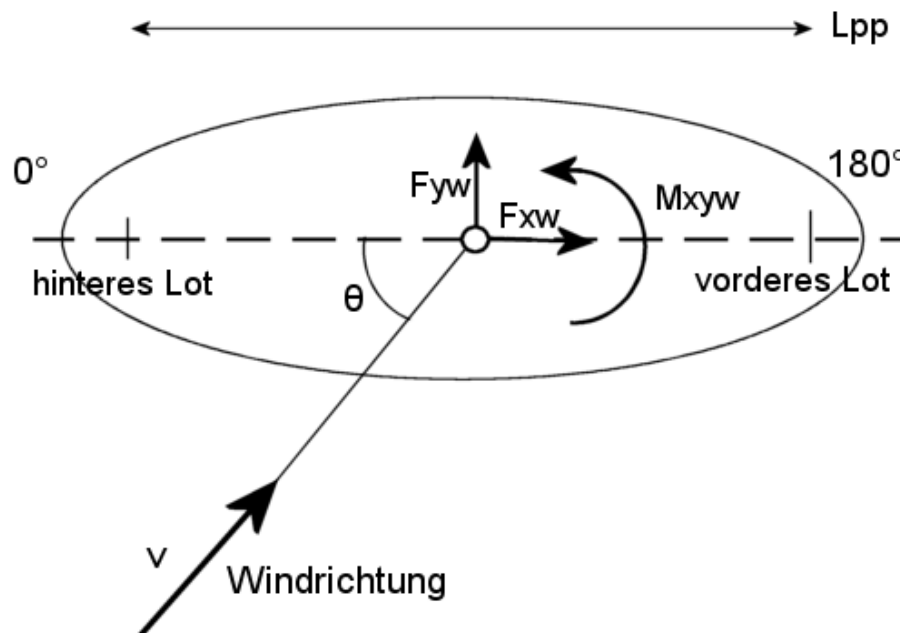


Abb: 64: Ansatz der Windlasten auf das vertäute Schiff (nach OCIMF 2008), Vorzeichenkonvention und Koordinatensystem

Als Rahmenbedingungen zur Bestimmung der Windlasten dienen die Windrichtungen aus NE/SW; E; SE und S. Zur Bestimmung der Windrichtung zur Schiffslängsachse wird hierbei die parallele Ausrichtung der Schiffseinheiten zur Kaje herangezogen,

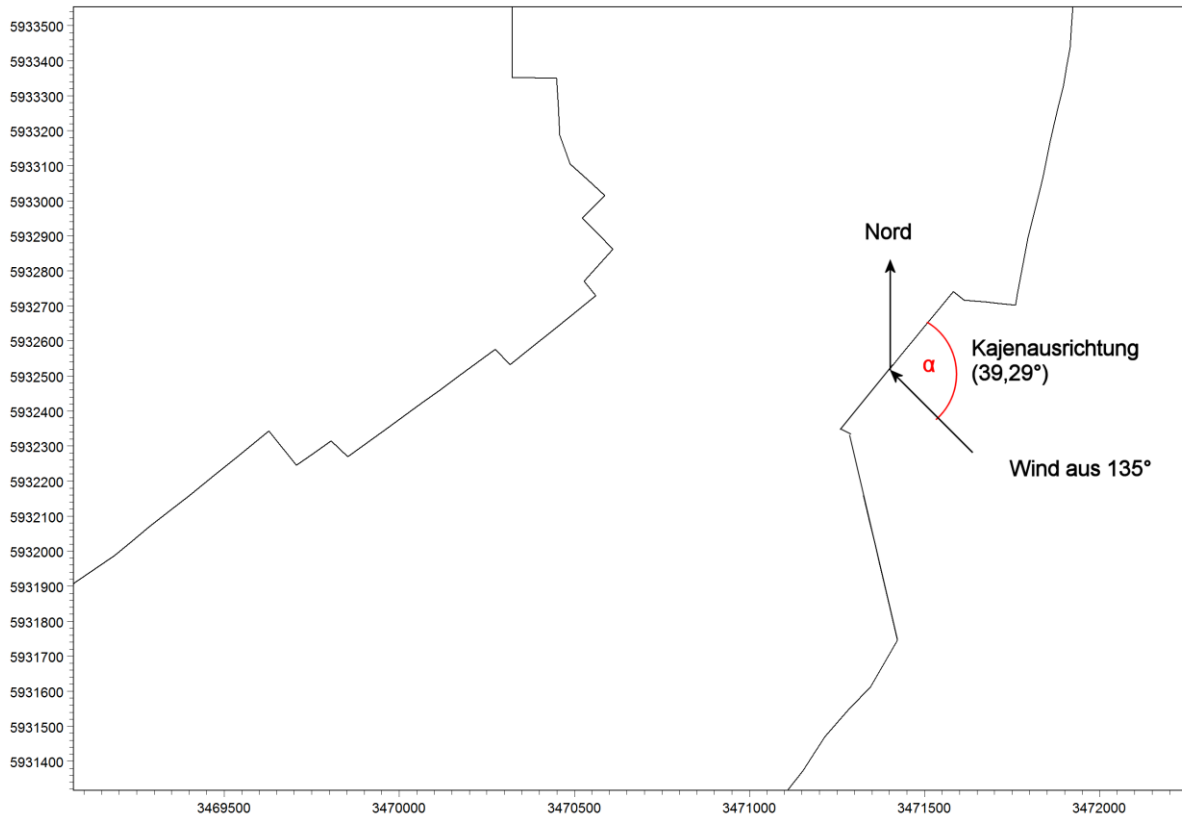


Abb: 65: Windrichtung zur Schiffslängsachse (Wind aus 135° ergibt einen Wind aus $\Theta = 84,29^\circ$ zur Schiffslängsachse),

Die eingehenden Koeffizienten basieren auf ursprünglichen Angaben für Öltanker und Gasfrachter mit über 150000 „tonnes deadweight“ und sind in ihrer Größe abhängig vom ermittelten Anströmwinkel Θ sowie der Rumpfform des betrachteten Schiffes. Hierbei wird zwischen einem elliptisch-zylindrischem Bug („cylindrical“) und einem conventionellerem v-förmigen (bzw, zwiebelförmigen) Bug („conventional“) unterschieden.

Mit Hilfe dieser Angaben können die Formbeiwerte (C_{XW} , C_{YW} und C_{XYW}) aus den entsprechenden Diagrammen ermitteln werden (OCIMF, 2008). Die Werte dieser Strömungskoeffizienten basieren auf Daten aus Winkanaltests an der University of Michigan in den 60ziger Jahren, welche für Tanker mit heckseitigen Aufbauten durchgeführt wurden. Dies ist entsprechend bei der Betrachtung der aufgeführten Ergebnisse zu berücksichtigen, so nimmt das Moment M_{XYC} entsprechend bei achterlichem Seitenwind zu,

Für die Berechnung der Lastkomponenten werden für jedes Schiff im jeweiligen Ladezustand die transversale und longitudinale Anströmfläche bestimmt. Die Windgeschwindigkeit wird nach Abschnitt 3.2 a) mit 30 m/s angegeben.

Tabelle 52: Anströmflächen der Schiffseinheiten

Schiffsname	L_{pp} [m]	A_L [m ²]	A_T [m ²]		Rumpfform
			Bug	Heck	
Schergutschiff P2 (unbeladen)	155,79	1327	145	1044	conventional
Schergutschiff P2 (beladen)	155,79	5681	110	1676	conventional
Arbeitsponton (unbeladen)	90,00	422	150	150	cylindrical
Arbeitsponton (beladen)	90,00	2177	774	774	cylindrical
Jack-Up Schiff 1 (unbeladen)	99,20	388	1821	156	cylindrical
Jack-Up Schiff 1 (beladen)	99,20	2920	1553	1455	cylindrical
Jack-Up Schiff 2 (unbeladen)	146,80	3500	1600	1600	conventional
Jack-Up Schiff 2 (beladen)	146,80	4500	1600	1600	conventional
Bunkerbarge	($\approx L_{oa} = 84,76$)*	255	36	18	cylindrical

* Für den Schiffs-Typ Bominflot5 ist keine Angabe für L_{pp} vorhanden, daher wird für die weiteren Berechnungen der Wert L_{oa} zugrunde gelegt.

Für die in Kapitel 3.2 a) aufgezeigten Randbedingungen wurden unter Verwendung des oben beschriebenen Ansatzes folgende Windlasten ermittelt.

Tabelle 53: Ergebnisse der Windlastkomponenten nach OCIMF 2008 für den unbeladenen Zustand

Schiffsname	Windlastkomponente [kN]	Windrichtung				
		45° N	90° N	135° N	180° N	225° N
		$\theta = 174,29^\circ$	$\theta = 129,29^\circ$	$\theta = 84,29^\circ$	$\theta = 39,29^\circ$	$\theta = -5,71^\circ$
Containerschiff P2 (unbeladen)	F _{xw}	-63	-15	27	276	363
	F _{yw}	65	601	700	397	-85
	M _{xyw}	1819	7273	-7955	-17727	-3409
Arbeitsponton (unbeladen)	F _{xw}	-65	8	11	40	52
	F _{yw}	21	191	223	127	-27
	M _{xyw}	334	1335	-1460	-3252	-626
RWE-Seabreez (unbeladen)	F _{xw}	-781	89	130	42	54
	F _{yw}	19	176	205	117	-25
	M _{xyw}	339	1355	-1482	-3302	-635
HGO-Innovation (unbeladen)	F _{xw}	-687	-162	42	424	556
	F _{yw}	170	1584	1846	1048	-224
	M _{xyw}	4521	18083	-19778	-44077	-8477
Bunkerbarge (unbeladen)	F _{xw}	-18	-9	3	6	8
	F _{yw}	9	80	100	74	-11
	M _{xyw}	-60	-842	-1458	-1932	-356

Tabelle 54: Ergebnisse der Windlastkomponenten nach OCIMF 2008 für den beladenen Zustand

Schiffsname	Windlastkomponente [kN]	Windrichtung				
		45° N	90° N	135° N	180° N	225° N
		$\theta = 174,29^\circ$	$\theta = 129,29^\circ$	$\theta = 84,29^\circ$	$\theta = 39,29^\circ$	$\theta = -5,71^\circ$
Containerschiff P2 (beladen)	F _{xw}	-63	-15	27	276	363
	F _{yw}	191	1784	2231	1637	-235
	M _{xyw}	-2434	-34551	-59855	-79320	-14599
Arbeitsponton (beladen)	F _{xw}	-65	8	11	40	52
	F _{yw}	73	684	855	628	-90
	M _{xyw}	-539	-7647	-13248	-17556	-3232
RWE-Seabreez (beladen)	F _{xw}	-781	89	130	42	54
	F _{yw}	98	917	1147	842	-121
	M _{xyw}	-797	-11307	-19587	-25957	-4778
HGO-Innovation (beladen)	F _{xw}	-687	-162	42	424	556
	F _{yw}	151	1413	1767	1297	-186
	M _{xyw}	-1817	-25792	-44682	-59213	-10898

Anmerkung:

Ein Vergleich der Ergebnisse für die Berechnung nach EAU 2004 und OCIMF 2008 ist nur bedingt möglich, da der Ansatz der Lastberechnung bereits auf unterschiedlichen Untersuchungen basieren. So erfolgte für den Ansatz nach OCIMF 2008 eine Unterscheidung der Lasten nach ballastiert und vollbeladenem Zustand, was zu einem sehr unterschiedlichen Ansatz der Ersatzflächen (A_L und A_T) führte gegenüber einer Abschätzung der Windangriffsfläche nach EAU 2004, welche aus dem Produkt der „Länge über Alles“ und der max. Freibordhöhe ohne Aufbauten und Ladung besteht.

Ein weiterer, jedoch maßgebender Unterschied besteht in der angesetzten Formel bzw. den verwendeten Koeffizienten.

So gehen in die OCIMF neben dem Quadrat der Windgeschwindigkeit, der Luftdichte und der angeströmten Fläche ein in Versuchen ermittelter Formbeiwert ein, welcher den Einfluss der Windangriffsrichtung auf Schiffshüllen berücksichtigt.

Die EAU 2004 hingegen gibt auf Erfahrungswerten basierende Last- und Exzentrizitätskoeffizienten an, welche neben einem zusätzlichen Wichtungsfaktor die angreifende Windrichtung berücksichtigt, nähere Angaben zum Einfluss der Form oder auf welchen Daten diese Faktoren basieren werden nicht angegeben. Beim Vergleich der Ergebnisse sollte zudem darauf geachtet werden, dass die Lasten in longitudinaler und transversaler Richtung in der EAU 2004 ausmittig vom Schwerpunkt angesetzt werden, dass dabei entstehende Moment kann auf Basis der angegebenen Exzentrizitätskoeffizienten für den jeweiligen Schiffstyp ermittelt werden.

Ein direkter Vergleich der Ermittelten Werte zeigt daher starke, auch größenordnungsmäßige, Abweichungen zu einem deutlich konservativen Ansatz der Lasten entsprechend der OCIMF.