

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV- DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 1 von 21

Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten

Sechste Ausgabe	05	24.04.2024	T. Koutrouveli	A. Bakhtiari	J. de Groot	
Fünfte Ausgabe	04	06.09.2023	T. Koutrouveli	A. Bakhtiari	J. de Groot	
Vierte Ausgabe	03	29.08.2023	T. Koutrouveli	A. Bakhtiari	J. de Groot	
Dritte Ausgabe	02	26.07.2023	T. Koutrouveli	J. Kemp	J. Kemp	
Zweite Ausgabe	01	18.07.2023	T. Koutrouveli	J. de Groot	J. de Groot	
Erste Ausgabe	00	06.02.2023	T. Koutrouveli	P. Roux	J. de Groot	
Status	Ausgabe	Datum	Erstellt von	Geprüft von	Genehmigt von	Bemerkung

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 2 von 21

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Der Auftrag	3
1.2	Umfang des Berichts	3
1.3	Definierte Begriffe und Abkürzungen	4
2	Unterwasserschallpegel beim Rammen von Pfählen	7
2.1	Gründungspfähle für den Anlegedalben/Vertäudalben (engl. jetty)	7
2.2	Gründungspfähle für die Pontonanlage	8
3	Schallminderungsmaßnahmen für die Jetty Gründungspfähle	9
3.1	Doppelter großer Blasenschleier (Double Big Bubble Curtain, DBBC).....	9
3.2	FaunaGuard	13
3.3	Soft Start-Verfahren	13
4	Zusätzliche Maßnahmen zur Schallminderung für die Jetty Gründungspfählen	15
4.1	Erhöhte Druckluftmenge.....	15
4.2	Membrane DBBC	15
4.3	Arbeiten unter Berücksichtigung der Strömungsrichtung.....	15
4.4	Arbeiten bei schwächeren Gezeitenströmungen	15
5	Minderungsmaßnahmen für die Ponton-Gründungspfähle	17
6	Unterwasserschall Messkonzept zur Einhaltung der Lärmschutzwerte	18
6.1	Gründungspfähle für den Anlegedalben/Vertäudalben (Jetty).....	18
6.2	Gründungspfähle für die Ponton-Anlage.....	19
7	Literaturhinweise.....	21

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 3 von 21

1 Einleitung

1.1 Der Auftrag

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ist im September 2022 an die Tree Energy Solutions GmbH (TES) herangetreten und hat die gemeinsame Realisierung eines schwimmenden Importterminals für Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas, LNG) in Form einer Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) angefragt. Das BMWK hat dazu im Februar 2023 die FSRU „Excelsior“ für maximal 60 Monate gechartert. Das Projekt soll in Kooperation mit ENGIE realisiert werden. Als Vorhabenträgerin wurde die „FSRU Wilhelmshaven GmbH“ gegründet.

Der KUNDE (ENGIE/TES) hat mit IMDC einen Vertrag zur technischen Unterstützung der Meeresarbeiten sowie Modellstudien abgeschlossen, die in den Genehmigungsantrag einfließen.



Abbildung 1-1: Überblick über den Projektstandort (Google Earth)

1.2 Umfang des Berichts

Ziel dieses Berichts ist die weitere Klärung der Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall, basierend auf der Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen (BSH, 2011), bei Rammarbeiten im Impulsrammverfahren im Zusammenhang mit dem FSRU-Projekt am Westufer in der Jademündung im Wilhelmshaven.

Die Vertäu- und Anlegeplätze müssen für die Aufnahme einer FSRU mit LNG-Tankern geeignet sein.

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 4 von 21

Das Anlandeterminal besteht aus sechs Vertäudalben (mooring dolphin, MD), vier Anlegedalben (breasting dolphin, BD) und Stegen, die die verschiedenen Dalben miteinander verbinden. Jeder Dalben besteht aus einem Monopile mit einem Durchmesser von 4,5 m, einer Länge von 70,5 m und einer Wandstärke von 60 mm. Außerdem muss am LNG-Terminal eine Pontonanlage installiert werden, um unter Betriebsbedingungen einen Zugang für den Crew-Transfer und die Versorgung (alltäglicher Einsatz) über ein Crew-Schiff zu ermöglichen. Im Notfall bietet es auch einen Flucht- oder Zugangsweg. Die Pontonanlage besteht aus einem schwimmenden Ponton, der an 12 Gründungspfählen verankert ist. Diese Pfähle haben einen Durchmesser von 1,5 m und eine Spitzhöhe von +12 m CD. Diese 12 Gründungspfähle sollen im Juni 2024 mittels rammverfahren bis auf Endtiefe in den Meeresboden verbracht werden.

Im Rahmen dieses Dokuments stehen die geplanten Arbeiten zur Gründung der 12 Gründungspfähle für die Pontonanlage.

Beim Rammen der Pfähle müssen die von den Behörden festgelegten Minderungsgrenzwerte für Unterwasserschall eingehalten werden (BSH, 2011). Die Bewertung des Unterwasserschalls wird also wie folgt durchgeführt:

1. Bestimmung des Unterwasserschalls, der durch Rammarbeiten entsteht, und Ausbreitung in 750 m Entfernung von der Quelle
2. Prüfung, ob die von den Rammarbeiten verursachten Schallpegel in einem Abstand von 750 m vom Pfahl die Lärmschutzwerte für Unterwasserschall einhalten: $SEL_{05} \leq 160$ dB, wobei SEL_{05} einer 5%igen Überschreitung des Einzelereignispegel entspricht und $L_{p,pk} \leq 190$ dB, wobei $L_{p,pk}$ dem Spitzenschalldruckpegel entspricht
3. Bei Überschreitung der Lärmschutzwerte ohne Schallminderung sind Maßnahmen zur Schallminderung und ein entsprechendes Konzept vorzulegen
4. Beschreibung zusätzlicher Maßnahmen zur Schallminderung.

1.3 Definierte Begriffe und Abkürzungen

Die großgeschriebenen Begriffe und Abkürzungen in diesem Dokument beziehen sich auf die in der folgenden Tabelle definierten Begriffe:

Begriff	Beschreibung
ADDs	Akustische Abschreckungsvorrichtungen (engl. Acoustic Deterrence Devices)

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 5 von 21

Begriff	Beschreibung
Auftragnehmer	Auftragnehmer ist ein erfolgreiches Unternehmen/eine erfolgreiche Partei, das/die den Vertrag über die Ausführung der Meeresarbeiten abschließt und rechtlich daran gebunden ist = Van Oord für die Jetty/ Ballast Nedam für die Ponton
BD	Anlegedalbe
Berater	International Marine Dredging Consultants, die als Ingenieur des Bauherrn für das Projekt ernannt wurden.
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
DBBC	Doppelter großer Blasenschleier (Double Big Bubble Curtain)
FSRU	Schwimmende Speicher- und Regasifizierungseinheit (Floating Storage and Regasification Unit). Die „Excelsior“, die Excelerate Energy gehört, wird für dieses Projekt bereitgestellt.
Kunde	ENGIE Deutschland AG
LAT	Niedrigste astronomische Tide
LNG	Verflüssigtes Erdgas
LNGC	LNG-Tanker
MD	Vertäudalbe
MSL/NHN	Mittlerer Meeresspiegel (Mean Sea Level)
MW	Mittel Wasser
SBBC	Einfacher Blasenschleier (Single Big Bubble Curtain)
SEL	Einzelereignispegel (engl. Sound Exposure Level)

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 6 von 21

Begriff	Beschreibung
SKN	Seekartennull; die Tiefenangaben beziehen sich auf das Seekartennull (SKN) als Tiefenhorizont, hier das Niveau des niedrigsten Gezeitenwasserstandes (LAT)
TES	Tree Energy Solutions (Kundenpartner)
UBB	Umweltbaubegleitung

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 7 von 21

2 Unterwasserschallpegel beim Rammen von Pfählen

2.1 Gründungspfähle für den Anlegedalben/Vertäudalben (engl. jetty)

Um die für das Rammen benötigte Energie abzuschätzen, wurde eine vorläufige Analyse der Rammpfählichkeit der Pfähle durchgeführt. Es wurde geschätzt, dass für die Arbeiten ein IHC Hydrohammer S-1800 empfohlen wird, was bedeutet, dass während der Rammarbeiten nicht mehr als 1800 KJ benötigt werden. Selbst wenn für die Rammarbeiten ein anderer Hammer gewählt wird (z. B. ein IHC Hydrohammer S-2000), weil er zum Zeitpunkt der Arbeiten nicht verfügbar ist, dürfte die maximale Energie, die aufgebracht wird, die 1800 KJ nicht überschreiten.

Müller-BBM führte eine prognose des Unterwasserschalls verursacht durch Rammarbeiten am FSRU (Wildemann et al., 2023). Sie berücksichtigten einen IHC Hydrohammer S-1800 für Rammarbeiten, die Bathymetrie des Gebiets, die Wassertiefe (etwa 15 m) und einen Pfahl mit einem Durchmesser von 4,5 m und einer Länge von 70,5 m. Die Ergebnisse ihrer Modellierung zeigen, dass im ungünstigsten Fall, bei dem die maximale Rammenergie verwendet wird (1800 KJ), die Schallpegel in einer Entfernung von 750 m vom Monopile SEL = 175 dB bzw. $L_{p,pk} = 199$ dB betragen.

Dies steht im Einklang mit dem itap-Bericht (Bellmann et al., 2020). Aus Abbildung 2-1 geht hervor, dass für Rammpfähle mit einem Durchmesser von 4,5 m der SEL in der Größenordnung von 175 dB und der $L_{p,pk}$ in der Größenordnung von 198 dB liegt.

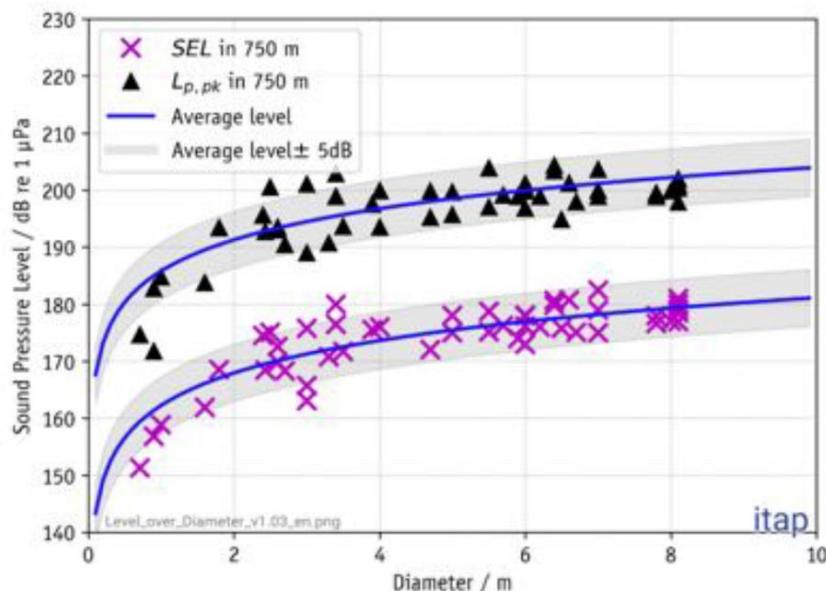


Abbildung 2-1: Schwellenwerte für Unterwasserschall (itap – Bellmann et al., 2020)

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 8 von 21

Die entsprechenden Schwellenwerte für Unterwasserschall in einem Gebiet in 750 m Entfernung vom Pfahl sollten auf $SEL_{05} = 160 \text{ dB}$ und $L_{p,pk} = 190 \text{ dB}$ begrenzt werden (Abbildung 1-1). Somit ist eine Gesamtschallreduzierung von bis zu 15 dB erforderlich, um die deutschen Schallminderungsgrenzwerte einzuhalten.

2.2 Gründungspfähle für die Pontonanlage

Für die Ponton-Gründungspfähle und aus der durchgeführten Rammpbarkeitsanalyse (TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2205.00_DMC Ponton-Anlage – Pfahlrammpbarkeitsuntersuchung) wurde der Schluss gezogen, dass sowohl ein S-150- als auch ein S-120-Hammer geeignet sind die Rammarbeiten auszuführen.

Die itap GmbH führte eine Prognose des Unterwasserlärms durch Rammarbeiten der Pontonpfähle durch (Beier & Remmers, 2024). Sie berücksichtigten sowohl einen S-150- als auch einen S-120-Hammer zum Rammen der Pfähle, die Bathymetrie des Gebiets, die Wassertiefe (ca. 12 m) und einen Pfahl mit einem Durchmesser von 1,5 m. Dieses Prognosemodell wurde bereits bei den Gründungsarbeiten des Anlegedalbens der 1. FSRU im Jahre 2022 und bei den Gründungsarbeiten des Anlegedalbens der 2. FSRU (2023) eingesetzt und mittels anschließender Unterwasserschallmessungen validiert.

Die Ergebnisse ihrer Modellierung zeigen, dass im ungünstigsten Fall, wenn die maximale Rammenergie (150 kJ) verwendet wird, die Schallpegel in einer Entfernung von 750 m vom Monopile $SEL_{05} = 157 \text{ dB}$ bzw. $L_{p,pk} = 181 \text{ dB}$ betragen .

Die entsprechenden Lärmschutzwerte für Unterwasserschall in einem Bereich 750 m vom Pfahl entfernt sollten auf $SEL_{05} = 160 \text{ dB}$ und $L_{p,pk} = 190 \text{ dB}$ begrenzt werden (Abbildung 1 1). Der Unterwasserschall durch Rammarbeiten liegt unterhalb dieser Lärmschutzwerte und eine Schallminderung ist zur Einhaltung der deutschen Lärmschutzwerte nicht erforderlich.

Optional konnte die Pfähle auch auf den ersten Metern mittels Vibrationsrammverfahren gegründet werden. Vibrationsrammschall ist gemäß MSRL (2008) als Dauerschall zu werten und unterliegt somit nicht den Lärmschutzwerten von 160 dB und 190 dB in 750 m zur Vermeidung einer temporären Hörschwellenverschiebung. Zudem ist davon auszugehen, dass die Vibrationsrammung als geräuscharme Installationsmethode einzustufen ist.

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 9 von 21

3 Schallminderungsmaßnahmen für die Jetty Gründungspfähle

Zur Verringerung des Unterwasserschalls kann eine Reihe von Maßnahmen ergriffen werden, sobald dieses aufgrund der vorliegenden Unterwasserschallprognosen notwendig erscheint, z.B. für die Jetty Gründungspfähle im Herbst 2023. Im folgenden Abschnitt wird die für das vorliegende Projekt vorgeschlagene Methode beschrieben.

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass die Rammarbeiten nur das Rammen von 10 Monopiles umfassen. Nach einer vorläufigen Analyse wird erwartet, dass die Rammarbeiten etwa 3 Stunden pro Pfahl dauern werden. Diese Entwurfsoption ist im Hinblick auf die Gesamtdauer der Rammarbeiten im Vergleich zu Entwurfsoptionen mit einer größeren Anzahl von Pfählen mit kleinerem Durchmesser vorteilhaft.

3.1 Doppelter großer Blasenschleier (Double Big Bubble Curtain, DBBC)

Der doppelte große Blasenschleier (Double Big Bubble Curtain, DBBC) wird als die am besten geeignete Lärminderungsmaßnahme angesehen, da er sehr vielseitig einsetzbar ist und es keinen einzigen Fall gibt, in dem der Unterwasserlärmpegel ohne den Einsatz eines (D)BBC auf den vorgeschriebenen Wert reduziert werden konnte..

Bei dieser Maßnahme werden zwei perforierte Schläuche rund um die Baustelle verlegt, die einen Schleier aus Luftblasen erzeugen, die durch Druckluft erzeugt werden. Dadurch wird die Dichte des Wassers verändert, die Schallwellen werden gebrochen und der Baulärm somit gedämpft.

Da das System eine relativ große Fläche abdeckt, ist es auch in der Lage, einen Teil der Schallreflexion von der Filterschicht des Kolksschutzes und des Meeresbodens zu reduzieren. Quelle: Wagenknecht (2021).

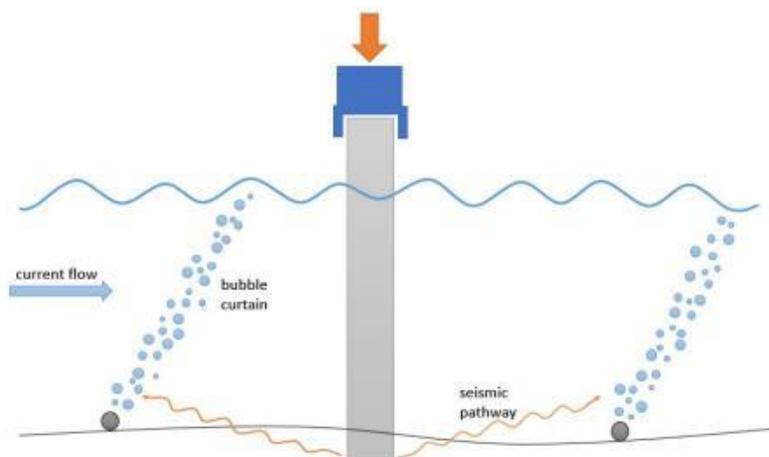


Abbildung 3-1: Funktionsprinzip eines Blasenschleiers (Wagenknecht, 2021)

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 10 von 21

Doppelte große Blasenschleier (Double Big Bubble Curtains, BBCs) sind die am häufigsten eingesetzten Minderungssysteme für Unterwasserschall in der Offshore-Windkraftbranche. Blasenschleier haben zwei Funktionsprinzipien:

- Zunächst einmal wird Schall mittels dessen Reflexion auf Grundlage einer Impedanzfehlpassung zwischen Wasser und dem sprudelnden Gemisch gemindert.
- Wenn die Schallfrequenz nahe der Eigenfrequenz der Blase liegt, wird der Schall von der Blase absorbiert.

Als renommierter Offshore-Windkraftinstallateur verfügt Van Oord (Auftragnehmer) über umfangreiche Erfahrung im Betrieb solcher BBCs und kann diese ohne Verzögerungen in die Rammarbeiten einbauen.

Der zu erwartende Frequenzbereich hängt insbesondere von den Pfahlabmessungen und dem Hammertyp ab. Im Jahr 2020 veröffentlichte itap GmbH im Auftrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) den Erfahrungsbericht Rammschall. Dieser Bericht veröffentlichte die langjährigen Erfahrungen mit Offshore-Windkraft in Deutschland und zeigt auch die typischen Frequenzbereiche auf, die bei Rammarbeiten mit und ohne Schallminderung zu erwarten sind. Abbildung 3-1 zeigt die erwartete Häufigkeitsverteilung in Dunkelblau an.

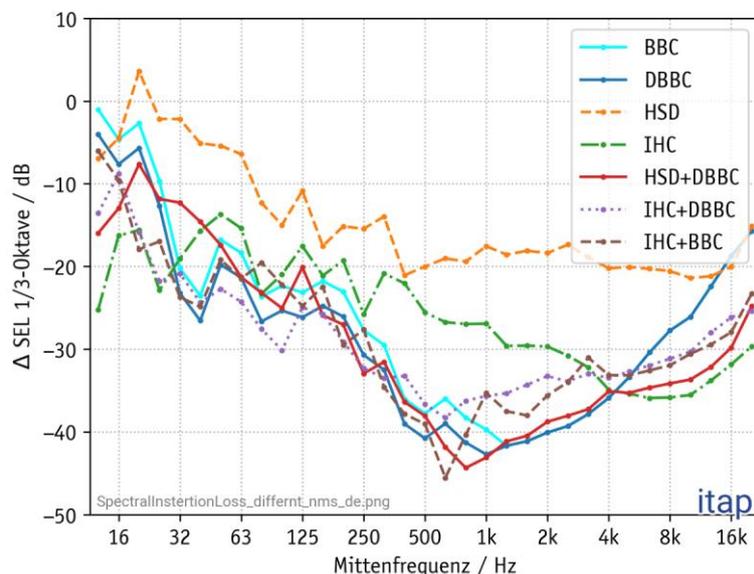


Abbildung 3-1 Erfahrung im Frequenzspektrum von Unterwasserschallminderungsmaßnahmen bisheriger Standorte

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Blasenschleier-Minderungssysteme und zeigt die erwartete Einfügungsdämpfung nach Bellmann et al. (2020) und ihre Vor- und Nachteile in Bezug auf dieses Projekt. Es ist zu beachten, dass die tatsächlich erzielte Reduzierung von vielen verschiedenen Faktoren abhängt. Die umfangreiche Erfahrung von Van Oord (Auftragnehmer) bei der Installation von Fundamenten hat ergeben, dass diese Faktoren in erster Linie folgende sind:

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 11 von 21

1. Wassertiefe
2. Geschwindigkeit der Wasserströmung und
3. Sedimentablagerungen.

Tabelle 3-1: Vergleich von Minderungsstrategien von sekundärem Schall

Schall-Minderungs-System	Wasser - Tiefe	Eingebrachte Luftmenge [m ³ /(min*m)]	Einfügungsdämpfung ΔSEL [dB] (min. / durchschn. / max.)	Vorteile	Nachteile
Großer Blasen-Schleier (BBC)	< 25 m	< 0,3	11/15/15	<ul style="list-style-type: none"> • Kann hochfrequente Töne dämpfen • Kann einen Teil des Schalls dämpfen, der sich durch den Boden ausbreitet • Das am weitesten verbreitete NAS in der OWF-Entwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung von Trübung • Mögliche Ausbreitung von kontaminiertem Material • Große Anzahl von Kompressoren erforderlich, was zu hohen CO₂-Emissionen führt • Weniger effektiv bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten • Zusätzliches Schiff erforderlich
Doppelter großer Blasenschleier (DBBC)	< 25 m	> 0,3	14/17/18	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe BBC 	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe BBC • Es werden noch mehr Kompressoren benötigt, was zu hohen CO₂-Emissionen führt.

Diese Faktoren wirken sich wie folgt auf die bevorstehenden Gründungsarbeiten in Wilhelmshaven aus:

- Wassertiefe – Nach Bellmann et al. 2020 gilt: Je geringer die Wassertiefe ist, desto weniger werden die Blasen während ihres Aufstiegs zur Wasseroberfläche durch Wasserströmungen beeinflusst. Die Wassertiefe am Standort Wilhelmshaven wird zum Zeitpunkt der Installation voraussichtlich etwa 15 m betragen, also nicht sehr tief sein. Außerdem liegt die Grenzfrequenz für Unterwassergeräusche angesichts der geringen Wassertiefe in dem Gebiet wahrscheinlich bei 60 Hz, was bedeutet, dass der Frequenzbereich unter 60 Hz (der erhebliche akustische Energie enthält) die Messentfernung von 750 m nicht erreichen kann.
- Wasserströmungen – Es ist bekannt, dass die Strömungsgeschwindigkeit einen erheblichen Einfluss auf die Leistung eines (D)BBC hat. Insbesondere bei Wassertiefen von 25 m und mehr kann dies dazu führen, dass der (D)BBC das Fundament vor dem Auftauchen quert, sodass während der Installation eine offene, unbedeckte Fläche entsteht. Trotz der Tatsache, dass die Strömung in Wilhelmshaven unter durchschnittlichen Bedingungen bis zu 1,1–1,2 m/s erreichen kann, können unter

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 12 von 21

Berücksichtigung der begrenzten Wassertiefe und des großzügigen Schifffahrtsraums um die Fundamente ausreichend große Durchmesser von (D)BBC verlegt werden, um dem abzuhelpfen.

- Sedimentaufschüttung – Die Aufschüttung des Bodens kann zu Tunneleffekten führen, bei denen sich der Schall durch das Bodenprofil unter dem (D)BBC ausbreitet. Dieses Phänomen wird in der Regel in Gebieten beobachtet, in denen sich aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit tiefe Schichten aus schwachem Schlick gebildet haben. In Anbetracht der Strömungsgeschwindigkeiten am Standort Wilhelmshaven ist nicht zu erwarten, dass dies zu Komplikationen führt.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Informationen hat Jaeger Maritime Solutions, der Lieferant von Van Oord für Blasenschleier, die folgenden Einsatzpläne und schrittweisen Einsatzverfahren für die 10 Monopiles vorgeschlagen.

Dabei wird die folgende Abfolge eingehalten:

- 1) Schritt 1: Der DBBC wird so eingesetzt, dass er die Pfahlinstallation von MD4 und MD5 abdecken kann. Der Mindestabstand in Richtung der Hauptströmungen zwischen der Pfahlmitte und dem Innenschlauch beträgt 65 m und in Richtung senkrecht zu den Hauptströmungen 35 m (Abbildung 3-2 links oben).
- 2) Schritt 2: Der DBBC wird so eingesetzt, dass er die Pfahlinstallation von MD6 abdecken kann. Der Mindestabstand in Richtung der Hauptströmungen zwischen der Pfahlmitte und dem Innenschlauch beträgt 65 m und in Richtung senkrecht zu den Hauptströmungen 35 m (Abbildung 3-2 rechts oben).
- 3) Schritt 3: Der DBBC wird so eingesetzt, dass er die Pfahlinstallation von BD3 und BD4 abdecken kann. Der Mindestabstand in Richtung der Hauptströmungen zwischen der Pfahlmitte und dem Innenschlauch beträgt 65 m und in Richtung senkrecht zu den Hauptströmungen 35 m (Abbildung 3-2 links mittig).
- 4) Schritt 4: Der DBBC wird so eingesetzt, dass er die Pfahlinstallation von BD1 und BD2 abdecken kann. Der Mindestabstand in Richtung der Hauptströmungen zwischen der Pfahlmitte und dem Innenschlauch beträgt 65 m und in Richtung senkrecht zu den Hauptströmungen 35 m (Abbildung 3-2 rechts mittig).
- 5) Schritt 5: Der DBBC wird so eingesetzt, dass er die Pfahlinstallation von MD2 und MD3 abdecken kann. Der Mindestabstand in Richtung der Hauptströmungen zwischen der Mitte des Pfahls und dem Innenschlauch beträgt 65 m und in Richtung senkrecht zu den Hauptströmungen 35 m (Abbildung 3-2 links unten).
- 6) Schritt 6: Der DBBC wird so eingesetzt, dass er die Pfahlinstallation von MD1 abdecken kann. Der Mindestabstand in Richtung der Hauptströmungen zwischen der Mitte des Pfahls und dem Innenschlauch beträgt 65 m und in Richtung senkrecht zu den Hauptströmungen 35 m (Abbildung 3-2 rechts unten).

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 13 von 21

Bei der Errichtungsmethode wurden die Stützfüsse des Installationsschiffes SCYLLA mit berücksichtigt. (das Schiff wird von Van Oord für die Rammarbeiten eingesetzt). Die vorgeschlagene Auslegung ergibt einen inneren BBC-Schlauch mit einer Länge von 460 m und einen äußeren mit einer Länge von 560 m. Für eine maximale DBBC-Leistung wird für jede Düsenöffnung eine Druckluftmenge von $0,6 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$ verwendet. Insgesamt werden 14 Kompressoren (8 für den Außenschlauch und 6 für den Innenschlauch) benötigt, wenn man die Länge der Schläuche und die Luftmenge berücksichtigt. Zwei (2) Ersatzkompressoren werden an Bord verfügbar sein. Vor der Installation werden alle Kompressoren auf ihren Wirkungsgrad hin geprüft. Da die gewählte Konfiguration für den Standort Wilhelmshaven optimal ist, wird erwartet, dass der DBBC in der Lage sein wird, den Unterwasserschall um 17 dB (Durchschnittswert aus Tabelle 1) zu reduzieren, um die Anforderungen zu erfüllen.

3.2 FaunaGuard

Akustische Abschreckungsvorrichtungen (Acoustic Deterrent Devices, ADDs) können eingesetzt werden, um Meereslebewesen vor Beginn der Rammarbeiten aus dem Projektgebiet zu vertreiben. Van Oord hat ein firmeneigenes ADD namens FaunaGuard entwickelt, das vor Rammarbeiten eingesetzt wird. Der FaunaGuard ist ein hochmodernes, modulares System, das durch den Einsatz spezieller, sicherer Akustik bestimmte Artengruppen abschrecken kann. Während andere ADDs auf hohe Amplituden setzen, um Meereslebewesen abzuschrecken, schreckt der FaunaGuard Meereslebewesen durch wissenschaftlich geprüfte Töne und komplexe Klänge ab. Der FaunaGuard ist für seinen weit verbreiteten Einsatz im deutschen Offshore-Windkraftsektor bekannt. Um sowohl Robben als auch Schweinswale vom Projektstandort abzuschrecken, werden bei dem Projekt sowohl das Schweinswal- als auch das Robbenmodul des FaunaGuard-Systems verwendet und 30 Minuten vor Beginn der Arbeiten eingesetzt.

3.3 Soft Start-Verfahren

Das Rammverfahren kann mit einem Softstart beginnen, nachdem die akustischen Abschreckungsvorrichtungen eingesetzt worden sind. Der Softstart besteht aus einem allmählichen Anstieg der Energie und der Hammerschlag rate. Das Hauptziel des Softstart besteht darin, (unbeobachtete) Meeressäuger dazu zu bewegen, den Bereich der Rammarbeiten zu verlassen, bevor die volle Rammleistung eingesetzt wird, was zu höheren Schallpegeln und damit verbundenen negativen ökologischen Auswirkungen führt.

Die Abfolge der drei vorgenannten Abhilfemaßnahmen wird wie folgt aussehen:

- 1) Das FaunaGuard-System wird 30 Minuten vor dem Rammen der Pfähle eingesetzt.
- 2) Der DBBC wird 10 Minuten vor dem Rammen der Pfähle eingeschaltet.
- 3) Der Rammvorgang beginnt mit einem Softstart
- 4) Der FaunaGuard endet 5 Minuten nach dem Softstart

  	<p>Umwelt</p>	
<p>TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN</p>	<p>Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten</p>	<p>Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05</p>
<p>TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU</p>		<p>Seite 14 von 21</p>

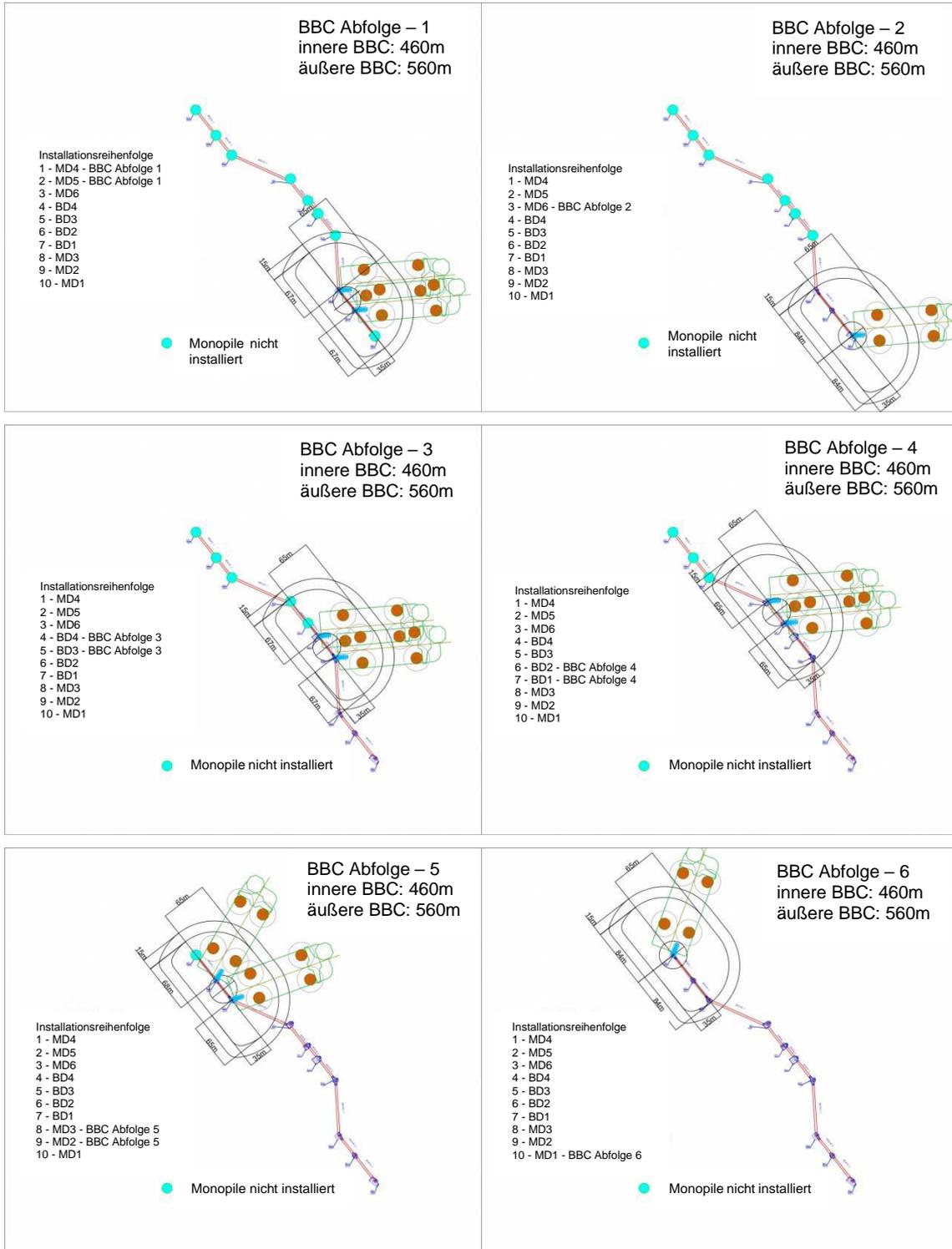


Abbildung 3-2 Abfolge der Einsätze - DBBC Layout und Abmessungen (Jaeger Maritime Solutions, 2023).

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 15 von 21

4 Zusätzliche Maßnahmen zur Schallminderung für die Jetty Gründungspfählen

Der vorgeschlagenen Schallminderungsmaßnahmen sollten für die Einhaltung der Lärmschutzwerte ausreichen. Für den Fall, dass der Unterwasserschall die Schwellenwerte nahezu überschreitet, sind jedoch einige zusätzliche Maßnahmen zur Schallminderung vorgesehen.

4.1 Erhöhte Druckluftmenge

Als erste Maßnahme zur Schallminderung werden die beiden Ersatzkompressoren an Bord aktiviert, um die aus den Düsen austretende Druckluftmenge zu erhöhen. Dies wird zu einer erhöhten Effizienz des DBBC führen.

4.2 Membrane DBBC

Um die Unsicherheiten in Bezug auf die Leistung des DBBC weiter zu verringern, kann bei Bedarf im Projekt eingesetzt werden das Projekt eine neue Innovation, den so genannten Membrane Bubble Curtain, einsetzen. Der Membrane Bubble Curtain macht sich Technologien aus der Abwasserindustrie zunutze und verwendet einen Mechanismus, der feinere Luftblasen über den gesamten durch den DBBC abgedeckten Bereich verteilt. Herkömmliche DBBCs werden mit einem Lochabstand von ca. 30 cm gebohrt, der Membrane DBBC verwendet einen Gummischlauch, der nur dann feine Luftblasen freisetzt, wenn er vollständig unter Druck steht. Dieses System wurde zwar noch nicht für Offshore-Windkraftanlagen getestet, aber die ersten mittelgroßen Tests in Häfen zeigen vielversprechende Ergebnisse. Auf dem Einsatzschiff wird ein zusätzlicher Membranschlauch vorhanden sein, der als dritter Schlauch (bananenförmig) zusätzlich zu den DBBC-Schläuchen eingesetzt werden kann. Die Versorgung dieses zusätzlichen Schlauchs wird durch die beiden Ersatzkompressoren sichergestellt.

4.3 Arbeiten unter Berücksichtigung der Strömungsrichtung

Sollte sich herausstellen, dass die Strömungen sehr stark sind und der Mindestabstand zwischen der Mitte des Pfahls und den DBBC-Schläuchen nicht ausreicht, sodass die Leistung der DBBC (Doppelten Großen Blasenschleier) nicht optimal ist und der Unterwasserschall die Grenzwerte fast überschreitet, wird entschieden, dass bei den Arbeiten an jedem Pfahl die Strömungsrichtung berücksichtigt wird. Genauer gesagt, wenn für zwei Pfähle die gleiche DBBC-Anordnung verwendet wird, wird je nach Strömungsrichtung derjenige Pfahl gerammt, bei dem der Abstand zwischen seiner Mitte und dem DBBC-Schlauch am größten ist.

4.4 Arbeiten bei schwächeren Gezeitenströmungen

Es wird erwartet, dass die vorgeschlagenen Schallschutzmaßnahmen ausreichen, um den Unterwasserschall auf die geforderten Grenzwerte für den Unterwasserschall zu reduzieren. Sollten die Unterwasserschallpegel

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 16 von 21

aus den Messungen die Grenzwerte annähernd überschreiten, kann als zusätzliche Minderungsmaßnahme außerhalb der Gezeiten gearbeitet werden. Dies würde dazu führen, dass der DBBC schwächeren Strömungen ausgesetzt wäre als während der Gezeitenhöchststände. Bei jedem Stillwasser (Stillwasser tritt alle 6 Stunden auf) gibt es ein Zeitfenster von mindestens 2 Stunden, in dem die Strömung unter 0,7 m/s liegt. Außerdem wird erwartet, dass der Teil der Rammarbeiten, bei dem wir die Obergrenze der geschätzten erforderlichen Energie benötigen, etwa 15 Minuten dauert, was – falls erforderlich – leicht in das Gezeitenfenster um das Stillwasser herum passen würde. Auch wenn die Gezeitenspitzen nicht zu Schallproblemen führen dürften, könnte diese Schallminderungsmaßnahme als letztes Mittel eingesetzt werden.

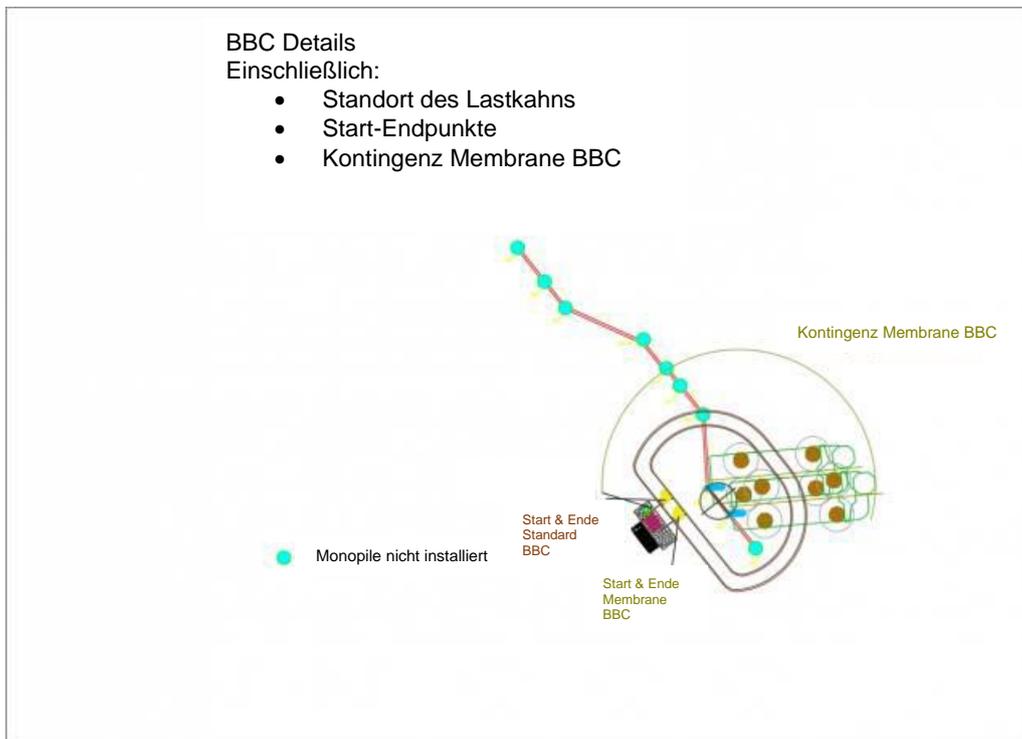


Abbildung 4-1 BBC Details mit drittem Membranschlauch als Schallminderung (Jaeger Maritime Solutions, 2023).

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 17 von 21

5 Minderungsmaßnahmen für die Ponton-Gründungspfähle

Nach den Ergebnissen zur Rammpbarkeitanalyse und der vorliegenden Unterwasserschallprognose (Beier & Remmers, 2024) ist der Einsatz von passiven Schallminderungsmaßnahmen in Form von Schallschutzsystemen und Abschreckmaßnahmen durch Vergrämung zur Einhaltung der Lärmschutzwerte beim Rammen der Ponton-Gründungspfähle nicht erforderlich. Es ist jedoch geplant, die folgenden Kontrollmaßnahmen anzuwenden, sofern dies von den Behörden verlangt wird:

- Akustische Vergrämung (ADDs) für Fische, Robben und Schweinswale können verwendet werden, um Meereslebewesen aus dem potenziellen Gefährdungsbereich direkt um die zu rammenden Gründungspfähle zu vertreiben, bevor mit der eigentlichen (Impuls-) Rammung begonnen wird (z. B. FaunaGuard oder ähnliches). Die Geräte könnten 30 Minuten vor der Rammung eingesetzt werden.
- Ein Soft-Start mit wenig Rammenergie, um (unbeobachtete) Meeressäuger dazu zu bringen, den unmittelbare Umgebung der Rammung zu verlassen, bevor die volle Rammleistung verbraucht wird, was zu höheren Schallpegeln führt und mit negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden sein könnte.
- Umwelttechnische Bauüberwachung (UBB)

Für den unwahrscheinlichen Fall, dass die Lärmschutzwerte überschritten werden, kann folgende zusätzliche Maßnahme umgesetzt werden:

- Impulsrammungen nur bei bzw. um Niedrigwasser

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 18 von 21

6 Unterwasserschall Messkonzept zur Einhaltung der Lärmschutzwerte

Die Überwachung der Einhaltung der Lärmschutzwerte zur Vermeidung von Tötung und Verletzung von marinen Säugetieren gemäß BNatSchG durch impulshaften Unterwasserschall während der schallintensiven Installationsarbeiten der Gründungsstrukturen mittels Impulsrammung erfolgt durch ein unabhängiges, akkreditiertes Messinstitut für Unterwasserschallmessungen nach IEC/ISO 17025, die itap GmbH.

Alle zum Einsatz kommenden Unterwasserschallmessgeräte sind gleichwertig oder vergleichbar mit den Geräten, die derzeit in mehreren anderen deutschen Offshore-Windparks verwendet werden und erfüllen die Anforderungen der ISO 18406 (2017) und der deutschen Messvorschrift für Unterwasserschall (BSH, 2011) sowie der StUK4 (2013).

6.1 Gründungspfähle für den Anlegedalben/Vertäudalben (Jetty)

Die Überwachung umfasst folgendes:

- Ein auf dem Meeresboden abgesetztes autonomes Echtzeit-Unterwasserschallmessgerät wird während der Impulsrammung in einer Entfernung von ca. 750 m für allen Monopfahl-Installationen ausgebracht. Die Messposition wird in Abstimmung mit den Wasserschiffahrtstaktiken so ausgewählt, dass die Leichtigkeit der Seeschiffahrt in Richtung Osten in der Seeschiffahrtsroute nicht beeinträchtigt wird (somit vermutlich in nördlicher oder südlicher Richtung zur Impulsrammung). Aus diesem Grund wird voraussichtlich ein Messschiff in unmittelbarer Umgebung zu dieser Messposition zum Einsatz kommen, um im Falle von möglichen Verdriftungen der Messpositionen eingreifen zu können und zudem die Echtzeitüberwachung mittels WiFi Verbindung zu übertragen. Die Kommunikation mit dem Rammhammerführer auf dem Installationsschiff wird mittels WiFi, Funk oder Telekommunikation gewährleistet. Die Auslegung dieses Unterwasserschallmessgerätes wird basierend auf einer Vorwarnung 12 Stunden vor Rammbeginn erfolgen und kurz nach Rammende wird dieses Messgerät eingeholt.
- eine zusätzliche Echtzeit-Unterwasserschallmessung wird zudem während der ersten 1 oder 2 Monopfahl-Installationen in einer Entfernung von etwa 750 m vom Monopiles in Richtung Osten (schiffsgestützte Messungen oder vergleichbar) durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Messposition im oder an der Schifffahrtsroute befinden wird, sodass diese Messung als überwachte Messung ausgeführt wird, um die Leichtigkeit der Seeschiffahrt nicht zu gefährden.

Die Auswertung und Berichtsstellung umfasst folgendes:

- Direkt nach Ende jeder durchgeführten Rammung werden die Ergebnisse der Echtzeit-Überwachung, d.h. die nicht qualitätsgesicherten Werte für den beurteilungsrelevanten Einzelereignispegel SEL05 und

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 19 von 21

zero-to-peak Spitzenpegel Lp,pk dem Auftraggeber und wahlweise auch den Behörden und der Umweltbaubegleitung (UBB) per Mail zur Verfügung gestellt.

- Sämtliche Unterwasserschallmessdaten werden gemäß ISO 18406 (2017) und Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen (BSH, 2011) im Nachgang jeder Rammung qualitätsgesichert an Land ausgewertet und im Rahmen eines schalltechnischen Kurzberichtes in Schrift und Bild innerhalb von 24 Stunden nach Rammende zusammengefasst. Dabei kann es u.U. zu geringfügigen Unterschieden von ± 1 dB zu den nicht qualitätsgesicherten Echtzeitmesswerten kommen. Dieser schalltechnische Kurzbericht wird ebenfalls der UBB, dem Kunden und den Behörden zu Verfügung gestellt.
- Nach Abschluss aller Unterwasserschallmessungen wird ein technischer Abschluss- bzw. Messbericht innerhalb von 10 Wochen erstellt, der ebenfalls einen Vergleich der Messergebnisse mit den bereits bestehenden Prognosewerten enthält.

Anmerkung: Die Unterwasserschallmessungen wurden im Herbst 2023 erfolgreich durch die itap GmbH ausgeführt werden. Die Lärmschutzwerte würde bei jeder Rammung eingehalten. Eine entsprechende Dokumentation in Form von Messberichten wurde zeitnahe zur Verfügung gestellt.

6.2 Gründungspfähle für die Ponton-Anlage

Die geplante Überwachung umfasst folgendes:

- Es wird ein Echtzeit-Unterwasserschallmonitoring in einer Entfernung von ca. 750 m während der Impulsrammung von der itap GmbH ausgeführt. Nach derzeitiger Planung ist noch nicht festgelegt, ob dieses Unterwasserschallmonitoring durch ein auf dem Meeresboden abgesetztes autonomes Echtzeit-Unterwasserschallmessgerät oder durch eine schiffsbasierte Echtzeitmessung (Monitoring Schiff in Warteposition) ausgeführt wird. Hintergrund ist, dass derzeit die Verfügbarkeit eines abgesetzten Messgerätes nicht gewährleistet werden kann. Zudem ist derzeit noch offen, ob die bereits im Herbst 2023 verwendete Messposition für ein abgesetztes Messsystem wieder im Juni 2024 verwendet werden darf (Abstimmung mit den Wasserschiffahrtstsektionen ist ausstehend), so dass die Leichtigkeit der Seeschiffahrt in Richtung (Nordosten) Osten in der Seeschiffahrtsroute nicht beeinträchtigt wird. Es wird in jedem Fall ein Messschiff dauerhaft in der Umgebung der Impulsrammung inkl. Messpersonal gestellt. Die Kommunikation mit dem Rammhammerführer auf dem Installationsschiff wird mittels Funk oder Telekommunikation gewährleistet.
- Unter Umständen werden die Pfähle auf den ersten Metern einvibriert, bevor eine Rammung im Impulsrammverfahren auf Endtiefe erfolgt. Dieser Schalleintrag wird mit demselben Messsystem, wie für Impulsrammung, versucht zu messen.

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 20 von 21

- Sollten die Ergebnisse des Echtzeit-Unterwasserschallmonitorings in ca. 750 m für die Impulsrammung des 1. Pfahles darauf hindeuten, dass die Lärmschutzwerte von 160/190 dB deutlich unterschritten werden und zeitgleich der verwendete Impulsrammhammer mit nahezu maximaler Rammenergie zum Einsatz gekommen ist, ist aus akustischer Sicht eine weitere Messung des Unterwasserschalleintrages bei weiteren Pfahlrammungen nicht zwingend erforderlich. Die Vorhabensträgerin schlägt daher vor, in diesem Falle die Unterwasserschallmessungen für weitere Impulsrammungen zu beenden. Dieses Vorgehen wird vorab mit den zuständigen Behörden abgestimmt.

Die Auswertung und Berichtsstellung umfasst folgendes:

- Direkt nach Ende jeder durchgeführten Rammung werden die Ergebnisse der Echtzeit-Überwachung, d.h. die nicht qualitätsgesicherten Werte für den beurteilungsrelevanten Einzelereignispegel SEL05 und zero-to-peak Spitzenpegel Lp,pk dem Auftraggeber und wahlweise auch den Behörden und der Umweltbaubegleitung (UBB) per Mail zur Verfügung gestellt.
- Sämtliche Unterwasserschallmessdaten werden gemäß ISO 18406 (2017) und Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen (BSH, 2011) im Nachgang jeder Rammung qualitätsgesichert an Land ausgewertet.
- Aufgrund der Tatsache, dass mehrere Pfähle pro Tag gerammt werden können, werden die gesammelten Unterwasserschallmessungen der ersten 3 Pfahlgründungen im Rahmen eines schalltechnischen Kurzberichtes (Pfähle #1 bis #3) in Schrift und Bild innerhalb von 2 Werktagen nach dem Rammende zusammengefasst. Dabei kann es u.U. zu geringfügigen Unterschieden von ± 1 dB zu den nicht qualitätsgesicherten Echtzeitmesswerten kommen. Dieser schalltechnische Kurzbericht wird ebenfalls der UBB, dem Kunden und den Behörden zu Verfügung gestellt.
- Vibrationsrammung: Im Falle, dass der Vibrationsrammschall mit gemessen werden kann, wird für einen Abschlussbericht der gemessenen Schalldruckpegel über eine gesamte Pfahlinstallation (Vibroations- und Impulsrammung) zeitlich in Wort und Bild dargestellt. Es kann jedoch u.U. sein, dass die eingesetzten Messgeräte für Impulsrammschall nicht sensitiv genug sind, den vergleichsweise „leisen“ Vibrationsrammschall vollständig zu messen.
- Nach Abschluss aller Unterwasserschallmessungen (12 Pfähle) wird ein technischer Abschluss- bzw. Messbericht innerhalb von 10 Wochen erstellt, der ebenfalls einen Vergleich der Messergebnisse mit den bereits bestehenden Prognosewerten enthält.

  	Umwelt	
TES Projekt-Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Einhaltung der Lärmschutzwerte für Unterwasserschall aufgrund von Rammarbeiten	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2050_05
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 21 von 21

7 Literaturhinweise

Beier J & Remmers P (2024) FSRU Schiffsanleger LNG Voslapper Groden Nord 2: Unterwasserschallprognose für die Rammarbeiten; itap Bericht Nr. 4207

Bellmann MA, May A, Wendt T, et al., (2020) *Underwater noise during impulse pile driving: Influencing factors on pile driving noise and technical options for complying with noise protection values*, ERA-Bericht. itap

BSH, (2011) *Offshore-Windparks. Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen. Aktuelle Vorgehensweise mit Anmerkungen. Anwendungshinweise*

BSH, (2013) *StUK4 – Standard. Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt*

DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03/ ISO/IEC 17025:2017, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

DMC, (2024) *Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung*, TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2205.00

ISO 18406:2017-04: *Unterwasserakustik – Messung des abgestrahlten Wasserschalls bei der Schlagrammung von Pfählen*

ISO 45001:2018: *Managementsysteme für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*

MSRL, (2008) *Richtlinie 2008/56/eg des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie)*

Wagenknecht, F., (2021) *Assessment of noise mitigation measures during pile driving of larger offshore wind foundations*, EGU Journal of Renewable Energy Short Reviews

Wildemann, M., Eigenmann, R., and Zerbs, C., (2023) *Errichtung einer FSRU am Standort Wilhelmshaven – Prognose des Unterwasserschalls verursacht durch Rammarbeiten am FSRU*, Bericht. Müller-BBM