



FRSU Wilhelmshaven

# Bau- und Montagebeschreibung wasserseitige Arbeiten

Dokumentenr.: **TES-WHV-VGN-FSRU-PM-DOC-1002**

Verfasser: **TES GmbH** im Auftrag der **FRSU Wilhelmshaven GmbH**

06	11.03.2024	IFI	MAL	LdK	CS
05	31.08.2023	IFI	MAL	GF	AS
04	21.07.2023	IFI	MAL	TOT	AS
03	19.06.2023	IFI	MAL	TOT	AS
Rev.	Datum	Kommentar	Erstellt	Geprüft	Freigabe

**FRSU Wilhelmshaven GmbH**

Emsstrasse 20 | 26382 Wilhelmshaven | Germany

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Kurzbeschreibung des Projektes .....	4
1.2	Lage und Lageplan .....	4
<b>2</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Referenzdokumente .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Wasserseitiger Bauumfang .....</b>	<b>8</b>
4.1	Anlegerstruktur .....	8
4.1.1	Dalben .....	10
4.1.2	Dalbenköpfe und Plattformen .....	11
4.1.3	Verbindungsstege.....	12
4.1.4	Schwimmponton .....	13
4.2	Gastransfersystem (nachrichtlich) .....	14
4.2.1	Gasbalkon (nachrichtlich).....	14
4.2.2	Steigleitungen (nachrichtlich) .....	16
4.2.3	Unterwasser-Rohrverteiler (PLEMs) (nachrichtlich) .....	18
4.2.4	TCP-Gasleitungen (nachrichtlich).....	18
4.3	Stromversorgung und Kommunikation (nachrichtlich).....	20
<b>5</b>	<b>Bau- und Installationsablauf .....</b>	<b>21</b>
5.1	Allgemeines .....	21
5.2	Kampfmittelondierung und -räumung .....	21
5.3	Ausbaggerung und Errichten des Kolkschutzes .....	21
5.3.1	Baggerarbeiten.....	21
5.3.2	Installation des Kolkschutzes .....	24
5.4	Bauablauf der Anlegestruktur .....	25
5.4.1	Installation der Dalben .....	25
5.4.2	Montage der Dalbenköpfe und der Verbindungsstege .....	27

---

5.4.3	Errichten des Schwimmpontons .....	27
<b>6</b>	<b>Zeitlicher Ablaufplan.....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>Hauptmaschinerie für die Installation der Anlegestruktur .....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>Lärminderungsmaßnahmen .....</b>	<b>32</b>
8.1	Allgemeines zu den Rammarbeiten .....	32
8.2	Optimierung des zeitlichen Ablaufs .....	32
8.3	Akustische Vergrämungsmaßnahmen .....	32
8.4	Langsames Anfahren der Rammarbeiten (Soft Start) .....	32
8.5	Doppel-Blasenschleier.....	33
8.6	Zusätzliche Minderungsmaßnahmen im Bedarfsfall.....	34
8.7	Überwachung der Bauarbeiten .....	34
<b>9</b>	<b>Rückbau .....</b>	<b>35</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Projektes

Die Wilhelmshaven FSRU GmbH plant im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) die Errichtung eines Flüssiggasterminals, auch LNG-Terminal genannt. Der Standort des Terminals befindet sich nördlich des Jade-Weser-Ports und südlich der Umschlaganlage Voslapper Groden. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme sind für Sommer 2024 vorgesehen.

Ein Regasifizierungsschiff, eine sog. FSRU (Floating Storage and Regasification Unit), wird als Terminal an einem zu errichtenden Anleger liegen und erhält das Flüssiggas (LNG) durch Tankschiffe. Das Flüssiggas wird an Bord der FSRU verdampft und als Gas über Unterwasserleitungen an Land transportiert. Dort wird es in das öffentliche Netz der OGE eingespeist. Das LNG-Terminal hat eine Kapazität von bis zu 5 Milliarden Kubikmeter Erdgas pro Jahr. Nach einer geplanten Betriebsdauer von 5 Jahren wird die FSRU entfernt und die Gasleitungen vom Anleger bis hin zur Landseite zurückgebaut. Eine Weiternutzung der Anlegestruktur für ein zukünftiges Wasserstoffterminal wird in Betracht gezogen. Sollte eine Nachnutzung nicht möglich sein, wird auch die Anlegestruktur zurückgebaut.

## 1.2 Lage und Lageplan

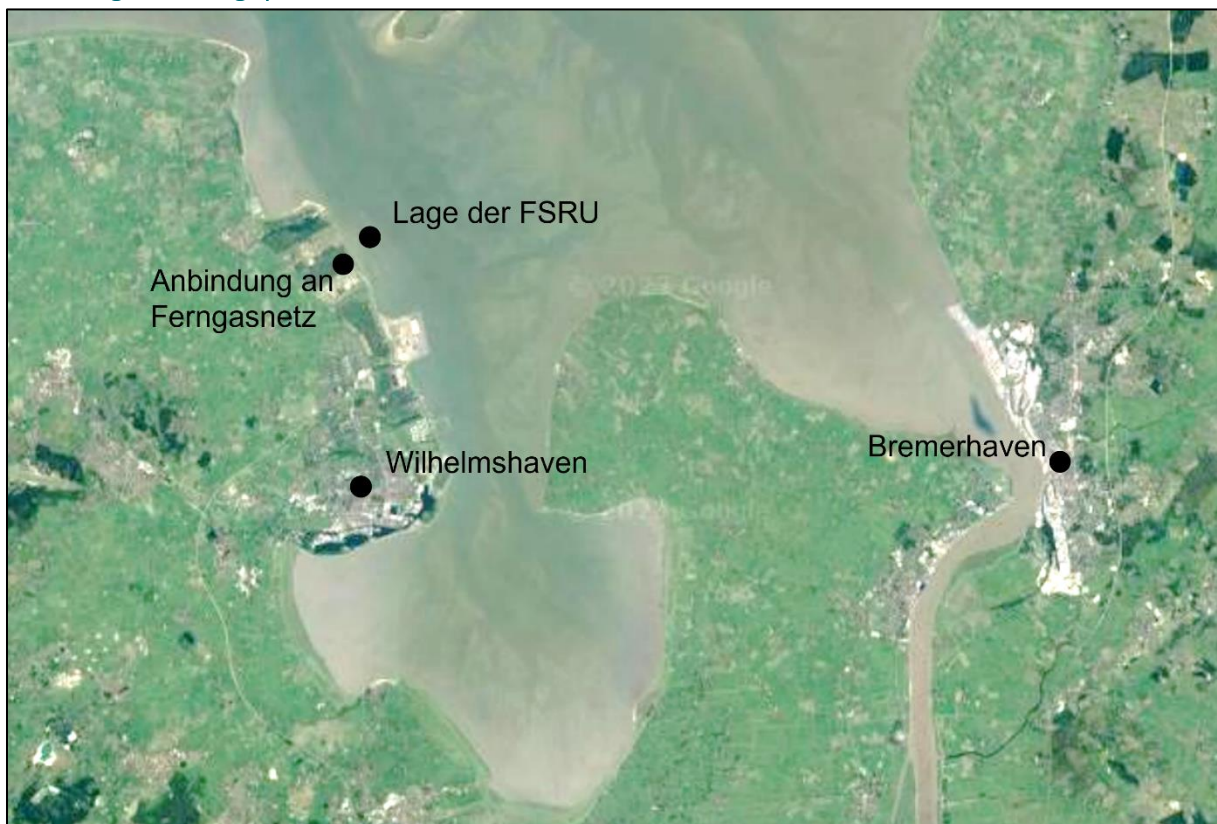


Abbildung 1 - Lage der FSRU

Der geplante Standort für den Liegeplatz der FSRU befindet sich am Voslapper Groden Nord, nördlich der Stadt Wilhelmshaven, siehe auch Abbildung 1. Der Anleger befindet sich ca. 1.650 m vom Deich im Westen entfernt. Im Osten beträgt die Entfernung des Anlegers zur äußeren Kante des Fahrwassers ca. 550 m. Details sind in Abbildung 2 dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung des Bauumfangs erfolgt in Kapitel 4.

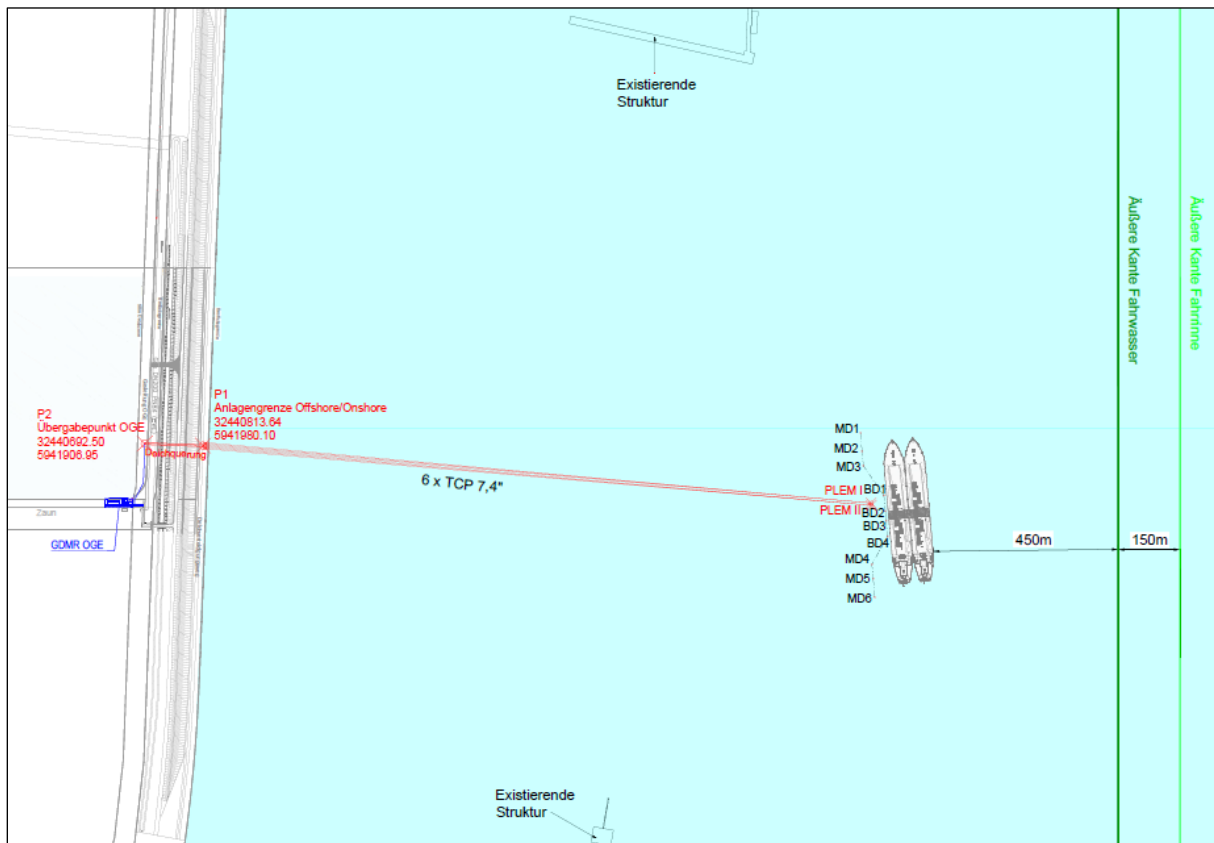


Abbildung 2 - Lageplan der FSRU, des Anlegers sowie der Deichquerung

## 2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
BD	Fenderdalben – <i>Berthing Dolphin</i>
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
DBBC	Großer Doppel-Blasenschleier - <i>Double Big Bubble Curtain</i>
DGPS	Globales Differenzialpositionierungssystem
DPCS	Dynamisches Positionierungs- und Steuersystem - <i>Dynamic Positioning and Control System</i>
EMSR	Elektrische Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik
ESR	Schnelllösekupplung – <i>Emergency Release System</i>
FSRU	Regasifizierungsschiff – <i>Floating Storage and Regasification Unit</i>
GPS	Globales Positionierungssystem
GÜBaK	Gemeinsame Übergangsbestimmungen zum Umgang mit Baggergut in den Küstengewässern
HDPE	High-Density Polyethylen Kunststoff
HPU	Hydraulikaggregat – <i>Hydraulic Power Unit</i>
LNG	Flüssiggas – <i>Liquefied Natural Gas</i>
MD	Vertäudalben – <i>Mooring Dolphin</i>
OGE	Open Grid Europe GmbH
SIMOPS	Simultane Arbeiten – <i>Simultaneous Operations</i>
SKN	Seekartennull
SWL	Sichere Betriebslast – <i>Safe Working Load</i>
TCP	Thermoplastischem Verbundwerkstoff – <i>Thermoplastic Composite Pipeline</i>
TES	Tree Energy Solutions GmbH
VODAS	Van Oord Dredging Automation System
WAL II	Wilhelmshavener Anbindungsleitung II

Tabelle 1 – Abkürzungsverzeichnis

### 3 Referenzdokumente

Referenz	Dokumentnummer	Titel
/1/	TES-WHV-VGN_OJT_MATU1_ DRW_PLT_PLA-GIP_FI	Allgemeiner Projektplan
/2/	TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2021	Dynamic Mooring Assessment
/3/	TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DWG-2032	Strukturzeichnung Anlege- und Ankerdalben
/4/	TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DWG-2032	Strukturzeichnung Brücken
/5/	TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DWG-2036	Strukturzeichnung Pfähle
/6/	TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DWG-2011	Ausbaggerungsarbeiten für FSRU Liegeplatz
/7/	2020-ALE-N-XA-0001_02	Anordnung Gasbalkon
/8/	2020-ECO-N-XD-0001_B	Querschnitt Steigleitung und Gasbalkon
/9/	GA00247094-D07-001-01	Technisches Datenblatt Steigleitung
/10/	2020-STR-M-DS-0001_02	Technisches Datenblatt TCP-Rohrleitungen
/11/	TES-WHV-VGN_PM_DOC_1001.02	Bau-Montagebeschreibung Landseitige Arbeiten
/12/	TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2038	Vorläufige Bewertung des Kolksschutzes
/13/	TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2050	Einhaltung der Minderungsgrenzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten
/14/	TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2079	Vorläufige Installationsmethode für den Ponton

Tabelle 2 – Liste der Referenzdokumente

## 4 Wasserseitiger Bauumfang

Die Errichtung des LNG-Terminals umfasst den Bau einer Anlegerstruktur und eines Gastransfersystems. Die Anlegerstruktur besteht aus Fender- und Vertäudalben als Hauptkomponenten, welche über Brücken miteinander verbunden sind. Es handelt sich um einen Inselanleger, d.h. eine Brücke zur Landseite ist nicht vorgesehen.

Das Gastransfersystem ermöglicht es der FSRU, das verdampfte LNG als Erdgas an Land zu schicken und dort ins Netz einzuspeisen. Die Hauptkomponenten sind verschiedene Rohrleitungen und Armaturen. Details des Anlegers sowie des Transfersystems werden nachfolgend detaillierter beschrieben.

### 4.1 Anlegerstruktur

Für den Anleger werden vier Fenderdalben und sechs Vertäudalben installiert. Die Dalben sind als Großpfähle (sog. Monopiles) konzipiert und werden untereinander mit Laufstegen verbunden. Außerdem ist ein Schwimmponton für Zugang und Rettungsweg zum Anleger vorgesehen. Die Gesamtanordnung des Anlegers inklusive geplanter Ausstattung und vertäuter FSRU sowie LNG-Tanker ist in Abbildung 3 dargestellt.

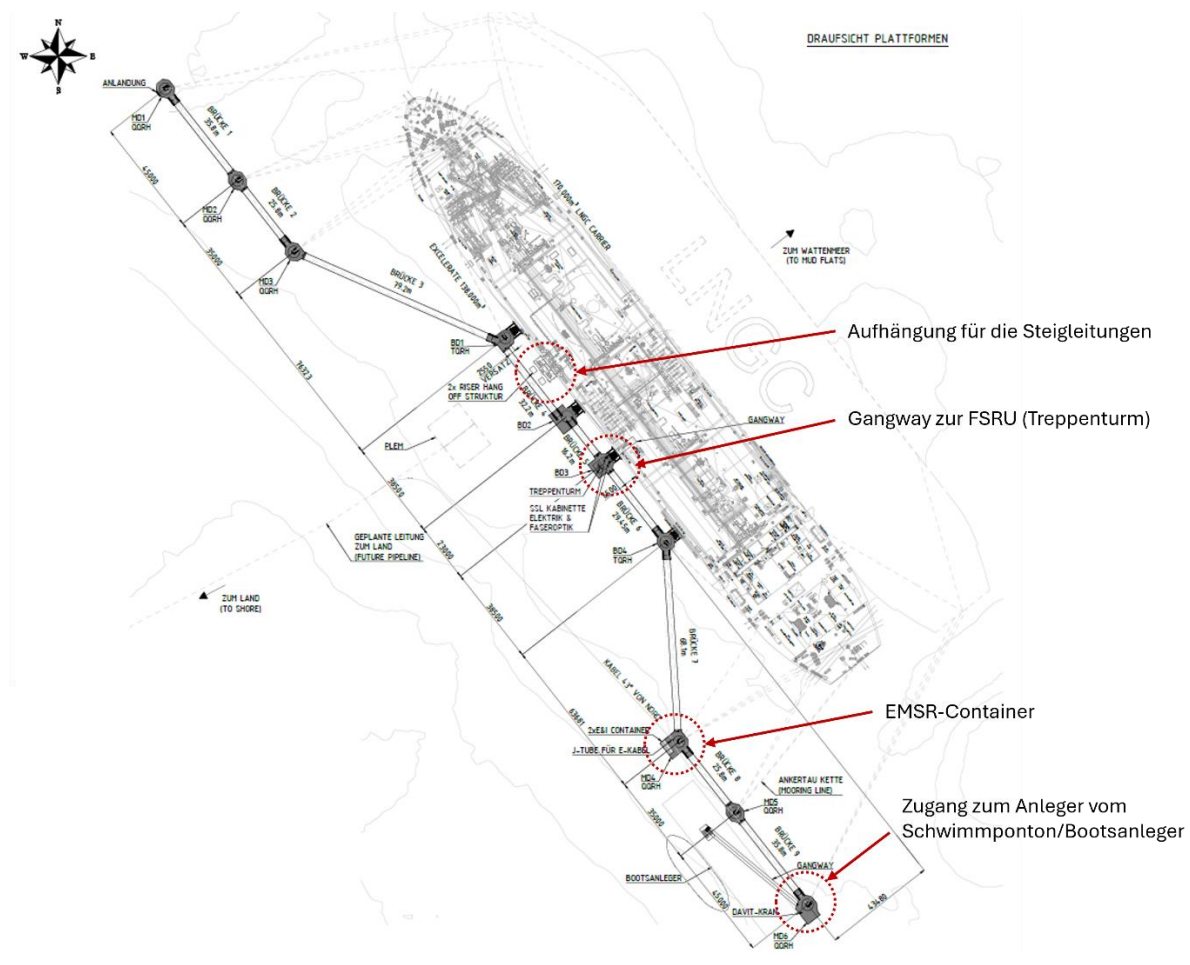


Abbildung 3 - Draufsicht Anlegerstruktur und geplante Ausstattung



Alle Dalben sind als Großpfähle mit gleichen Abmaßen geplant. Jeder Dalben wird mit einem Dalbenkopf versehen, welche durch Laufstege aus Stahl verbunden sind. Details zu Dalben und Verbindungsstegen sind in den Folgekapiteln dargestellt. Für Dalben, Dalbenköpfe und Stege wird als Entwurfsgrundlage eine Mindesttemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  und eine Lebensdauer von 50 Jahren angenommen.

Im Regelbetrieb ist der Anleger unbemannt. Lediglich für die Vertäuung bei Anlegemanövern oder für Wartungs- und Inspektionsarbeiten halten sich temporär Personen auf dem Anleger auf. Der Anleger wird ganzheitlich beleuchtet, um die Arbeitssicherheit sicherzustellen und entsprechend der Hafensordnung mit Signalen und Beschilderung zur Gewährleistung des sicheren Schiffsverkehrs gekennzeichnet.

In Abbildung 3 ist auch die Lage der Hauptausstattungs-elemente gezeigt. Die Hauptkomponenten neben Beleuchtung und Kennzeichnung der Anlegerausstattung sind:

- Schnellspannhaken zur Vertäuung von FSRU und LNG-Tankern
- J-Rohr zur Kabelführung auf den Anleger (Strom und Kommunikation)
- EMSR-Container inkl. Mess- und Regelschränken für den Betrieb des Anlegers
- Aufhängung für die Steigleitungen (siehe auch Kapitel 4.2.2)
- Gangway für Zugang zur FSRU
- Verbindung des sog. Ship-Shore-Links zur Kommunikation hin zur FSRU
- Zugang zum Schwimmponton

Es befinden sich keinerlei Rohrleitungen oder Armaturen für LNG oder Erdgas auf dem Anleger. Das Erdgas wird stattdessen über ein Gastransfersystem an Land verschickt und ist in Kapitel 4.2 im Detail beschrieben.

Die Vertäuung der FSRU sowie eines LNG-Tankers wird durch die oben genannten Schnellspannhaken realisiert. Die beiden äußeren Fenderdalben werden jeweils mit einem dreifach Schnellspannhaken ausgestattet, die sechs Vertäudalben mit jeweils einem vierfach Schnellspannhaken. Die erforderliche Tragfähigkeit je Haken beläuft sich auf 150 t (SWL). Das Vertäu-System wird vom Kontrollraum der FSRU überwacht. Eine redundante Kontrollstation ist an Land vorgesehen.

Zusätzlich zu den Hauptkomponenten sind technische Schutzeinrichtungen zur Überwachung des Anlegers vorgesehen:

- 360° Kameraüberwachung des gesamten Anlegers
- Technischer Sabotageschutz aller sicherheitsrelevanten Einrichtungen
- Zugangsüberwachung der Gangway für kontrollierten Zugang zur FSRU

Die Beleuchtung der wasserseitigen Infrastruktur wird im Einklang mit den Sicherheitsanforderungen für Arbeitsschutz und Schiffsverkehr so minimal wie möglich gehalten.

### 4.1.1 Dalben

Alle zehn Dalben sind als Großpfähle mit denselben Abmaßen dimensioniert und weisen eine Gesamtlänge von 70,5 m auf. Von dieser Gesamtlänge werden 45 m im Boden verbracht. Die vorherrschende Wassertiefe vor Ort beläuft sich auf ca. -15 m SKN. Der Durchmesser aller Dalben beträgt 4,5 m bei einer durchgehenden Wandstärke von 60 mm. Das Gewicht eines Dalbens beläuft sich auf ca. 460 Tonnen. Alle Dalben werden mit Dalbenköpfen versehen, welche in Kapitel 4.1.2 beschrieben sind.

Abbildung 4 zeigt die Struktur, die für alle zehn Dalben gleich ist, im Detail. Für mehr Information wird außerdem auf die Referenzdokumente /3/ und /5/ verwiesen.

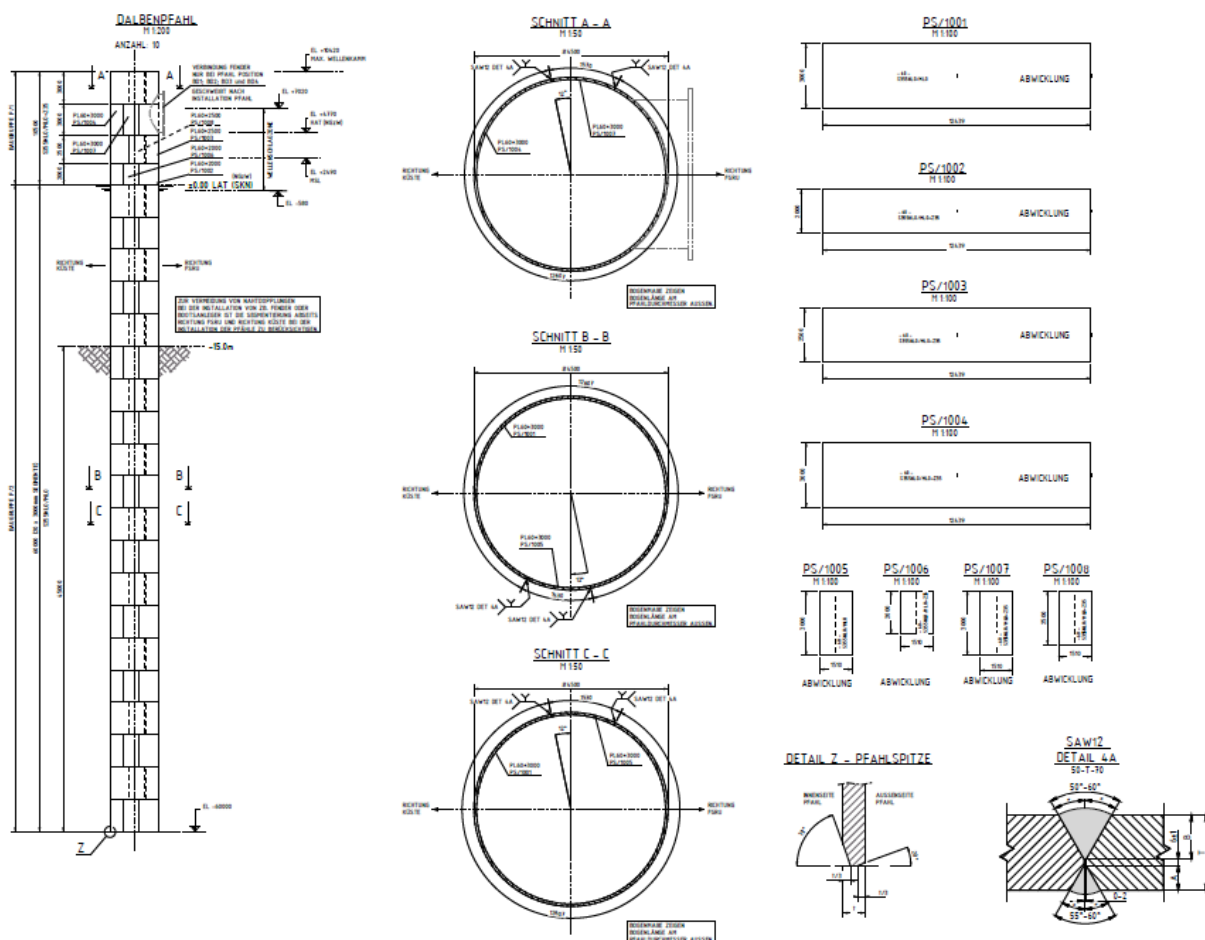


Abbildung 4 - Strukturzeichnung Großpfahl

#### 4.1.2 Dalbenköpfe und Plattformen

Alle Dalben werden mit Dalbenköpfen versehen. Während die Dalbenköpfe alle ähnliche Abmaße haben, unterscheiden sie sich in den Abmaßen der aufliegenden Plattformen je nach vorgesehener Ausstattung. Der Mindestdurchmesser für die Plattformen auf den Dalbenköpfen liegt bei ca. 8 m. Je nach Ausstattung fallen diese größer aus. Alle Plattformen werden mit Geländern und Beleuchtung versehen. Sie werden in der Werkstatt vorgefertigt und zur Installation nach Wilhelmshaven geliefert. Als Material für Primär- und Sekundärstrukturen ist S355-Stahl vorgesehen.

Jeder der sechs Vertäudalben wird mindestens mit einem Vierfach-Schnellspannhaken für die Vertäuung von FSRU und LNG-Tanker ausgestattet. Dies ist in Abbildung 5 beispielhaft gezeigt.

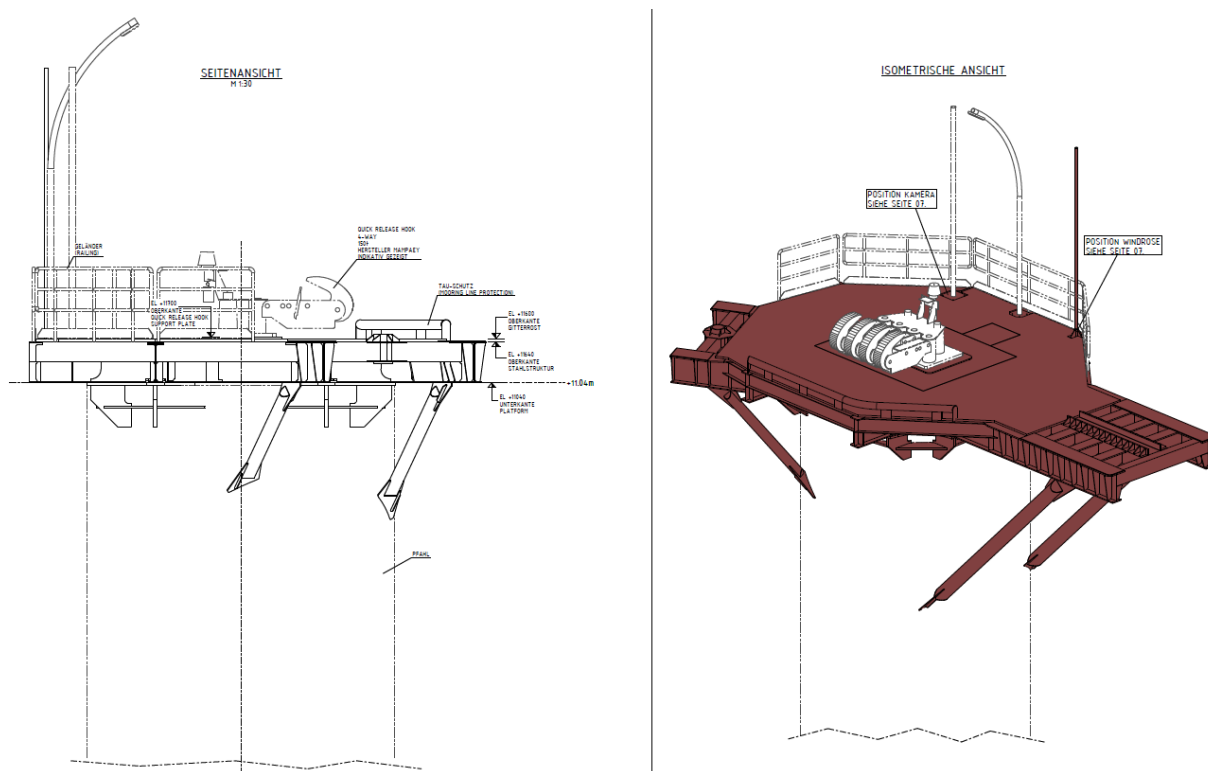


Abbildung 5 – Zeichnung eines Vertäudalben (Seitenansicht (links) und Isometrie (rechts))

Auf den äußeren beiden der vier Fenderdalben kommen außerdem jeweils ein Dreifach-Schnellspannhaken zum Einsatz. An jedem Fenderdalbenkopf wird zudem jeweils ein Super-Cone-Fender angebracht. Die Auslegung der Fender sowie des gesamten Vertäusystems ist im Referenzdokument /2/ erläutert. Einer der mittleren Fenderdalben ist exemplarisch in Abbildung 6 dargestellt.

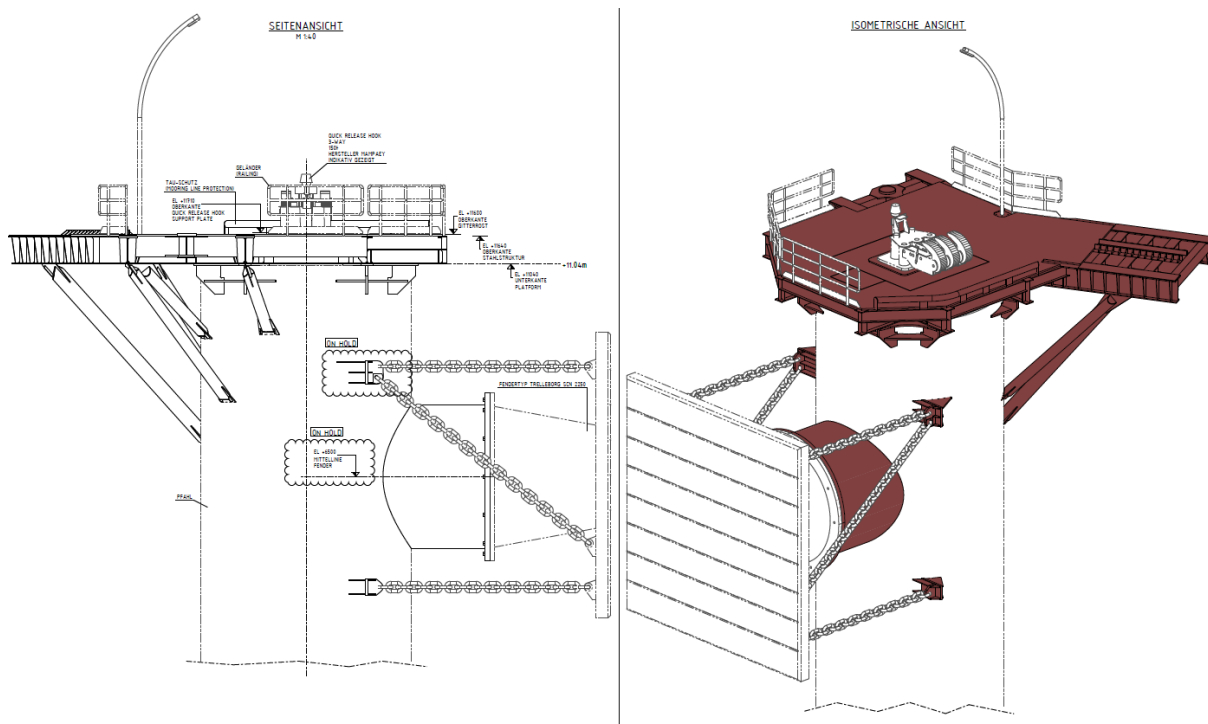


Abbildung 6 – Zeichnung eines Fenderdalen (Seitenansicht (links) und Isometrie (rechts))

#### 4.1.3 Verbindungsstege

Die Verbindung der Dalbenköpfe wird über Verbindungsstege realisiert. Insgesamt sind neun Stege mit unterschiedlichen Spannweiten bis zu 68 m geplant. Die Stege werden in der Werkstatt vorgefertigt, vormontiert und nach Wilhelmshaven geliefert. Sie dienen als Service- und Fluchtwege und bieten Platz für die zum Betrieb des Anlegers benötigte Ausrüstung.

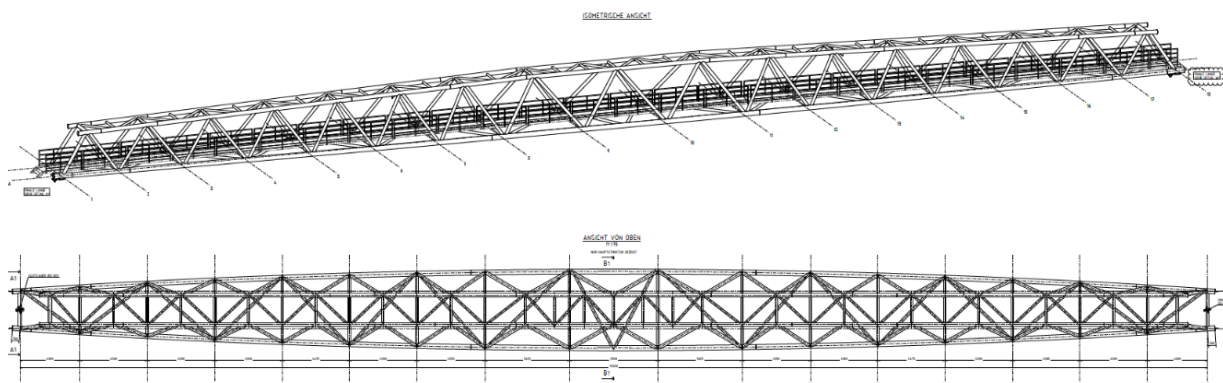


Abbildung 7 - Strukturzeichnung eines Verbindungsstege (Isometrie (oben) und Draufsicht (unten))

Die Stege werden entsprechend der Sicherheitsbestimmungen für Arbeits- und Schiffsverkehrssicherheit beleuchtet. Abbildung 7 zeigt exemplarisch die Strukturzeichnung eines der Verbindungsstege. Primär- und Sekundärstrukturen werden aus S355-Stahl gefertigt. Details wie z.B. Kabeltrassen sind nicht dargestellt. Für mehr Details wird auf Referenzdokument /3/ verwiesen.

#### 4.1.4 Schwimmponton

Um jederzeit einen sicheren Zugang zum Anleger zu gewährleisten, ist ein Schwimmponton vorgesehen. Dieser ist in Abbildung 8 im Modell dargestellt. Neben seiner Funktion als Zugangs- und Rettungsweg, welche durch eine auf dem Ponton installierte Gangway realisiert wird, ist der Ponton als Anlegestelle für einen Feuerlöschschlepper sowie ggf. einen Seenotrettungskreuzer vorgesehen. Aus diesen Vorgaben resultiert eine Größe von 67 m Länge, 18 m Breite sowie 4,5 m Höhe. Der Zugang zum Ponton kann für den Regelbetrieb über Crew-Transfer-Schiffe oder Schlepper erfolgen. Die Verankerung erfolgt wie im Bild dargestellt über 12 Pfähle, mit denen der Ponton über ein entsprechendes Pfahlführungs- bzw. Gleitsystem verbunden ist. Für die Pfähle ist analog zu den Großpfählen des Anlegers ebenfalls ein Kolkchutz durch entsprechende Steinschüttungen vorgesehen. Für Details ist auf Referenzdokument /14/ verwiesen.

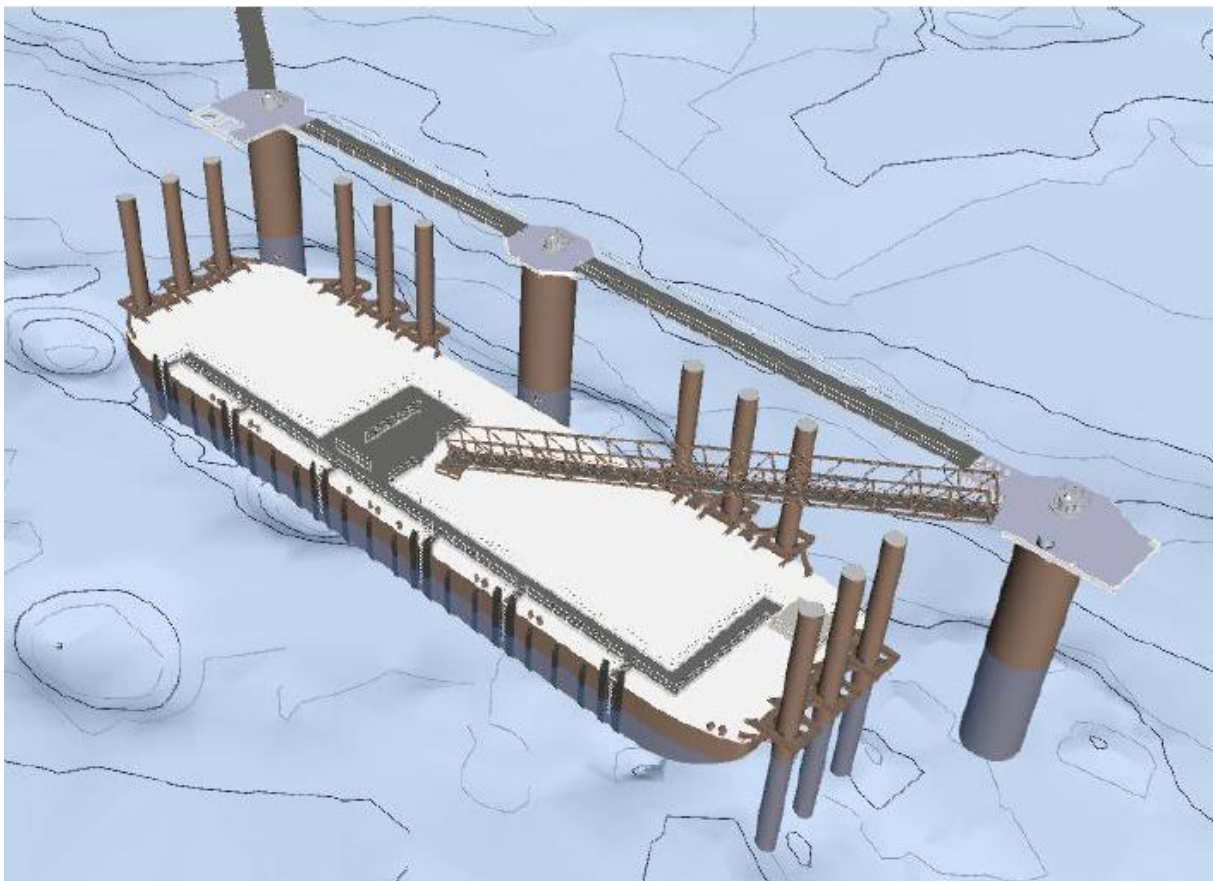


Abbildung 8 - 3D-Modell des Schwimmpontons

## 4.2 Gastransfersystem (nachrichtlich)

Als Gastransfersystem werden die Rohrleitungen und Armaturen bezeichnet, die den Gasfluss vom Hochdruckrohrverteiler der FSRU bis zum Einbindepunkt in die WAL II-Ferngasleitung der OGE ermöglichen. Die verschiedenen Elemente, die wasserseitig zum Einsatz kommen, werden hier erläutert. Die landseitige Ausführung wird hier nicht beschrieben, sondern wird in einem gesonderten Bericht beschrieben, s. Referenzdokument /11/.

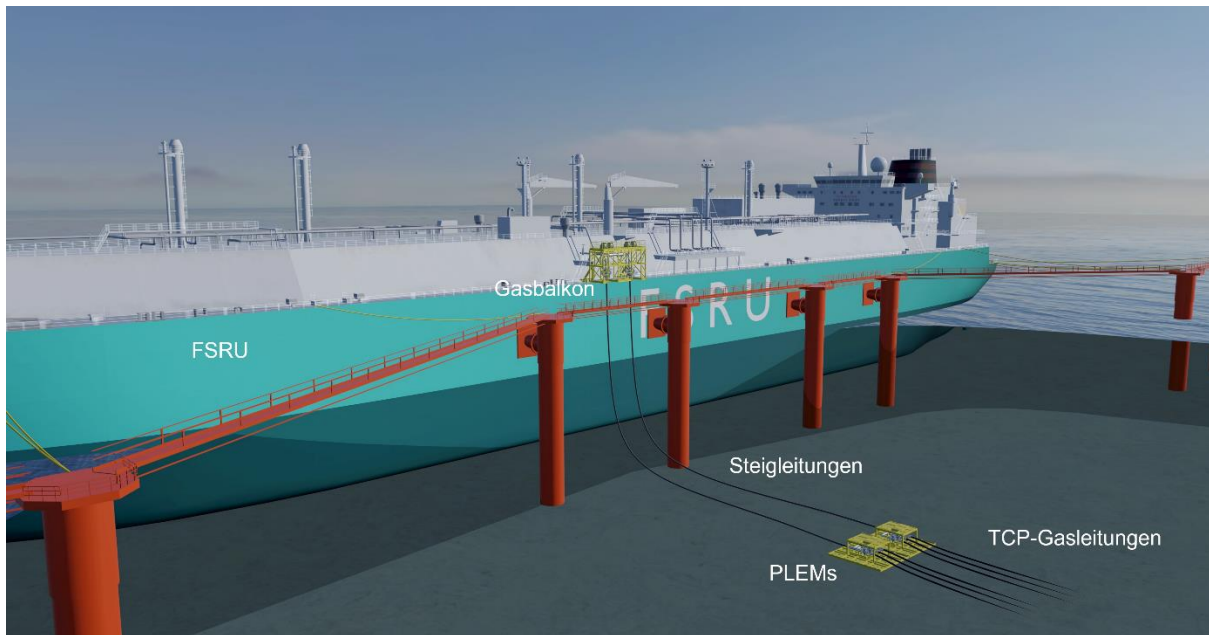


Abbildung 9 – Illustration der Hauptkomponenten des wasserseitigen Transfersystems

In Abbildung 9 sind die Hauptkomponenten des wasserseitigen Gastransfersystems an der FSRU illustriert. Die Anlegestruktur ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht abgebildet. Die Hauptkomponenten des Gastransfersystems sind:

- 1 Gasbalkon
- 2 Steigleitungen (sog. Riser)
- 2 Unterwasser-Rohrverteiler (sog. PLEMs)
- 6 TCP-Gasleitungen.

Alle Komponenten des Systems sind erprobte Technologie, die u.a. erfolgreich im internationalen Öl- und Gasbereich, insbesondere auch in der Nord- und Barentssee, eingesetzt werden. In den folgenden Kapiteln werden die Komponenten und ihre Funktion kurz beschrieben.

### 4.2.1 Gasbalkon (nachrichtlich)

Der Gasbalkon stellt den Anschluss des Gastransfersystems an die FSRU dar. Er wird backbordseitig an der FSRU angebracht und dort mit dem Export-Flansch am Hochdruckverteiler des Schiffes verbunden. In Abbildung 10 ist der installierte Gasbalkon gezeigt.

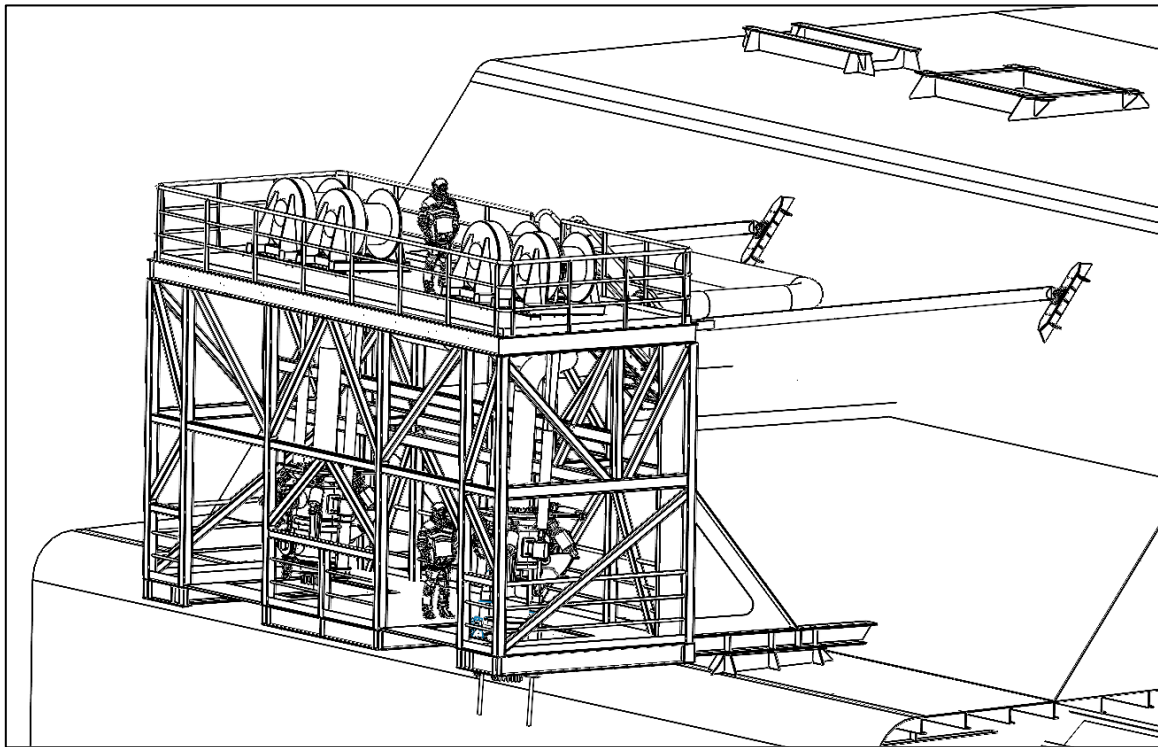


Abbildung 10 - Strukturzeichnung des installierten Gasbalkons

In Abbildung 11 ist der Anschluss des Gasbalkons an den Hochdruckrohrverteiler der FRSU gezeigt. Dieser stellt gleichzeitig den Anschluss des Gastransfersystems an das Regasifizierungsschiff dar.

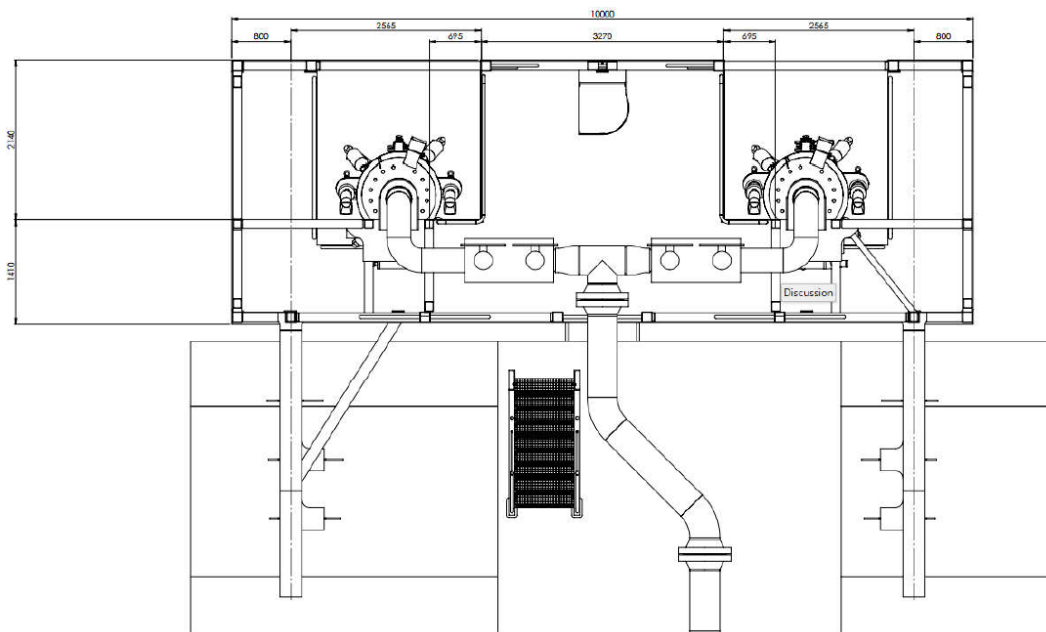


Abbildung 11 - Draufsicht Anschluss des Gasbalkons /7/

Die Hauptkomponenten des Gasbalkons sind:

- Stahlstruktur
- 2 Schnelllösekupplungen (ERS – Emergency Release System)
- 2 Seilwinden zum Herablassen der Steigleitungen
- Hydraulisches Aggregat für den Betrieb der Seilwinden (HPU – Hydraulic Power Unit)
- 2 Doppelarmaturen zum sicheren Absperren und Entlüften

Der Gasbalkon wird in der Werkstatt komplett vorgefertigt und zur FSRU in die Werft geliefert und dann dort am Schiff installiert. An den beiden Schnelllösekupplungen werden später in Wilhelmshaven jeweils eine flexible Steigleitung angeschlossen. Die Steigleitungen werden im Folgenden näher beschrieben. Dort ist auch eine Seitenansicht inkl. Angeschlossenen Steigleitungen gezeigt.

#### 4.2.2 Steigleitungen (nachrichtlich)

Die Verbindung vom Gasbalkon an das eigentliche Rohrleitungssystem am Meeresboden erfolgt über flexible Steigleitungen, oft auch Riser genannt. Eine Steigleitung besteht aus einem mit Stahlseilwicklungen verstärktem Hochleistungsschlauch, der flexibel genug ist, um den Höhenunterschied der Tide auszugleichen. In Abbildung 12 ist eine Schnittansicht gezeigt, die eine Steigleitung bei minimalem und maximalem Tidenhochwasser zeigt. Sie ist links im Bild an einen Unterwasser-Rohrverteiler und rechts am Gasbalkon an der FSRU angeschlossen.

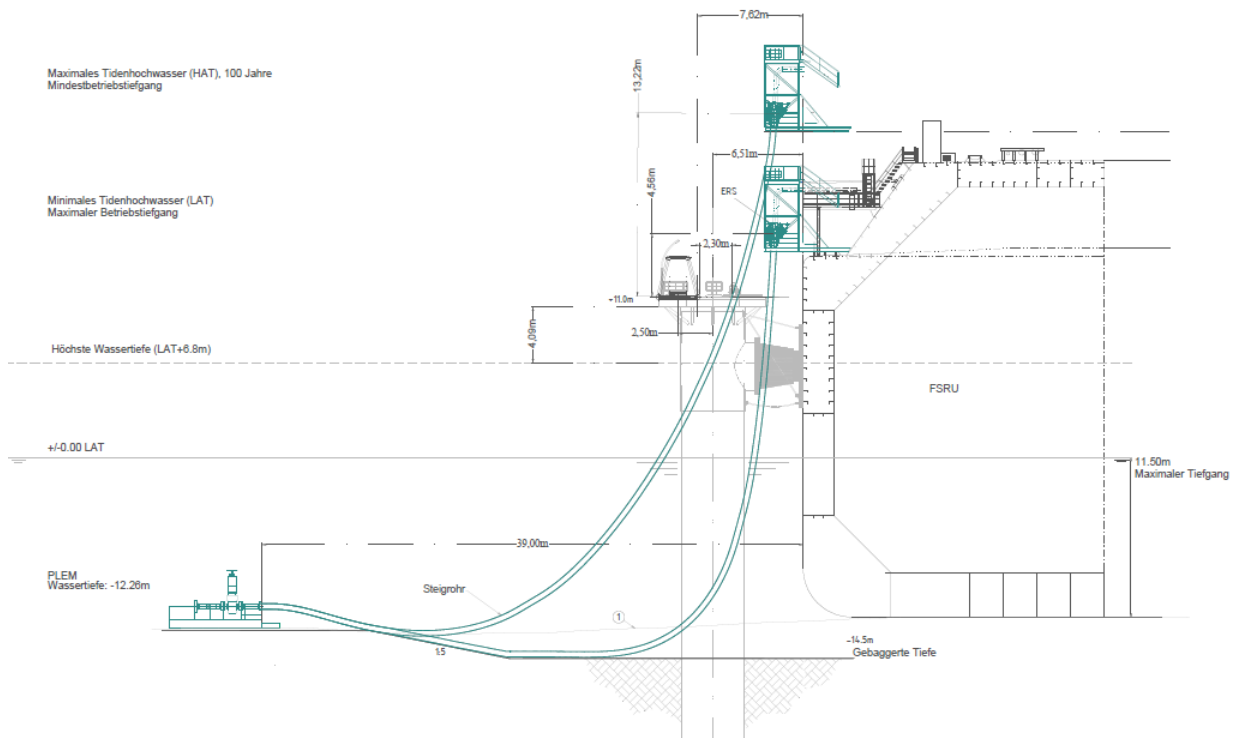


Abbildung 12 - Querschnittszeichnung Gasbalkon und Steigleitungen /8/



In Abbildung 13 und Abbildung 14 ist der Aufbau der flexiblen Steigleitung veranschaulicht. Der Verbund aus verschiedenen flexiblen Materialien und hochfesten Stahlseilwicklung macht die Steigleitungen enorm widerstandsfähig gegen die Beanspruchungen durch den Betrieb und den äußeren Einflüssen. An beiden Enden der Steigleitungen sind Flansche für die Montage vorgesehen.



Abbildung 13 - Typischer Schnitt einer Steigleitung (Quelle: Continental)

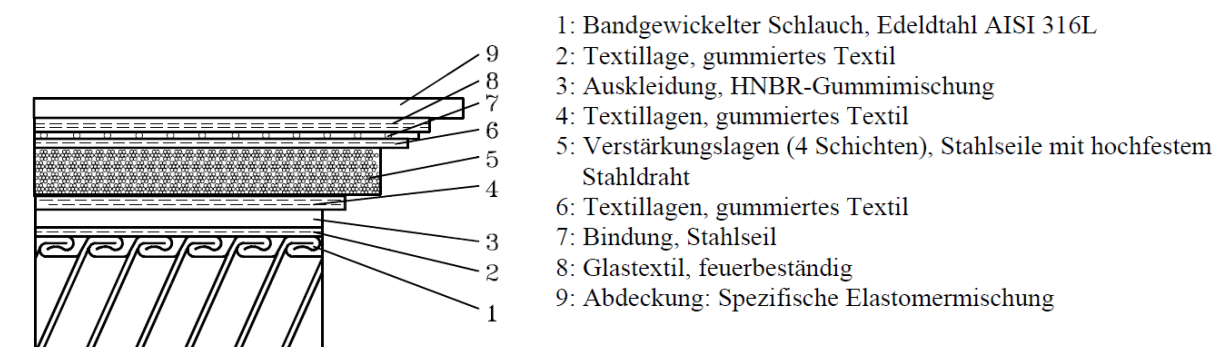


Abbildung 14 - Aufbau der flexiblen Steigleitungen

Die Auslegung der Steigleitungen erfolgt nach der Norm API 17K. Als Auslegungsparameter wurde ein Designdruck von 134 bar und ein Innendurchmesser von 303 mm festgelegt. Der maximale Druck im Regelbetrieb liegt bei 100 bar. Die minimale und maximale Auslegungstemperatur beträgt  $-30^{\circ}\text{C}$  bzw.  $90^{\circ}\text{C}$ . Ein gesonderter Schutz gegen mechanische Beanspruchung durch Aufliegen auf dem Meeresboden kann bei Bedarf noch in den betroffenen Bereichen ergänzt werden. Beide Steigleitungen werden im Werk vorgefertigt und mitsamt angeschlossener Verbindungsflansche vor Montage nach Wilhelmshaven geliefert. Details sind im Referenzdokument /9/ zusammengefasst.

#### 4.2.3 Unterwasser-Rohrverteiler (PLEMs) (nachrichtlich)

Die zuvor beschriebenen flexiblen Steigleitungen schließen auf dem Meeresboden an jeweils einen Unterwasser-Rohrverteiler an. Diese werden gewöhnlich als PLEMs bezeichnet (Pipeline End Manifolds). Durch die PLEMs wird der Gasdurchfluss durch eine Steigleitung auf jeweils drei TCP-Gasleitungen verteilt. Sie stellen außerdem den Fixierpunkt der Steigleitungen am Meeresboden dar. In Abbildung 15 sind die PLEMs nach Verladung auf das Transportschiff dargestellt. Auch die PLEMs werden komplett im Werk vorgefertigt und anschließend zur Installation nach Wilhelmshaven verschifft. Die Hauptkomponenten der PLEMs sind jeweils:

- Stahlstruktur
- Flansch zur Steigleitung
- 3 Absperrarmaturen
- 3 Flansche zu den TCP-Gasleitungen



Abbildung 15 – PLEMs nach Verladung auf das Transportschiff

Zusätzlich werden noch Beschwerungselemente aus Stahl an den Seiten der PLEMs angebracht, um Auftrieb zu verhindern. Diese sind in Abbildung 15 nicht gezeigt und werden im Verlauf der weiteren Planung noch im Detail ausgelegt.

#### 4.2.4 TCP-Gasleitungen (nachrichtlich)

Ausgehend von den beiden PLEMs führen insgesamt sechs TCP-Gasleitungen eine Verbindung zum landseitigen Rohrleitungssystem dar. TCP steht dabei für Thermoplastic Composite Pipeline, zu Deutsch: Rohrleitung aus thermoplastischem Verbundwerkstoff. Die TCP-Gasleitungen sind für einen Druck von 110 bar ausgelegt und werden bei maximal 100 bar betrieben. Als Auslegungstemperaturbereich sind  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $60^{\circ}\text{C}$  gewählt. Der

Innendurchmesser beträgt 7,4 Zoll, was 188 mm entspricht. Die Gesamtlänge jeder einzelner TCP-Leitung entspricht ca. 1.650 m.

Die TCP-Gasleitungen haben einen Aufbau aus drei Schichten, der in Abbildung 16 gezeigt ist. Ein innerer HDPE-Kunststoff-Liner ist in Kontakt mit dem transportierten Medium, in diesem Fall Erdgas. Der Kunststoff wird dem Medium entsprechend angepasst. Die mittlere Schicht besteht aus einer Wicklung eines Faserverbundwerkstoffes, der die Stabilität gegenüber inneren und äußeren Kräfteinflüssen sicherstellt. Dieser wiederum wird von einer Außenschicht aus HDPE-Kunststoff vor Umwelteinwirkungen geschützt, siehe auch Referenzdokument /10/.

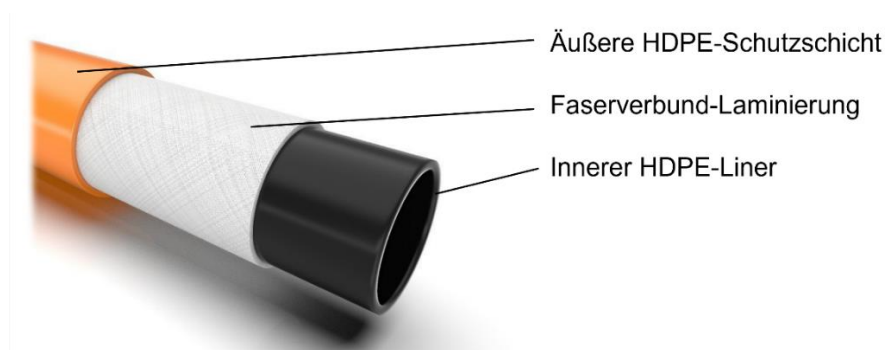


Abbildung 16 - Aufbau einer TCP-Gasleitung

Die TCP-Gasleitungen werden im Werk komplett vorgefertigt und jede einzeln in ihrer kompletten Gesamtlänge auf jeweils eine Trommel aufgerollt. Dies ist in Abbildung 17 gezeigt. Im Werk werden ebenfalls die Spezialflansche aus Stahl an beiden Enden vormontiert. Die sechs Trommeln werden direkt vom Werk nach Fertigstellung aller Leitungen schließlich zur Installation nach Wilhelmshaven transportiert.

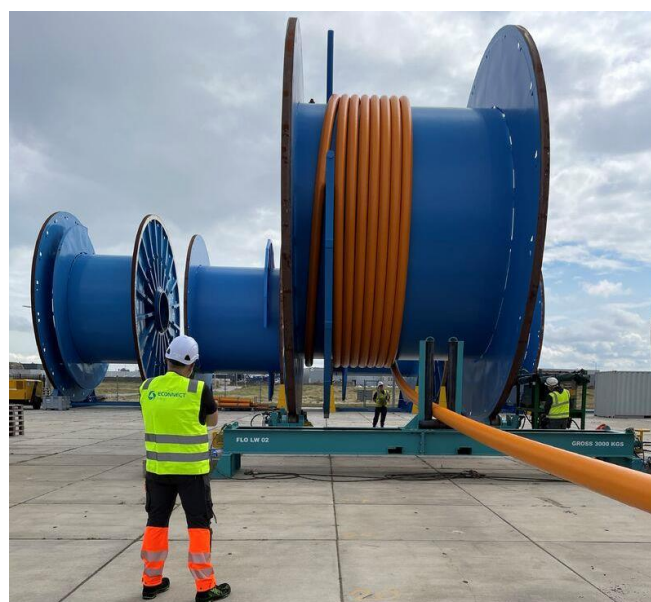


Abbildung 17 – TCP-Leitungen beim Aufspulen im Werk

### 4.3 Stromversorgung und Kommunikation (nachrichtlich)

Zur Stromversorgung des Anlegers sowie zur Kommunikation von Landseite zum Anleger und zur FSRU wird ein entsprechendes Kabel parallel zu den TCP-Gasleitungen verlegt. Als Stromkabel ist ein spezielles Unterseekabel vorgesehen. Das Seekabel wird armiert mit drei Adern ausgeführt und dient der Stromversorgung des Anlegers. Es ist auf den Betrieb im Meer und die Verlegung im Meeresboden ausgelegt. Die FSRU selbst ist bzgl. der Stromversorgung autark. Der Querschnitt der drei Adern des Kabels beträgt jeweils 150 mm<sup>2</sup> und richtet sich nach dem maximalen Stromverbrauch des Anlegers. Die Stromversorgung erfolgt aus dem Stromnetz der EWE AG. Der Anschluss auf dem TES-Betriebsgelände steht bereits zur Verfügung.

Für die Kommunikation des Betriebsgeländes an Land sowohl mit dem Anleger als auch der FSRU sind Lichtwellenleiter in Form von zwei redundanten Glasfaserleitungen vorgesehen. Diese sind bereits in das zuvor beschriebene Unterseestromkabel integriert und werden somit ebenfalls parallel zu den TCPs von der Landseite bis zum Anleger gelegt.

Das kombinierte Unterseekabel wird in einem sog. J-Rohr geschützt auf den Anleger geführt. Der Lichtwellenleiter wird auf die FSRU zur Sicherstellung der Kommunikation weitergeführt. Das Stromkabel hingegen endet auf dem Anleger in einem EMSR-Container.

## 5 Bau- und Installationsablauf

### 5.1 Allgemeines

Der seeseitige Bau- und Installationsablauf lässt sich grob in drei Phasen einteilen:

- Phase 1: Ausbaggerung der Zufahrt und Liegewanne des Anlegers
- Phase 2: Errichtung der Anlegerstruktur
- Phase 3: Installation des Gastransfersystems (hier nicht beschrieben, ist Teil des *Genehmigungsantrag gem. §§ 4 und 10 BImSchG für die Errichtung und den Betrieb einer FSRU*)

Zeitlich können sich die seeseitigen Baumaßnahmen teilweise überschneiden, sodass eine sorgfältige Planung der simultanen Arbeiten (sog. SIMOPS) entsprechend erfolgen wird. Eine detaillierte Planung der SIMOPS erfolgt mit den ausführenden Unternehmen und im Austausch mit den Behörden während der Detailplanung.

Landseitig beschränkt sich der Bauumfang auf Lagerflächen für die Logistik sowie Arbeiten für die Errichtung des Gastransfersystems. Für Details wird auf den *Genehmigungsantrag gem. §§ 4 und 10 BImSchG für die Errichtung und den Betrieb einer FSRU* verwiesen.

### 5.2 Kampfmittelsondierung und -räumung

Bevor irgendwelche seeseitigen Arbeiten ausgeführt werden, werden alle betroffenen Bereiche auf das Vorhandensein von Kampfmitteln untersucht. Im Anschluss wird eine Auswertung aller identifizierten Verdachtspunkte vorgenommen und die bestätigten verbliebenen Kampfmittel fachgerecht geborgen. Die Arbeiten sowie Ergebnisse werden mit den relevanten Behörden geteilt. Erst nach Bestätigung einer Kampfmittelfreiheit für den jeweiligen Arbeitsbereich, starten die vorgesehenen Baumaßnahmen. Dies gilt sowohl für die Installation der Anlegerstruktur als auch für die des Gastransfersystems.

### 5.3 Ausbaggerung und Errichten des Kolksschutzes

#### 5.3.1 Baggerarbeiten

Um ausreichenden Tiefgang sowohl für die FSRU als auch für die anlegenden LNG-Tanker zu gewährleisten, ist eine Ausbaggerung des Liegeplatzes sowie der Zufahrt vorgesehen. In Abbildung 18 ist eine Übersicht zu den geplanten Baggerarbeiten gezeigt. Die Zufahrt und die Liegewanne werden in der initialen Ausbaggerung auf eine Tiefe von -14,5 m SKN gebracht.

Vor den Baggerarbeiten wird das Areal von Kampfmitteln geräumt (s. Kap. 5.2), vermessen und Bodenproben genommen. Die Probennahme und anschließende Labor-Untersuchung besteht aus mindestens 25 Proben nach GÜBaK. Die ersten Baggerarbeiten für die Errichtung des Anlegers finden vor der Installation des Kolksschutzes statt. Später werden Liegewanne und Zufahrt auf Tiefe gebracht. Das Baggergut wird auf die Klappstelle K01 des Bundes verklappt. Nach Beendigung der Ausbaggerung wird eine erneute Vermessung des Gebiets vorgenommen. Das gesamte Baggervolumen beläuft sich auf ca. 1,2 Mio. m<sup>3</sup> (Laderaumaufmaß).

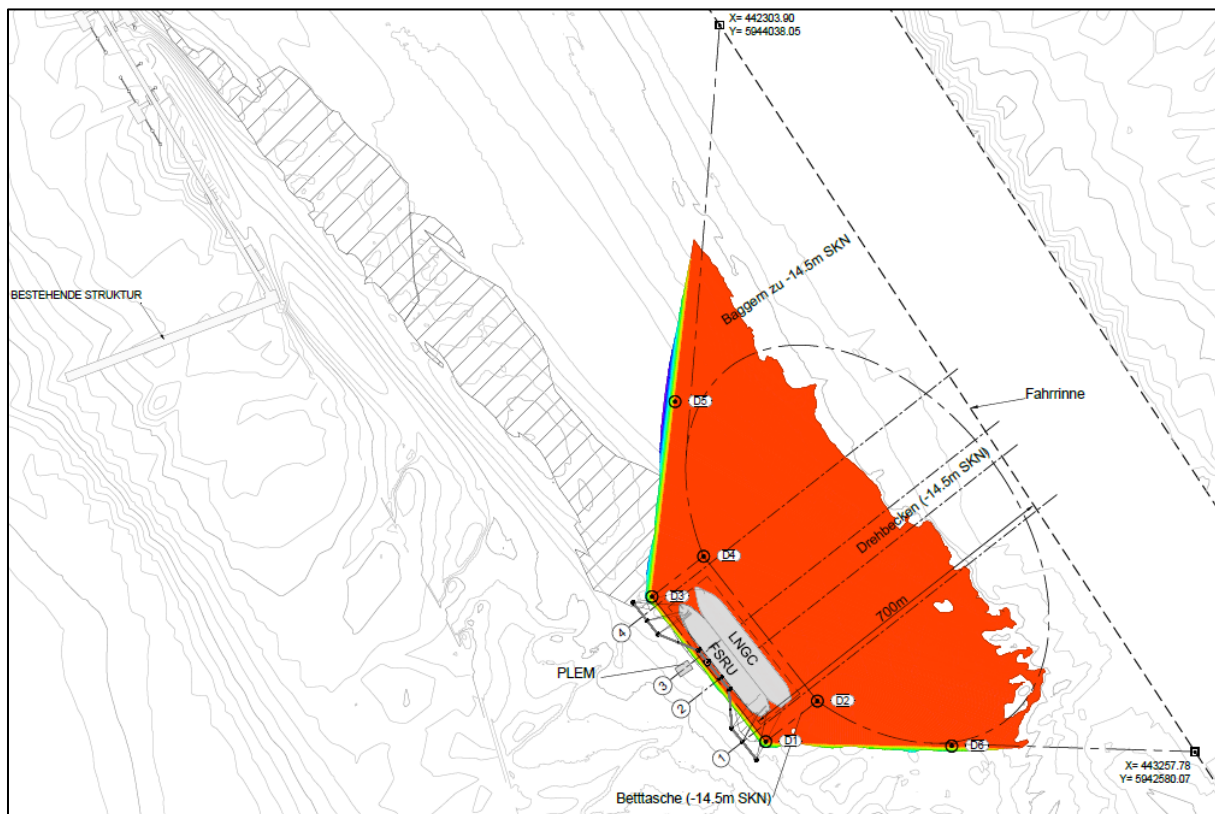


Abbildung 18 - Übersichtsplan zu den geplanten Ausbaggerungsarbeiten

Die Baggerarbeiten beginnen mit dem Absenken des Saugrohres des Laderaumsaugbaggers auf die benötigte Tiefe. Die Saugpumpen werden gestartet und das Schiff wird mit einer Geschwindigkeit von 1,5 - 2,5 Knoten vorwärtsbewegt.

Sensoren und Instrumente, die mit den Geräten zur vertikalen und horizontalen Positionierung gekoppelt sind, gewährleisten, dass der Baggerführer die vorgegebenen Kriterien für Lage und Tiefe jederzeit sicher einhalten kann und dass eine sichere Navigation jederzeit gewährleistet ist. Die horizontale Positionierung erfolgt durch ein globales Differenzialpositionierungssystem (DGPS), die vertikale Positionierung des Schleppkopfes für das Saugrohr entweder durch einen telemetrischen Gezeitenmesser oder ebenfalls durch das DGPS-System. Außerdem kommt ein spezielles Bagger-Monitoring-System zum Einsatz, das sog. VODAS (Van Oord Dredging Automation System). Es ist das modernste verfügbare System dieser Art und arbeitet auf Basis folgender Informationen:

- Positionsdaten vom Equipment (typischerweise DGPS)
- Vertikale Position des Schleppkopfes
- Peilungsdaten von einem Gyrokompass oder einem weiteren GPS-Empfänger
- Informationen von einem Gezeitenmessers über die Tide
- Signale weiterer Sensoren an Bord zur Überwachung des Baggerprozesses

Obwohl alle Schleppsaugbagger über Schleppköpfe verfügen, die an den Saugrohren befestigt sind, können sich diese Schleppköpfe in der Ausführung unterscheiden. Der Zweck des Schleppkopfes besteht darin, das Material auf dem Meeresboden abzutragen und es mit Wasser zu einem viskosen Gemisch zu vermischen. Je höher die Dichte des erzeugten Gemischs ist, desto höher ist die Viskosität, und desto besser ist die Saugbaggerleistung.

Das kombinierte Eigengewicht des Schleppkopfes und des Saugrohres sorgt dafür, dass die Zähne des Schleppkopfes in den Boden eindringen und das Sediment lösen. Je nach Bodenbeschaffenheit und Betriebsanforderungen können Wasserdüsen im Schleppkopf die Erosion unterstützen, die durch die Vorwärtsbewegung des vom Schiff gezogenen Schleppkopfes entsteht. Beispiele für verschiedene Schleppköpfe sind in Abbildung 19 dargestellt. Die Baggersaugpumpen befördern das Sediment-Wasser-Gemisch in den Laderaum des Schiffes, wo es bis zur Verklappung zurückgehalten wird.

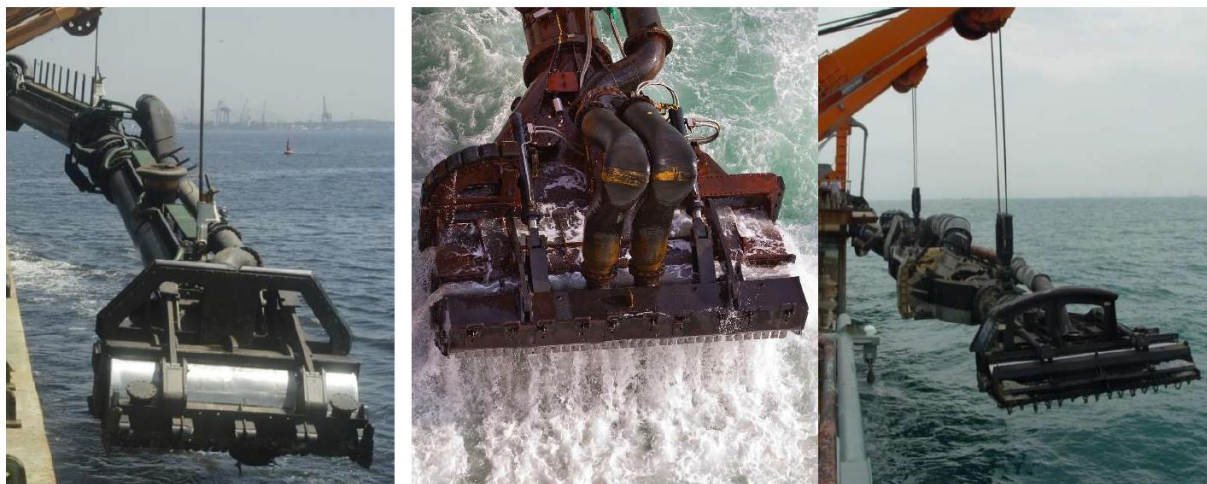


Abbildung 19 - Beispiele für Schleppköpfe

Sobald die Oberkante des Überlaufs und damit das maximale Fassungsvermögen des Laderaums erreicht ist, werden die Baggerarbeiten beendet und die Fahrt zur Verklappstelle beginnt. Die sichere Navigation wird durch die an Bord befindlichen Vermessungsmonitore gewährleistet, die alle bekannten Gefahrstellen entlang der Fahrtroute markiert.

Die Saugrohre werden an Bord gehievt, und die Fahrgeschwindigkeit wird auf die zulässige Geschwindigkeit erhöht, und die Verklappstelle angesteuert. Wenn sich das Schiff der Verklappstelle nähert, wird die Geschwindigkeit wieder reduziert, bis das Schiff die richtige Position erreicht hat. Die Verklappung erfolgt schließlich durch ein Öffnen der Bodenklappen des Laderaums. Nach erfolgreicher Verklappung begibt sich das Schiff zurück zur Ausbaggerungsstelle und setzt dort die Baggerarbeiten wie beschrieben fort.

### 5.3.2 Installation des Kolksschutzes

Die vorherrschenden Strömungsverhältnisse in der Jade sowie der Tidenhub am geplanten Standort des Anlegers erfordern Schutzmaßnahmen gegen eine mögliche Kolkbildung. Entsprechend wird für jeden Dalben sowie jeden Führungspfahl des Pontons ein Kolksschutz vorgesehen. Dieser besteht aus einer mindestens 40 cm dicken Filterschicht (32/90 mm), sowie einer mindestens 60 cm dicken Deckschicht aus größeren Wasserbausteinen (LMA 5/40). Die Fläche wird zuvor auf die notwendige Tiefe gebracht.

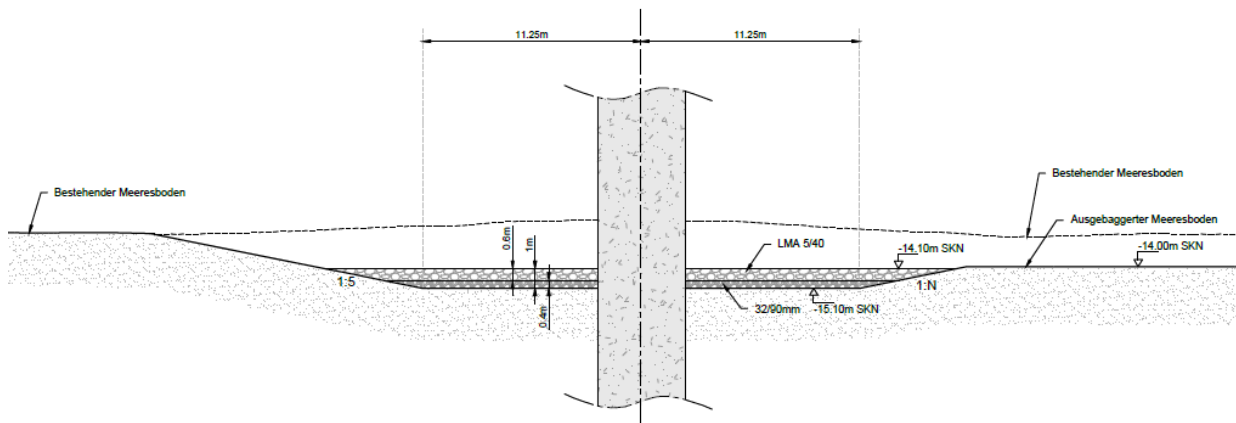


Abbildung 20 - Kolksschutz an einem Dalben der Anlegerstruktur

Der Radius des Kolksschutzes vom Mittelpunkt der Dalben beträgt 11,25 m. Die Installation erfolgt vor dem Einbringen der Dalben, was gängige Praxis im Offshore-Windbereich darstellt, wo ähnlich dimensionierte Großpfähle derartig in den Meeresboden eingebracht werden. Für die kleineren Führungspfähle des Pontons ist ein Radius der Steinschüttung von 5,75 m vom Mittelpunkt der Pfähle.

Durch die Anordnung der Führungspfähle in Dreiergruppen, wird der Kolksschutz insofern optimiert, als dass dort eine durchgängige Fläche der Steinschüttung auch in Verbindung zum Kolksschutz der Dalben am südöstlichen Ende des Anlegers hergestellt wird. Eine Draufsicht für diesen Bereich ist in Abbildung 21 gezeigt.

Nach der Installation werden die Schichtdicken der Steinschüttungen abschließend geprüft. Beispielhaft sind Details zum Kolksschutz eines Dalben der Abbildung 20 zu entnehmen. Außerdem sei auf das Referenzdokument /12/ verwiesen.



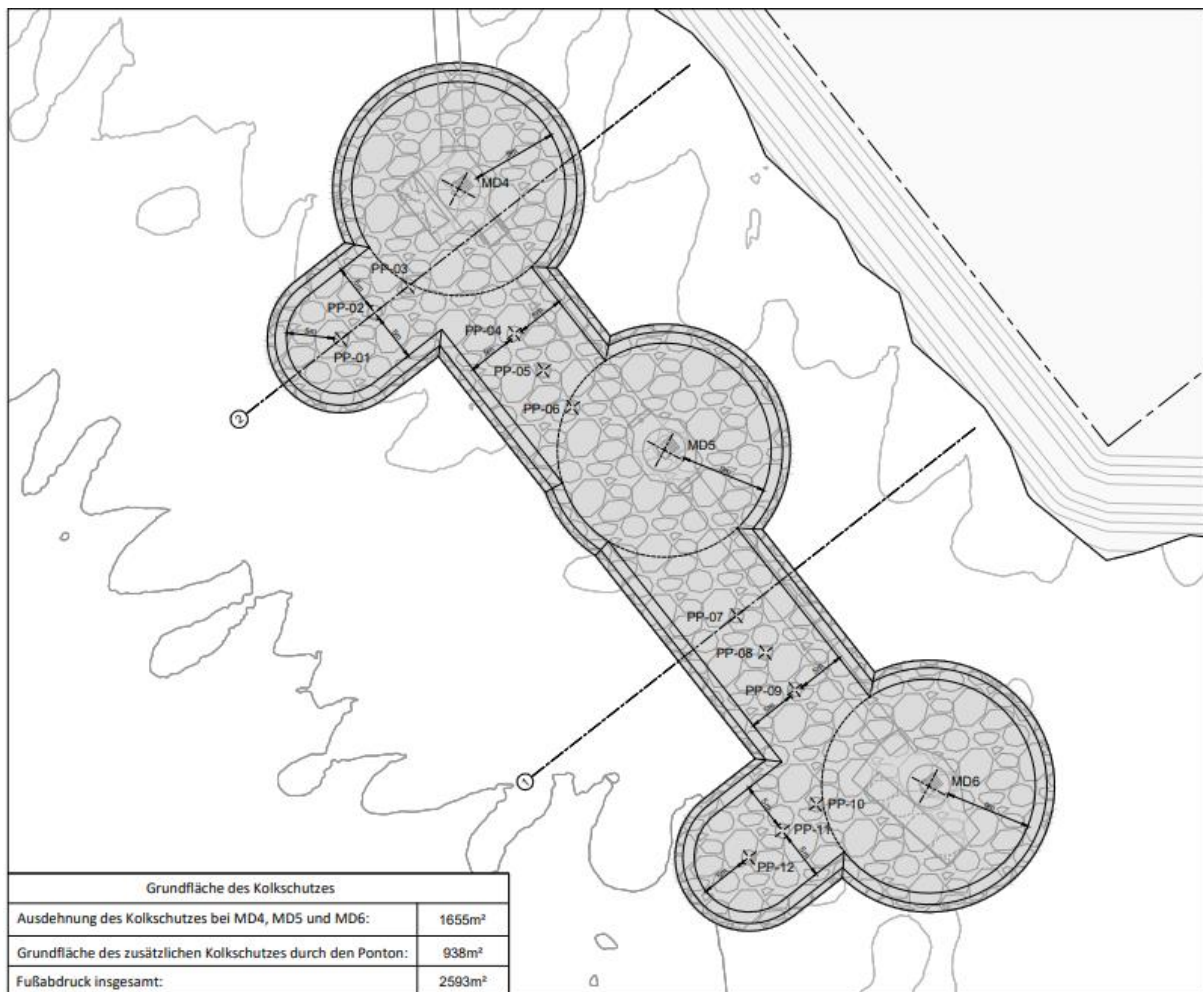


Abbildung 21 - Draufsicht Kolkshutzes um die Führungspfähle des Pontons und die Großpfähle am südöstlichen Ende des Anlegers

## 5.4 Bauablauf der Anlegestruktur

### 5.4.1 Installation der Dalben

Die zehn als Großpfähle konzipierten Dalben werden vom Hersteller zunächst nach Eemshaven (NL) geliefert und dort temporär bis zur Installation zwischengelagert. Von dort werden sie schrittweise (jeweils 3 oder 4 Pfähle) vom ausführenden Hubschiff abgeholt und nach Wilhelmshaven zur Installation gebracht. Der Abholungs- und Installationsvorgang ist teilweise in Abbildung 22 gezeigt. Das Hubschiff verfügt über einen eigenen Kran und einen eigenen Antrieb. Der eingesetzte Hydrohammer hingegen wird von einem Subunternehmer zur Verfügung gestellt.

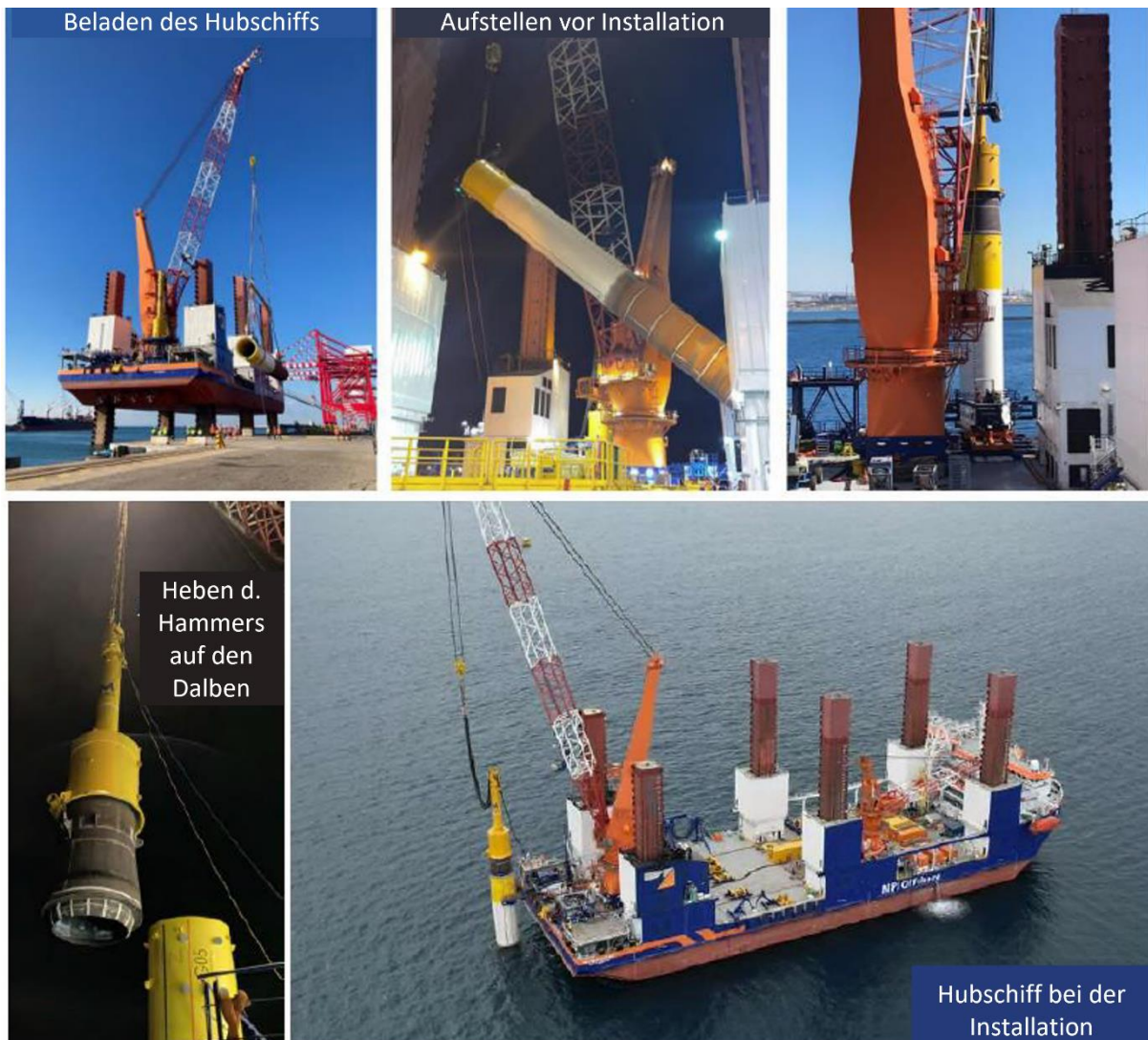


Abbildung 22 - Beladen des Hubschiffs und Installation der Dalben

Vor und während des Rammens der Dalben werden verschiedene technische und organisatorische Schallminderungsmaßnahmen durchgeführt. Die Überwachung der Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte wird durch einen unabhängigen Gutachter im Rahmen der Umweltbaubegleitung sichergestellt. Details dazu sind in Kapitel 8 und im eingereichten Schallschutzkonzept beschrieben, siehe auch Kapitel in 15\_Schalltechnische Beurteilung Bau der Antragsunterlagen.

Wenn das Hubschiff die erste Installationsposition erreicht, wird es genau positioniert, die Beine werden nacheinander abgesenkt und auf den Meeresboden aufgestellt. Das Schiff wird auf eine Höhe von ca. 10 m aus dem Wasser gehoben. Das Eigengewicht führt zu einer festen Verankerung und die notwendige Stabilität für die Installation. Abbildung 22 zeigt ebenfalls die letztendliche Installationsposition des Hubschiffs.

Sobald das Schiff stabil und bereit für die Installationsarbeit ist, wird ein Dalben mit dem schiffseigenem Schwerlastkran aufgerichtet. Nachdem dieser eine vertikale Ausrichtung erreicht hat, hebt der Kran ihn in eine Greifvorrichtung am Heck des Schiffes. Durch den Greifer wird der Dalben auf den Meeresboden in Position gelassen und auf den zuvor errichteten Kolkschutz aufgestellt. Zu diesem Zeitpunkt werden auch die Lärmschutzmaßnahmen in Betrieb genommen. Schließlich starten die Rammarbeiten mit dem hydraulischen Hammer, welcher exemplarisch in Abbildung 22 gezeigt ist. Nach Abschluss der vorbereitenden Maßnahmen dauert der tatsächliche Rammvorgang an sich maximal 3 Stunden pro Dalben. Jeder Dalben wird ca. 45 m in den Meeresboden eingebracht.

Sobald die Installation eines Dalbens fertiggestellt ist, wird das Hubschiff wieder herabgelassen. Die Beine werden angehoben und es wird an die nächste Installationsposition gebracht. Anschließend erfolgt die soeben beschriebene Installationssequenz von Neuem. Nach der Installation von maximal vier Dalben muss das Hubschiff eine neue Ladung Dalben aufnehmen.

#### 5.4.2 Montage der Dalbenköpfe und der Verbindungsstege

Nachdem die Dalben gesetzt wurden, werden die zugehörigen Dalbenköpfe und Plattformen installiert. Die Plattformen sind vormontiert und in Wilhelmshaven zwischengelagert. Vor Ort werden sie vor der Installation auf einen Lastkahn geladen. Sobald sie zur Anlegerposition transportiert wurden, werden sie dort mit Hilfe eines Schwimmkrans auf den Dalben installiert. Abschließend werden die Dalbenköpfe mit den Dalben verbunden und zunächst teilweise verschweißt. Der Ringraum zwischen den einzelnen Dalbenköpfen und den Oberseiten des jeweiligen Dalbens wird abschließend verschweißt.

Nachdem diese Verbindung die Endfestigkeit erreicht hat, werden die Plattformen für die Montage der Verbindungsstege vorbereitet. Diese werden analog zu den Dalbenköpfen von einem Lastkahn im Hafen aufgenommen, an den Anleger transportiert und mit Hilfe des Schwimmkrans montiert. Nachdem alle Verbindungsstege montiert sind, wird schließlich die verbliebende Ausstattung des Anlegers installiert. Dies beinhaltet insbesondere die elektrischen Anschlüsse, Beleuchtung, Handläufe, das Anbringen der Fender an den Fenderdalben, sowie sämtliche Vorbereitungen zum ersten Anlegen der FSRU.

#### 5.4.3 Errichten des Schwimmpontons

Für eine sichere Verankerung des Schwimmpontons ist die Installation von 12 Führungspfählen notwendig. Diese sind deutlich kleiner als die Großpfähle des Anlegers. Sie haben einen Durchmesser von 1,2 m und eine Länge von 40 m. Die geplanten Installationsarbeiten für den Schwimmponton sind im Referenzdokument /14/ detailliert beschrieben.

## 6 Zeitlicher Ablaufplan

Die Ausführung der wasserseitigen Arbeiten startete im Oktober 2023 und der Abschluss ist für Sommer 2024 vorgesehen. Details zum zeitlichen Ablauf können dem *Bauzeitenplan* in Kapitel 6 des *Wasserrechtlichen Planfeststellungsantrags für die Errichtung eines FSRU-Schiffsanlegers mit Liegewanne und Zufahrtbereich* entnommen werden.

## 7 Hauptmaschinerie für die Installation der Anlegestruktur

Die Maschinerie zur Installation der Dalben und der restlichen Anlegerstruktur besteht hauptsächlich aus verschiedenen Schiffstypen, sowie Spezialequipment für das Verbringen der Dalben. Als Hauptkomponenten kann somit insbesondere Folgendes genannt werden:

- Hubschiff zur Installation der Dalben (s. Abbildung 23)
- Laderaumsaugbagger
- Multicat-Boot zur Unterstützung der Baggerarbeiten
- Lastkahn mit Bagger zur Verlegung des Kolkschutzes
- Lastkahn mit Krahn zur Installation der Verbindungsstege und Plattformen
- Service-Boot für Peilung und sonstige Unterstützung
- Greifer für die Dalben (ein sog. Gripper)
- Hydrohammer, voraussichtlich vom Typ S-1800 (s. Abbildung 24)

Details zur Hauptmaschinerie für die geplanten Installationsarbeiten für den Schwimmponton sind im Referenzdokument /14/ beschrieben.

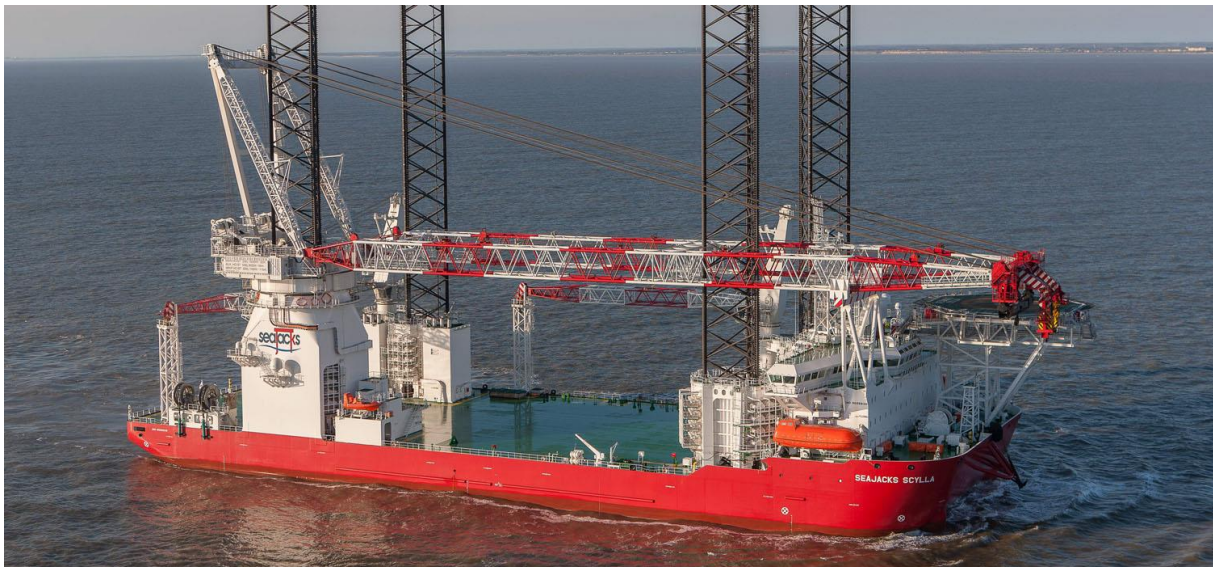


Abbildung 23 - Hubschiff zur Installation der Dalben (Quelle: Seajacks UK Ltd.)

Als Hubschiff zur Installation der Dalben dient die Seajacks Scylla. Sie kann bis zu vier der Großpfähle gleichzeitig lagern, sodass kein zusätzlicher großer Lastkahn zur Zwischenlagerung der Dalben benötigt wird. Das Hubschiff verfügt über ein DPCS-System zur genauen Positionierung und kann durch die vier Beine stabil und genau in Position fixiert werden. Einige technische Kerndaten können Tabelle 3 entnommen werden. Am Heck der Seajacks Scylla wird ein für das Projekt speziell entwickelter Greifer montiert, der zum Aufstellen und kontrolliertem Einbringen der Dalben dient.

Kennzahl	Einheit	Wert
Gesamtlänge	m	152,6
Breite	m	50
Tiefgang (insgesamt)	m	7,8
Kapazität Hauptkran	Tonnen	1.500
Hubkapazität Beine (insgesamt)	Tonnen	14.000
Kapazität Personal an Bord	Personen	130

Tabelle 3 - Kennzahlen des geplanten Hubschiffes Seajacks Scylla

Neben dem Greifer ist der Rammhammer bzw. Hydrohammer von besonderer Bedeutung. Die Auswahl des Hammers richtet sich nach der maximal benötigten Rammenergie, welche wiederum von den Dimensionen der Dalben sowie der Bodenverhältnisse abhängt. In diesem Fall ist ein Rammhammer des Modells IHC S-1800 geplant. Der Name deutet auf die maximale Rammenergie von 1.800 kJ hin. Während Abbildung 24 einen typischen Hydrohammer zeigt, sind einige technische Parameter zum S-1800 beispielhaft in Tabelle 4 gelistet. Details zur Rammenergie, der Auswahl und Betriebsweise des Hydrohammers sind im ebenfalls eingereichten Schallschutzkonzept beschrieben, siehe dazu Kapitel 15\_Schalltechnische Beurteilung Bau der Antragsunterlagen.



Abbildung 24 - Typischer Hydrohammer zum Rammen der Dalben (Quelle: IHC IQIP)

Kennzahl	Einheit	Wert
Maximale Schlagenergie	kNm (kJ)	1.800
Minimale Schlagenergie	kNm (kJ)	198
Schlagzahl	Schläge/min	35
Rammgewicht	Tonnen	90
Gewicht des Hammers	Tonnen	215
Länge des Hammers	m	16,63

Tabelle 4 - Kennzahlen des geplanten Rammhammers (Modell IHC S-1800)

Weiteres Hauptequipment sind verschiedene Schiffe. Dazu zählt u.a. ein Laderaumsaugbagger, der für die Baggerarbeiten vorgesehen ist, siehe Abbildung 25. Des Weiteren wird ein Service-Boot für die Peilung sowie anderweitige Unterstützung der Arbeiten vor Ort sein. Die Installation des Kolkenschutzes erfolgt über einen Lastkahn, auf dem ein Bagger platziert wird.



*Abbildung 25 - Laderaumsaugbagger für die Ausbaggerung der Zufahrt und Liegewanne*

Die Installation der Plattformen auf den Dalben sowie der Laufstege zwischen den Dalben erfolgt mittels eines Lastkahns mit Kran. Das zu installierende Material wird durch den Kran in Position gehoben und dann am Anleger montiert.

## 8 Lärminderungsmaßnahmen

### 8.1 Allgemeines zu den Rammarbeiten

Für die Installation der Dalben sind spezielle Lärminderungsmaßnahmen geplant, da insbesondere von den Rammarbeiten erhöhter Unterwasserschall emittiert wird. Die lärmintensiven Rammarbeiten pro Dalben begrenzen sich auf maximal 3 Stunden pro Dalben, während der gesamte Installationsprozess inkl. Mobilisierung und Positionierung des Hubschiffes deutlich länger dauern kann. Der Rammschall hängt zu einem Großteil von der eingebrachten Rammenergie ab. Diese wurde für dieses Vorhaben auf einen Maximalwert von 1.800 kJ berechnet. Diese maximale Energie wird jedoch lediglich für die letzten Schläge benötigt, d.h. für die Dauer von maximal 10 Minuten pro Dalben.

Im Gegensatz zu den Rammarbeiten für die Großpfähle der Dalben, ist die Einhaltung der Unterwasserschallgrenzwerte beim Rammen der deutlich kleineren Führungspfähle ohne gesonderte Schallminderungsmaßnahmen gewährleistet.

Im Folgenden werden die geplanten Maßnahmen zur Lärminderung kurz beschrieben. Weitere Details zur Lärminderung können dem Referenzdokument /13/ entnommen werden und sind im ebenfalls eingereichten Schallschutzkonzept beschrieben, siehe dazu Kapitel 15\_ *Schalltechnische Beurteilung Bau* der Antragsunterlagen.

### 8.2 Optimierung des zeitlichen Ablaufs

Die Lärminderungsmaßnahmen beginnen bereits in der Planung der Rammaktivitäten. Zielsetzung ist es, die Gesamtdauer so kurz wie möglich zu halten und so den Einfluss auf die Umgebung und sensitive Tierarten zu begrenzen. Durch das Konzept der Großpfähle wird die insgesamt Rammdauer gegenüber Pfahlgruppen von mehreren Pfählen pro Dalben deutlich reduziert.

### 8.3 Akustische Vergrämungsmaßnahmen

Als erste Maßnahme zum Schutz der Tierwelt vor Ort wird ein sog. FaunaGuard eingesetzt. Dieses System dient zur temporären Vergrämung der Tiere aus dem Baugebiet. Es handelt sich dabei um akustische Abschreckungsgeräte, welches auf die entsprechenden Frequenzbereiche, die für die vor Ort lebenden Tiere relevant sind, angepasst werden. Durch eine Variation in den Tonlagen und komplexen Tönen werden die Tiere vergrämt. Das System wird bereits erfolgreich im Offshore-Wind-Bereich in deutschen Gewässern eingesetzt. Es gibt dedizierte FaunaGuard-Module sowohl für Seehunde als auch für Schweinswale. Vor dem Start des Rammens und nach Beginn der Vergrämungsmaßnahme wird die Umgebung nochmals nach sensiblen Lebewesen sondiert.

### 8.4 Langsames Anfahren der Rammarbeiten (Soft Start)

Nachdem die Vergrämung abgeschlossen ist, können die Rammarbeiten in einem sog. Soft-Start-Verfahren langsam angefahren werden. Dieser beinhaltet einen schrittweisen Anstieg der Rammenergie und der Schlagzahl. Ein Soft-Start dient dazu, nicht erfolgreich vergräme



und unentdeckte Seehunde oder Schweinswale zum Verlassen des Gebietes zu bewegen bevor die Rammarbeiten richtig starten.

### 8.5 Doppel-Blasenschleier

Als effektive Methode zur Reduzierung des auftretenden Unterwasserschalls durch das Rammen haben sich im Offshore-Bereich Blasenschleier etabliert. Für die hier vorgesehene Installation der zehn Dalben ist ein großer Doppel-Blasenschleier vorgesehen. Er kann an die jeweiligen Strömungsverhältnisse angepasst werden. Die während der Installation geringe Wassertiefe von ca. 15 m begünstigt die Effektivität der Maßnahme. Abbildung 26 zeigt einen solchen Blasenschleier im Einsatz.



Abbildung 26 - Doppelter Blasenschleier zur Lärminderung im Einsatz

Der Doppel-Blasenschleier besteht aus zwei perforierten Schläuchen, die um das Areal der Rammarbeiten am Meeresboden verlegt werden. Die Schläuche werden von einem Arbeitsboot aus über Kompressoren mit Druckluft versorgt, die durch die Perforation den Blasenschleier erzeugt. Als Resultat verändert sich die Dichte des Wassers, Schallwellen werden gebrochen und der Baulärm wird effektiv gedämpft.

## 8.6 Zusätzliche Minderungsmaßnahmen im Bedarfsfall

Das Schallschutzkonzept ist so ausgelegt, dass die Grenzwerte eingehalten werden können. Aus der Überwachung der Schallpegel lässt sich rechtzeitig erkennen, ob und wann zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind. Im Schallschutzkonzept sind dazu weitere Möglichkeiten beschrieben. Dazu gehören die Vergrößerung des Durchmessers des Druckluftblasenvorhangs und der Einsatz eines dritten, zusätzlichen Membran-BBC-Schlauchs im vorhandenen Blaseschleier. Der Membran-BBC-Schlauch erzeugt besonders feine Luftblasen (siehe Abbildung 27).

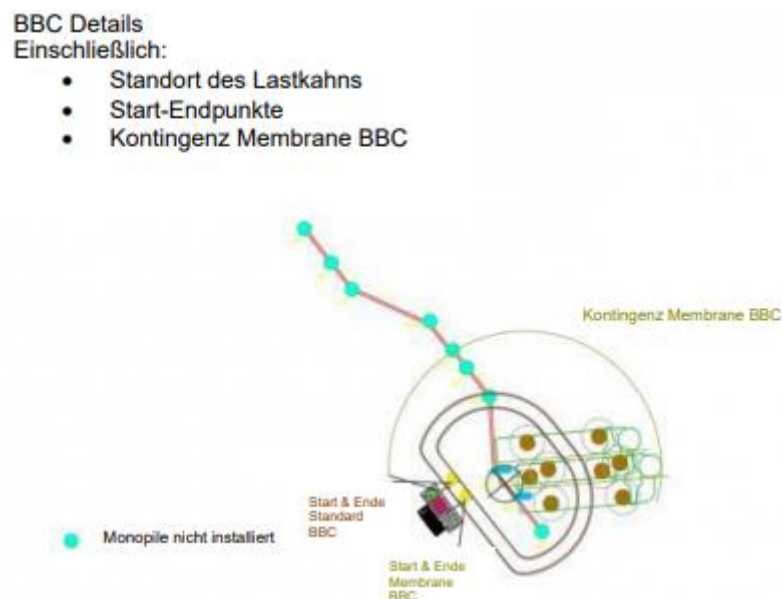


Abbildung 27 - Beispiel für einen dritten Membran-BBC-Schlauch als zusätzliche Maßnahme

Darüber hinaus können bei Bedarf noch weitere Maßnahmen ergriffen werden. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten wird die Reihenfolge der zu rammenden Pfähle innerhalb des DBBC berücksichtigt. Der Pfahl mit dem größten Abstand zum Vorhang wird zuerst gerammt. Als weitere Option steht zudem die Nutzung geeigneter Zeitfenster mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit (Nutzung der Umkehrpunkte der Tidenströmung) zur Verfügung.

## 8.7 Überwachung der Bauarbeiten

Während der Rammarbeiten wird eine umwelttechnische Baubegleitung erfolgen. Diese beinhaltet auch das Messen und Protokollieren des Unterwasserschalls. Bei Überschreiten der zulässigen Grenzwerte werden die Arbeiten gestoppt und entsprechende korrigierende Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung der Grenzwerte durchgeführt, Kap. 8.6..

## 9 Rückbau

Für den Betrieb der FSRU ist eine Dauer von maximal fünf Jahren vorgesehen. Entsprechend wird bei der Planung ein später notwendiger Rückbau bereits berücksichtigt. Dieser muss generell in zeitlich umgekehrter Abfolge zur Installation ablaufen. Die Hauptelemente des Rückbaus beinhalten:

- Abkoppeln der FSRU vom Gastransfersystem
- Entfernen der FSRU vom Anleger
- Verlegung der FSRU in ein Trockendock für Rückbau des Gasbalkon und anderer Modifikationen
- Demontage der Brückenstrukturen am Anleger
- Entfernen der Dalbenköpfe und -Plattformen und Transport an Land (sofern keine Nachnutzung erfolgt)
- Rückbau des Gastransfersystems und Inspektion der Komponenten sowie Prüfung einer möglichen Nachnutzung (nachrichtlich)
- Sofern keine Nachnutzung erfolgt, Entfernung der Dalben und Führungspfähle des Pontons, voraussichtlich durch Schneiden in hinreichender Tiefe und Heben durch einen Schwerlast-Schwimmkran

Für die Großpfähle der Dalben sowie die Dalbenköpfe, Plattformen, Fender usw. wird eine Weiternutzung geprüft und ist gegenüber einem Rückbau bevorzugt. Sämtliches Material, welches nicht weiterverwendet werden kann, wird an Land gebracht und fachgerecht entsorgt und nach Möglichkeit dem Recycling zugeführt.