

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 1 von 77

Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen

10. Ausgabe	09	14.02.2024	P. Roux	J. de Groot	J. de Groot	
9. Ausgabe	08	14.09.2023	P. Roux	J. de Groot	J. de Groot	
8. Ausgabe	07	31.08.2023	N. Werner	A. Rosponi	J. de Groot	komplette Überarbeitung
7. Ausgabe	06	19.06.2023	N. Werner	A. Rosponi		Updates
6. Ausgabe	05	06.06.2023	N. Werner	A. Rosponi		Updates
5. Ausgabe	04	16.05.2023	N. Werner	A. Rosponi		Updates
4. Ausgabe	03	05.05.2023	N. Werner	J. Maas D. Philippi A. Rosponi		komplette Überarbeitung
3. Ausgabe	02	20.02.2023	K. Burchard	J. Maas A. Krug		Deutsche Übersetzung
2. Ausgabe	01	09.12.2022	J. Maas	A. Krug A. Rosponi	J. de Groot	-
1. Ausgabe	00	11.11.2022	J. Maas A. Krug	D. Philippi J. Maas A. Rosponi	J. de Groot	-
Status	Rev.	Datum	Erstellt von	Geprüft von	Genehmigt von	Bemerkung

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 2 von 77

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Allgemein	6
1.2	Arbeitsumfang	7
1.3	Abkürzungen	7
1.4	Referenzdokumente	7
2	Normen und Richtlinien	9
3	Definitionen, Abkürzungen und Einheiten	11
3.1	Projektspezifische Definitionen	11
3.2	Dokumentenspezifische Abkürzungen	12
3.3	Einheiten	14
4	Funktionale Anforderungen	15
4.1	Standort	15
4.2	Modellschiffe	16
4.2.1	FSRU	16
4.2.2	LNG Tanker	18
4.3	Anzahl der LNGC-Anlaufvorgänge	19
4.4	Allgemeiner Anforderungen zum Liegeplatz	20
4.4.1	Vertäuungskonfiguration	21
4.5	Anlegedetails	21
4.6	Schiff-zu-Schiff-Operationen	22
4.7	Wendebecken und Anlegeanfahrt	24
4.8	Erforderliche Wassertiefe	25
4.8.1	Liegeplatz	25
4.8.2	Anlegeanfahrt und Wendebecken	25
4.9	Sedimentation	26
4.10	Sicherheitszone und Sperrzone	26
4.11	Seeverkehr	27
4.12	Weitere Anforderungen an Terminal, Plattformen, Dalben und Laufstege	28
5	Allgemeine Projektbeschreibung	29
5.1	Übersicht des Liegeplatzes / FSRU Terminal Layout und Hauptbestandteile	29
5.2	Beschreibung der Dalben mit Plattformen	31
5.3	Beschreibung der Brücken	38

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 3 von 77

5.4	Beschreibung der Gründungen	39
5.5	Ausbaggerung	40
5.5.1	Allgemeine Erläuterungen zu Baggerarbeiten	40
5.5.2	Ausbaggerung für den Kolkschutz und die Installation von Monopiles	40
5.5.3	Baggerumfang	42
5.5.4	Wartungsbaggerung	42
5.6	Kolksicherung	42
6	Design-Anforderungen	45
6.1	Allgemein	45
6.2	Referenzebenen und Koordinatensystem	45
6.3	Bemessungslebensdauer	45
7	Lasten und Lasteffekte	46
7.1	Allgemeines	46
7.2	Permanente Lasten (G)	46
7.3	Veränderliche Lasten (Q)	46
7.4	Außergewöhnliche Lasten (A)	46
7.5	Personenzahl / Verkehrslasten	47
7.6	Fender-Lasten	47
7.7	Mooring-Lasten / Hakenlasten	49
7.8	Riser Hang-Off Lasten	51
7.9	Treppenturm und Gangway Support-Lasten	52
7.10	Notunterkunft bzw. Sammelplatz	54
7.11	Ponton	54
7.12	Davit Kran	54
7.13	E&I Container	56
7.14	Seekabel und J-Tube	57
7.15	High Level Lightning Lasten	58
7.16	Umweltbedingungen	59
7.16.1	Wasserstände	59
7.16.2	Strömungsgeschwindigkeit	60
7.16.3	Winddaten	61
7.16.4	Wellendaten	63
7.16.5	Meerwasser Eigenschaften	65
7.16.6	Lufttemperatur	65

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 4 von 77

7.16.7	Meeresbewuchs	66
7.16.8	Schneelasten.....	67
7.16.9	Eislasten	67
7.16.10	Treibeis	67
7.16.11	Erdbebenlasten	67
7.16.12	Geotechnische Information	68
7.17	Kolkschutz	68
7.18	Decksebenen / Höhen.....	68
7.19	Wasserwechselzone	70
7.20	Korrosionszuschlag - Stahl.....	70
8	Materialien.....	71
8.1	Baustahl.....	71
8.2	Beton	71
8.3	Grating / Gitterroste.....	71
9	Berechnungsmethoden und Nachweisformate.....	72
9.1	Allgemein.....	72
9.2	LRFD Methode	72
9.3	Allgemeine Design-Last / Entwurfslast.....	72
9.4	Allgemeine Design-Widerstände.....	73
9.5	Strukturelle Nachweisführung	73
9.5.1	Allgemeines.....	73
9.5.2	Begrenzung der Verformung	73
9.5.3	Begrenzung der Eigenfrequenzen	73
9.6	Geotechnische Nachweisführung	74
9.6.1	Allgemeines.....	74
9.6.2	Rammpbarkeit	74
9.6.3	Laterale Tragfähigkeit.....	75
9.6.4	Axiale Tragfähigkeit.....	75
10	Lastkombinationen und Lastfaktoren	76
10.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Strukturelle Nachweise	76
10.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Gründungsnachweise	76
10.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS).....	76
10.4	Widerstandsfaktoren	76

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 5 von 77

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 6 von 77

1 Einleitung

1.1 Allgemein

Im September 2022 trat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) an die Tree Energy Solutions GmbH (TES) heran, mit der Anfrage für eine gemeinsame Umsetzung eines schwimmenden Terminals für den Import von Flüssigerdgas (LNG). Im Februar 2023 hat das BMWK die schwimmende Speicher- und Regasifizierungseinheit (FSRU) „Excelsior“ für eine Dauer von maximal 60 Monaten gechartert. Die Realisierung des Projekts soll in Kooperation mit ENGIE erfolgen. Als Sponsor für das Projekt wurde die „FSRU Wilhelmshaven GmbH“ gegründet.

Der KUNDE (ENGIE/TES) hat einen Vertrag mit IMDC. Dieser sieht technische Unterstützung durch IMDC für die Meeresarbeiten sowie für Modellierungsstudien vor, die in den Genehmigungsantrag einfließen werden.



Abbildung 1-1: Überblick Projektierungsfläche (Google Earth)

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 7 von 77

1.2 Arbeitsumfang

Dieses Dokument liefert einen erläuternden Bericht über Art, Umfang, Zweck sowie Berechnungsvorgaben des geplanten Vorhabens im Hinblick auf die geplanten Gründungsstrukturen /Dalben, Plattformen und Verbindungsbrücken.

Es enthält alle für den Entwurf relevanten Entwurfsgrundlagen.

Dieses Dokument wird als wachsendes Dokument betrachtet, was bedeutet, dass während des Design-Prozesses Änderungen und / oder Verbesserungen (z.B. aufgrund fortschreitender Erkenntnisse in der Detailentwurfsphase) vorgenommen werden können.

1.3 Abkürzungen

In Kapitel 3 befindet sich eine komplette Liste aller Abkürzungen, Definitionen und Einheiten, die in diesem Dokument verwendet werden.

1.4 Referenzdokumente

Dieses Dokument basiert auf den folgenden Referenzdokumenten

- [1.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2014_Bericht über die Umgebungsverhältnisse, 2023
- [2.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2013; „Allgemeine Layout Zeichnung; 2024-02-13
- [3.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC -2002.02; „Preliminary Building Description“; 2023-02-20
- [4.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2036.09; „Strukturzeichnung Pfähle / Structural Drawing Dolphin Piles“,
- [5.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2030.01; „Strukturzeichnung Anlege- und Ankerdalben / Structural Drawing Dolphin Topsides“, 2023-02-20
- [6.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2032.01; „Strukturzeichnung Brücken / Structural Drawing Bridges“, 2023-02-20
- [7.] Meeting zwischen mit IMDC / OV / Van Oord / TE; „Wilhelmshaven - Design/Engineering coordination“; 2023-04-26
- [8.] Fugro; „CPT Daten pro Dalben Position“; data 2022-12-16
- [9.] Mampaey; „Datasheet Quick Release Hooks“; June 2023
- [10.] ECONNECT Energy; 2020-ECO-O-RB-0005_1; „Riser Hang-off Load Summary Rev 2“; 2023-07-27
- [11.] TEB, 0101-000083-01 Rev. 1 & 0200-000567-01 Rev. 1; „gangway and stair tower drawings“, 2023-07-13
- [12.] TEB, 0003561-01-FLC Rev. 1; „TELESCOPIC ACCESS GANGWAY FOR WILHELMSHAVEN FSRU Foundation Loads Calculation“, 2023-07-20
- [13.] NEXANS; „Datenblatt für Seekabel waterlink – fere 1,8 / 3kV“; 2023
- [14.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2021; „Dynamic Mooring Assessment Report“,
- [15.] IMDC; „Bearthing and Mooring Design Loads“; 2023-06-23

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 8 von 77

- [16.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2015_Morphologische Studie; 2023
- [17.] Dutch-German Exchange (DGE) on Dredged Material. – Part 4 – Status of ecological assessment of dredging and relocation sites in Germany and The Netherlands, December 2006
- [18.] GÜBAK-WSA (2009) Gemeinsame Übergangsbestimmungen zum Umgang mit Baggergut in den Küstengewässern
- [19.] IMS (2009). Kohlekraftwerk Wilhelmshaven - Neubau der Kühlwasserentnahme Ausschreibungsunterlage Anhang 4 zur Baubeschreibung: Witterungsverhältnisse und Revierbedingungen.
- [20.] LNG Terminal WHV technical paper: Morphodynamics, scour development, dredging as well as hydromorphological impact area assessment and preservation of evidence, IMP Engineers, 25 May 2022
- [21.] Mai S., Daemrich K.-F. & Zimmermann C. (2000). Seegangsbedingungen und Wellenüberlauf an der geplanten Kaianlage JadePort, Wilhelmshaven. HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen.
- [22.] Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt, Wilhelmshaven. Oktober 2022. Wasserstände an den Wasserstandsmessstellen des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes Weser-Jade-Nordsee, Standort Wilhelmshaven
- [23.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2021_Bewertung dynamischer Vertäuuungsberechnung; 2023
- [24.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENC-DOC-2018_Nautische Risikobewertung, 2023
- [25.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2015_Morphologische Studie; 2023
- [26.] Nautitec 2023, TES - FSRU Import Terminal- Abschlußbericht 1, LNG FSRU Import Terminal Wilhelmshaven Abschluss Bericht (V2.0)
- [27.] ACP Geptechnik; 23A012.00.00 Rev.0.1; „Geotechnischer Bericht – Anlegestelle (Jetty)“, 10/2023
- [28.] TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2201.00_DMC Bemessungsgrundlage Ponton-Anlage

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 9 von 77

2 Normen und Richtlinien

Die folgenden Normen und Richtlinien werden für das Projekt berücksichtigt:

- [I.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1990, „Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung“; 2021-10
- [II.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991, „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“; 2010-12
- [III.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991-1-4/NA, „Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; 2010-12
- [IV.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991-1-3/NA, „Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten“; 2019-04
- [V.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1993, „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau“; 2010-12
- [VI.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1993, „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 3: Brücken“; 2016
- [VII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1993-1-8; “Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of Joints (includes Corrigendum AC:2009)”; 2010-12
- [VIII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 14122-2; „Sicherheit von Maschinen – ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege“; 2016
- [IX.] API RP 2GEO; “Geotechnical and Foundation Design Considerations”; 2014-10
- [X.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1997-2, „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung der Baugründe“; 2010-10
- [XI.] Deutsches Institut für Normung; DIN 18088-1; „Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen - Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen“; 2019-01
- [XII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1090-2; „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken“; 2018-09
- [XIII.] Deutsches Institut für Normung; DIN SPEC 18088-13; „Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen - Teil 13: Ausführung von Offshore-Stahlbauten“; 2019-12
- [XIV.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN ISO 13920; „Schweißen - Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen - Längen- und Winkelmaße; Form und Lage“; 1996-11
- [XV.] OCIMF MEG4, „Mooring Equipment Guidelines“; 2008
- [XVI.] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUV); TRAS 310; „Grundlagen für die Technische Regel für Anlagensicherheit - Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser“; 01-2013

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 10 von 77

- [XVII.] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUV); TRAS 320; „Technische Regel für Anlagensicherheit - Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten“; 05-2016
- [XVIII.] NBauVorIVO, „Niedersächsische Bauvorlagenverordnung“; 2022-01
VORIS NBauVorIVO | Landesnorm Niedersachsen | Gesamtausgabe | Niedersächsische Verordnung über Bauvorlagen sowie baurechtliche Anträge, Anzeigen und Mitteilungen (Niedersächsische Bauvorlagenverordnung - NBauVorIVO) vom 23. November 2021 | gültig ab: 01.01.2022 (nds-voris.de)
- [XIX.] EAU 2020, „Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen“, 12.Auflage, 2021
- [XX.] Arbeitskreis Pfähle von der Detuschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT); „Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle EA-Pfähle“, 2012
- [XXI.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 14122-2; „Sicherheit von Maschinen – ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege“; 2016
- [XXII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN ISO 14122-3; “Sicherheit von Maschinen- Treppen, und Geländer“; 2016
- [XXIII.] BauA / BundesAusschuss für Arbeitsstätten – „ASR A1.8 – Technische Regeln für Arbeitsstätten – Verkehrswege“, 11-2012
- [XXIV.] BauA / BundesAusschuss für Arbeitsstätten – „ASR A2.3 – Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan“, 08-2007
- [XXV.] ISO 10137, „Berechnungsgrundlagen für Bauten - Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden und Stegen bei Vibrationen“, 11-2007
- [XXVI.] Ziegler Consultants, „Bemessung von Fussgängerbrücken für dynamische Lasten“
- [XXVII.] Alm/Hamre; Paper: “Soil model for pile driveability predictions based on CPT interpretations”; 2001
- [XXVIII.] Alm/Hamre; Paper: “Soil model for driveability predictions”; 1998
- [XXIX.] BS6349 British Standard Code of Practice for Marine Structures (Britischer Standard-Verhaltenskodex für Meeresstrukturen)
- [XXX.] API RP 2A Recommended Practice for Offshore Platforms (Empfohlene Praxis für Offshore-Plattformen)
- [XXXI.] PIANC Report no 116-2012 Safety aspects affecting the berthing of tankers to oil and gas terminals
- [XXXII.] PIANC Report no 153-2016 Recommendations for the design and assessment of marine oil and petrochemical terminals
- [XXXIII.] SIGGTTO (2004) Information paper No 14 Site selection and design for LNG Ports and Jetties
- [XXXIV.] SIGGTTO (2013) Ship to ship transfer guide

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 11 von 77

3 Definitionen, Abkürzungen und Einheiten

3.1 Projektspezifische Definitionen

Die folgende Tabelle listet alle Begriffe und ihre Definitionen auf, die in diesem Dokument verwendet werden.

Tabelle 3-1: Projektspezifische Definitionen

Begriff	Beschreibung
AUTHORITY (CA)	Certifying Authority / Klassifizierungsbehörde
COMPANY / CLIENT / KUNDE	ENGIE and TES
CONTRACTOR / Auftragnehmerr	Zuschlagsempfänger für den EPC-Umfang (inkl. Verladung, Transport und Installation)
FABRICATION-YARD (FY)	Assigned Yard for Construction / Ausführende Werft oder Stahlbaubetrieb
SUB-CONTRACTOR / Unterauftragnehmer	Jedes Unternehmen oder jede Person, die vom EPC-CONTRACTOR oder FABRICATION YARD mit der Durchführung eines Teils des Projekts beauftragt wurde.
IMDC	INTERNATIONAL MARINE AND DREDGING CONSULTANTS
OV	Tractebel Overdick GmbH (Designer)
TES	Tree Energy Solutions Belgium BV (Konsortionalpartner mit ENGIE), Hier: Kunde
SUPPLIER / Lieferanten	Partei(en) / Lieferanten, die für die Herstellung und/oder Lieferung von Materialien, Ausrüstung, technischen Dokumenten/Zeichnungen und Dienstleistungen verantwortlich sind, um die vom UNTERNEHMEN festgelegten Aufgaben zu erfüllen

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 12 von 77

3.2 Dokumentenspezifische Abkürzungen

Folgende Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

Tabelle 3-2: Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
AFC:	Approved For Construction / Geprüft für den Bau
ALS:	Accidental Limit State / Außergewöhnliche Lastfallkombination
B:	Bridge / Brücke
BD:	Berthing Dolphin / Anlegedalben
BOS:	Bottom of Steel / Unterkante Stahlbau
CC:	Consequence Class / Konsequenz-Klasse
CD:	Chart Datum / Seekartennull
DIN:	Deutsches Institut für Normung
EC:	Eurocode
EN:	Europäische Norm
EPC:	Engineering, Beschaffung und Konstruktion
FEED:	Front End Engineering Design / Vorfeld Planung
FLS:	Fatigue Limit State / Grenzzustand der Ermüdung
FRSU:	Floating Storage and Regasification Unit
HAT:	Highest Astronomical Tide / Höchster Gezeitenwasserstand
HGzw:	Höchster Gezeitenwasserstand
HSE:	Health Safety Environment / Gesundheits- und Sicherheitsumgebung
HThw:	Höchster Tide-Hochwasserstand (Surge Level Max.)
IC:	Installation Contractor / Auftragnehmer Installation
ISO:	International Organization for Standardization / Internationale Organisation für Normung

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 13 von 77

Abkürzung	Beschreibung
LAT:	Lowest Astronomical Tide / Niedrigster Gezeitenwasserstand = SKN
LNG:	Liquid Natural Gas / Flüssiggas
LRFD:	Load and Resistance Factored Design / Design mit Teilsicherheitsfaktoren auf Last- und Widerstandsseite
MD:	Mooring Dolphin / Ankerdalben
ML:	Mudline / Meeresboden
MLS:	Mudline Suspension / Meeresboden Suspension
MSL:	Mean Sea Level / Mittlerer Meeresspiegel
MWS:	Marine Warranty Surveyor / Sachverständiger für Schiffs-Versicherer
NTnw:	Niedrigster Tide-Niedrigwasserstand
QA/QC:	Quality Assurance / Quality Control / Qualitätssicherung / Qualitätskontrolle
QRH:	Quick Release Hook / Schnell-Löse-Haken
QQRH	Quadruple Quick Release Hook / Vierfacher Schnell-Löse-Haken
RAM:	Responsibility Assignment Matrix / Verantwortungszuordnungsmatrix
SKN:	Seekartennull = LAT
SLS:	Serviceability Limit State / Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
SoW:	Scope of Works / Arbeitsumfang
Spec / SPE:	Specification / Spezifikation
SWL:	Safe Working Load / Sichere Arbeitslast
TQRH/ QQRH	Triple Quick Release Hook / Dreifacher Schnell-Löse-Haken
T&I:	Transport & Installation
ULS:	Ultimate Limit State / Grenzzustand der Tragfähigkeit
U.N.O:	Unless Noted Otherwise / wenn nicht anders angegeben

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 14 von 77

Abkürzung	Beschreibung
UTM:	Universal Transversaler Mercator
WGS:	World Geodetic System / Weltweit Geodätisches System
WP:	Work Packages / Arbeitspakete

3.3 Einheiten

In diesem Dokument werden die internationalen SI-Einheiten verwendet. Die folgenden Einheiten werden in allen durchgeführten Analysen verwendet, sofern nicht anders angegeben:

Tabelle 3-3: Einheitendefinitionen

Parameter	Beschreibung	Eingabe Einheit
Länge	Meter oder Millimeter	m oder mm
Masse	Metrische Tonne	t
Spannung	Megapascal	MPa
Kraft	Kilo Newton	kN
Temperatur	Grad Celsius	°C
Energie	Joule	J
Dichte	Kilogramm je Kubik Meter	kg/m ³

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 15 von 77

4 Funktionale Anforderungen

4.1 Standort

Das geplante FSRU-Kurzzeiterminal wird am Westufer der Jade bei Voslapper Groden Süd errichtet. Der strenge Zeitplan zielt darauf ab, die Serviceeinrichtung bereitzustellen, um bereits im Winter 2023/2024 mit dem Import von LNG zu beginnen. Ein FSRU von 138.000 m³ wird für die kommenden < 5 Jahre an der neuen Anlegeeinrichtung (bestehend aus Anlege- und Ankerdalben) festgemacht, um bis zu 180.000 m³ LNG von LNG-Tanker zu erhalten. Die LNG-Importanlage wird über eine Rohrleitung auf dem Meeresboden zur Küstenstation verbunden. Der Projektstandort ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

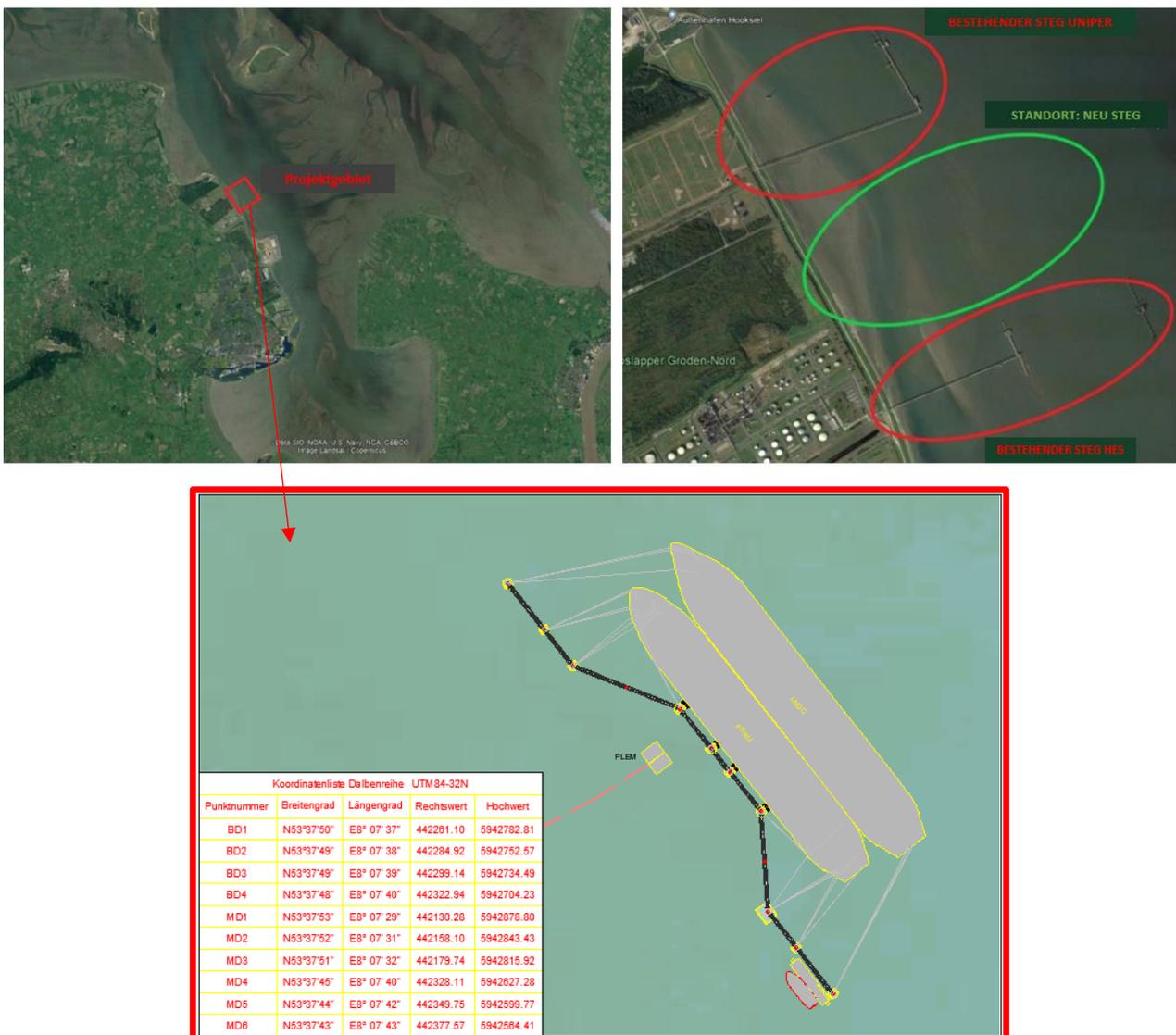


Abbildung 4-1: Übersichtsplan Liegeplatz, ref [1.]

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 16 von 77

4.2 Modellschiffe

4.2.1 FSRU

Die für das Projekt in Betracht zu ziehende FSRU ist die Excelsior (138.000 m³) von Excelebrate Energy. Ihre Hauptmerkmale sind in Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1 FSRU-Hauptmerkmale der FSRU in Ballast und beladenem Zustand

Parameter	Einheit		Excelsior	
Typ			FSRU	
Kapazität (100 %)	m ³		138.000	
Länge über alles	Lüa	m	277,0	
Länge zwischen den Loten	Lpp	m	266,0	
Breite (gemallt)	B	m	43,4	
Seitenhöhe bis Hauptdeck (gemallt)	D	m	26,0	
Ladezustand in der Studie			in Ballast	beladen (maximaler Tiefgang)
In der Studie verwendeter Tiefgang	T	m	9,18	12,32
Verdrängung	Δ	t	78.165	108.832
Transversale metazentrische Höhe (korr.)	GM _T	m	11,7	2,46
Longitudinale metazentrische Höhe (korr.)	GM _L	m	484,1	441,6
Trägheitsradius Rollen in der Luft	k _{xx}	m	17,4	13,3
Trägheitsradius Stampfen in der Luft	k _{yy}	m	68,8	61,5
Trägheitsradius Gieren in der Luft	k _{zz}	m	68,8	61,5
Windabweichung längsschiffs	Aw _x	m ²	1.466	1.329
Windabweichung querschiffs	Aw _y	m ²	7.286	6.446

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 17 von 77

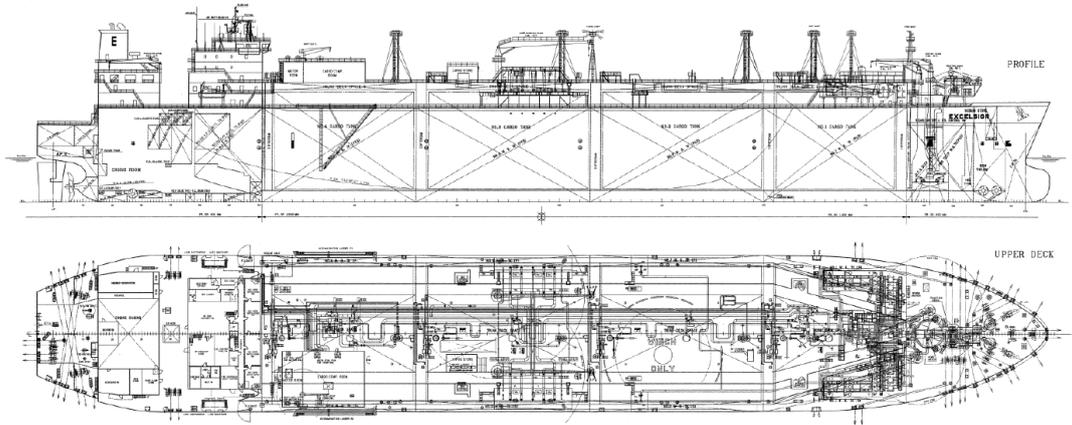


Abbildung 4-2: Dispositionszeichnung FSRU Excelsior (Quelle: Excelerate)



Abbildung 4-3: FSRU Excelsior von Excelerate Energy (Baujahr 2005). Foto: Excelerate Energy

		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen		Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 18 von 77	

4.2.2 LNG Tanker

Alle LNG-Tanker von 138.000 m³ bis 180.000 m³ in der Lage sein, längs der FSRU festzumachen. Folgende Fälle sind zu berücksichtigen:

- eine FSRU mit einem LNG-Tanker mit Membrantanks, 138.000 m³;
- eine FSRU mit einem LNG-Tanker vom Typ MOSS, 138.000 m³;
- eine FSRU mit einem LNG-Tanker mit Membrantanks, 177.200 m³;
- eine FSRU mit einem LNG-Tanker vom Typ MOSS, 177.200 m³.

Die evaluierten Szenarien umfassen sowohl einen ballastierten Zustand (an der beladenen FSRU festgemacht) als auch einen beladenen Zustand (an der mit Ballast versehenen FSRU festgemacht).

Typische LNG-Tanker mit Kapazitäten in der Größenordnung von ~180.000 m³ werden in Tabelle 4-2 vorgestellt.

Tabelle 4-2: Hauptmerkmale des LNG-Tankers in Ballast und beladenem Zustand

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

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 19 von 77

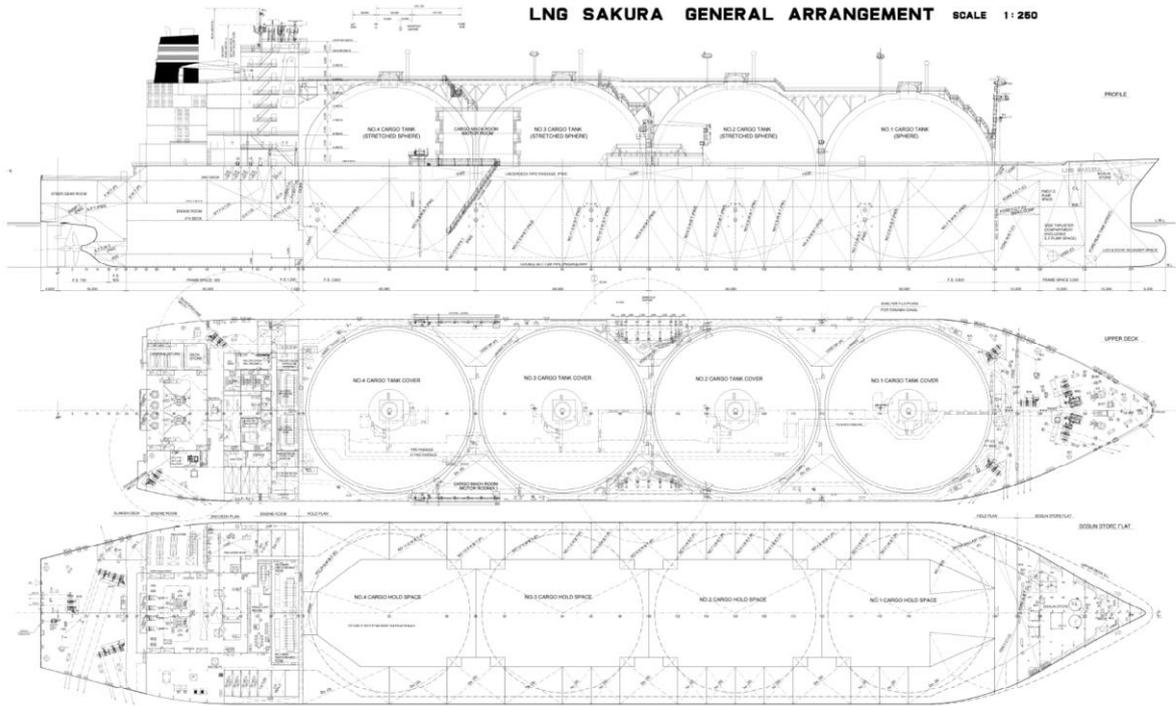


Abbildung 4-4 Dispositionszeichnung LNG-Tanker mit Kugeltank (Moss) 177 Tsd.

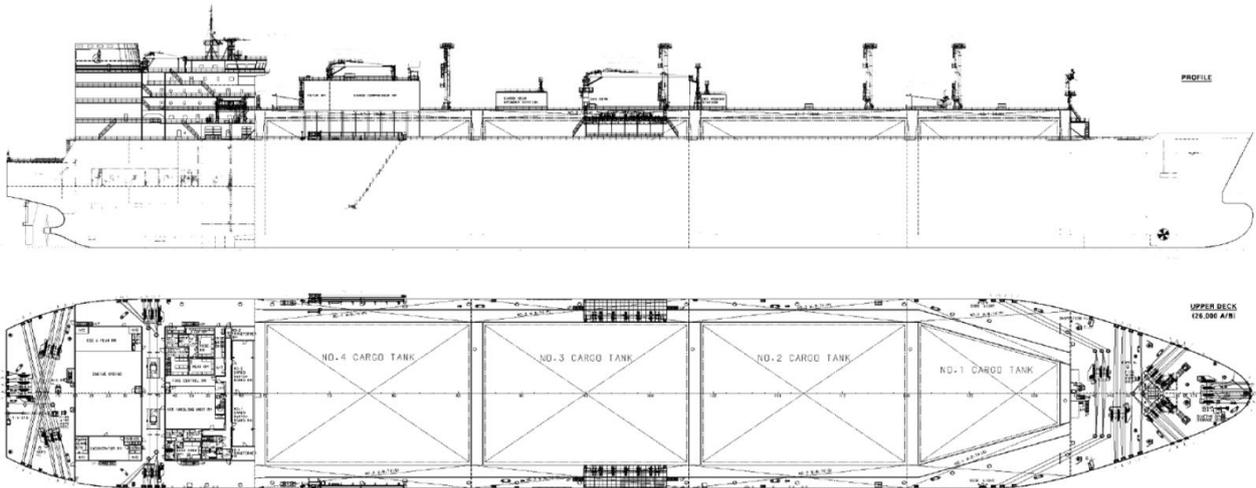


Abbildung 4-5: Dispositionszeichnung LNG-Tanker mit Membrantank 170 Tsd.

4.3 Anzahl der LNGC-Anlaufvorgänge

Es ist geplant, dass LNG Tanker wöchentlich das FSRU-Terminal anlaufen werden. Die Entladezeit während des Schiff-zu-Schiff-Betriebs liegt in der Größenordnung von 24 bis 48 Stunden.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 20 von 77

4.4 Allgemeiner Anforderungen zum Liegeplatz

Es ist vorgesehen, dass die FSRU maximal fünf (5) Jahre am festen Liegeplatz verbleibt. Bei einer dauerhaften Verankerung sollte der Auslegung ein extremes Wetterereignis mit einer Wiederkehrperiode von 1/100 Jahr zugrunde gelegt werden. Wenn es nicht möglich ist, die FSRU während der 1/100-Jahres-Bedingungen sicher festzumachen, müssen einschränkende Bedingungen für den sicheren Aufenthalt am Liegeplatz festgelegt werden.

Ein typisches Layout ist in Abbildung 4-6 dargestellt. Das Layout besteht aus 6 Ankerdalben und 4 Anlegedalben. Die OCIMF-Richtlinien empfehlen, dass der Fenderabstand zwischen $0,25$ und $0,4 \times \text{LOA}$ ($0,3$ für Standardlayout) für die gesamte Palette von Schiffen liegen sollte.

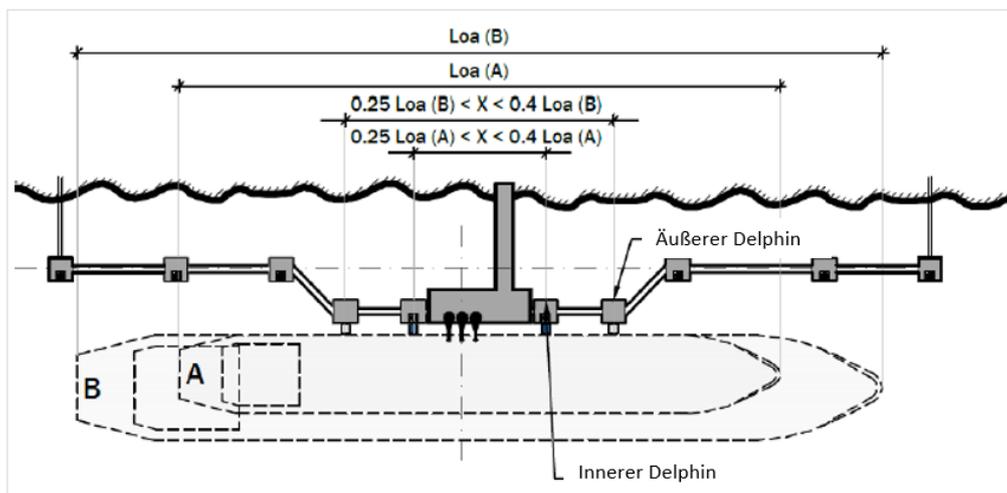


Abbildung 4-6: Typisches Layout einer LNG-Anlegestelle (PIANC, 2016)

Die effektiven Fenderabstände (laut OCIMF zwischen $0,25 \times \text{Loa}$ und $0,40 \text{ LOA}$), sollten somit zwischen den folgenden Werten liegen:

- Für einen typischen LNG-Tanker (180.000 m^3) mit $\text{Lüa} = 300 \text{ m}$:
 - Mindestabstand: $0,25 \times 300 \text{ m} = 75 \text{ m}$
 - Maximaler Abstand: $0,40 \times 300 \text{ m} = 120 \text{ m}$

- Für ein typisches FSRU-Schiff (138.000 m^3) mit $\text{LOA} = 277 \text{ m}$:
 - Mindestabstand: $0,25 \times 277 \text{ m} = 69,3 \text{ m}$
 - Maximaler Abstand: $0,40 \times 277 \text{ m} = 110,8 \text{ m}$

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 21 von 77

4.4.1 Vertäuungskonfiguration

Die Positionen der 6 Ankerdalben (MD) und der 4 Anlegedalben (BD) des Terminals sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Position der Dalben ist sowohl für das 180.000-m³-Schiff als auch für die FSRU vorgesehen.

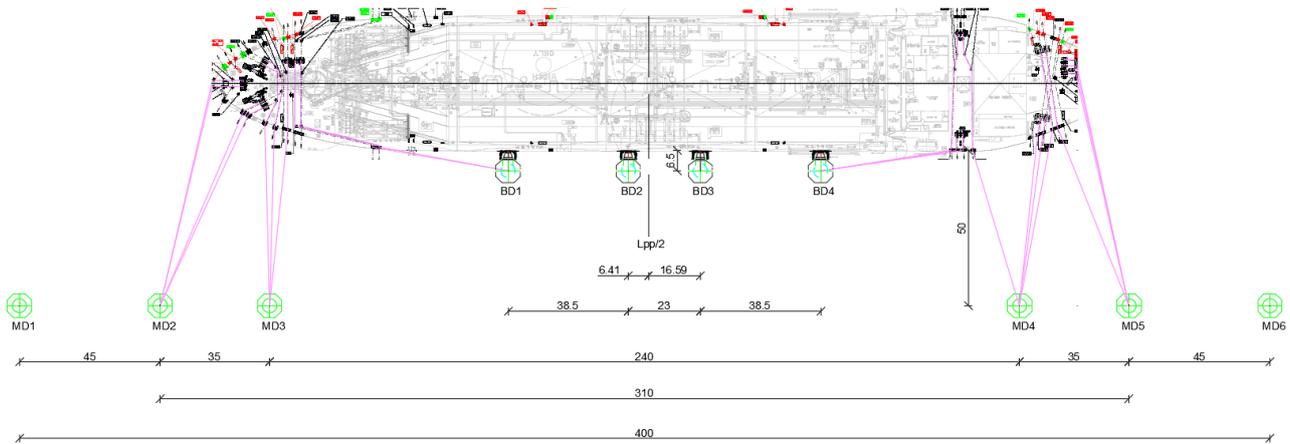


Abbildung 4-7: Vertäuungslayout für die FSRU

4.5 Anlegedetails

Der Ankerhaken (Quick Release Hook: QRH) wird mit integrierten Capstan-Winden ausgestattet. Die Capstan-Winden ermöglichen ein sicheres und effizientes Einholen der Festmacherleine.



Abbildung 4-8: QRH mit integrierter Capstan-Winde

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 22 von 77

Jede Festmachereinheit wird mit einem lokalen elektrischen Verschlussystem ausgestattet, das es ermöglicht, die Haken aus der Ferne zu entriegeln.

Die Schnellverschluss-haken können von einem Fernsteuerpult gelöst werden, das sich im Kontrollraum von FSRU Cargo befinden wird. Aus Sicherheitsgründen ist es nicht möglich, mehrere Haken gleichzeitig zu entriegeln.

Die Schnellverschluss-haken werden mit Wägezellen ausgestattet, um die Last in jedem Haken kontinuierlich zu messen. Die Festmacherlasten und Alar-me können auf verschiedene Arten angezeigt und aufgezeichnet werden. Das Festmacherlastüberwachungssystem kann auch in ein Anlegehilfesystem integriert werden. Alle Daten werden in einem einzigen System überwacht, das im Überwachungsraum des FSRU-Cargo-Kontrollraums verfügbar sein wird.



Abbildung 4-9: Festmacher-Lastüberwachungssystem und Wägezelle

4.6 Schiff-zu-Schiff-Operationen

Bei der gemeinsamen Operation von FSRU und LNGC, auch bekannt als Double Banking, machen zwei Schiffe (LNGC) längs einem Schiff (FSRU) fest, das bereits an einem Steg festgemacht ist. Die Voraussetzungen für Double Banking sind:

- Sichere An- und Abfahrtverfahren
- Integrität des Liegeplatzes, einschließlich Fenderplatten und Festmachervorrichtungen im Hinblick auf die potenziellen Belastungen
- Persönlicher Zugang, einschließlich Notausstiegsvorkehrungen für das Personal auf allen beteiligten Schiffen
- Management der Betriebssicherheit;
- Notfallplanung, Brandbekämpfung und Notablegen.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 23 von 77



Abbildung 4-10: Double Banking (links) LNG STS Transfer (rechts) Quelle: STS-Transferleitfaden (CDI/ICS/OCIMF/SIGTTO)

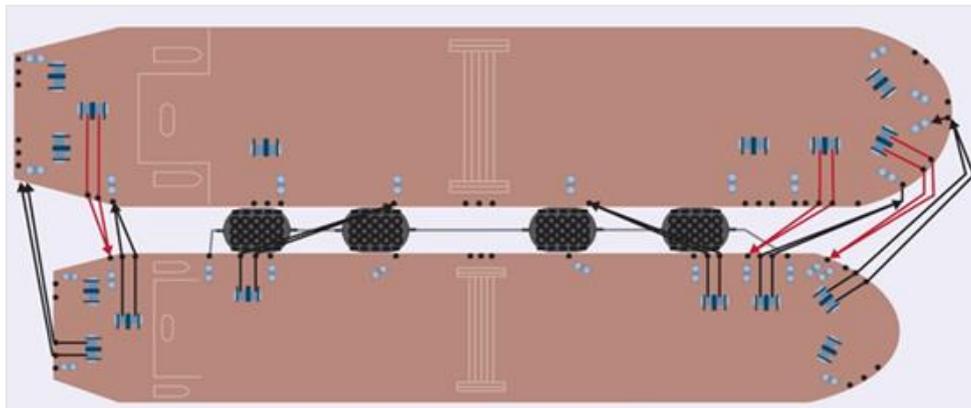


Abbildung 4-11: Beispiel eines STS-Anlegeplans (Quelle STS-Transferleitfaden (CDI/ICS/OCIMF/SIGTTO))

Der für einen gemeinsamen FSRU/LNGC-Betrieb angenommene Festmacherplan hängt von der Größe jedes Schiffes und dem Unterschied zwischen ihren jeweiligen Größen, dem erwarteten Unterschied in Freibord und Verdrängung, den erwarteten Gezeiten- und Wetterbedingungen und der Effizienz der verfügbaren Festmacherleinen ab.

Folgendes ist zu beachten:

- Der ausgebaggerte Manövrierbereich und die Anlegestelle mit festgemachter FSRU sind für LNG-Tanker mit 180.000 m³ (Lüa 300 m) zugänglich;
- Die FSRU-Liegeplätze sind aus Sicherheitsgründen an der Flutströmung ausgerichtet (Richtung NNW 321,8°) ;
- Ein LNGC mit einer Lüa der Schiffskonstruktion kann in einer elliptischen Form mit einem Wendebereich von 600/900 m wenden;
- Der LNG-Tanker legt an der Backbordseite an der FSRU an in Richtung NNW (321,8 °) in Flutströmung oder schwacher Ebbeströmung.

Um die Risikobewertung des Umladeorts zu unterstützen, muss eine Vertäuungsanalyse durchgeführt werden, die den Bereich der Schiffsgrößen modelliert, die den gemeinsamen FSRU/LNGC-Betrieb durchführen sollen.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 24 von 77

Die Ergebnisse der Verankerungsanalyse sollten verwendet werden, um Folgendes zu bestimmen:

- Sichere Umgebungsbetriebsgrenzen;
- Auswahl und/oder Konfiguration von Festmachersystemkomponenten zur Maximierung ihrer Wirksamkeit;
- Auswahl und Montage von Fendern, um ihre Wirksamkeit zu maximieren.

An der FSRU sind 5 schwimmende Jumbo-Fender (50 kPa) von 9,0 x 4,5 m Radius angebracht (4 werden benötigt, 1 ist Reserve). Diese haben eine Nennreaktionskraft von 5.747 kN bei 60 % Durchbiegung (=2,70 m). Die "Baby-Fender" werden an den äußersten Enden (Bug und Heck) des FSRU-Schiffes angebracht.



Abbildung 4-12: Beispiel pneumatischer Fender

4.7 Wendebecken und Anlegeanfahrt

Die Abmessungen des Wenderadius basieren auf den SIGTTO- und PIANC-Richtlinien für Gastanker. Unter Berücksichtigung der Tideströmungsrichtung hat der Wendebereich eine elliptische Form mit einem Durchmesser von 600 m (2*LOA) in Querrichtung zur Strömung und 900 m (3*LOA) in Strömungsrichtung.

Die Abmessungen wurden in der Navigationsstudie durch Echtzeit-Navigationssimulationen validiert, siehe Ref. [26.]

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 25 von 77

4.8 Erforderliche Wassertiefe

4.8.1 Liegeplatz

Die FSRU gilt als Langzeitliegeplatz. Das bedeutet, dass die nautische Tiefe ausreichend sein muss, damit das FSRU auch unter extremen Bedingungen entsprechende Bewegungsfreiheit hat. Die Mindestwassertiefe ist - 13,5 m SKN plus 0,5 m Sicherheitszuschlag.

4.8.2 Anleganfahrt und Wendebecken

Der Tiefwasserbereich des Wilhelmshavener Hafens ist mit einer mit Bojen versehenen Fahrrinne für großen Tiefgang mit einer Tiefe von SKN -17,6 m mit dem Meer verbunden. Dieser Kanal bietet eine ausreichende Tiefe für die Modellschiffe. Der Bereich, in dem die LNG-Tanker gewendet werden, befindet sich auf der Ostseite der geplanten neuen Landungsbrücke.

Das Manövrierbecken sollte tief genug sein, um das Wenden aller LNG-Tanker zu ermöglichen, die voraussichtlich längsseits der FSRU anlegen werden, einschließlich des Manövrierens der FSRU selbst. Die zur Verfügung stehende Daten für verschiedenen LNGC-Tanker sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

Tiefeigenschaften	FSRU	138.000 m ³ LNG-Tanker mit Membrantanks	170.000 m ³ LNG-Tanker mit Membrantanks	138.000 m ³ MOSS LNG-Tanker	180.000 m ³ MOSS LNG-Tanker
Modellschiff (Tiefgang, beladen) [m]	12,3	12,3	11,6	11,5	11,5
Brutto-Kielfreiheit (GUKC) [m]	1,2	1,2	1,9	2	2
Vorgesehene Tiefe [m]	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Vorgezogene Wartung [m]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mindest-Baggertiefe [m]	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Toleranz für Baggerarbeiten [m]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Maximale Baggertiefe [m]	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5

Die Mindest-Baggertiefe des Manövrierbeckens zum Wenden des LNG-Tankers und zum Fahren von der Fahrrinne zum Liegeplatz und umgekehrt dieselbe sein sollte wie die der Liegeplatztasche, nämlich SKN - 14,0 m.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 26 von 77

4.9 Sedimentation

Die Sedimentation von ca. 27.000 m³ (vor Ort) innerhalb des gesamten Wendbeckens wird für den einjährigen morphologischen Simulationszeitraum geschätzt, siehe Ref. [25.]. Die Schätzung berücksichtigt nur die Sedimentation von Sand, die hauptsächlich in der Nähe von Kolk rund um den Bug und das Heck der FSRU und in der Nähe des Gefälles des Wendbeckens aufgrund der Gefälleanpassung auftritt und daher bei Weitem nicht gleichmäßig über das Wendbecken verteilt ist. Die Schlammablagerung wurde im Modell nicht berücksichtigt, aber basierend auf Meeresboden-Scherspannungskarten wird davon ausgegangen, dass sie innerhalb des Wendbeckens nicht auftritt. Nach ersten Gefälleanpassungen ist nicht zu erwarten, dass die jährliche Sedimentation in einem Zeitraum von fünf Jahren signifikant zunehmen wird.

Derzeit ist eine Sedimentation von 0,5 m innerhalb des Wendbeckens zulässig, bevor der Unterkielabstand unterschritten wird. Angesichts der eher ungleichmäßigen simulierten Sedimentation im Inneren des Wendbeckens, die hauptsächlich in der Nähe der Gefälle auftritt und durch Sandwellenwanderung beeinflusst werden könnte, wird eine Monitoring-Kampagne (bathymetrische Vermessung) empfohlen, um die Sedimentationsraten zu bewerten und lokale Bereiche zu verfolgen, in denen der Unterkielabstand in naher Zukunft potenziell unterschritten werden könnte.

4.10 Sicherheitszone und Sperrzone

Das temporäre FSRU-Terminal erfordert eine bestimmte Zoneneinteilung, um die Sicherheit von Menschen, Anlagen und Umwelt zu gewährleisten. Ausgehend von bereits in Betrieb befindlichen Terminals ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Meeressperrzone (Marine Exclusion Zone) – eine Sicherheitszone, während die FSRU am Terminal festgemacht ist. Die Meeressperrzone hat einen Radius von $R = 300$ m.
- Am Liegeplatz innerhalb des Hafens werden die folgenden Mindestabstände eingehalten (siehe Abbildung 5-4:):
 - Anlegelinie zum inneren Fahrwasser = 550 m (FSRU zum inneren Fahrwasser = 500 m, LNG-Tanker zum inneren Fahrwasser = 450 m);
 - Anlegelinie zum äußeren Fahrwasser = 700 m (FSRU zum äußeren Fahrwasser = 650 m, LNG-Tanker zum äußeren Fahrwasser = 600 m).

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 27 von 77

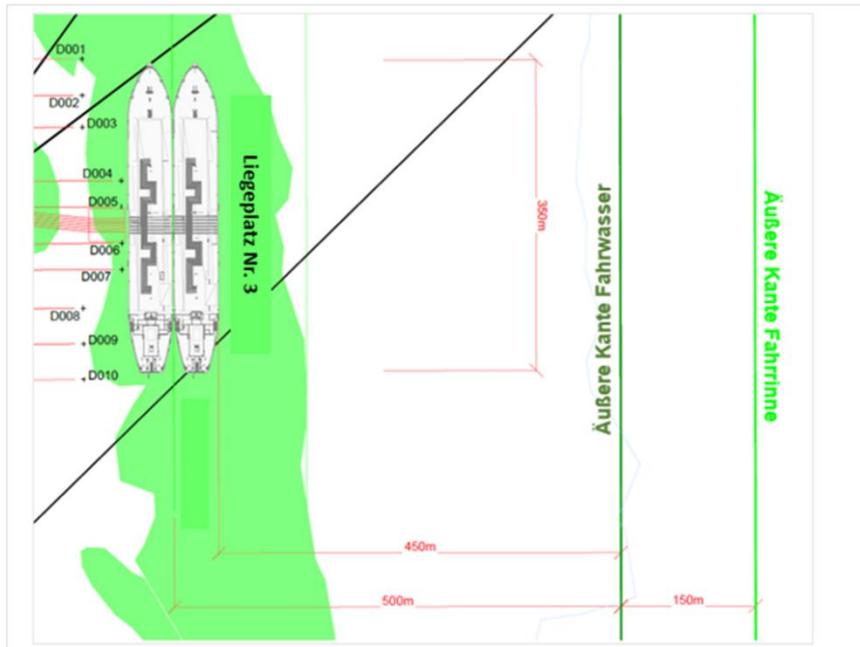


Abbildung 4-13: Sicherer Abstand für Anlegestelle und Schiffe

4.11 Seeverkehr

Ein Jahr lang, von Oktober 2021 bis September 2022, wurden AIS-Daten für den vorgeschlagenen FSRU-Standort in Wilhelmshaven von Vesselfinder bezogen. Die abgebildeten AIS-Daten und die vorgeschlagene FSRU sind in Abbildung 4-14 dargestellt. Das AIS besteht aus aufeinanderfolgenden Positionsberichten jedes einzelnen Schiffes, die sich innerhalb des ausgewählten geografischen Gebiets befinden. In diesem Zeitraum werden insgesamt 11353 Schiffsbewegungen erfasst, siehe ref. [24].

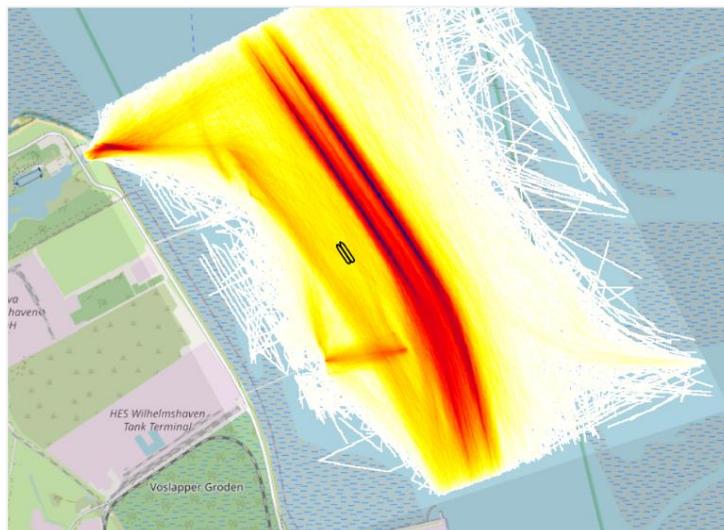


Abbildung 4-14: Schiffsverkehrsdichte basierend auf AIS-Daten vom 1. Oktober 2021 bis 30. September 2022 und dem vorgeschlagenen FSRU (schwarz)

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 28 von 77

Die Schiffe werden anhand der in den AIS-Daten enthaltenen Informationen klassifiziert (siehe <https://api.vesselfinder.com/docs/ref-aistypes.html>). Anhand der in den Daten enthaltenen Kennnummer werden nachfolgend folgende Schiffstypen kategorisiert.

Tabelle 4-3 Schiffsklassifikation nach AIS-Identifikationsnummer

AIS-ID	Schiffstyp
80-89	Tanker
70-79	Container-, Massen- und Stückgutschiffe
s60-69	Passagierschiff, Fähren, RoRo
40-49	Hochgeschwindigkeitsfahrzeug
31-35, 50-59	Unterstützungsschiff (Abschleppen, Militäreinsatz, Lotse, Such- und Rettungskräfte, Strafverfolgung ...)
30	Fischereischiff
90, 99	Sonstiges Schiff

4.12 Weitere Anforderungen an Terminal, Plattformen, Dalben und Laufstege

Folgende Anforderungen gelten für das Terminal:

- Alle Dalbenpfähle sind mit Kolkschutz zu versehen. Der Meeresboden rund um die Pfähle muss geschützt werden, da durch die Schiffsschrauben beim Manövrieren, durch Wellen und Gezeitenströmungen Kolke entstehen können. Es wird eine detaillierte Kolkanalyse durchgeführt, um die maximale Kolktaiefe und gegebenenfalls die Notwendigkeit von Schutz- oder Überwachungsmaßnahmen zu ermitteln.
- Alle Dalben sind mit Laufstegen, sowie Kabelbahnen für Strom- und Glasfaserkabeln, zu verbinden
- An den Enden des Terminals sollten Zu- und Rettungswege bereit gestellt werden (NW-Ende mit Leiter von Plattform und SO-Ende mittels Rampe und Ponton)
- Eine Plattform muss ausreichend Platz haben, um einen Strom- und Glasfaserkabelschrank unterzubringen, wodurch die elektrische und Signalverteilung zwischen Land / Haken / FSRU zentralisiert wird.
- Leuchtbojen (ATONs) zur Markierung des ausgebaggerten Bereichs;
- Navigationslichter an den äußeren Enden des Terminals
- Sicherheitsbojen usw. gemäß Richtlinien und H&S-Anforderungen;
- Arbeitslicht zur Beleuchtung des Bereichs für die Festmacher bei Nachtarbeit (mindestens 100 LUX), das nach 15 Minuten automatisch abgeschaltet wird,
- Gangway von Schiff zu Land zwischen Dalbe und FSRU-Schif.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 29 von 77

5 Allgemeine Projektbeschreibung

5.1 Übersicht des Liegeplatzes / FSRU Terminal Layout und Hauptbestandteile

Die Gesamtabmessung des Terminals beträgt L = 400 m. Die Orientierung des FSRU längsseits der Anlegestelle ist Nord-Nordwest (321,8°(Ebbe) rwN).

Das neue FSRU-Kurzzeiterminal besteht im Wesentlichen aus den folgenden Hauptkomponenten:

- 6 Ankerdalben mit Plattform (MD: Mooring Dolphins), je 3 an den Enden des Terminals:
 - MD 1, MD 2 und MD 3 am NW Ende) (BLAU)
 - MD 4, MD 5 und MD 6 am SO Ende) (BLAU)
- 4 Anlegedalben mit Plattform (BD: Bearthing Dolphins) in der Mitte:
 - BD1, BD2, BD3 und BD4 (ROT)
- 9 Brücken, um alle Anlegedalben (BD) und Ankerdalben (MD) miteinander zu verbinden
 - B1 bis B9 (Grün)
- 1 Ponton am SO Ende (Violett)

Die folgende Abbildung zeigt ein grobes Layout der geplanten Liegeplatzanlage.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 30 von 77

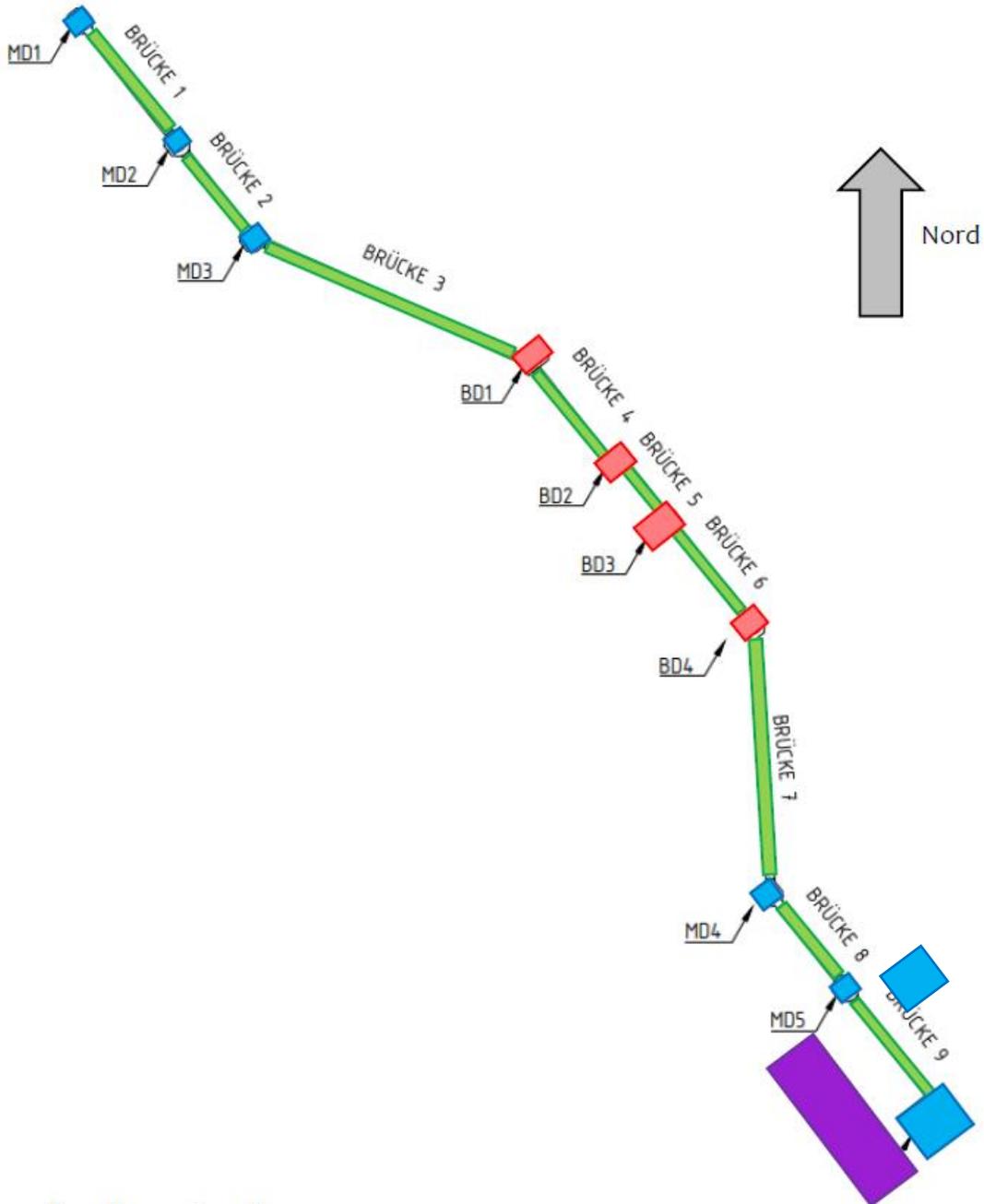


Abbildung 5-1: Definition der Dalben und Brücken

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 31 von 77

5.2 Beschreibung der Dalben mit Plattformen

Alle Dalben mit ihren zugehörigen Plattformen können hinsichtlich ihrer Hauptfunktion zunächst einmal in Ankerdalben (Mooring Dolphins MDs) und in Anlegedalben (Bearing Dolphins BDs) unterschieden werden. Alle Ankerdalben (MDs) sind vor allem mit Quick Release Hooks (Ankerhaken) ausgestattet, um das FRSU zu vertäuen. Es werden unterschiedliche Ankerhaken verwendet:

- Triple Quick Release Hooks (TQRHs): mit 3 Haken für Leinen (für BD1 und BD4);
- Quadruple Quick Release Hooks (QQRHs): mit 4 Haken für Leinen (für alle MDs).

Weitere Details zu den QRHs sind dem Kapitel 7.7 zu entnehmen. Wo welcher QRH-Typ verwendet wird, ist der folgenden Tabelle zu entnehmen und den folgenden Abbildungen zu entnehmen. In den Skizzen zum vorläufigen Plattform Layout sind die momentan vorgesehen Ankerlinien (in rot) und die untersuchten Wirkrichtungen (grau: „analysed sector“) dargestellt.

Alle Anlegedalben (BDs) sind vor allem mit einem Fender ausgestattet, an den sich das FRSU legen kann. Die beiden äußeren Anlegedalben BD1 und BD4 sind zusätzlich auch noch mit Ankerhaken (TQRH) ausgestattet.

Alle Dalben BDs und MDs sind mittels Brücken miteinander verbunden. Alle Hauptmerkmale, sowie Ausstattungen und Abmessungen, der Anlege- und Ankerdalben sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Weitere Informationen zu den Brücken sind dem nachfolgenden Unterkapitel zu entnehmen.

Die Höhe bzw. die Oberkante des Stahlbaus aller Plattformen ist gleich und liegt bei EL + 11,64 m SKN / LAT. (EL+11,68 m SKN / LAT für Oberkante Gitterroste).

Die Unterkante der Plattformen (BOS) wird mit 11,0 m SKN / LAT festgelegt und gleich mit der geplanten Oberkante der Dalbenpfähle.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 32 von 77

Tabelle 5-1: Beschreibung der Dalben und Plattformen

Typ	Bezeichnung	Ausstattung	vorläufige Plattform Länge x Breite
Mooring / Ankern	MD 1	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B1 - 1 Leiter / Anlandungen - Navigations-Licht - Notfall- und Zugangsleiter Richtung Westen	L ≈ 10,7 m x B ≈ 6,2 m
	MD 2	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke B1 - Festlager für Brücke B2	L ≈ 8,9 m x B ≈ 6,2 m
	MD 3	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B2 - Festlager für Brücke B3	L ≈ 10,9 m x B ≈ 6,6 m
Bearthing / Anlegen	BD 1	- Anlege-Fender - Haken für Mooring-Leine (TQRH) - Gleitlager für Brücke B3 - Festlager für Brücke B4	L ≈ 8,8 m x B ≈ 8,7 m
	BD 2	- Anlege-Fender - Gleitlager für Brücke B4 - Gleitlager für Brücke B5	L ≈ 7,4 m x B ≈ 8,2 m
	BD 3	- Anlege-Fender - Festlager für Brücke B5 - Festlager für Brücke B6 - Lagerung für Laufsteg mit Treppenturm zu FSRU	L ≈ 9,0 m x B ≈ 11,7 m
	BD 4	- Anlege-Fender - Haken für Mooring-Leine (TQRH) - Gleitlager für Brücke 6 - Gleitlager für Brücke B7	L ≈ 13,5 m x B ≈ 7,8 m
Mooring / Ankern	MD 4	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke 7 - Gleitlager für Brücke 8 - 20ft Container (E & I Container) - J-tube Lager für E-Kabel	L ≈ 10,9 m x B ≈ 8,8 m
	MD 5	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke B8 - Festlager für Brücke B9	L = 8,9 m x B ≈ 6,2 m
	MD 6	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B9 - Sammelplatz für 40 Personen - Lager für Laufsteg / Rampe zu Ponton - Anleger für Ponton - Davit Kran - Navigations-Licht	L = 14,5 m x B ≈ 8,9 m

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 33 von 77

Die finale Plattformabmessungen für BD3 bedarf noch der finalen Klärung, da Abmessungen und Lasten aus Treppenturm und Laufstegunterkonstruktion gerade noch geklärt werden.

In den folgenden Abbildungen sind alle Anlege- und Ankerdalben mit ihren Hauptabmessungen und Ausstattungen skizziert. Dabei sind werden die folgenden Symbole verwendet:

- Trapez: als Symbol für Anlege- Fender 
- Parallele Linien: als Symbol für ein Brückengleitlager: 
- Punkt: als Symbol für ein Brückenfestlager: 

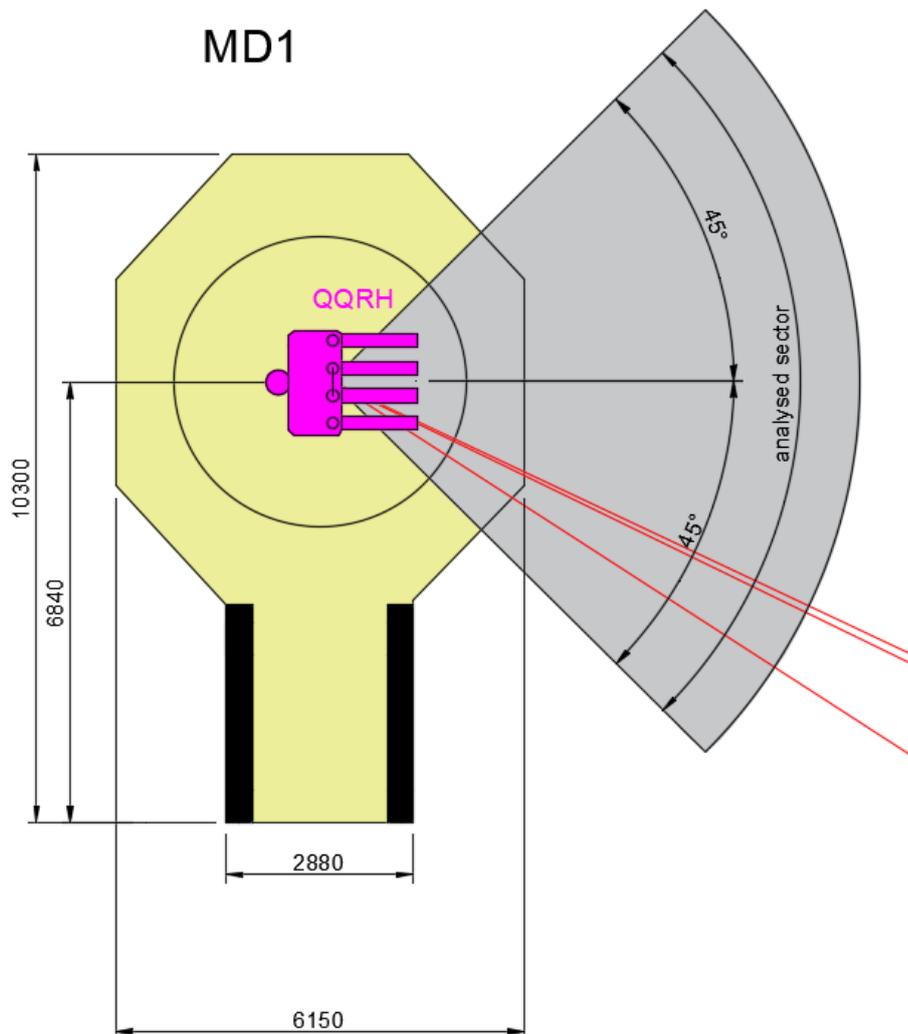


Abbildung 5-2: Skizze für MD1

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 34 von 77

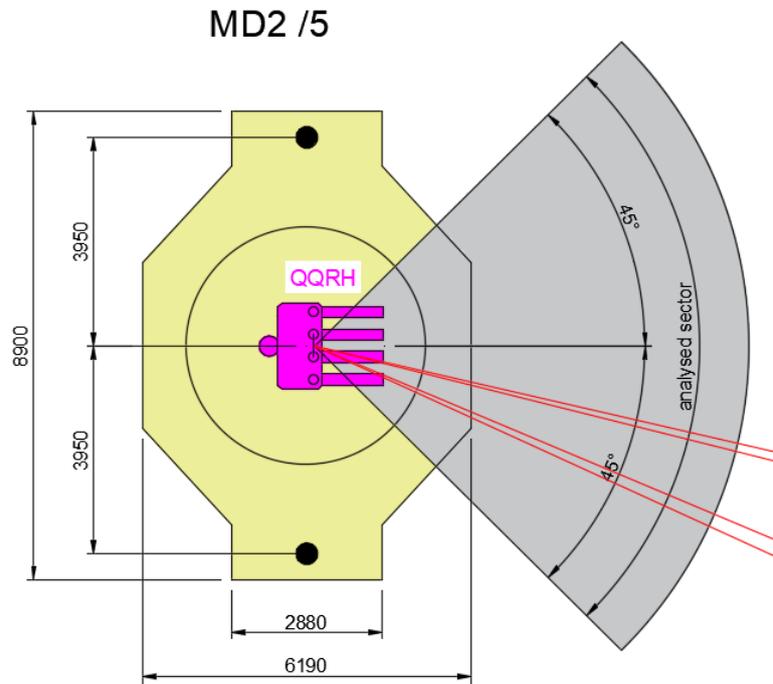


Abbildung 5-3: Skizze für MD2 baugleich mit MD5

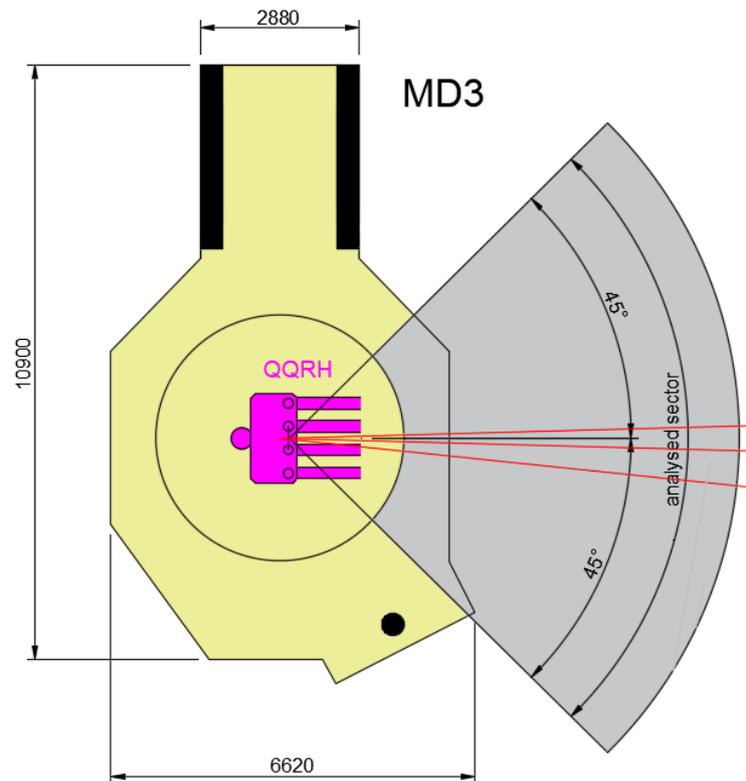


Abbildung 5-4: Skizze für MD3

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 35 von 77

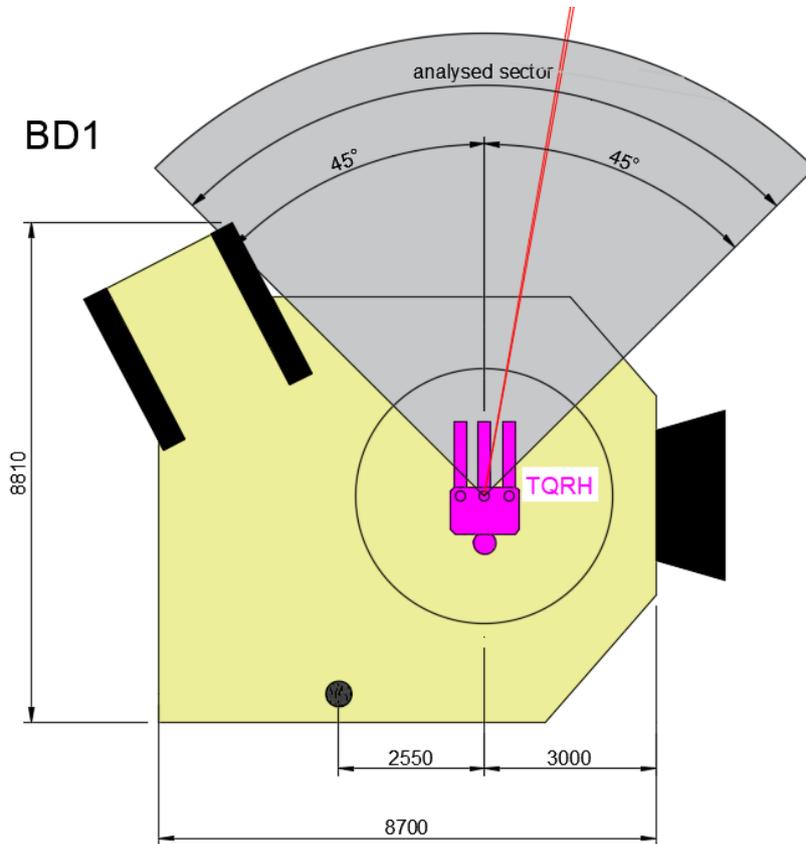


Abbildung 5-5: Skizze für BD1

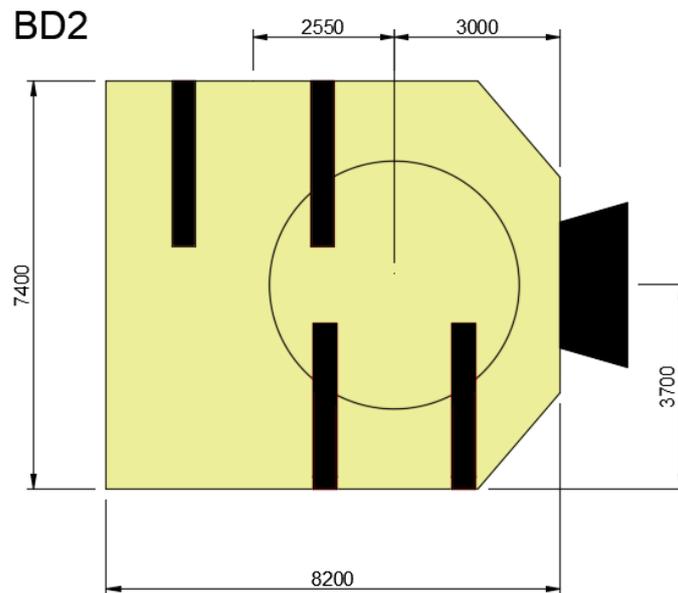


Abbildung 5-6: Skizze für BD2

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 36 von 77

BD3

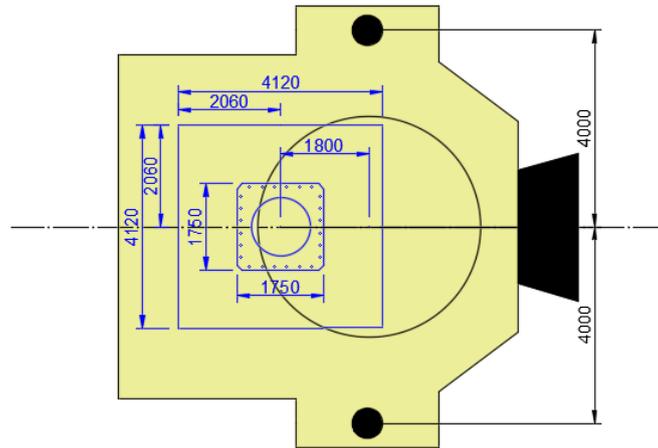


Abbildung 5-7: Skizze für BD3

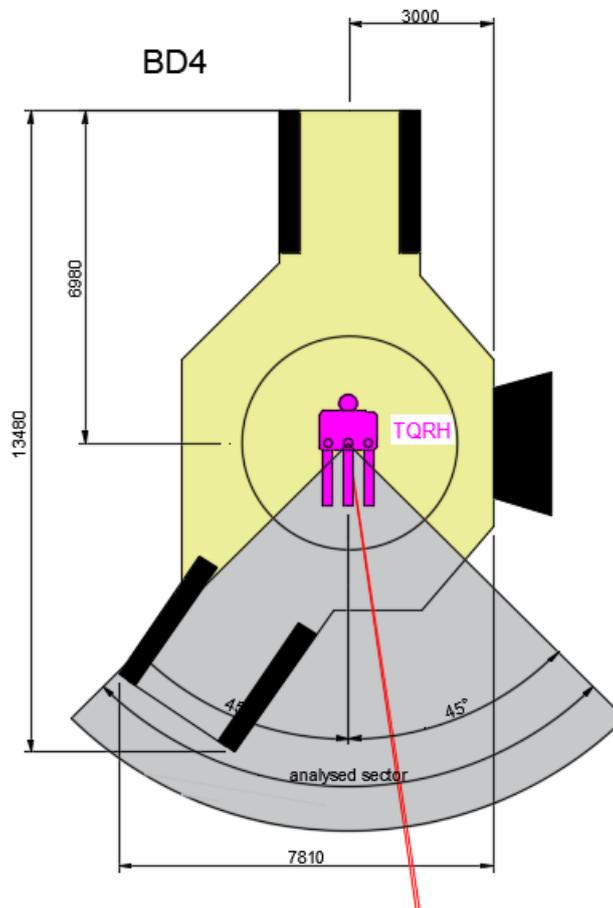


Abbildung 5-8: Skizze für BD4

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 37 von 77

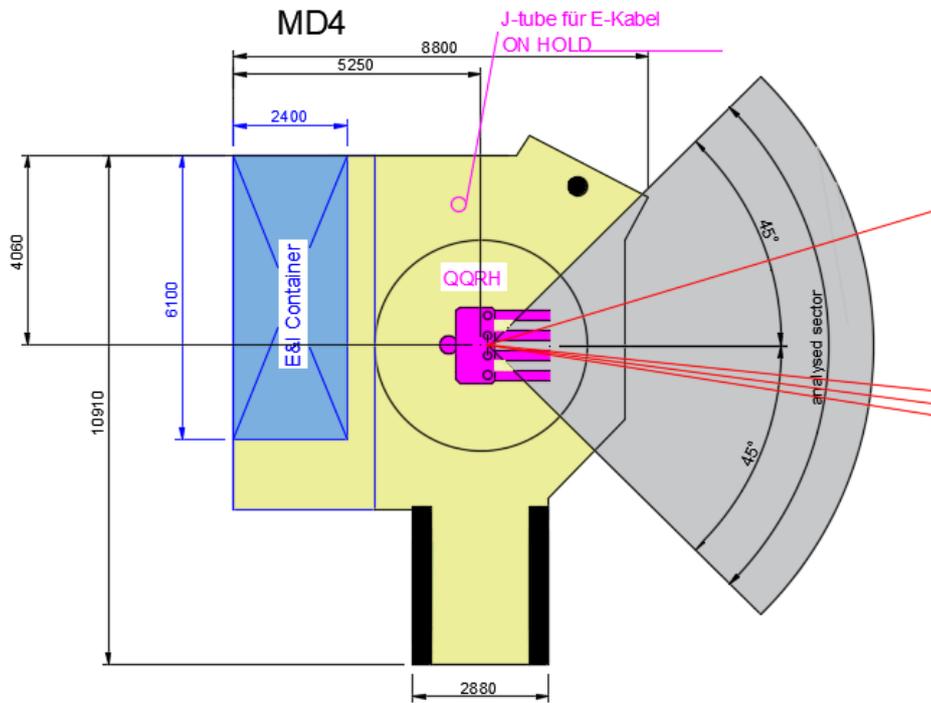


Abbildung 5-9: Skizze für MD4 (OP3)

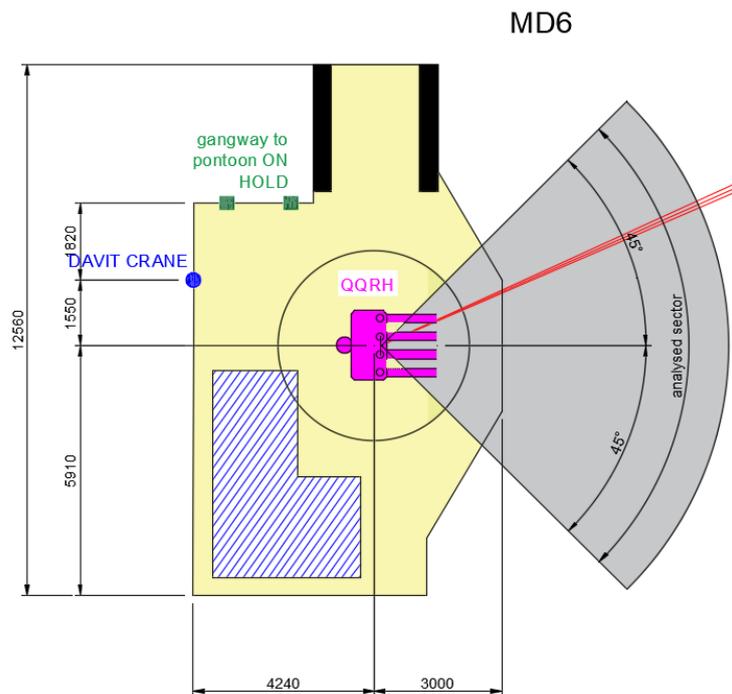


Abbildung 5-10: Skizze für MD6 (,OP2))

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr. TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		

5.3 Beschreibung der Brücken

Die Brücken unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrer Länge. Ansonsten sind alle Brücken hinsichtlich ihrer Funktion gleich: Alle Brücken haben Laufwege und dienen als Fluchtweg für bis zu 40 Personen. Demnach, gemäß Ref.[XXIV.] sind die Laufwege mit einer lichten Breite von $B_L = 1,20$ m und einer lichten Höhe von mindestens $H_L = 2,00$ m vorgesehen.

Die einzige Ausnahme bildet die Brücke B4, zwischen BD1 und BD2: Diese Brücke dient gleichzeitig als Lagerung für die Rohrleitungen und ist deswegen zusätzlich mit 2 Riser Hang-Off Strukturen zu versehen.

Jede Brücke verfügt jeweils über ein Festlager (frei rotierend aber in allen 3 Richtungen fest) und ein Gleitlager (in Brückenaxialrichtung frei verschieblich, um Längenänderungen und Toleranzen auszugleichen).

Die Höhe bzw. Die Oberkante der Gitterroste auf allen Brücken ist gleich und liegt momentan ca. bei EL + 12.15 m SKN / LAT.

Tabelle 5-2: Beschreibung der Brücken

Bezeichnung	Spannweite (Lager zu Lager)	Breite	Brückentyp
B1	S = 35,80 m	konstant	symmetrisch
B2	S = 25,80 m	konstant	symmetrisch
B3	S = 79,20 m	variable	symmetrisch
B4	S = 32,20 m	konstant	exzentrisch
B5	S = 16,20 m	konstant	symmetrisch
B6	S = 29,45 m	konstant	symmetrisch
B7	S = 68,10 m	variable	symmetrisch
B8	S = 25,80 m	konstant	symmetrisch
B9	S = 35,80 m	konstant	symmetrisch

Ausführlichere Informationen zu den Brücken sind unter Ref. [6.] zu finden.

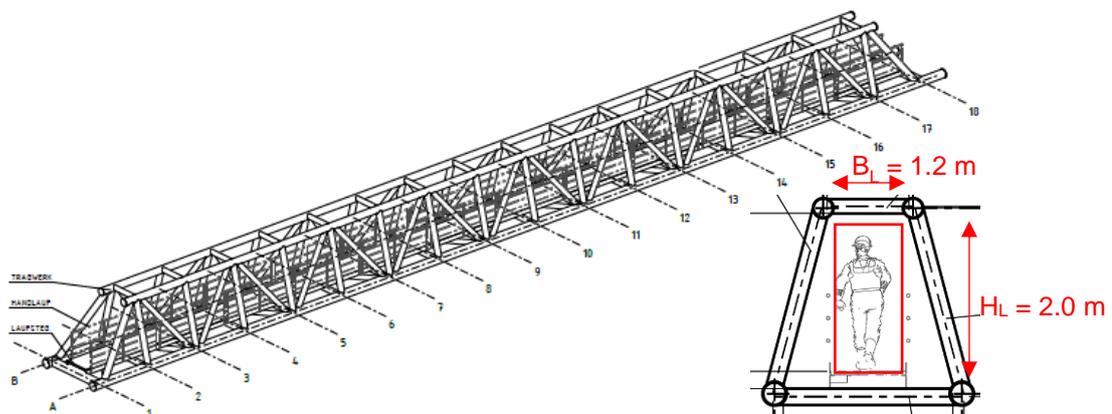


Abbildung 5-11: Übersicht Verbindungsbrücken

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 39 von 77

5.4 Beschreibung der Gründungen

Alle Anlege- und Ankerdalben werden als Monopiles ausgeführt. Dabei sind die Hauptabmessungen für alle 10 Dalbenpfähle (6 x MDs und 4 x BDs) gleich:

- Außendurchmesser: $D_{\text{Pfahl}} = 4,50 \text{ m}$
- Wandstärke: $t_{\text{Pfahl}} = 60 \text{ mm (konstant)}$
- Gesamtpfahllänge: $L_{\text{Pfahl}} = 70,5 \text{ m}$
- Einbindelänge in den Boden: $E_{\text{Pfahl}} = 44,3 \text{ m}$ für alle BD Pfähle (bei OK Kolkschutz bei -14,2 m SKN)
- Einbindelänge in den Boden: $E_{\text{Pfahl}} = 48,3 \text{ m}$ für alle MD Pfähle (bei OK Kolkschutz bei -11,2 m SKN)
- Pfahloberkante (TOS): EL + 11,0 m SKN / LAT (für alle Dalben MDs und BDs)

Die gerammten Pfähle werden wie in Abbildung 5-12 dargestellt angeordnet und werden, wie unten gezeigt, durch Brücken verbunden, um einerseits den Zugang zu erleichtern und andererseits einen Fluchtweg zu bieten.

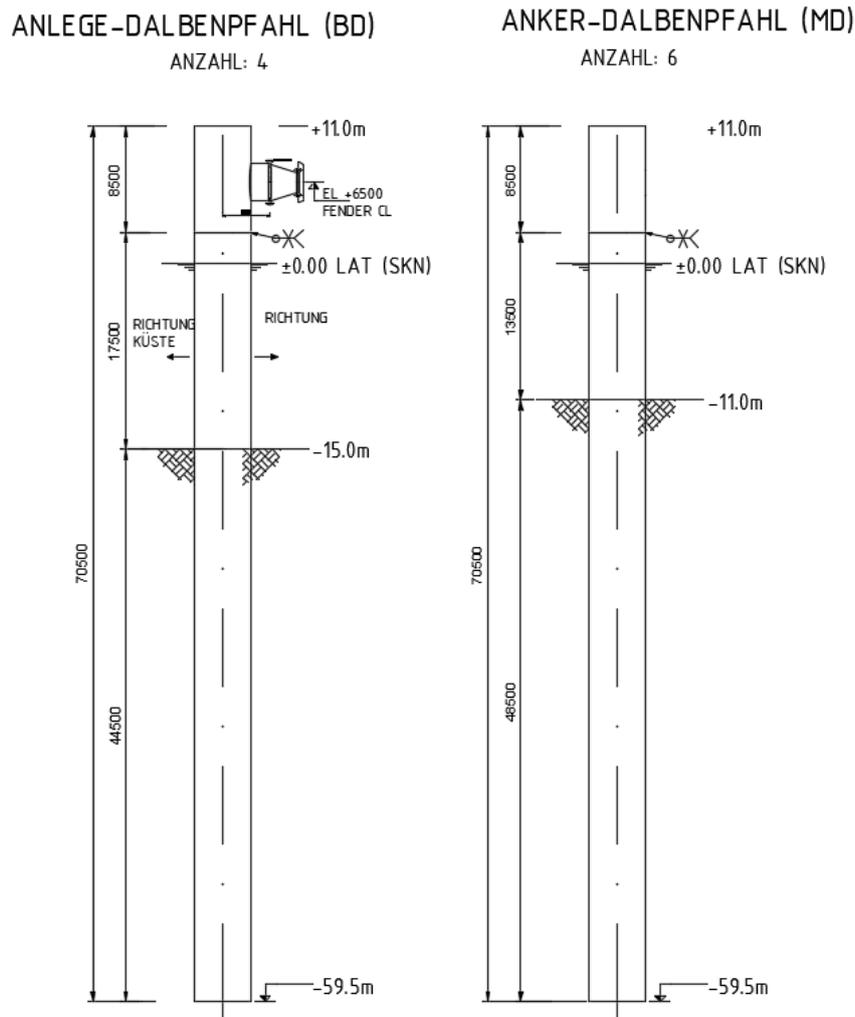


Abbildung 5-12: Dalbenpfähle

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 40 von 77

5.5 Ausbaggerung

5.5.1 Allgemeine Erläuterungen zu Baggerarbeiten

Die bathymetrischen Daten beziehen sich auf SKN und zeigen, dass die Meeresbodentiefe im interessierenden Bereich etwa -10 m bis -19 m (SKN) beträgt. Die Fahrrinne, die auf -18 m SKN gehalten wird, ist etwa 550 m von der Anlegelinie der Anlegestelle entfernt.

Der gesamte Baggerbereich (Liegeplatz, Wendebasis und Liegeplatzzugang) im Kastenschnitt bis zu einer Mindesttiefe von SKN -14,0 m ausgebaggert, d. h. bis zur Fußlinie wird der Bereich bis zur Mindesttiefe plus der Vertikalen ausgebaggert Baggertoleranz zwischen +0,0 und -0,5 m. In Abbildung 5-13 ist ein Beispiel für einen Querschnitt des Kastenschnitts dargestellt. Ein Kastenschnitt lässt die grauen Bereiche fallen und füllt die Lücken. Mit dieser Methode wird ein natürliches Profil erzielt. Der Schwerpunkt liegt auf der Erreichung einer Mindesttiefe von SKN -14,0m im Bereich von Fußlinie zu Fußlinie.

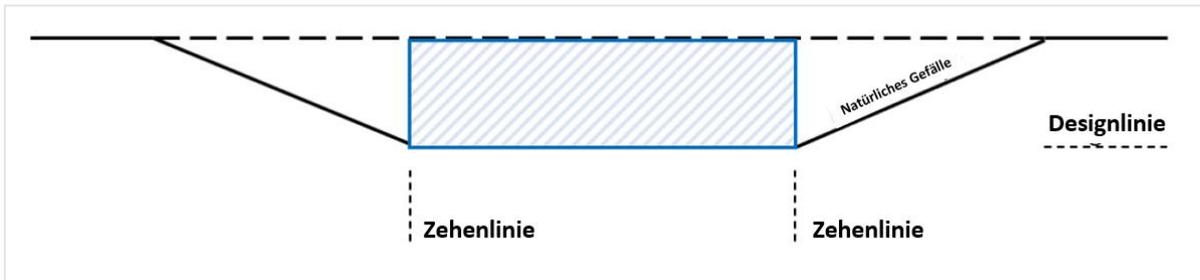


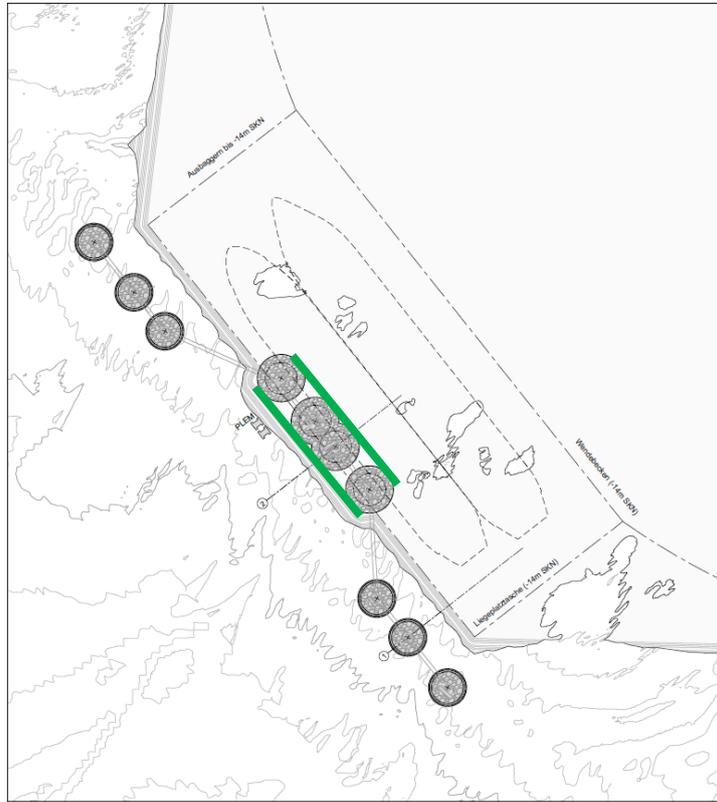
Abbildung 5-13: Beispiel für das Box-Cut-Prinzip

Zur Durchführung der Baggerarbeiten wird selbstfahrender ein Hopperbagger (TSHD) mobilisiert. Sobald sich der TSHD in der Nähe des Baggerbereichs befindet, senkt er beide Schleppköpfe auf den Meeresboden ab und die Baggerarbeiten können beginnen.

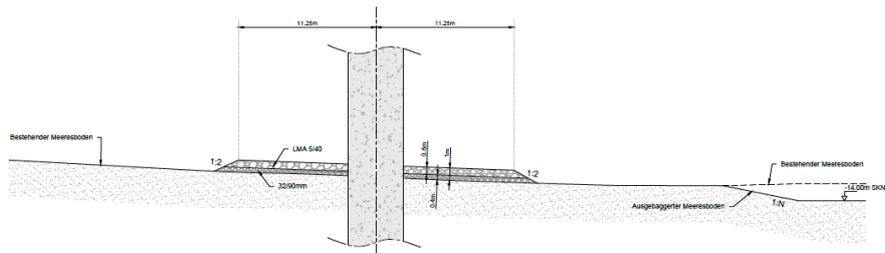
5.5.2 Ausbaggerung für den Kolkenschutz und die Installation von Monopiles

Für die Anbringung des Kolksschutzes um die Brüstungspfähle herum wird die vorgesehene Baggertiefe eine andere sein. Ein rechteckiger Bereich, der sich über alle vier Brüstungspfähle erstreckt, muss ca. 1 m tiefer ausgebaggert werden, um einen Kolksschutz zu gewährleisten (wie in dem grün markierten Bereich in Abbildung 5-14 unten dargestellt).

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 41 von 77



Querschnitt 1



Querschnitt 2

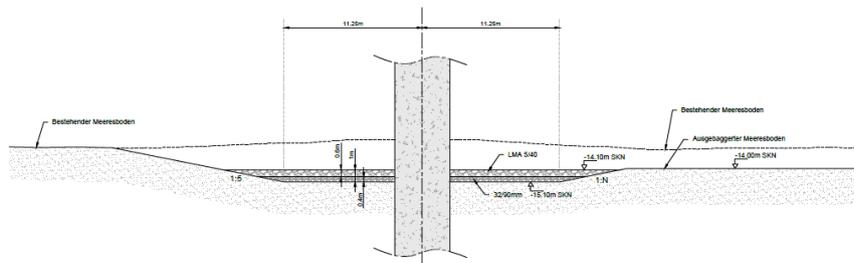


Abbildung 5-14: Baggerarbeiten für Kolkschutz- und Monopile-Installationen (ein rechteckiger Bereich, wie in dem grün markierten, der sich über alle vier Brüstungspfähle erstreckt, muss ca. 1 m tiefer ausgebaggert werden, um einen Kolkschutz zu gewährleisten)

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 42 von 77

5.5.3 Baggerumfang

Die Ausbaggerung besteht aus dem Ausbaggern von ca 0,8 Mio. m³ in situ (1,2 Mio. m³ im Laderaumaufmaß) Sedimenten aus der Liegeplatztasche, dem Wendebecken und der Liegeplatzzufahrt (Abbildung 5-15 unten). Die Liegeplatztasche sowie das Wendebecken und der Liegeplatzzugang werden alle auf ein Mindestniveau von SKN -14,0 m ausgebaggert, ohne zusätzliche vertikale Baggertoleranz zwischen 0,0 m und -0,5 m. Daher wird ein maximales Baggerniveau von SKN -14,5 m einschließlich vertikaler Baggertoleranzen erwartet. Das gesamte ausgebaggerte Baggergut ist zur Entsorgungsstelle K01 zu transportieren und dort abzuladen.



Abbildung 5-15: Fußabdruck des Baggers

5.5.4 Wartungsbaggerung

Für die Anlage wird eine jährliche Wartungsbaggerung von etwa 27.000 m³ (in situ) bzw. 50.000 m³ (Laderaumaufmaß) innerhalb des gesamten Wendebeckens veranschlagt.

5.6 Kalksicherung

Aufgrund der potenziellen Bildung umfangreicher Kolke um die Pfähle herum wird für die Bemessung ein flexibles Kalkschutzsystem aus Steinmaterial zur Ausführung um die Pfähle vorgeschlagen. Die Bewertung der Steingröße und -menge des Kalkschutzes erfolgte unter Berücksichtigung der Wirkung von Wellen und Strömung sowie der Wirkung des Propellerstrahls der Schiffe beim Manövrieren am LNG-Terminal und beim Annähern der Schlepper an die Dalben. Die Berechnungen der Sohlschubspannung um die Pfähle aufgrund von Wellen und Strömungen berücksichtigen auch die Verstärkung der Geschwindigkeit aufgrund der Anwesenheit von FRSU und LNG-Tankern, da die Strömungen unter den Schiffen beschleunigen.

Die minimal erforderliche Gewichtsklasse für die Deckschicht des Kalkschutzes ist LMA 5/40, mit einer Dicke von 0,60 m. Zwischen der Deckschicht und dem Meeresboden muss eine Filterschicht mit einer Dicke von 0,40 m und der Gewichtsklasse 32/90 mm ausgeführt werden. Die Gesamtdicke des Kalkschutzes um den Pfahl beträgt daher 1,00 m. Siehe Abbildung 5-16.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 43 von 77

Der Kolkchutz wird vor den Rammarbeiten für die Monopiles eingebaut. Die Mindestdicke sowohl der Filterschicht als auch der Deckschicht werden durch Studien bestätigt. Während der Betriebsphase des Projekts wird ein Monitoring stattfinden, um die Stabilität des Kolkschutzes zu gewährleisten. Bei Bedarf werden erforderliche Maßnahmen veranlasst.

Siehe Abbildung 5-17 und Abbildung 5-18.

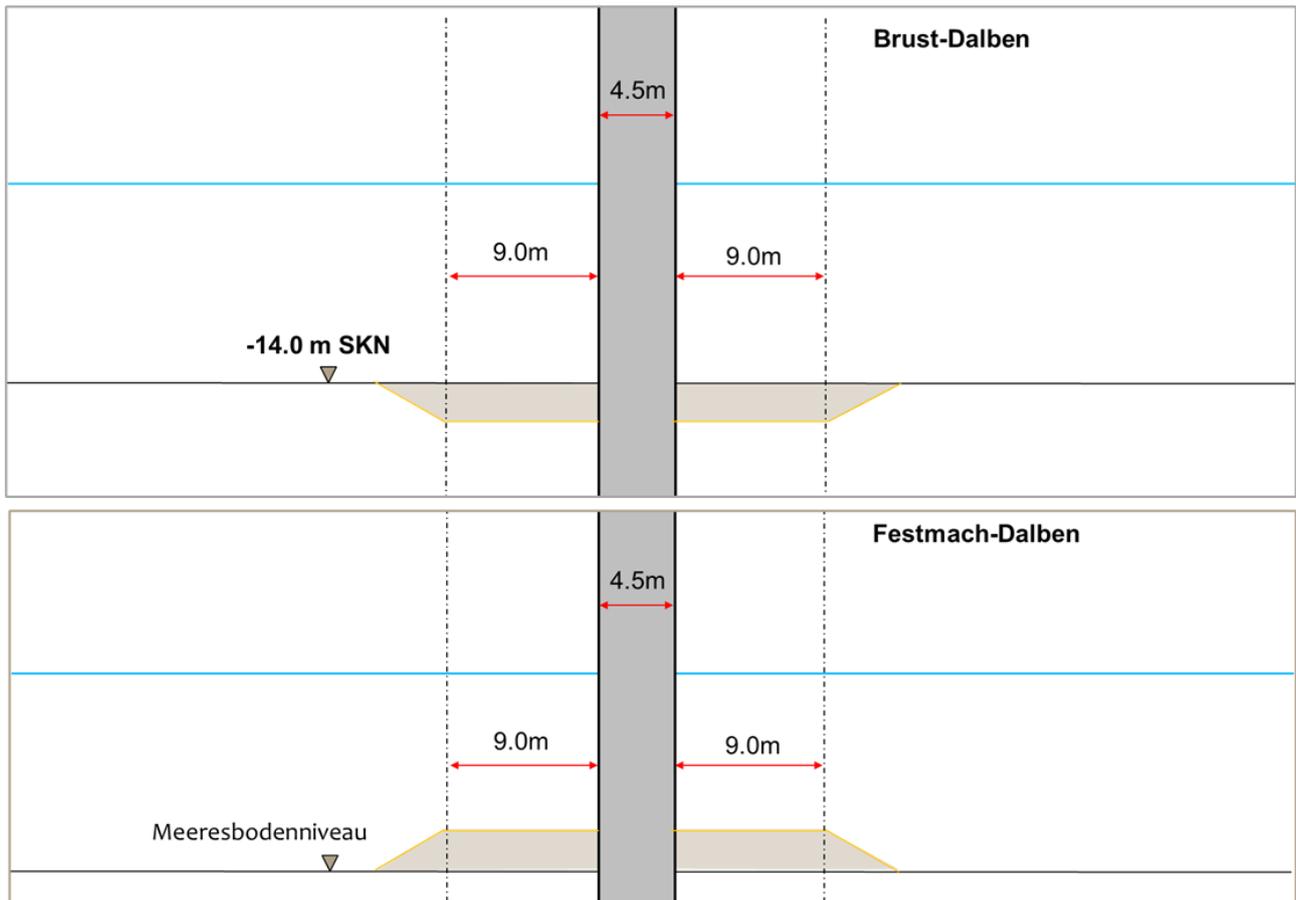


Abbildung 5-16: Skizze des Querschnitts mit der Mindestausdehnung des Kolkschutzes für Anlegedalben (obere Darstellung) und Vertäugsalben (untere Darstellung)

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 44 von 77

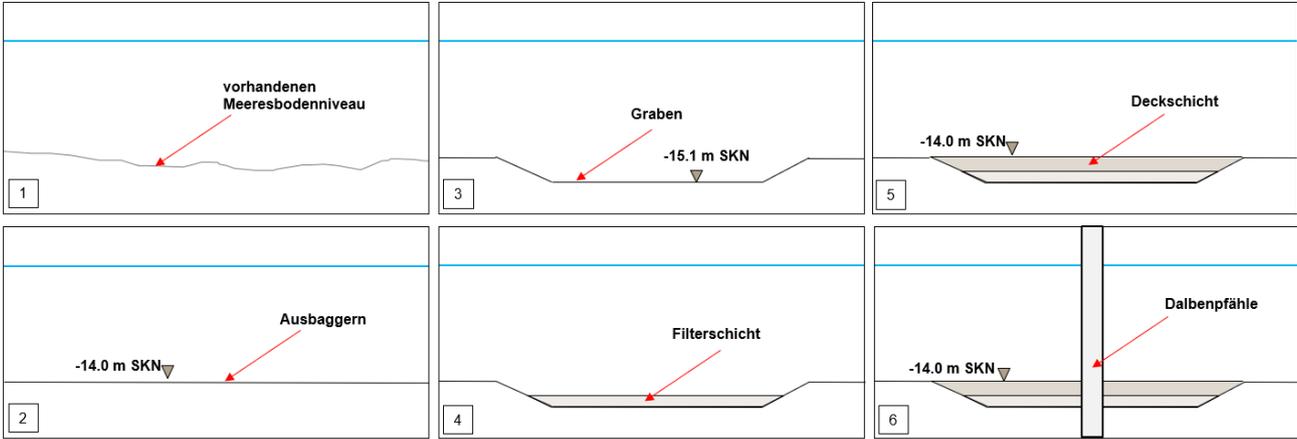


Abbildung 5-17: Errichtung – Anlegedalben – Vor Einbau des Kolksschutzes

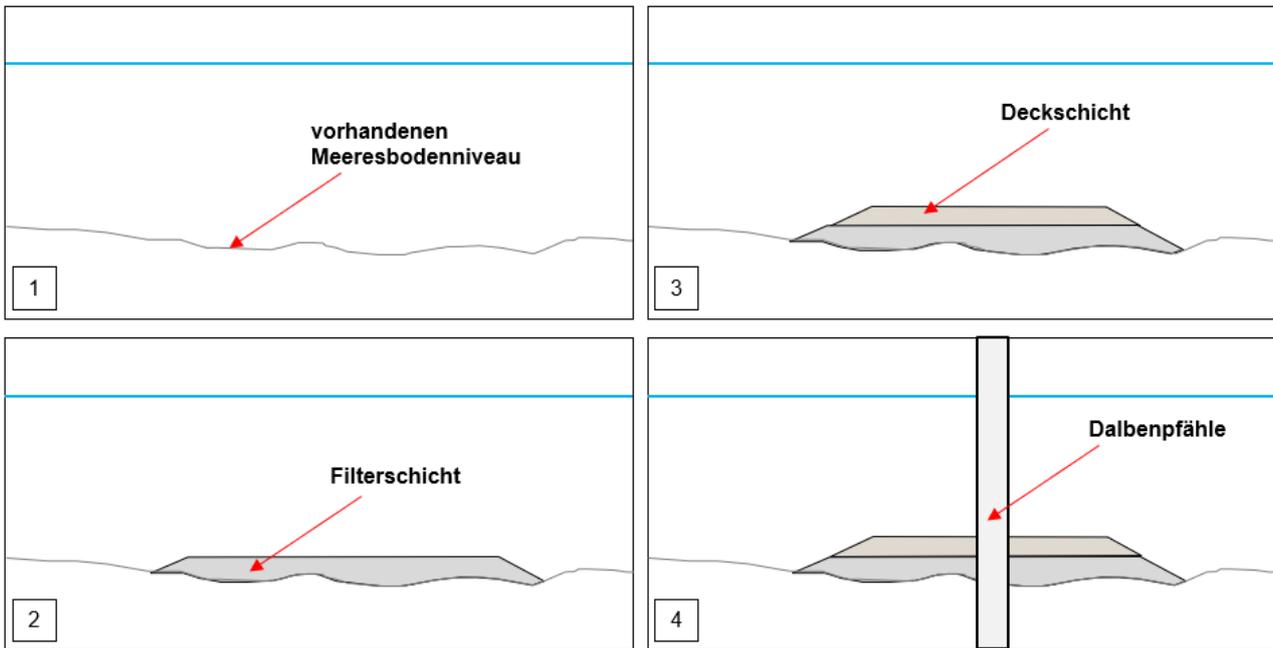


Abbildung 5-18: Errichtung – Vertäudalben – Vor Einbau des Kolksschutzes

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 45 von 77

6 Design-Anforderungen

6.1 Allgemein

Die in diesem Abschnitt werden die allgemeinen Entwurfskriterien für die Gestaltung und die Nachweise der Terminal-Komponenten beschrieben.

Details zu den Lasten, Lasteffekten, etc. werden in den Folgekapiteln behandelt.

Das Terminal soll einen Rettungsweg für bis zu 40 Personen beinhalten.

6.2 Referenzebenen und Koordinatensystem

Für die statischen Berechnungen werden lokale Koordinatensysteme definiert. Für jedes dieser Koordinatensysteme befindet sich der vertikale Ursprung auf Seekartennull (SKN).

Im Allgemeinen ist das globale Koordinatensystem wie folgt definiert:

- Vertikale Bezugsebene = SKN (= LAT)
- Koordinatensystem = ETRS89, UTM N32

6.3 Bemessungslebensdauer

Der projektspezifische Lebensdauer/Nutzungszeit für das FSRU-Projekt ist 5 Jahren.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 46 von 77

7 Lasten und Lasteffekte

7.1 Allgemeines

Die Lasten und Lasteffekte, welche für die Dalbenauslegung berücksichtigt werden, lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Permanente Lasten (G)
- Variable Funktionslasten (Q)
- Außergewöhnliche Lasten (A)

7.2 Permanente Lasten (G)

Die größten permanenten Lasten, ergeben sich aus den folgenden Eigengewichten:

- Eigengewicht der Struktur
- Eigengewicht der Ausstattung und des Equipments (Gitterroste, Haken, Fender, etc.)

7.3 Veränderliche Lasten (Q)

Zu den hier zu berücksichtigen veränderlichen Lasten zählen:

- Verkehrslasten, siehe auch Kapitel 7.5
- Anlege-(Fender)-Lasten, gemäß Ref. [15.] siehe auch Kapitel 7.6
- Mooring-(Haken)-Lasten, gemäß Ref.[9.], siehe auch Kapitel 7.7
- Riser Hang-off Lasten, gemäß Ref. [10.] siehe auch Kapitel 7.8
- Lasten aus Treppenturm & Gangway Lagerung, gemäß Ref. [11.] siehe auch Kapitel 7.9
- Lasten aus Containerisiertem Sammelplatz (40“) siehe auch Kapitel 7.10
- Lasten aus E&I Container (20“) siehe auch Kapitel 7.12
- Lasten E-Kabeln, siehe auch Kapitel 7.14
- Umweltlasten (Wasserstände, Wind, Welle, Strömung) gemäß Ref. [1.]

7.4 Außergewöhnliche Lasten (A)

Für die die strukturelle Auslegung alle Bauteile sowie der Gründung werden keine außergewöhnlichen Lasten berücksichtigt.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 47 von 77

7.5 Personenzahl / Verkehrslasten

Basierend auf Kundenvorgabe (Ref. [7.]), soll die gesamte Anlegerkonstruktion (Dalben-Plattformen, Brücken, etc.) für den Evakuierungsfall von max. 40 Personen an Bord (POB) des FSRU konzipiert werden. Gemäß Ref.[VIII.], wird eine gleichmäßig verteilte Streckenlast von $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt.

Zusätzlich ist als Alternativlast eine Einzellast von $Q_i = 1,5 \text{ KN}$ in der Mitte eines freien Feldes zu berücksichtigen.

Gemäß Ref.[XXII.], wird horizontale Design - Holmlast (inkl. Lastfaktor) von $H_d = 0,525 \text{ kN/m}$ oben an allen Handläufen angesetzt.

7.6 Fender-Lasten

Aus der aktuellen dynamischen Anlege- und Vertäu- Berechnung (DMA) (seitens IMDC, Ref. [14.]) ergibt sich für das dargestellte Layout (4 Anlege-Dalben, siehe Abschnitt 5.1) eine maximale Fender-Kraft von 3.548 kN.

Ebenso werden charakteristische Fender-Lasten basierend auf der maximalen Fender-Reaktionslast angenommen, die in einer ähnlichen Größenordnung liegen, aber leicht darüber liegen:

Aktuell wird der folgenden Fender-Typ ausgewählt:

- Super Cone Fender type: SCN 2250 F1.4
- Absorptions-Energy: $E = 4.963,4 \text{ kNm}$
- Zugehörige Reaktionslast: $R = 3.670.00 \text{ kN}$ (basierend auf Test)
- Gewicht (nur Fender, ohne Fenderplatte): $m_F = 13,5 \text{ t}$
- Maximaler Reibbeiwert der Fenderplatte: $\mu = 0,2$

Zur Minimierung der Lasten auf den Dalben und für den Anschluss der Fenderunterkonstruktion wird ein Reibungsarmes Material für die Fenderplatte (im Kontakt zu dem Schiff) nötig sein. Es wird davon ausgegangen, dass ein Reibbeiwert von $\mu \leq 0,1$ möglich ist. Nichtsdestotrotz wird für die strukturellen Nachweise eine Reibkraft am Fender mit $\mu = 0,2$ ermittelt.

Um hieraus, die maximale charakteristische Fender-reaktionslast zu ermitteln, wird die Reaktionslast R mit den folgenden Faktoren multipliziert:

- Winkel-Faktor: $f_w = 1.00$
- Temperatur-Faktor: $f_T = 1.19$
- Geschwindigkeits-Faktor: $f_v = 1.10$
- Toleranz-Faktor: $f_{tol} = 1.10$

Somit resultieren die charakteristischen Fenderlasten pro Richtung zu:

- Axiale Fender-Drucklast: $F_{\text{Fender, X, ch.}} = R * f_w * f_T * f_v * f_{tol} = 4.542 \text{ kN}$
- Horizontale Fenderlast (infolge Reibung): $F_{\text{Fender-H, ch.}} = F_{\text{Fender, X, ch.}} * \mu = 908 \text{ kN}$

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 48 von 77

- Vertikale Fenderlast (infolge Reibung + Gewicht): $F_{\text{Fender-V, ch.}} = F_{\text{Fender, H, ch.}} + 1,2 * m_F * g = 908 \text{ kN}$
- Fender-Gewicht: $W_{\text{Fender}} = 1.2 * m_f * g = 159 \text{ kN}$

Ein Gewichtszuschlagfaktor von 1,2 wird hier benutzt, um das zusätzliche Gewicht der Fenderplatte zu berücksichtigen.

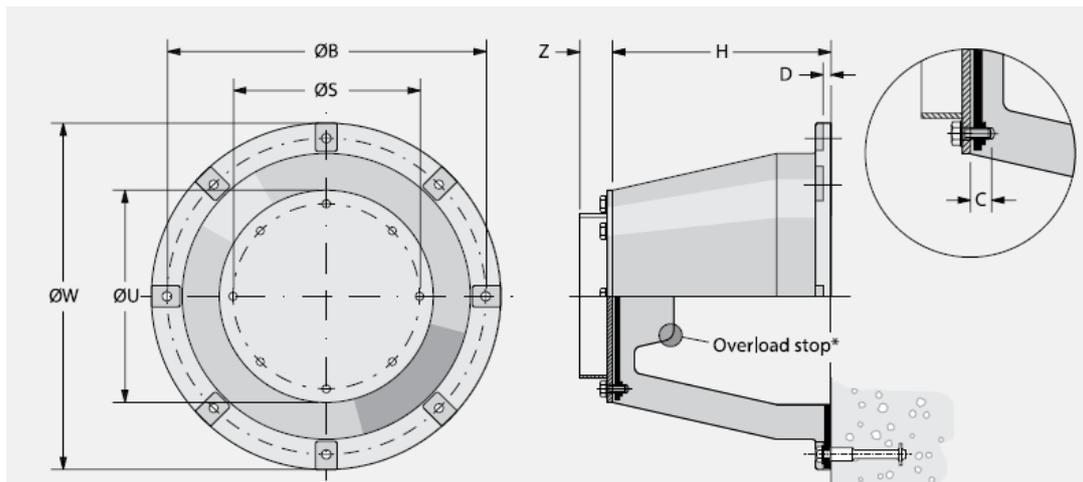


Abbildung 7-1: Klassischer „Super Cone Fender“ von Trelleborg

Für die Gründungsnachweise wird diese Last mit einem ULS-Lastfaktor von 1,2 (gemäß EAU 2020, Ref. [XIX.] / siehe Kap. 9.5) multipliziert.

Für die Strukturellen Nachweise von Pfahl und Fendenanschluss werden die Lastfaktoren nach EC 3 mit 1,5 berücksichtigt.

Die Fenderlasten werden bei einer Höhe von EL +6,50 m SKN / LAT angesetzt. Die Lasten werden am äußeren Ende der Fenderplatte angenommen: ca. 6,5 m von Dalbenmitte entfernt.

Für die Auslegung von Pfahl und Fender-Anschluss-Detail wird zusätzlich eine maximale horizontale Pfahlposition von +/- 500 mm angenommen.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 49 von 77

7.7 Mooring-Lasten / Hakenlasten

Die Anforderungen an die Anker-Dalben und den äußeren Anlege-Dalben sind in Tabelle 7-1 dargestellt.

Alle Ankerdalben (MD 1 bis MD 6) werden jeweils mit einem vierfachen Schnell-Löse-Haken (QQRH: Quadrupel Quick Release Hook) ausgestattet. Die zwei äußeren Anlege-Dalben (BD1 und BD 4) werden jeweils mit einem dreifachen Schnell-Löse-Haken (TQRH: Triple Quick Release Hook) ausgestattet.



Abbildung 7-2: Example Quick release hook (Source: Straatman)

Alle Angaben, zu Gewichten und Arbeitslast (SWL: Safe Work Load) wurde der Ref. [9.] entnommen. Jeder einzelne Schnell-Löse-Haken (QRH: Quick Release Hook) hat eine Arbeitslast von SWL = 150 t.

Gemäß Ref. [9.] sind die Eigengewichte der Schnell-Löse-Haken (QRH: Quick Release Hooks) wie folgt:

- QQRH (Quadrupel Quick Release Hook): $m_{\text{QQRH}} = 5.600 \text{ kg} = 5,6 \text{ t}$
- TQRH (Triple Quick Release Hook): $m_{\text{TQRH}} = 4.600 \text{ kg} = 4,6 \text{ t}$

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 50 von 77

Gemäß Ref.[15.], ermittelt sich gesamte charakteristischen ULS Mooring-Lasten pro Dalben wie folgt:

Tabelle 7-1: charakteristische ULS Anlegelasten

Dalben	Dalben-Lokationen	QRH-Typ	Anzahl von QRHs (je SLW = 150 t)	Gesamte charakteristische ULS Mooring-Last ML_k
Alle Ankerdalben	MD1 bis MD6	Quadrupel (Q)	4	$60\% \times 4 \times 150 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2$ = 3.532 kN
Äußere Anlegedalben	BD 1 & BD 4	Triple (T)	3	$60\% \times 3 \times 150 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2$ = 2.649 kN

Die in der obigen Tabelle angegebenen ULS Mooring Lasten können laut Ref.[15.] auch abweichend zur horizontalen Richtung mit bis zu 30° nach oben oder bis zu 10° nach untern wirken.

Für die strukturellen Nachweise der Dalbenplattformen werden die oben beschriebenen charakteristischen Mooringlasten ML_k mit den ULS- Lastfaktoren für veränderliche Lasten nach DIN 18088-1, [XI.] multipliziert, dazu siehe auch Kapitel 10.1.

Für die Gründungsnachweise der Dalben werden die oben beschriebenen charakteristischen Mooringlasten ML_k gemäß EAU 2020, Ref. [XIX.] mit einem ULS-Lastfaktor von 1.2 (siehe Kap. 10.2.) multipliziert.

Die Mooringlasten werden bei einer Höhe von EL +12,30 m SKN / LAT angesetzt. Konservativ wird eine reine Horizontalkomponente ohne Vertikalanteil für die Nachweise von Dalben und Plattformen betrachtet.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 51 von 77

7.8 Riser Hang-Off Lasten

Die Brücke B4 soll zusätzlich zu dem Laufweg noch 2 Riser Hang-off Lager bieten. Die Lokation dieser 2 Hang-off Lager ist der folgenden Abbildung zu entnehmen. Um einen Zusammenprall der Riser mit der Brücke B4 zu vermeiden, wird die Brücke B4 mit einer Exzentrizität von 2,55 m zum Dalben angeordnet. Für außergewöhnliche Wartungszwecke, soll die Brücke B4 zusätzlich mit einem Laufsteg zu den Riser-Hang-off Punkten ausgestattet werden. Gemäß ref. [10.], soll dieser einen horizontalen Mondestabstand zu den hang-offs von 0,21 m haben.

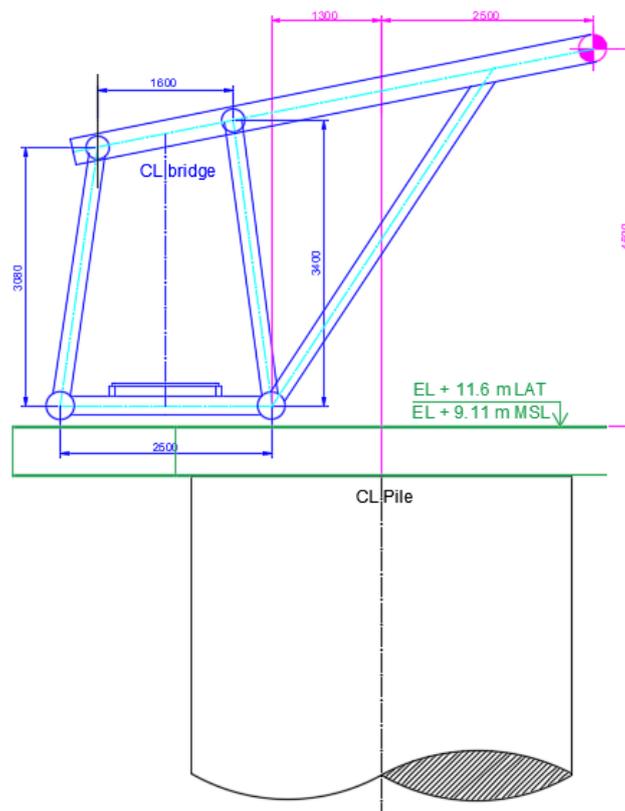


Abbildung 7-3: Position der Riser Hang-Offs, Seitenansicht

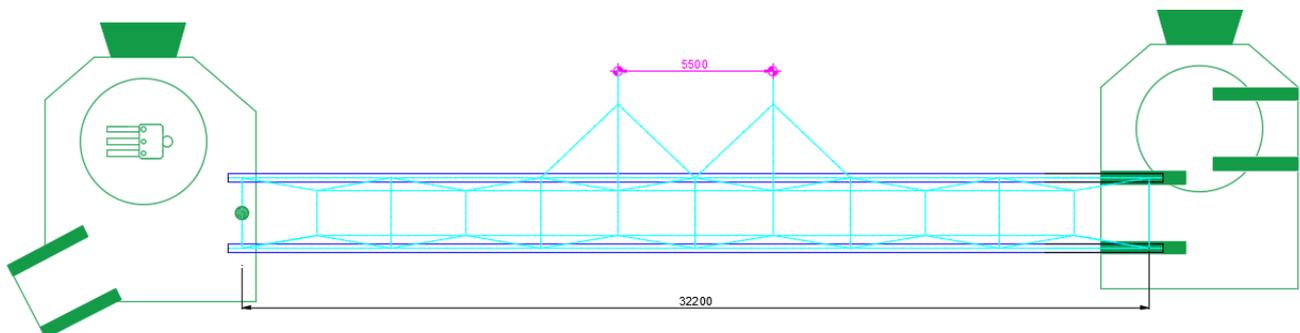


Abbildung 7-4: Position der Riser Hang-Offs, Draufsicht

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 52 von 77

Die Hang-off Lasten erzeugen an der Brücke B4 maximum die folgenden Lasten, wie in ref. [10.] angegeben

- 11 t vertikal
- 11 t horizontal quer
- 10% der Vertikallast horizontal längs

7.9 Treppenturm und Gangway Support-Lasten

Die Plattform BD 3 soll zusätzlich zu den Brücken B5 und B6 auch eine Lagerung für einen Treppenturm und den Laufsteg zum FSRU bieten.

Die Hauptmessungen der Laufsteglagerung an der Basis sind $B \times L = 1.75 \text{ m} \times 1.75 \text{ m}$. Die detaillierten Abmessungen des Treppenturms mit Gangway-Stütze sind in der Zeichnung ref. [11.] dargestellt.

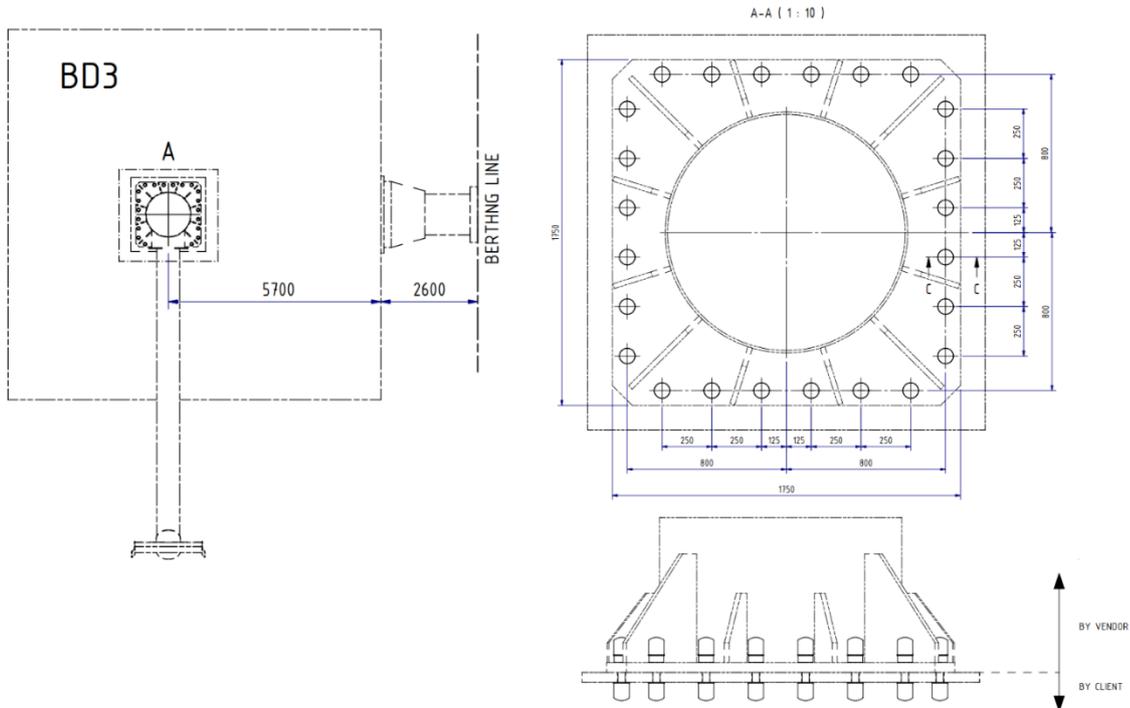


Abbildung 7-5: Treppenturm Grundlage

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 53 von 77

Die Schnittstellenlasten zur BD 3 Plattform sind aus Ref. .[12.] extrahiert.

Tabelle 7-2: Schnittstellenlasten

Lastfall (LC) in Ref. [12.]	Horizontal -Last 1, Fx [kN]	Horizontal -Last 2, Fy [kN]	Resultierende Horizontallast, FR [kN]	Vertikal -Last, Fz [kN]	Biege-Moment 1, Mx [kNm]	Biege-Moment 2, My [kNm]	Resultierendes Biegemoment, MR [kNm]	Drehmoment, Mz [kNm]
LC 17 (Betrieb)	22,9	0	22,9	348,5	32,6	921,7	968,9	19,5
LC1 (Betrieb)	32,9	0	32,9	348,5	352,1	651,9	780,7	19,5
LC 2 (Staustellung)	138,4	0	138,4	432,7	6,7	1.640,8	1.640,8	1,0
LC 6 (Staustellung)	0	174	174	432,7	891,3	923,6	1.283,5	656.,

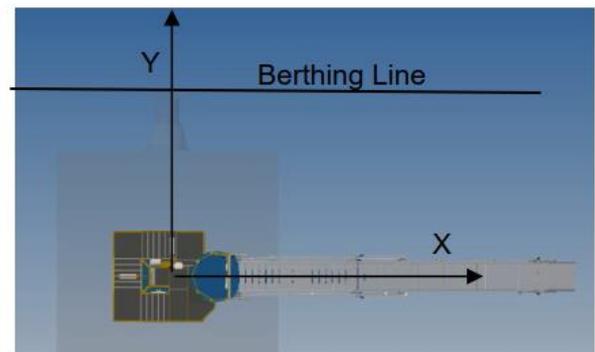


Abbildung 7-6: Gangwayturm in Betrieb

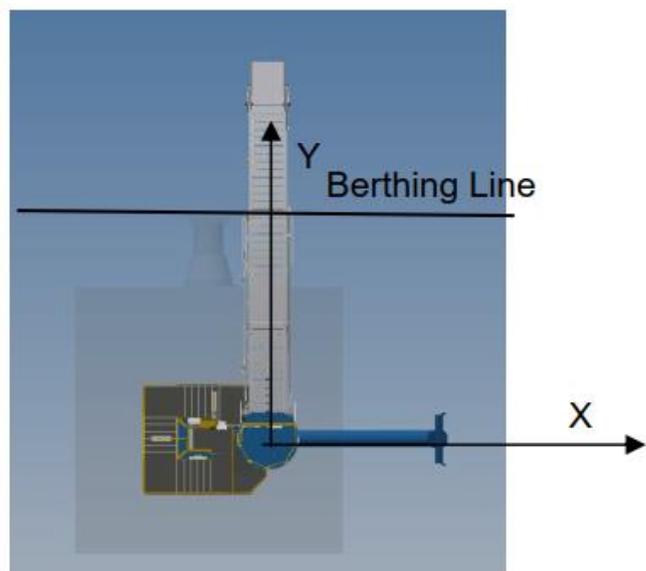
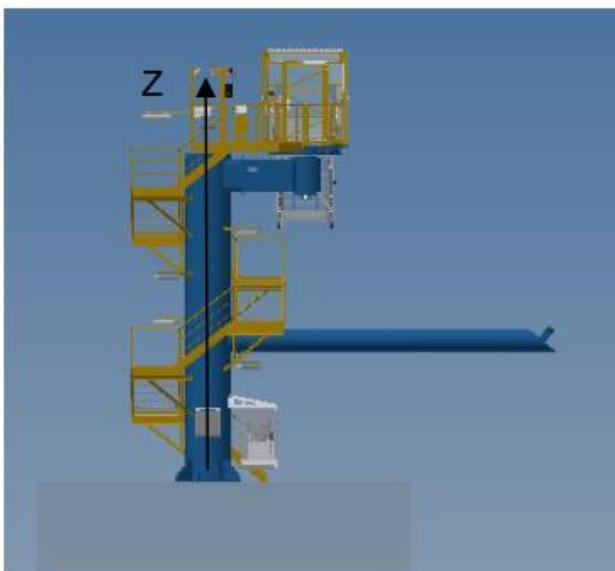


Abbildung 7-7: Gangwayturm in Staustellung

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 54 von 77

Die maximale Lasten aller Lastfälle in Ref. [12.] werden für die Berechnung der Dalben Plattformen berücksichtigt.

7.10 Notunterkunft bzw. Sammelplatz

Die Plattform MD 6 soll zusätzlich zu dem Lager für Brücken B9 noch Platz für einen Sammelplatz für 40 Personen bieten.

7.11 Ponton

Vor den Dalben MD5 und MD6 soll ein Anlegeponton festgemacht werden. Die Betriebsanforderungen, Lasten, Lebensdauer und Designschiffe des Anlegepontons sind beschrieben in TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2201.00_DMC Bemessungsgrundlage Ponton-Anlage.

7.12 Davit Kran

Die Plattform MD6 soll zusätzlich mit einem Schwenkkran (Davit Kran) ausgestattet werden, um Materialien von bis zu 300 kg vom Ponton auf MD6 zu heben. Im Notfall sollen über diesen Kran auch Personen geborgen werden können.

Für die globale und lokale Strukturanalyse der MD6 Plattform, werden die dynamische Reaktionslasten am Kran-Fundamentfuß wie:

- Vertikallast am Fuß: $V_{Kran} = 40 \text{ kN}$
- Horizontallast am Fuß: $H_{Kran} = 8 \text{ kN}$ (Annahme: 20% von Vertikallast)
- Biegemoment am Fuß (Hauptrichtung) $M_{Kran,haupt} = 220 \text{ kNm}$
- Biegemoment am Fuß (Querrichtung) $M_{Kran,quer} = 33 \text{ kNm}$ (Annahme: 15% von Hauptbiegemoment)
- Biegemoment am Fuß: $M_{Kran} = (220^2 + 33^2)^{0,5} \text{ kNm} = 222 \text{ kNm}$
- Erreichen: 16 m

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 55 von 77

REV	DATE	DESCRIPTION	ENR	APP
A	1-04-2023	PRELIMINARY GENERAL ARRANGEMENT	EK	MS

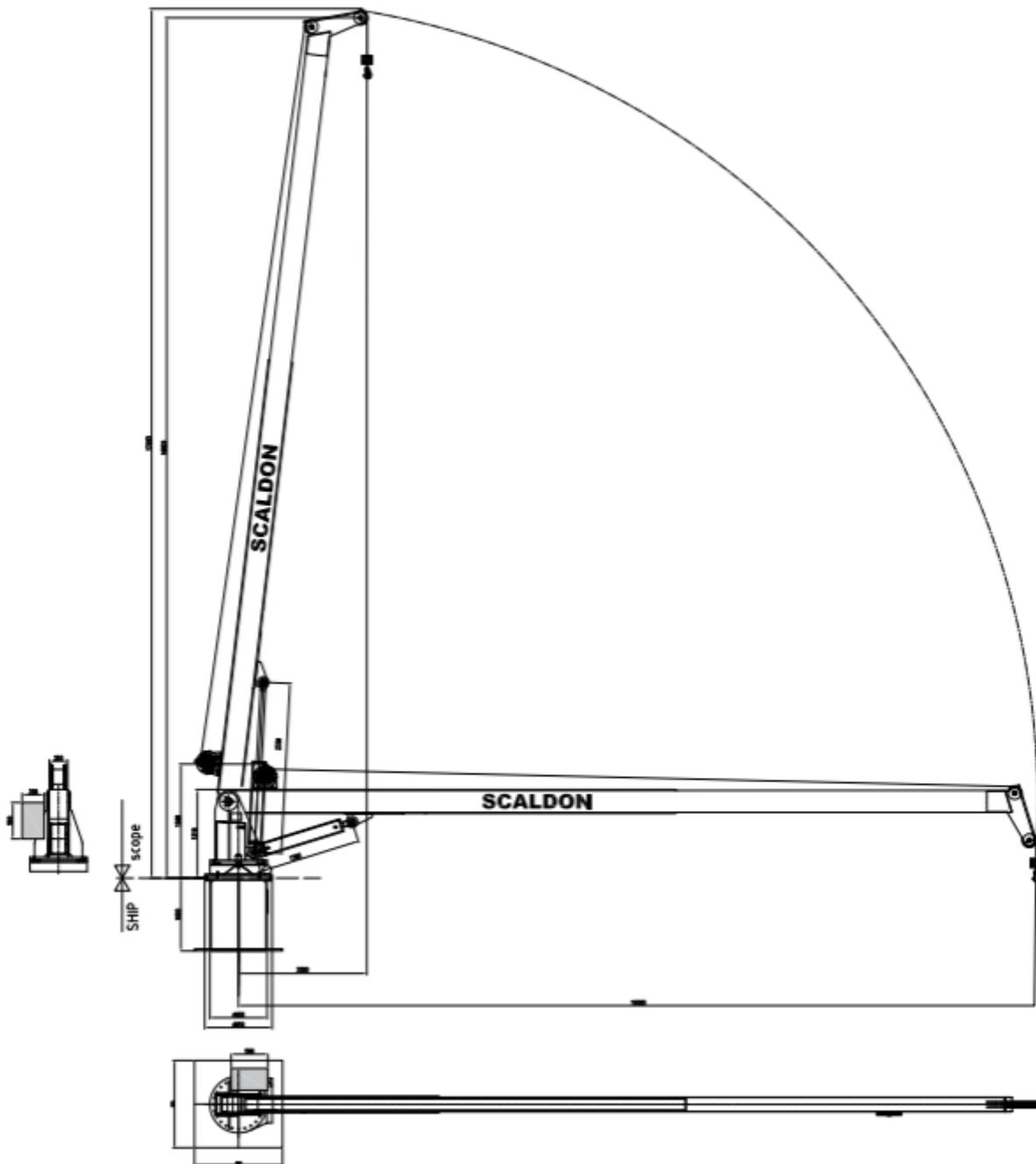


Abbildung 7-8: Beispiel eines Davit-Kran

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 56 von 77

7.13 E&I Container

Die Plattform MD 4 soll zusätzlich zu den Lagern für die Brücken B7 und B8 noch Platz für zwei 20 ft E&I Containers bieten. Das Eigengewicht für beide ausgerüsteten E&I Container wird momentan laut Hersteller auf 20 t geschätzt. Konservativ und um mögliche ungleichmäßige Containerbelastungen und spätere Erweiterungen zu berücksichtigen, wird jeder Container in der Analyse mit je 24 t berücksichtigt.

Beide E&I Container müssen für Wartungszwecke erreichbar sein. Dazu muss die Plattform MD4 vor dem untern Container eine Treppe und Laufsteg als Zugang zu dem oberen Container ausgerüstet werden.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 57 von 77

7.14 Seekabel und J-Tube

An der Plattform MD4 wird zusätzlich die Anlandung von einem Seekabel (Typ Waterlink – fere 1,8 / 3kV von Nexans) geplant. Für die Lastermittlung der zugehörigen J-Tubes (Kabelführungsrohre) an der MD4 werden Durchmesser und Gewicht der Kabel entsprechend Referenz [13.] verwendet:

- Kabeldurchmesser: $D = 53,5 \text{ mm}$
- Kabelgewicht: $m = 7,4 \text{ kg/m}$ in Luft
- Kabelgewicht: $m = 5,1 \text{ kg/m}$ in Wasser
- Betrachtete Länge: $L = 15 \text{ m (LAT to ML)} + 5 \text{ m (bending)} + 12 \text{ m (LAT to pltf.)} = L = 32 \text{ m}$
- Min. zulässiger Biegedurchmesser: $D = 1,6 \text{ m}$ bzw. $R = 0,800 \text{ m}$
- Maximale Kabel-Zugkapazität: $F_{\text{pull}} = 13,7 \text{ t} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 134,4 \text{ kN}$

MD4 ist für zwei mögliche Kabeleinzugverfahren auszulegen: 1. horizontaler Einzug (Abbildung 7-9) und 2. vertikaler Einzug (**Error! Reference source not found.**).

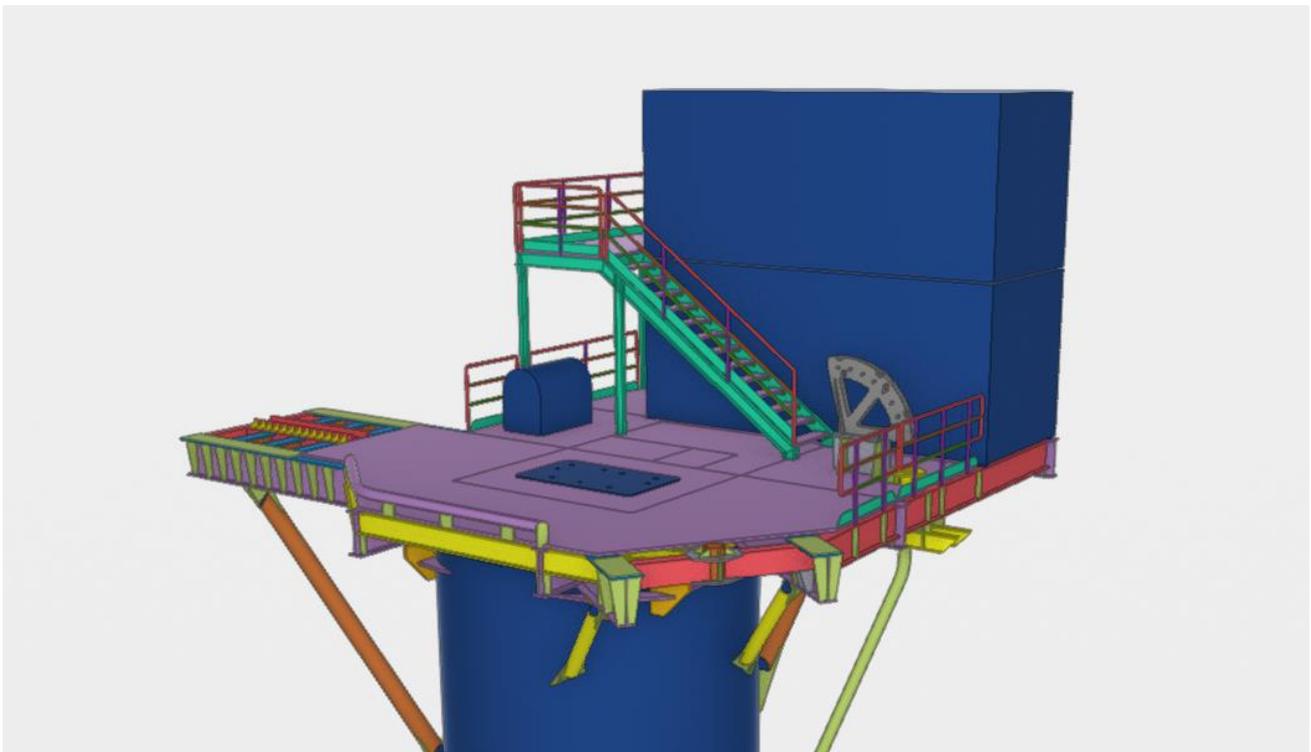


Abbildung 7-9: Horizontaler Kabeleinzug (architektonischer Entwurf)

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 59 von 77

7.16 Umweltbedingungen

Alle Umweltbedingungen basieren auf den in Referenz [1.] angegebenen Daten.

7.16.1 Wasserstände

Da der Terminalbereich teilweise in dem Bereich der BD-Dalben ausgebaggert wird, werden für die Strukturplanungen die folgenden Wassertiefen (h_{water}) berücksichtigt:

- $h_{\text{water}} = -15,0$ m SKN / LAT für alle BDs (nach Ausbaggerung)
- $h_{\text{water}} = -11,0$ m SKN / LAT für alle MDs (keine Baggerarbeiten erforderlich)

Die Wasserstände als 100-jähriges Extremwerte werden, wie in der folgenden Tabelle angegeben, berücksichtigt, basierend auf Referenz [1.]

Tabelle 7-3: Wasserstände, 100-jähriges Extremwerte

Wasserstand	Höhe relativ zu LAT / SKN [m]
Lowest Astronomical Tide / Niedrigster Gezeitenwasserstand / Seekartennull (LAT / NGzW/ SKN)	0,00
Mean Sea Level / Mittlerer Meeresspiegel (MSL) / NHN	2,49
Highest Astronomical Tide / Höchster Gezeitenwasserstand (HAT/ HGzW)	4,77
Highest Still Water Level / Höchster Stillwasserstand (HSWL)	7,16
Niedrigster Stillwasserstand (LSWL)	-1,03

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 60 von 77

7.16.2 Strömungsgeschwindigkeit

Die aktuellen extremen Strömungsgeschwindigkeiten im Wendebecken und im Anlegebereich des FSRUs sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Werte im FSRU-Bereich sich auf den Zustand vor dem Ausbaggern beziehen.

Tabelle 7-4: Aktuelle Bedingungen ohne Baggern [1.]

Richtung Gehend nach (°N)	Geschwindigkeit (m/s) - innerhalb des Wendebeckens	Geschwindigkeit (m/s) -nahe des FSRU
(Ebbe)	1,88	1,60
(Flut)	1,81	1,70

Die maximale Strömungsgeschwindigkeit in der Nähe des geplanten Terminals beträgt vor Baggern somit gemäß Referenz Referenz [1.] $c = 1,7$ m/s.

Es wird davon ausgegangen, dass sich nach dem Baggern im Bereich des FSRU sehr lokal die maximale tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit um 0,05 m/s bis – 0,1 m/s erhöhen kann.

Deswegen wird für die konstruktive Erstauslegung der Dalben, eine maximale Strömungsgeschwindigkeit von $c_{max} = 1,88$ m/s (wie für das Wendebecken gültig) berücksichtigt. Diese Strömungsgeschwindigkeit wird konservativ über die gesamte Wassertiefe als konstant angesehen.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 61 von 77

7.16.3 Winddaten

Die vorherrschende Windrichtung kommt aus Südwest. Angesichts der vorgeschlagenen Ausrichtung des Stegs weht der Wind aus dieser Windrichtung auf das Schiff, mit dem Risiko, dass das Schiff von seinem Liegeplatz abgetrieben wird. Die Windrosen- und Überschreitungstabellen sind unten dargestellt, siehe Referenz [1].

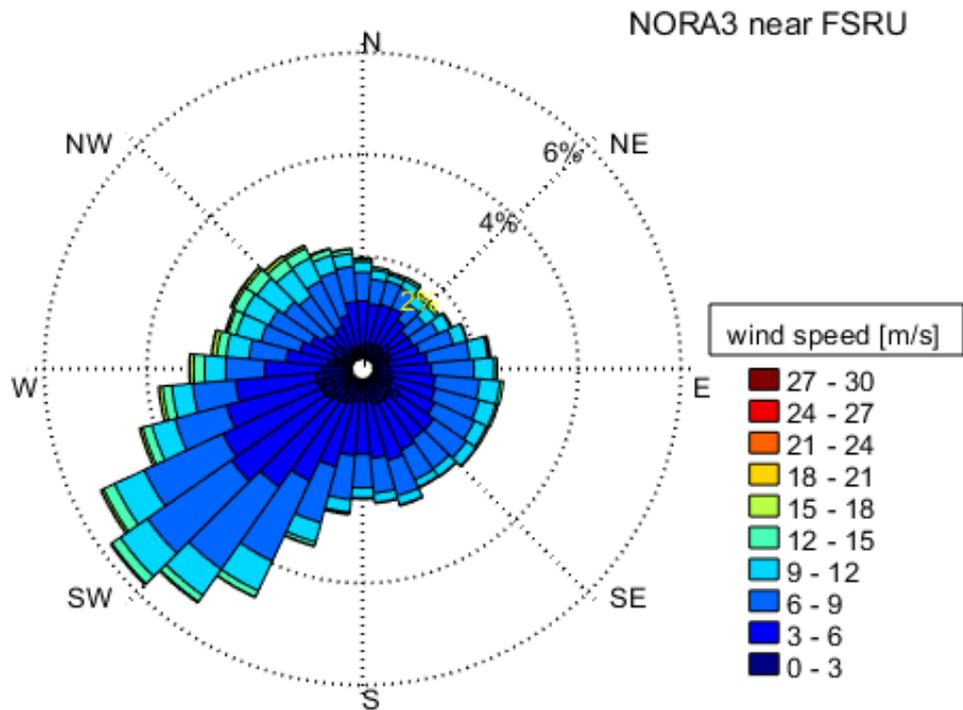


Abbildung 7-10: Windrose in der Wesermündung m/s (NORA3)

Wiederkehrwerte der stündlichen mittleren Windgeschwindigkeit am Projektstandort für mehrere Wiederkehrperioden sind in Abbildung 7-11: dargestellt.

		stündliche mittleren Windgeschwindigkeit											
		Nord	NNO	ONO	Ost	OSO	SSO	Süd	SSW	WSW	West	WNW	NNW
Wiederkehrperioden [Jahre]	100	27.2	22.6	18.0	21.0	17.9	16.8	21.6	24.2	26.4	26.0	26.8	27.8
	50	25.4	21.3	17.1	19.7	17.0	16.1	20.5	23.0	25.0	24.6	25.3	26.2
	20	22.9	19.4	15.9	17.9	15.7	15.1	18.9	21.5	23.1	22.7	23.3	24.1
	10	21.0	18.1	15.1	16.6	14.7	14.4	17.7	20.3	21.7	21.4	21.9	22.4
	5	19.1	16.7	14.2	15.3	13.7	13.6	16.6	19.1	20.3	20.0	20.4	20.8
	2	16.7	14.9	13.0	13.6	12.4	12.7	15.0	17.6	18.4	18.1	18.4	18.7
	1	14.8	13.5	12.1	12.3	11.4	12.0	13.8	16.4	17.0	16.7	16.9	17.0
	0.5	12.9	12.1	11.3	11.0	10.4	11.2	12.7	15.2	15.6	15.3	15.4	15.4

Abbildung 7-11: Extreme Windbedingungen am Projektstandort mit verschiedenen Wiederkehrperioden und Richtungen in m/s

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 62 von 77

Für die Strukturauslegung werden die Windlasten nach der TRAS 320 [XVII.] und somit gemäß DIN EN 1991-1-4/NA, Ref. [III.] ermittelt. Die geplante Lokation des gesamten Bauwerks befindet sich in der Windzone WZ 4, siehe Ref.[III.]. Demnach sind die folgenden Windbasiswerte zu berücksichtigen:

- Basis Windgeschwindigkeit $v_{(b,0)} = 30 \text{ m/s}$ (für Windzone WZ 4)
- Basis Windstaudruck $q_{(b,0)} = 0,56 \text{ kN/m}^2$ (für Windzone WZ 4)

Die Referenzhöhe wird mit $z_{\text{ref}} = 10 \text{ m}$ über Wasseroberfläche angenommen.

Die vorherrschende Windrichtung ist aus Südwest.

Gemäß Ref. [III.] ermittelt sich der anzusetzenden Böhenstaudruck demnach zu:

$$q_p = 2,3 \cdot q_{b,0} \cdot \left(\frac{z}{10\text{m}}\right)^{0,27}, \text{ für } 4 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$$

Der Winddruck auf eine Struktur ergibt sich zu:

$$q_{p,lc} = q_p \cdot c_f$$

mit: q_p : Böhenstaudruck,
 c_f : Aerodynamischer Beiwert.

Aerodynamische Beiwerte für einzelne Stahlquerschnitte

Für Stahlquerschnitte wie I-Träger, C und T-Träger und andere typisch verwendete Profile, werden die folgenden Beiwerte c_f nach Ref. [III.] benutzt:

- $c_f = 2,0$ für Eckige Profile (maximaler Wert),
- $c_f = 1,2$ für Rundprofile (maximaler Wert),

Aerodynamische Beiwerte für Fachwerkstrukturen

Für Fachwerkstrukturen, kann je nach Anströmrichtung und Art des Fachwerkes ein Beiwert c_f nach Ref. [III.] benutzt werden:

- $c_f = 1,85$ Maximalwert für Fachwerkstrukturen,
- $\Psi = 1,00$ Maximum slenderness Ratio,
- $\varphi = 0,50$ konservative Annahme für Verbauungsgrad,

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 63 von 77

7.16.4 Wellendaten

Die Wellenrichtung an der FSRU (Abbildung 7-12:) richtet sich überwiegend nach der Ausrichtung der Fahrrinne, einer schmalen, tiefen Stelle in der ansonsten flachen Mündung. Die signifikante Wellenhöhe am Standort FSRU überschreitet selten 80 cm (auch dargestellt in Abbildung 7-12: und Abbildung 7-13:). Die höchsten Wellen am Standort BD3 sind Windwellen (Abbildung 7-13:). Dort entspricht die höchste Welle in der Zeitreihe $H_s = 1,13$ m einer Spitzenwellenperiode von fast 5 Sekunden. Längere Wellen, die in der Nordsee oder der Deutschen Bucht entstehen, werden über den Mündungen stark reduziert und überschreiten selten 20 cm.

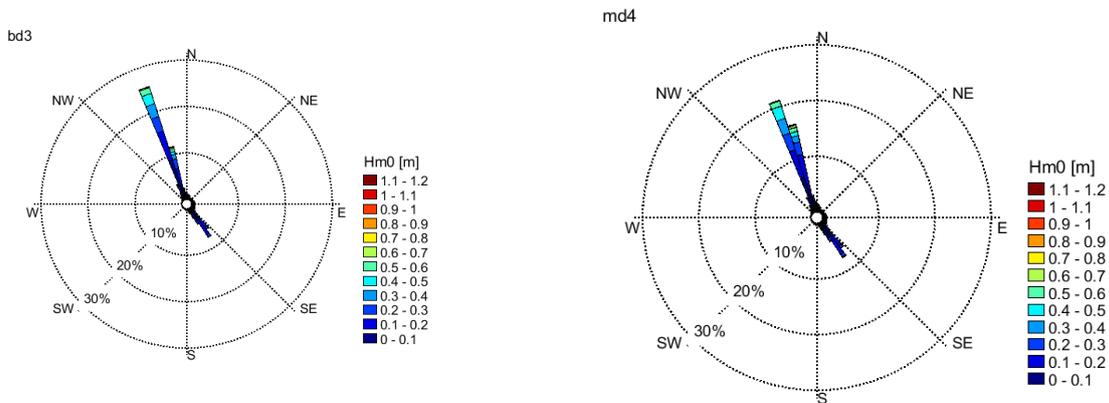


Abbildung 7-12: Wellenrose am Standort FSRU

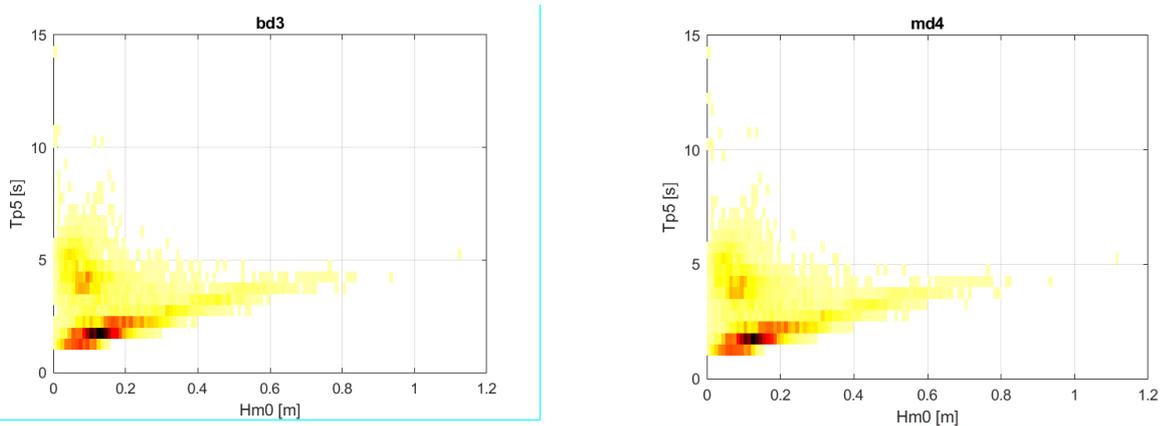


Abbildung 7-13: Häufigkeit des Auftretens der Spitzenperiode (T_p) und der signifikanten Wellenhöhe (H_m0) am Standort bd3 und md4 (Gelb: geringere häufigkeit des auftretens, dunkelrot: geringere häufigkeit des auftretens).

Unter Berücksichtigung der Extremwertverteilungen des gemeinsamen Auftretens von Windgeschwindigkeit und Hoch- und Niedrigwasserstand am Projektstandort wird in *Tabelle 7-5* die höchste signifikante Wellenhöhe bei BD3 für die Extremkombinationen des gemeinsamen Auftretens von Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe pro Windrichtung und pro Wiederkehrwert aufgeführt. Die Tabelle listet ferner die Spitzenwellenperiode und die mittlere Wellenrichtung auf, die mit diesen signifikanten Wellenhöhen verbunden sind.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 64 von 77

Tabelle 7-5 Extremwellencharakteristik bei BD3 simuliert für die Extremwertverteilungen des gemeinsamen Auftretens von Windgeschwindigkeit und (Hoch- und Niedrig-) Wasserstand.

Windsektor	Eigenschaften	HW-T100	LW-T100
NNW	H _{s,w}	2,1 m	2,0 m
	T _p	5,2 s	5,0 s
	mDir	339° N	338°N

Die Extremwertanalyse der Offshore-Wellen und die Extremwertanalyse des Hochwasserstands am Projektstandort werden unabhängig voneinander durchgeführt. Die Offshore-Wellenhöhe mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren aus einer bestimmten Richtung wird mit einem Hochwasserstand von 4,33 m kombiniert (was einer Wiederkehrperiode von rund 35 Jahren am Projektstandort entspricht).

Tabelle 7-6 Küstennahes Schwellverhalten unter extremen Umweltbedingungen mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren.

Sektor	Eigenschaften von Wellen am Projektstandort				
	H _{s,s} [m]	T _p [s]	mDir [°N]	Dspr	Gamma
Westen	0,11	13,5	345	13,5	1,84
WNW	0,14	14,7	348	14,5	1,84
NNW	0,21	15,4	356	18,1	1,84
Norden	0,40	8,7	358	21,9	1,09
NNO	0,40	6,7	0	25	1,66

Wie in Referenz Referenz [1.] angegeben, beträgt die höchste signifikante Wind-Wellenhöhe H_{s,w} = 2,1 m und die zusätzliche Höhe infolge Schwell H_{s,s} = 0,4 m.

Demnach ermittelt sich die gesamte signifikante Wellenhöhe H_s zu:

$$H_s = (H_{s,w}^2 + H_{s,s}^2)^{(1/2)} = 2,29 \text{ m}$$

Für die strukturellen Nachweise werden demnach die folgende Wellenbedingungen angenommen:

Tabelle 7-7: Wellendaten

Wellendaten	Wert
Signifikante Wellenhöhe H _s [m] (100-Jahres)	2,29
Zugehörige Periode T _z [s]	5,54
Maximale Wellenhöhe H _{max} = 1,86 * H _s [m]	4,25
Maximaler Wellenberg / Wave Crest. C = 2/3 * H _{max} [m über SKN]	2,83

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 65 von 77

7.16.5 Meerwasser Eigenschaften

Die Eigenschaften vom Meerwasser sind in der folgenden Tabelle gegeben.

Tabelle 7-8: Eigenschaften Meerwasser

Eigenschaft	Wert
Salzgehalt S [g/l]	31
Temperatur T [C°]	1-22
Dichte ρ_{Wasser} [kg/m ³]	1.025

7.16.6 Lufttemperatur

Die höchste aufgezeichnete Umgebungstemperatur, gemessen in Wilhelmshaven, betrug am 9.9.1992 36,0 Grad Celsius. (Wetterzentrale.de). Der Datenzeitraum liegt zwischen dem 01.01.1916 – 30.06.1998. Siehe Abbildung 7-14: .

Die niedrigste aufgezeichnete Umgebungstemperatur, gemessen in Wilhelmshaven, betrug am 16.2.1956 - 18,2 Grad Celsius. (Wetterzentrale.de). Der Datenzeitraum liegt zwischen dem 01.01.1916 – 30.06.1998. Siehe Abbildung 7-15: .

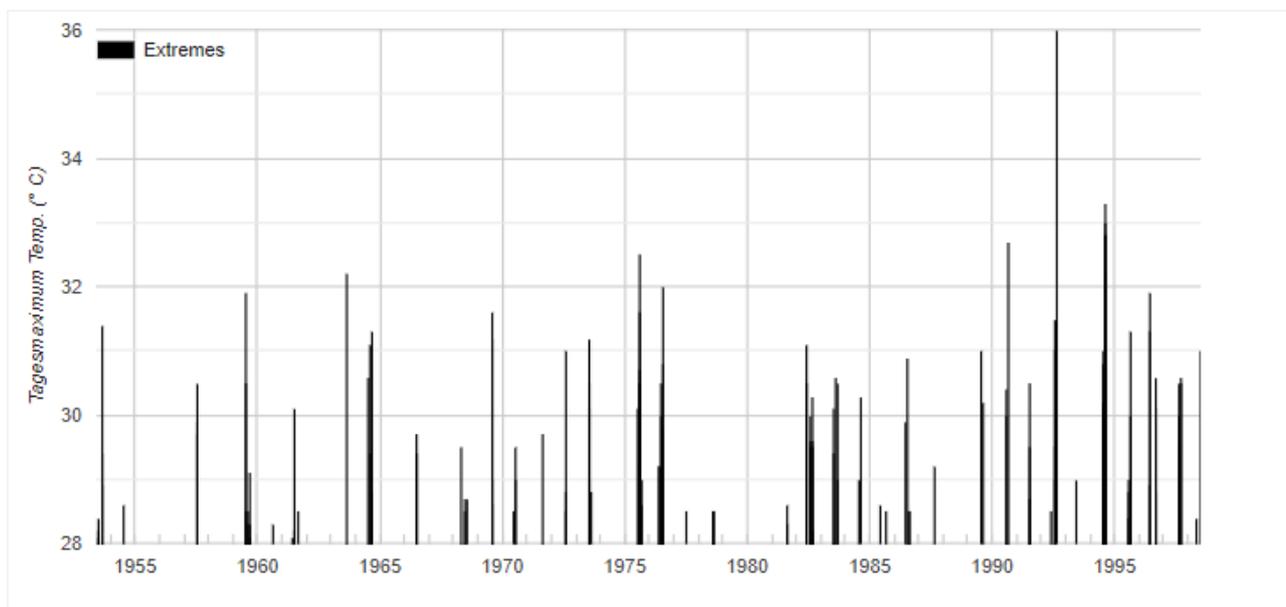


Abbildung 7-14: Höchste Umgebungstemperatur

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 66 von 77

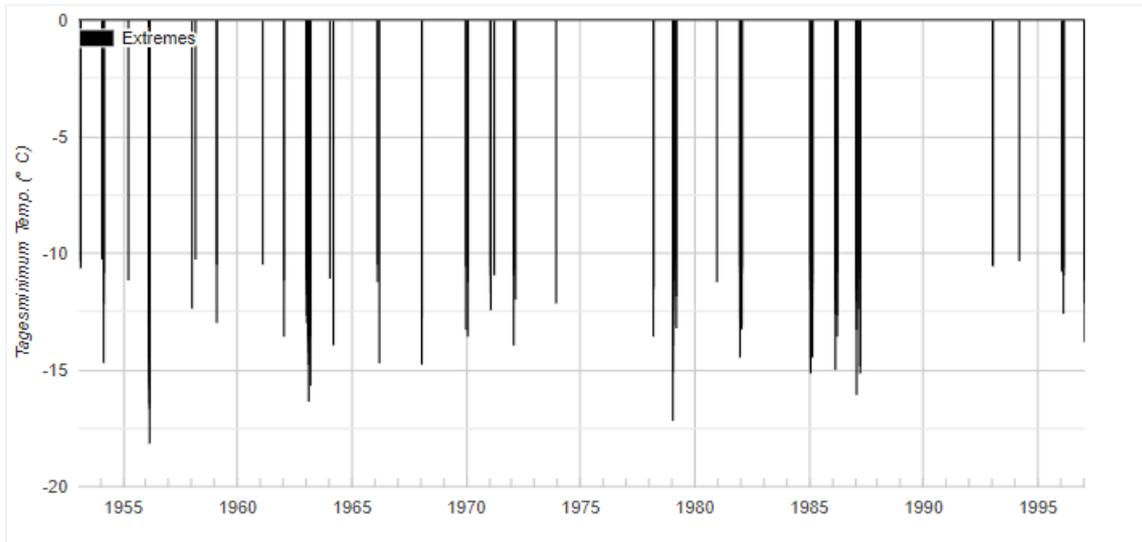


Abbildung 7-15: Niedrigste Umgebungstemperatur

Die durchschnittliche maximale Umgebungstemperatur wird mit 33 Grad Celsius angenommen. Die durchschnittliche minimale Umgebungstemperatur wird mit -15 Grad Celsius angenommen. (Technip Energies 2022).

7.16.7 Meeresbewuchs

Für die strukturelle Auslegung wird Meeresbewuchs berücksichtigt, wie in der folgenden Tabelle definiert.

Tabelle 7-9: Meeresbewuchs

Ebene SKN / LAT [m]		Dicke [mm]	Trockendichte [kg/m ³]
Von	Bis		
+4	-10	150	1.325
-10	Boden	100	

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 67 von 77

7.16.8 Schneelasten

Die Schneelasten werden entsprechend der TRAS 320 [XVII.] nach DIN EN 1991-1-3 [IV.] und dem zugehörigen nationalem Anhang berücksichtigt. Es wird die Schneelastzone 1 nach Ref. [IV.] betrachtet.

Für Zone 1 gilt eine charakteristische Schneelast am Boden von $s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$ (gültig bis zu einer Höhe von 400 m über Wasser).

Ein etwaiger Klimaanpassungsfaktor von 1,2 (siehe TRAS 320 [XVII.], Teil III, Abschnitt 1.2.6) wird hier in Anlehnung an die TRAS 310 [XVI.], Anhang I nicht berücksichtigt, da die Nutzungszeit der Anlage auf einen Zeitraum bis max. zum Jahr 2050 begrenzt (Lebensdauer < 25 Jahre) wird (siehe Ref. Kapitel 6.3).

Entsprechend DIN EN 1991-1-3 [IV.] wird die Schneelast auf Dächern für extreme Sturmbedingungen wie folgt berechnet:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

mit:

μ_i = Schneelast Formkoeffizient = 0,8 für Oberflächen (/Dächer) mit einem Winkel < 30°.

C_e = Aussetzungskoeffizient = konservativ zu 1,0 gesetzt

C_t = Thermischer Koeffizient = 1,0 für den Normalfall

Die Bemessungslast durch Schnee, die für den maximalen Sturmzustand berücksichtigt wird, beträgt:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,65 \text{ kN/m}^2 = 0,52 \text{ kN/m}^2.$$

7.16.9 Eislasten

Eislasten werden entsprechend der TRAS 320 [XVII.] nach DIN EN 1991-1-3, Ref. [IV.] ermittelt. Das geplante Bauwerk befindet sich in der Küstenregion und somit in der Vereisungsklasse G1/R1.

Somit werden berücksichtigt für die Vereisungsklasse G1:

- Eisdicke $t = 10 \text{ mm}$ für $z < + 30 \text{ m}$ über NGzW,
- Eisdichte 900 kg/m^3 .

und für die Vereisungsklasse R1:

- Eislast pro Stab mit $D < 0,3 \text{ m}$ von $e = 0,005 \text{ kN/m}$,
- Konservativ vereinfacht wird für Stäbe mit $D > 0,3 \text{ m}$ eine Eislast von $e = 0,01 \text{ kN/m}$.

7.16.10 Treibeis

Die waagerechte Eislast wird gemäß Referenz [XX.] mit dem für die Pfahlauslastung maximalen Hebelarm auf $1,82 \text{ m SKN}$ angesetzt. Die Eislast beträgt 200 kN/m für eine Eisdicke von 40 cm . Für die Gesamtlast wird der komplette Pfahldurchmesser von $4,5 \text{ m}$ berücksichtigt, was zu einer charakteristischen Eislast von 900 kN führt.

7.16.11 Erdbebenlasten

Entsprechend DIN 18088-1 [XI.] sind Erdbebenlasten nicht relevant für die Lokation des Terminals.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 68 von 77

7.16.12 Geotechnische Information

Die Bemessungsbodenprofile für alle 10 Dalbenpfähle sind dem „Geotechnischen Bericht“ von ACP entnommen, siehe auch Ref. [27.]. Alle 10 Bemessungsprofile enthalten die wesentlichen Kennwerte immer 3-fach:

- Best Estimate (BE) / Mittelwerte
- Low Estimate (LE) / untere Grenzwerte
- High Estimate (HE) / obere Grenzwerte

Basierend auf Anforderungen aus Ref. [27.], werden BE-Bodendaten für die Ermittlung der Mantelreibung verwendet.

Gemäß Ref. [27.] empfiehlt ACP, für die ULS-Nachweisen die LE-Grenzwerte für die Spitzenwiderstände zu benutzen und für die SLS-Nachweise die BE-Mittelwerte.

Da die axiale äußerer Pfahltragfähigkeit in den hier zu untersuchenden allen 10 Dalbenpfählen nicht maßgebend wird, wird der Anteil der Spitzenwiderstände konservativ vereinfachend komplett vernachlässigt (dies hat keine Auswirkung auf die innere Tragfähigkeit der Pfähle).

7.17 Kolkchutz

Da ein Kolkchutz eingesetzt wird, siehe auch Kapitel 5.6, wird in den Analysen zur Gründung bisher Kolk berücksichtigt.

7.18 Decksebenen / Höhen

Die erforderliche Mindesthöhe des Dalben Decks wurde nach DIN 18088 [XI.] berechnet und beruht auf der maximalen Wasserhöhe und der höchsten Wellenhöhe.

Tabelle 7-10: Dalbenplattformhöhen

Beschreibung	Wert
Vertikale Installationstoleranz (Annahme)	$\Delta z_1 = 0,10 \text{ m}$
Sicherheitsaufschlag der Wassertiefe (Annahme)	$\Delta z_2 = 0,10 \text{ m}$
Anstieg des Meeresspiegels (konservative Annahme)	$\Delta z_3 = 0,10 \text{ m}$
Vertikale Setzung (konservative Annahme)	$\Delta z_4 = 0,10 \text{ m}$
Highest Still Water Level / Höchster Stillwasserstand	HSWL = 7,16 m SKN / LAT
Maximaler Wellenkamm C bei maximaler Weller H_{\max}	$C_{H_{\max}} = 2,83 \text{ m}$

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 69 von 77

Maximaler Wellenkamm	$WK_{max} = \Sigma\Delta z + HSWL + C_{Hmax} = 10,39 \text{ m SKN / LAT}$
Airgap / Sicherheitsabstand ($A = 20\% * H_s = 0,2 * 2,29 \text{ m}$)	$A = 0,46 \text{ m}$
Erforderliche Mindesthöhe Unterkante Stahlbau (BOS)	$Min EL_{req} = WK_{max} + A = 10,85 \text{ m SKN / LAT}$
Gewählte Höhe der Plattform Unterkanten (BOS)	$EL (BOS) = 11,0 \text{ m SKN / LAT}$

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 70 von 77

7.19 Wasserwechselzone

Die angenommene Wasserwechselzone ergibt sich aus den höchsten und niedrigsten Wasserständen und verläuft wie folgt:

Tabelle 7-11: Wasserwechselzone

Artikel	Wert [m SKN / LAT]
Höchster Stillwasserstand (HSWL)	+7,16
Niedrigster Stillwasserstand (LSWL)	-1,03

7.20 Korrosionszuschlag - Stahl

Die Korrosionsrate wird allgemein nach der Ref. DIN 18088 [XI.] bestimmt.

- $V_{\text{corr}} = 0,01$ mm / Jahr für außenliegende Strukturelemente, oberhalb der Wasserwechselzone
- $V_{\text{corr}} = 0,30$ mm / Jahr für außenliegende Strukturelemente, innerhalb der Wasserwechselzone
- $V_{\text{corr}} = 0,15$ mm / Jahr für innenliegende Oberflächen, welche nur unregelmäßig von Wasser bedeckt werden

Um die Stahlstrukturen erfolgreich gegen Korrosion zu schützen, Epoxidbeschichtung, welche passend für diese Umgebung auszuwählen sind, aufgetragen werden. Die Schichtdicken sollten nach der gewünschten Lebensdauer ausgewählt werden.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 71 von 77

8 Materialien

8.1 Baustahl

Allgemein wird die Herstellung des Stahls, dessen Bestimmung der Toleranzen und Materialprüfung nach DIN EN 1090-2 [XII.], DIN SPEC 18088-13 [XIII.], DIN EN ISO 13920 [XIV.] durchgeführt.

Die folgende Tabelle listet die Eigenschaften des ausgewählten Baustahls aller Dalben:

Tabelle 8-1: Materialkennwerte des Stahls

Data	Wert		
Struktur Klasse	Special (API Class A)	Special, Primary, Secondary (API Classes A, B, C)	Tertiary (API Class C)
Spezifische Streck-Grenze [MPa]	420	355	275
Dichte [kg/m ³]	7.850,0		
Elastizitätsmodul [MPa]	210.000		
Querdehnzahl	0,30		

Die Auslegungstemperaturen des Stahls sind wie folgt definiert:

$$T_{Dmin} = -15^{\circ}\text{C über SKN / LAT}$$

$$T_{Dmin} = -5^{\circ}\text{C unter SKN / LAT}$$

Für sonstige Ausstattung des Terminals wie z.B. Pfeiler oder Leitern sollte Edelstahl gewählt werden, um eine optimale Sicherheit und gleichzeitig Kosteneffizienz zu erreichen.

8.2 Beton

Für die geplante Nutzungsdauer des Bauwerks von ≤ 5 Jahren ist keine Beton-Abdeckung der Dalben-Plattformen (Anleger-Dalben) vorgesehen. Die Plattformen werden aus einer Trägerstruktur mit Gitterrosten und Platten gebaut.

8.3 Grating / Gitterroste

Durch die Laufstegbreite von 1,20 m auf den Brücken ergibt sich ein Gitterrostspannweite von $S = 1,20$ m. Die Spannweiten auf den Dalbenplattformen werden ebenso mit $S \leq 1,20$ m gewählt.

Als möglicher Gitterrosttyp, der alle zulässigen Verformungskriterien bei $S = 1,20$ m einhält wird der Typ SP 240-34/38-3 ausgewählt. Dieser Gitterrosttyp hat einen Tragstab von 40×2 mm und ein Eigengewicht (verzinkt) von $m = 27,2$ kg/m². Konservativ wird für die Berechnungen aller Laufwege ein Gitterrost – Eigengewicht von $m = 30$ kg/m² angesetzt.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 72 von 77

9 Berechnungsmethoden und Nachweisformate

9.1 Allgemein

In dieser Designphase werden die strukturellen Nachweise nach EC3 [V.] geführt.

Es werden Nachweise für die folgenden Grenzzustände erbracht:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State - ULS),
- Grenzzustand der Ermüdung (Fatigue Limit State – FLS),
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State – SLS).

Im Allgemeinen werden alle strukturellen Nachweise für die Brücken, die Brückenlager und die Dalbenplattformen nach DIN 18088-1, Ref. [XI.] durchgeführt.

Nachweise der Gründung erfolgt hingegen nach EA-Pfähle (Ref.[XX.]), und EAU 2020 (Ref [XIX.]).

9.2 LRFD Methode

Für alle Nachweise wird die LRFD Methode angewandt. Es handelt sich um ein Bemessungsverfahren, bei dem das angestrebte Sicherheitsniveau der Komponente erreicht wird, indem Belastungs- und Widerstandsfaktoren auf die charakteristischen Werte der Basisvariablen angewendet werden. Die grundlegenden Kennwerte sind die Folgenden:

- Lasten, die auf die Struktur wirken,
- Material- und Strukturwiderstände.

Das Sicherheitsniveau eines Bauteils gilt als ausreichend, wenn die Bemessungslasteinwirkung (S_d) die Bemessungstragfähigkeit (R_d) nicht überschreitet:

$$S_d \leq R_d$$

9.3 Allgemeine Design-Last / Entwurfslast

Grundsätzlich ergibt sich die Design-Last (F_d), indem die charakteristische Last ($F_{k,i}$) mit einem Lastfaktor multipliziert wird ($\gamma_{F,i}$):

$$F_d = \sum_i \gamma_{F,i} \cdot F_{k,i}$$

Laut DIN 18088 [XI.] sind unterschiedliche Teilsicherheitsfaktoren mit den entsprechenden Lasten zu kombinieren.

Lastkombinationen einschließlich der Lastfaktoren und Lastkombinationswerte sind für verschiedene Lasteinwirkungen im Abschnitt 9.5 dieses Dokuments angegeben.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 73 von 77

9.4 Allgemeine Design-Widerstände

Die Design-Widerstände (R_d) werden wie folgt bestimmt:

$$R_d = \Phi R_k$$

mit: R_k = Charakteristischer Widerstand

Φ = Widerstandsfaktor.

Der Widerstandsfaktor Φ verhält sich wie folgt zum Materialfaktor γ_M :

$$\Phi = 1 / \gamma_M$$

9.5 Strukturelle Nachweisführung

9.5.1 Allgemeines

Für die Strukturen (Brücken, Brückenlager, Dalbenplattformen, etc.) werden die folgenden Nachweise geführt:

- Spannungs- und Stabilitätsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS), für den finalen Einbauzustand und den Einhebevorgang zur Installation
- Verformungsnachweis (SLS) für den finalen Einbauzustand
- Eigenfrequenzanalysen (für Brücken unter Fußgängerlast) für den finalen Einbauzustand
- VIV-Check (Check gegen Wind-induzierte Schwingungen)

9.5.2 Begrenzung der Verformung

Für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, wird das folgenden Grenzkriterium nach EC3 [V.] sowie nach DIN EN 14122-2 [XXI.], überprüft:

- Erlaubte maximale vertikale Gesamtverformung:
 - für Einfeldträger $\delta < L / 200$,
 - für Kragarm $\delta < L / 100$.
 -

9.5.3 Begrenzung der Eigenfrequenzen

Für Fußgängerbrücken ist zusätzlich die Eigenfrequenz zu prüfen. Die Brücke soll nicht zu Eigenschwingungen angeregt werden, wenn Personen über die Brücke gehen oder laufen.

Dafür sollten die folgenden Eigenfrequenzbereiche (Ref. [XXV.] und [XXVI.]) vermieden werden:

- Vertikal: $1,50 < f_{n,v} < 3,00$ Hz

Ergo sollte die Eigenperiode der Brücke in vertikaler Richtung entweder unter 0,33 sec ($\triangleq > 3,0$ Hz) oder über 0,666 sec ($\triangleq < 1,5$ Hz) sein.

- Horizontal: $0,75 < f_{n,H} < 1,50$ Hz

Ergo sollte die Eigenperiode der Brücke in horizontaler Richtung entweder unter 0,666 sec ($\triangleq > 1,50$ Hz) oder über 1,333 sec ($\triangleq < 0,75$ Hz) sein.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 74 von 77

9.6 Geotechnische Nachweisführung

9.6.1 Allgemeines

Für die Gründungen werden die folgenden Nachweise geführt:

- Rammbarkeit (ULS & FLS)
- Laterale Pfahltragfähigkeit (ULS)
- Axiale Tragfähigkeit (ULS)

Der Boden wird mit Hilfe von nicht-linearen Federn (P-Y; T-Z und Q-Z Kurven) modelliert. Die Bodenfedern werden anhand der einwirkenden Lasten linearisiert.

9.6.2 Rammbarkeit

Es wird davon ausgegangen, dass sich während der Rammarbeiten aufgrund des (ref. [XXVII.] und [XXVIII.]) großen Pfahldurchmessers kein Bodenpfropfen bildet.

Daher wird für die Rammanalyse nur der Unplugged Zustand betrachtet (innere und äußere Mantelreibung angenommen mit T-Faktor = 2,0). Die Pfahlsole wird als offenes Ende angenommen, und daher wird die Reibung zwischen Pfahl und Boden an der Innen- und Außenfläche berücksichtigt..

Der verwendete Hammertyp ist ein IHC S2.000 mit einem angewendeten Wirkungsgrad von 95 %, was einen typischen Wirkungsgrad darstellt, wie vom Hammerlieferanten bestätigt.

Für die Driveability werden die Hammereigenschaften nach Herstellerdatenblättern gewählt. Die Hammerkonfiguration wird ohne Cushion angenommen, was zu einem Stahl-auf-Stahl-Schlag führt. Im Folgenden werden die wichtigsten Eingabedaten für die ausgewählten Hämmer aus dem GRLWEAP-Programm demonstriert.

- Rammgewicht 990 kN
- Maximale Schlagenergie 1.800 kJ
- Schlagrate 30 blows/min
- Maximaler Stroke 2,02 m
- Maximale Hammereffizienz 60%

Die *Driveability* berücksichtigt zwei Szenarien. Das erste Szenario ist der *Best Estimate* des Bodens und wird auf der Grundlage einer maximalen Hammerenergie von 1.800 kJ berechnet. Das zweite Szenario verwendet den High Estimate des Bodens mit einer Hammerenergie von bis zu 1.800 kJ.

- Durchschnittliche CPT Widerstände pro angegebene Schicht
 - Scenario 1: *best estimate soil* max. 1.800 kJ Hammer Energie
 - Scenario 2: *high estimate soil* max. 1.800 kJ Hammer Energie

Quake und Dämpfung nach Alm/Hamre werden angesetzt:

- *Shaft quake:* 2,5 mm
- *Toe quake:* 2,5 mm (für offene Pfahlenden)
- *Shaft damping:* 0,25 sec/m
- *Toe damping:* 0,5 sec/m

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 75 von 77

Folgende Refusal-Kriterien werden berücksichtigt. Jede der folgenden Anforderungen führt unabhängig zum Pile Refusal:

- L1: 125 blows pro 250 mm über 1,5 m Eindringung
- L2: Kontinuierliches überschreiten von 125 blows/0,25 m über eine Eindringung von 1,0 m
- L3: 200 oder mehr blows über 250 mm Eindringung

9.6.3 Laterale Tragfähigkeit

Gemäß ref. [XIX.] wird der P-Y Ansatz zur Verifizierung der lateralen Tragfähigkeit angewandt. Folgende Formeln werden verwendet:

$$P_d = A * p_u * \tanh \left[\frac{k * H}{A * p_u} * y \right]$$

Mit:

A = Cyclic Faktor (konservativ als 0,9 angesetzt)

p_u = Tragfähigkeit auf Tiefe unter Baggerlinie H

K = Bettungsmodul

P_d = Laterale Tragfähigkeit

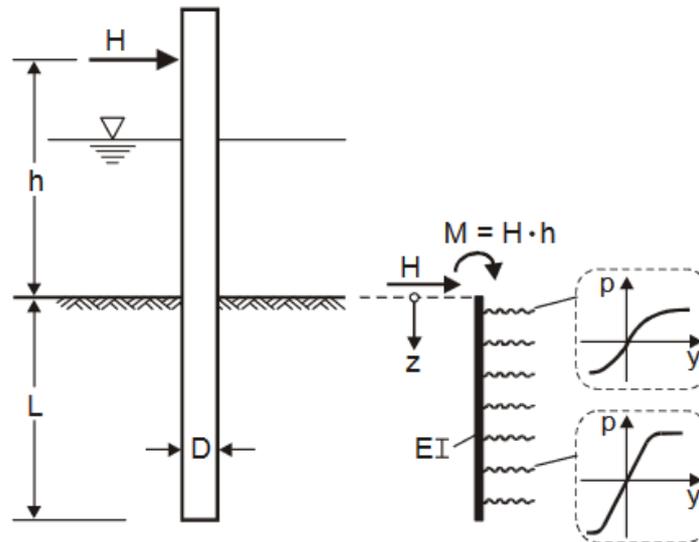


Abbildung 9-1: Statisches System für Laterale Tragfähigkeit

9.6.4 Axiale Tragfähigkeit

Axiale Tragfähigkeit wird nach ref. [I.] berechnet.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 76 von 77

10 Lastkombinationen und Lastfaktoren

10.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Strukturelle Nachweise

Lastfaktoren für die globalen ULS Nachweise leiten sich aus DIN 18088-1, Tabelle F.1, Ref. [XI.] ab. Alle Lastfaktoren und Kombinationen (inkl. Lastkombinationsfaktoren nach Tabelle 11 in DIN 18088-1, [XI.]), welche in der ULS Analyse betrachtet werden sind im Folgenden beschrieben. Die folgenden Lastfaktoren gelten für ULS: nach DIN 18088-1, [XI.]),

- Eigengewicht + veränderl. Lasten:

$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

$$1,35 * G + 1,50 * Q_1 + 1,50 * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$
 Mit:
 - $\psi_{0,i} = 0,5$ für Schnee S
 - $\psi_{0,i} = 0,5$ für Eis E
 - $\psi_{0,i} = 0,6$ für Wind W
 - $\psi_{0,i} = 0,7$ für Verkehrslast V

10.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Gründungsnachweise

Die folgenden Lastfaktoren gelten für ULS nach EC3 Ref. [XI.] und den Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Ref. [XIX.].

- Eigengewicht + veränderl. Lasten:

$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

Die veränderlichen Lasten aus Mooring- und Fender-Kräften sind deutlich höher als die Umweltlasten (in der Kombination aus Welle, Wind and Strömung). Daher wird der Lastfaktor von $\gamma_Q = 1,2$ (gemäß Ref. [XIX.]) auf die Fender- und Mooring-lasten aufgebracht. Konservativ werden die Umweltlasten nicht um einen Kombinationsbeiwert verringert ($\gamma_Q * \psi_{0,i} = 1,2 * 0,7 = 0,84$), sondern mit einem gesamten Lastfaktor von $\gamma_Q = 1,0$ aufgebracht.

10.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Für SLS gelten die folgenden Lastfaktoren:

- Eigengewicht + veränderl. Lasten:

$$\gamma_G * G + \gamma_G * Q_1 + \gamma_Q * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

$$1,0 * G + 1,0 * Q_1 + 1,0 * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$
 Mit:
 - $\psi_{0,i} = 0,5$ für Schnee S
 - $\psi_{0,i} = 0,5$ für Eis E
 - $\psi_{0,i} = 0,6$ für Wind W
 - $\psi_{0,i} = 0,7$ für Verkehrslast V

10.4 Widerstandsfaktoren

Die Materialwiderstandsfaktoren für den Tragsicherheitsnachweis (ULS Analyse) werden der Norm DIN EN 1993-1-1/NA, Ref. [V.] entnommen.

Für allgemeine Spannungsnachweise globaler Querschnitte für ULS, gilt ein Materialfaktor von:

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2001.09_Entwurfsgrundlagen
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 77 von 77

$$\gamma_{m0} = 1,00$$

Für Stabilitätsnachweise globaler Querschnitte für ULS, gilt ein Materialfaktor von:

$$\gamma_{m1} = 1,00$$

Für Rohrknotenanschlüsse nach DIN EN 1993-1-8, Ref. [VIII.] und DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Ref. [VIII.], wird der folgende Materialwiderstandsfaktor benutzt:

$$\gamma_{m5} = 1,00$$

Für geschraubte und geschweißte Anschlüsse gilt ein Materialfaktor von:

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

Für die Gründungsnachweise gelten die folgenden Materialfaktoren von:

$$\gamma_m = 1,10 \quad \text{für Stahl}$$

$$\gamma_{R,e} = 1,15 \quad \text{für Bodenwiderstände}$$