

Messung der Hydroschallimmissionen beim Neubau eines Anlegers für verflüssigte Gase (Liegewand Bauabschnitt 1) in Stade

Messbericht

Project-ID: 4064

Version 2

22.02.2023

Auftraggeber: Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
Am Schleusenpriel 2
27472 Cuxhaven

Durchführung: itap GmbH
Institut für technische und angewandte Physik
Marie-Curie-Straße 8
26129 Oldenburg

Bearbeiter: Dawid Fandrich, M. Sc.
Max Janssen, B. Sc.
Dr. Michael A. Bellmann

Projektleitung: Dr. Michael A. Bellmann
Michael Müller, B. Eng.



Sitz

itap GmbH
Marie-Curie-Straße 8
26129 Oldenburg

Amtsgericht Oldenburg
HRB: 12 06 97

Kontakt

Telefon +49 (0) 441 570 61-0
Fax +49 (0) 441 570 61-10
Mail info@itap.de

Geschäftsführer

Dr. Michael A. Bellmann

Bankverbindung

Oldenburger Volksbank
IBAN:
DE95 2806 1822 0080 0880 00
BIC: GENO DEF1 EDE
Commerzbank AG
IBAN:
DE70 2804 0046 0405 6552 00
BIC: COBA DEFF XXX

USt.-ID.-Nr. DE 181 295 042

Revision List

Version	Datum	Kommentar
Version 1	21.02.2023	Erste Version
Version 2	22.02.2023	Nachberechnungen für Rammungen in Wassertiefen bis 14 m
Version 3	27.02.2023	Begriffskorrektur auf Wunsch des Auftraggebers

Diese Version ersetzt alle vorangegangenen Versionen.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassende Beurteilung.....	3
2. Projektbeschreibung und Umfang des Dokumentes	6
3. Durchführung der Unterwasserschallmessungen.....	8
4. Beurteilungskriterien.....	10
5. Messergebnisse und Beurteilung.....	11
6. Vergleich Messungen und Prognose.....	16
7. Literaturverzeichnis	18

1. Zusammenfassende Beurteilung

Die *Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG* errichtet derzeit einen Anleger für verflüssigte Gase in Stade an der Elbe. Das Bauprojekt beinhaltet die Errichtung eines Terminals an einer Liegewand und drei weiterer Wände (Querwand Süd, Längswand Ost und Flügelwand Nord). Derzeit ist der erste Bauabschnitt der Liegewand in Planung. Hierbei handelt es sich um eine kombinierte Rohrspundwand, deren Konstruktion die Verankerung verschiedener Pfahltypen (u. A. Dalben, Tragrohren und kombinierte Schrägpfähle) mittels Vibrations- und Impulsrammverfahren beinhaltet.

Die Hauptwand wird teilweise ins Land gebaut, wofür im Vorfeld der Rammarbeiten zunächst eine Baugrube auf -2,5 m NHN. bis -3 m NHN ausgehoben wurde wodurch die Wassertiefe während der Rammung nicht unter -3 m NHN fallen konnte. Eine geringe Wassertiefe limitiert die Schallausbreitung deutlich. Für spätere Rammungen in Richtung Elbe sind jedoch Impulsrammungen bis zu einer Wassertiefe von 14 m nach Auskunft des Auftraggebers nicht auszuschließen.

Derzeit werden die Tragrohre der Liegewand (Durchmesser 1620 mm) mittels einer Kombination aus Vibrations- und Impulsrammverfahren in 3 m flachen Wasser installiert. Am 14. Februar 2023 wurde die Impulsrammung des Tragrohr T-112 bis auf Endtiefe durch die *itap GmbH* vorsorglich messtechnisch begleitet, um die Unterwasserschallprognose zu validieren.

In der bestehenden Prognose (Fandrich, et al. 2023) wurden für Impulsrammungen der Tragrohre, bei einer maximalen Rammenergie von 280 kJ, Schallpegel von bis zu 150 dB in einer Entfernung von 750 m vorhergesagt. Bei der rambbegleitenden Unterwasserschallmessung eines solchen Tragerohrs mit einer maximalen Rammenergie von 220 kJ, wurden Schallpegel von maximal 154 dB gemessen. Bei einem Vergleich der Schallaktivität mit dem Hintergrundschall konnte jedoch festgestellt werden, dass dieser für sich genommen auch ohne Rammarbeiten einen ähnlich, teilweise sogar höheren Schalldruckpegel aufwies. Eine Berechnung eines beurteilungsrelevanten Einzelereignispegels für die Rammung aufgrund eines zu geringen Signal-Stör-Abstandes konnte nicht erfolgen. In einer spektralen Analyse konnte gezeigt werden, dass ein durch vorbeifahrende Schiffe bewirkter Schalleintrag ins Wasser < 50 Hz sowohl den permanenten Hintergrundschall als auch die Impulsrammung während der Messung dominiert hat. Lediglich nicht pegelbestimmende Schalleinträge zwischen 80 und 250 Hz konnten während der Rammungen messtechnisch nachgewiesen werden. Zu höheren Frequenzen findet wieder eine vollständige Vermischung von Hintergrund- und Impulsrammschall statt. Eine Überschreitung der gültigen Lärmschutzwerte 160 dB / 190 dB durch Impulsrammung kann durch die Messungen im flachen Wasser (3 m) grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Eine Validierung der bestehenden Unterwasserschallprognose ist nur bedingt durch den hohen Hintergrundscharllpegel möglich. Grundsätzlich passen aber die im Wasser detektierten Frequenzkomponenten zwischen 80 und 250 Hz mit Erfahrungswerten vergleichbarer Pfahlrammungen aus der Nordsee.

Basierend auf einer Baubesprechung mit dem Auftraggeber und den Fachgutachtern der ARSU wurde zudem versucht die Messergebnisse hinsichtlich einer Meide- oder Reaktionswirkung von Schweinswalen auf Unterwasserschall zu analysieren. Laut BMU Schallschutzkonzept (2013) wird ein Vorsorgewert von 140 dB für die schweinswalsensitive Zeit (in der Elbe 1. März bis 15. Juni) u.U. notwendig, um Meide- und Reaktionswirkungen auf die Impulsrammung auszuschließen. Basierend auf den Messergebnissen gilt es als ausgeschlossen, dass Schalleinträge allein durch die Impulsrammung einen Gesamtpegel von 140 dB übersteigen, wenn die Rammungen weiterhin im flachen Wasser (3 m) ausgeführt werden. Zudem ist der Schalleintrag ins Wasser durch die Impulsrammung so tieffrequent, so dass eine Hörbarkeit durch Schweinswale grundsätzlich in Frage gestellt werden muss.


Nach Angaben des Auftraggebers sind im Sommer auch Rammungen von Tragrohren mit einem Durchmesser von 1,62 m und abschließend (ab August) Dalben mit einem Durchmesser von 1,82 m in Wassertiefen von bis zu 14 m in Richtung Elbe notwendig. Eine Neuberechnung der zu erwartenden Unterwasserschallimmissionen in 750 m in der Elbe bei diesen Rammungen im tieferen Wasser weisen Einzelereignispegel von 158 bis 160 dB und Spitzenpegel von bis zu 185 dB bei max. Rammenergien von 280 kJ ohne zusätzliche Schallschutzmaßnahmen auf. Ausnahme ist das theoretisch ungünstigste, d.h. lauteste, Szenario mit der Rammung der Dalben (1,82 m) und einer max. Rammenergie von 280 kJ. Für dieses Szenario wird eine Überschreitung des 160 dB Lärmschutzwertes für den Einzelereignispegel von rechnerisch 0,6 dB prognostiziert. Es sei an dieser Stelle jedoch zu erwähnen, dass die Prognose i.d.R. das theoretisch lauteste anzunehmenden Szenario berücksichtigt und in der Regel die realen Messwerte die Prognosewerte zumeist unterschreiten. Ein mögliches Schallschutzkonzept könnte die Verwendung einer max. Rammenergie von 230 kJ für die Dalbenrammung darstellen. Zudem könnten die Rammungen der Dalben vorsorglich um Niedrigwasser gegründet werden, da die Messungen eindeutig den Zusammenhang zwischen Schalleintrag ins Wasser und Wassertiefe belegen. Der Einsatz von zusätzlichen bewährten Schallschutzmaßnahmen, wie z.B. der Große Blasenschleier ist aus technischer Sicht aufgrund der Bathemetrie, des Schiffsverkehrs und der vorherrschenden Strömung in der Elbe nicht realisierbar bzw. umsetzbar.

Aus schalltechnischen Gründen ist bei Impulsrammungen ab einer Wassertiefe von ca. 10 m der Einsatz von akustischen Vergrämungsgeräten, wie z.B. das Fauna Guard System oder vergleichbare Vergrämer, zu empfehlen, um mögliche Schweinswale aus einem Gefährdungsbereich mit Einzelereignispegeln > 160 dB, d.h. Abständen < 750 m zur Rammung

vollständig zu vertreiben. Es ist jedoch ebenfalls zu empfehlen, diesen akustischen Vergrämer nur ca. 30 min vor jeder Impulsrammung bis Start der Impulsrammung einzusetzen. Bei Rammunterbrechungen von 40 min sollte eine erneute Vergrämung über 30 min erfolgen (gängige Praxis im Offshore-Bereich).


Allerdings ist aus akustischer Sicht der Einsatz von FaunaGuard Systemen oder vergleichbares bei Rammungen im flachen Wasser (hier 3 m) nicht zu empfehlen. Messtechnisch konnte im Offshore-Bereich gezeigt werden, dass die Schalleinträge ins Wasser durch diese Art der Vergrämungen im hörbaren Frequenzbereich (Echolotbereich) von Schweinswalen zwischen 40 und 100 kHz sich befinden und zu einer vollständigen Meidung von Schweinswalen im Bereich 750 bis 1.000 m führen ((Rosemeyer, et al. 2021), (Voß, et al. 2021), (Kastelein, et al. 2015), (Kastelein, et al. 2008)). Im Bereich des geplanten Anlegers für verflüssigte Gase ist die Elbe nicht sehr viel breiter als 1 km und zudem herrscht durch den anhaltenden Schiffslärm ein Hintergrundschallpegel von breitbandig > 150 dB. Zudem sind die Schalleinträge durch die Rammungen im Flachwasser weder schädlich für Schweinswale noch ist deren Detektierbarkeit aufgrund der sehr tiefen Frequenzen gegeben.

Oldenburg, 22. Februar 2023


D.Fandrich (Feb 27, 2023 13:29 GMT+1)

Dawid Fandrich, M. Sc.


GMBH
Marie-Curie-Str. 8
26129 Oldenburg


Michael A. Bellmann

erstellt

Geschäftsführer
geprüft

2. Projektbeschreibung und Umfang des Dokumentes

Die *Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG* errichtet derzeit einen Anleger für verflüssigte Gase in Stade an der Elbe. Das Bauprojekt beinhaltet die Errichtung eines Terminals an einer Liegewand und drei weiterer Wände (Querwand Süd, Längswand Ost und Flügelwand Nord). Derzeit ist der erste Bauabschnitt der Liegewand in Planung. Hierbei handelt es sich um eine kombinierte Rohrspundwand, deren Konstruktion die Verankerung verschiedener Pfahltypen mittels Vibrations- und Impulsrammverfahren beinhaltet. Die Pfahldurchmesser für die notwendigen Rohrspundwände betragen 0,62, 1,62 und 1,82 m. Für die ersten Meter erfolgt die Einbindung der Pfähle mittels Vibrationsrammverfahren; zur Erreichung der End-einbindetiefe werden die Pfähle mittels Impulsrammverfahren in den Meeresboden eingebracht. Für die Installation der Pfähle mittels Impulsrammverfahren soll ein Rammbar S-150 oder S-280 mit einer maximalen Rammenergie von 280 kJ zur Verfügung stehen. Für die Vibrationsrammungen steht ein entsprechender Vibrationsrammhammer zur Verfügung.

Vibrationsrammschall ist nach Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL 2008) als Dauerschalleintrag ins Wasser (Deskriptor 11.2) zu werten. Von Dauerschall geht i.d.R. keine Tötungs- und Verletzungsgefahr aus und es bestehen auch keine national oder international verbindliche Richt- und Lärmschutzwerte. Zudem gilt das Vibrationsrammschallverfahren als schallarme Gründungsmethode (BMU 2013); es wird laut BMU Schallschutzkonzept lediglich von einer möglichen Störung ausgegangen. Im Gegensatz dazu gilt Impulsrammschall als impulshaltiger Schalleintrag (Deskriptor 11.1), der zu temporären oder permanenten Hörschwellenverschiebungen bei marinen Säugetieren führen kann.

Gemäß des Vorsorgeprinzips hat das BSH unter Einbeziehung der wissenschaftlichen Grundlagen und Anforderungen des Umweltbundesamtes seit 2008 weltweit erstmals ein duales Lärmschutzwertkriterium von 160 dB_{SEL} (einzuhalten durch den 5 % Überschreitungspegel des Einzelereignispegels) und 190 dB_{Lp,pk} (einzuhalten durch den zero-to-peak-Spitzenpegel) festgelegt, das bei allen lärmintensiven Baumaßnahmen mit impulsförmigem Schalleintrag in 750 m Entfernung zum Emissionsort eingehalten werden muss, um Verletzungen und Tötungen mariner Säugetiere auszuschließen.

Die Hauptwand wird teilweise ins Land gebaut, wofür zunächst eine Baugrube auf -2,5 m NHN. bis -3 m NHN ausgehoben wurde, in welcher derzeit die neue Spundwand eingebaut wird. Im Anschluss wird dann erst die Hafentiefe in 2 Schritten hergestellt (Schritt 1: Aushub bis -6,0 m NHN; Schritt 2: Aushub bis -16 m NHN.). Somit beträgt die Wassertiefe zur Gründungsphase der Fundamente und Spundwände (Rammzeit) zunächst maximal -3 m NHN (Frühjahr 2023). Bei weiteren Impulsrammungen können die zur Elbe seitigen Pfähle in einer Wassertiefen von bis zu 14 m gegründet werden.

Der Baugrund im Umfeld des Vorhabengebietes besteht im Wesentlichen aus Sand. Die Umgebung des Anlegers für verflüssigte Gase ist in Abbildung 1 dargestellt.

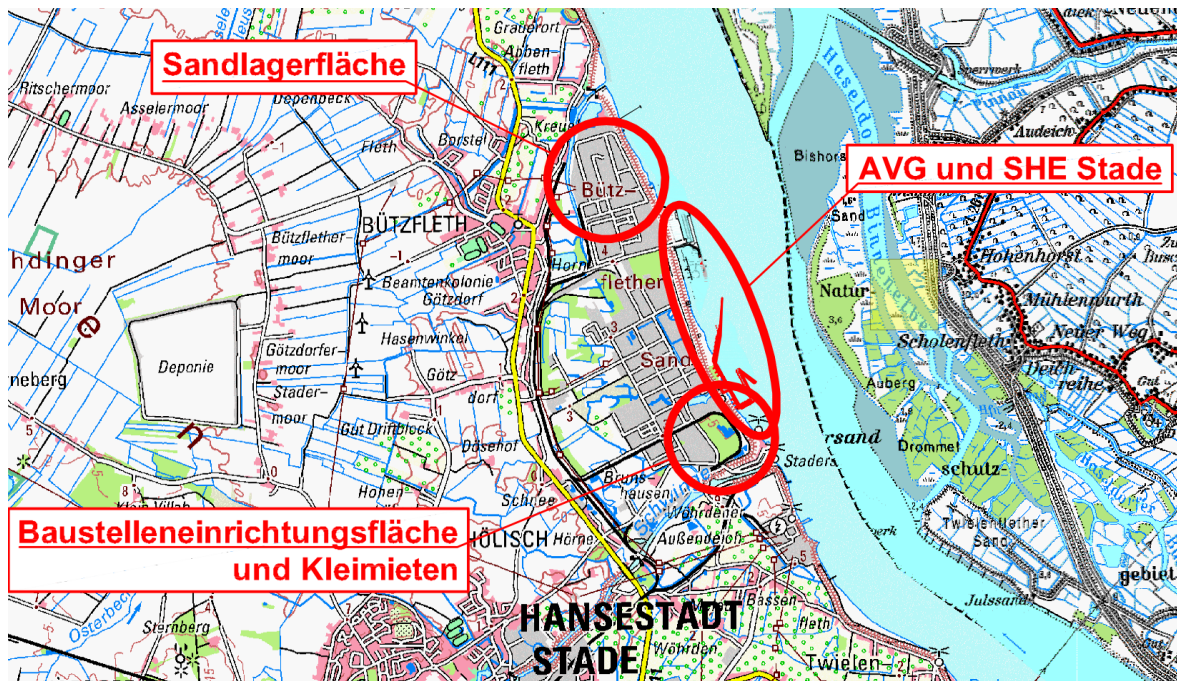


Abbildung 1: Übersichtsplan des geplanten Anlegers für verflüssigte Gase.

Die itap- Institut für technische und angewandte Physik GmbH wurde beauftragt, Unterwasserschallmessungen versuchsweise bei vereinzelt Pfahlgründungen normgerecht durchzuführen, um die bestehende Unterwasserschallprognose (Fandrich, et al. 2023) zu verifizieren. Hierbei liegt der Fokus aller Unterwasserschallmessungen auf dem Impulsrammschall, um Tötungen und Verletzungen mariner Säugetiere auszuschließen. Zudem ist für die schweinswalsensitive Zeit 1. März bis 15. Juni der Rammschall hinsichtlich Meidung und Reaktion in der Elbe zu beurteilen.

Im Rahmen der Bauüberwachung sollen sowohl die durchgeführten Unterwasserschallmessungen als auch die vorliegende Unterwasserschallprognose zur Bewertung der Arten- und Gebietsschutzanforderungen bezüglich der durchgeführten Rammarbeiten dienen.

Dieser Messbericht umfasst die Messergebnisse der Hydroschallmessungen bei der Errichtung des Tragrohrs „T-112“ mit einem Durchmesser von 1,62 m in 3 m tiefen Wasser am 14.02.2023.

3. Durchführung der Unterwasserschallmessungen

In der KW 6 2023 wurde das Fundament T-112 der Liegewand des Anlegers für verflüssigte Gase in Stade an der Elbe mittels Vibrationsrammverfahren vorinstalliert. Die verbleibenden Meter bis zur Endeinbindetiefe wurden am 14.02.2023 mit einem Impulsrammhammer „S-280 D“ der Fa. IHC IQIP b.v. eingebracht.

Die Hydroschallemissionen (Schalleinträge ins Wasser) wurden in einer Entfernung von ca. 830 m zur Quelle und in ca. 2 m Höhe über Grund mit einem abgelassenen Hydrophon von Bord des Lotsenschiffs „Pagensand“ durchgeführt. Die Auslegung der Messsysteme und die Erhebung der Messdaten erfolgte durch einen Mitarbeiter der *itap GmbH*. Für den Zeitraum der Unterwasserschallmessungen wurde zeitweise der Schiffmotor ausgeschaltet und die Position mittels eines GPS-Systems aufgezeichnet. Da sich im Abstand von 750 m zur Rammstelle die Fahrrinne befand, musste das Lotsenschiff „Pagensand“ aufgrund des hohen Schiffsverkehrsaufkommens auf eine unbefahrene Ankerposition von 830 m Abstands zur Rammposition ausweichen.

Die Einbringzeit des Pfahls ist der folgenden Tabelle 1 zu entnehmen. Der Zeitraum der Impulsrammung und die von dem Messsystem erfasste Zeit ist im UTC Zeitformat angegeben. Eine sekundengenaue Synchronisation mit der Uhr des Rammhammers wurde nicht durchgeführt. Weiterhin stellt die Tabelle 1 die Koordinaten der Messpositionen dar.

Tabelle 1: Fundamentbezeichnung (hier Pfahl) der Gründungsstruktur und Position und Bezeichnung der Messposition sowie Zeiten der Rammaktivität.

Pfahl		Messpositionen			Ramarbeiten / UTC [dd.mm.YYYY HH:MM]
No.	Task	No.	Entfer- nung [m]	WGS 84 [dd°mm,mmm']	
T-112	Impulsrammung	MP1	830	53° 38,411' N 009° 31,738' E	14.02.2023 08:59 – 09:37

Die angegebene Rammzeit bezieht sich auf die von dem Messsystem erfasste Zeit. Eine Synchronisation untereinander mit der Uhr des Rammhammers wurde nicht durchgeführt.

Die Durchführung und Auswertung der Messungen erfolgt gemäß StUK4 (Standard, Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt, BSH, 2013) und der Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen (BSH 2011).

Die *itap GmbH* ist für die Durchführung von Messungen und Prognosen von Unterwasserschall (Impuls- und Dauerschall) akkreditiert nach ISO/IEC 17025 (2018). Die Messpositionen und die abgesetzten Hydroschallmessgeräte erfüllen die Anforderungen des StUK4 (2013) und der Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen des BSH (2011).

Die Abbildung 2 zeigt die ersten Fundamente der Liegewand.



Abbildung 2: Tragrohre der Liegewand (2. Pfahl von rechts: der Pfahl T-122)

4. Beurteilungskriterien

Zur Beurteilung der Impulsrammschallimmissionen wurden vom BSH unter Vorarbeit des UBA die Lärmschutzwerte für den Einzelereignispegel (SEL_{05}) von 160 dB_{SEL} und den Spitzenpegel ($L_{p,pk}$) von 190 dB_{Lp,pk} in einer Entfernung von 750 m zur Rammbaustelle festgesetzt. Bei Einhaltung dieses dualen Lärmschutzwertkriteriums kann eine temporäre Hörschwellenverschiebung bei der Leitart Schweinswal in Deutschland ausgeschlossen werden. Für den Einzelereignispegel bedeutet dies, dass eine Einhaltung des Lärmschutzwertes gegeben ist, sobald mindestens 95 % der Rammschläge diesen Wert unterschreiten.

Im vorliegenden BMU Schallschutzkonzept (BMU 2013) für die Nordsee wird zudem ein weiterer Vorsorgewert für die Vermeidung von Meidung und Reaktion von Schweinswalen auf Schalleinträge definiert: Schalldruckpegel bzw. Einzelereignispegel von 140 dB. Dieser weitere Vorsorgewert findet i.d.R. nur in der schweinswalsensitiven Zeit in der Nordsee Anwendung, um vorhandene Mutter-Kalb-Bindungen innerhalb von FFH-Schutzgebieten nicht nachhaltig zu stören.

In Abstimmung mit den biologischen Fachgutachtern der ARSU und dem Auftraggeber wurde abgestimmt, dass dieser 140 dB Vorsorgewert auch Anwendung in der Elbe in der schweinswalsensitiven Zeit 1. März bis 15. Juni grundsätzlich anzusetzen ist, um den Zug der Schweinswale zur Nordsee nicht zu beeinträchtigen.

5. Messergebnisse und Beurteilung

Grundsätzlich war im vorliegenden Fall eine normgerechte Auswertung nach der Messvorschrift des (BSH 2011) und der ISO 18406 (2017) aufgrund eines zu geringen Signal-Störabstandes ($SNR < 10$ dB) bei einem Messabstand zur Quelle von ca. 830 m nicht möglich. D.h. dass es eine grundsätzliche Vermischung zwischen dem dauerhaften Hintergrundschall, verursacht durch die Seeschiffahrt auf der Elbe, und dem Impulsrammschall gegeben hat. Die nachfolgenden Messergebnisse sind somit nicht 100% auf die eigentliche Rammung zurückführbar, sondern zeigen nur einen Indikator für die Gesamtlautstärke.

Bei einem direkten Vergleich des Gesamtschallpegels während und nach den Rammarbeiten konnte kein signifikanter Unterschied des äquivalenten (Dauer-) Schalldruckpegels festgestellt werden. Ein Vergleich der gemessenen Werte in 830 m Entfernung ist in Tabelle 2 dargestellt. Die auf 750 m normierten Werte sind in Tabelle 3 zu finden.

Somit lässt sich sagen, dass die Rammarbeiten bei der Errichtung der Liegewand nicht zu einer Erhöhung des ohnehin schon hohen Hintergrundpegels beitragen.

Tabelle 2: Beurteilungsrelevanter Spitzenpegel ($L_{p,pk}$) und statistische Mittelungspegel des breitbandigen Einzelereignispegels (SEL) während der Impulsrammung.

Szenario	Start Intervall Stop Intervall (UTC)	Entfernung [m]	Leq_{90} [dB]	Leq_{50} [dB]	Leq_{05} [dB]	$L_{p,pk}$ [dB]
Höchste Ram- menenergie	14.02.2023 08:20 – 08:30	830	151	152	153	164
Keine Ram- mung	14.02.2023 08:38 – 08:45	830	152	153	155	165

Tabelle 3: Beurteilungsrelevanter Spitzenpegel ($L_{p,pk}$) und statistische Mittelungspegel des breitbandigen Einzelereignispegels (SEL) während der Impulsrammung auf 750m genormt. *1)

Szenario	Start Intervall Stop Intervall (UTC)	Entfernung [m]	Leq_{90} [dB]	Leq_{50} [dB]	Leq_{05} [dB]	$L_{p,pk}$ [dB]
Höchste Ram- menenergie	14.02.2023 08:20 – 08:30	750	152	153	154	165
Keine Ram- mung	14.02.2023 08:38 – 08:45	750	153	154	156	167

*1) Zur Normierung wurde die geometrische Ausbreitungsformel von $(k+15 \cdot \log_{10}(\text{Abstand}))$ herangezogen.

In Abbildung 3 und Abbildung 4 sind der zeitliche Verlauf der akustischen Kenngrößen Dauerschallpegel (SPL bzw. L_{eq}) sowie ein Spektrogramm eines repräsentativen Zeitausschnittes während und nach der Impulsrammung dargestellt.

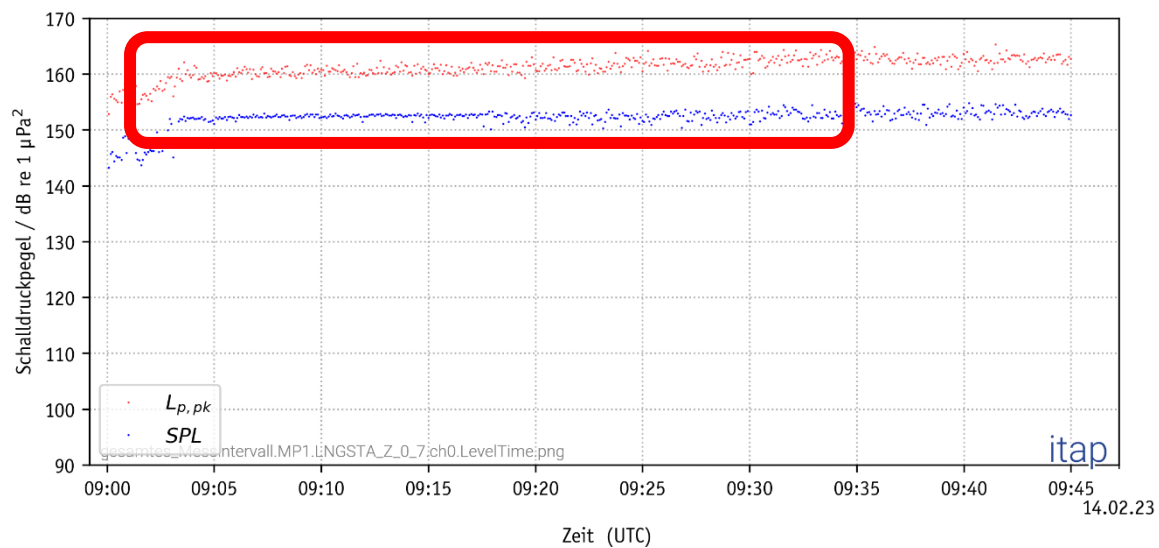


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des SPL bzw. L_{eq} und des den Spitzenpegel ($L_{p, pk}$) zwischen 9:00 und 9:45 h in ca. 830 m Entfernung zum zu rammenden Pfahl der Impulsrammung am Pfahl T-112 (Durchmesser 1,62 m, 3 m Wassertiefe). Die Eigentliche Impulsrammung ist mit rot gekennzeichnet.

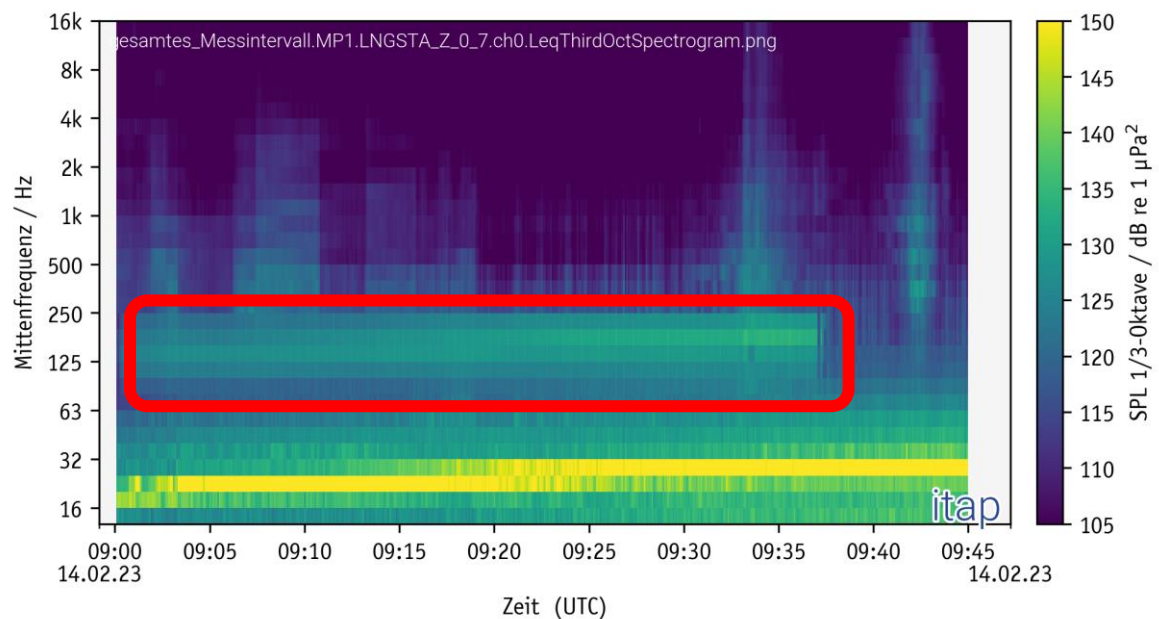


Abbildung 4: Spektrogramm des mittleren (Dauer-) Schalldruckpegels (SPL_{5s}) in 1/3-Oktaven im Zeitraum 14. Februar 2023 zwischen 9:00 und 9:45 h in ca. 830 m Entfernung zum zu rammenden Pfahl der Impulsrammung am Pfahl T-112 (Durchmesser 1,62 m, 3 m Wassertiefe). Die Eigentliche Impulsrammung ist mit rot gekennzeichnet.

In Abbildung 5 sind die 1/3-Oktave Spektren des Dauerschallpegels für den Zeitraum der Impulsrammung und für den Zeitraum direkt nach der Impulsrammung in ca. 830 m Entfernung gegenübergestellt.

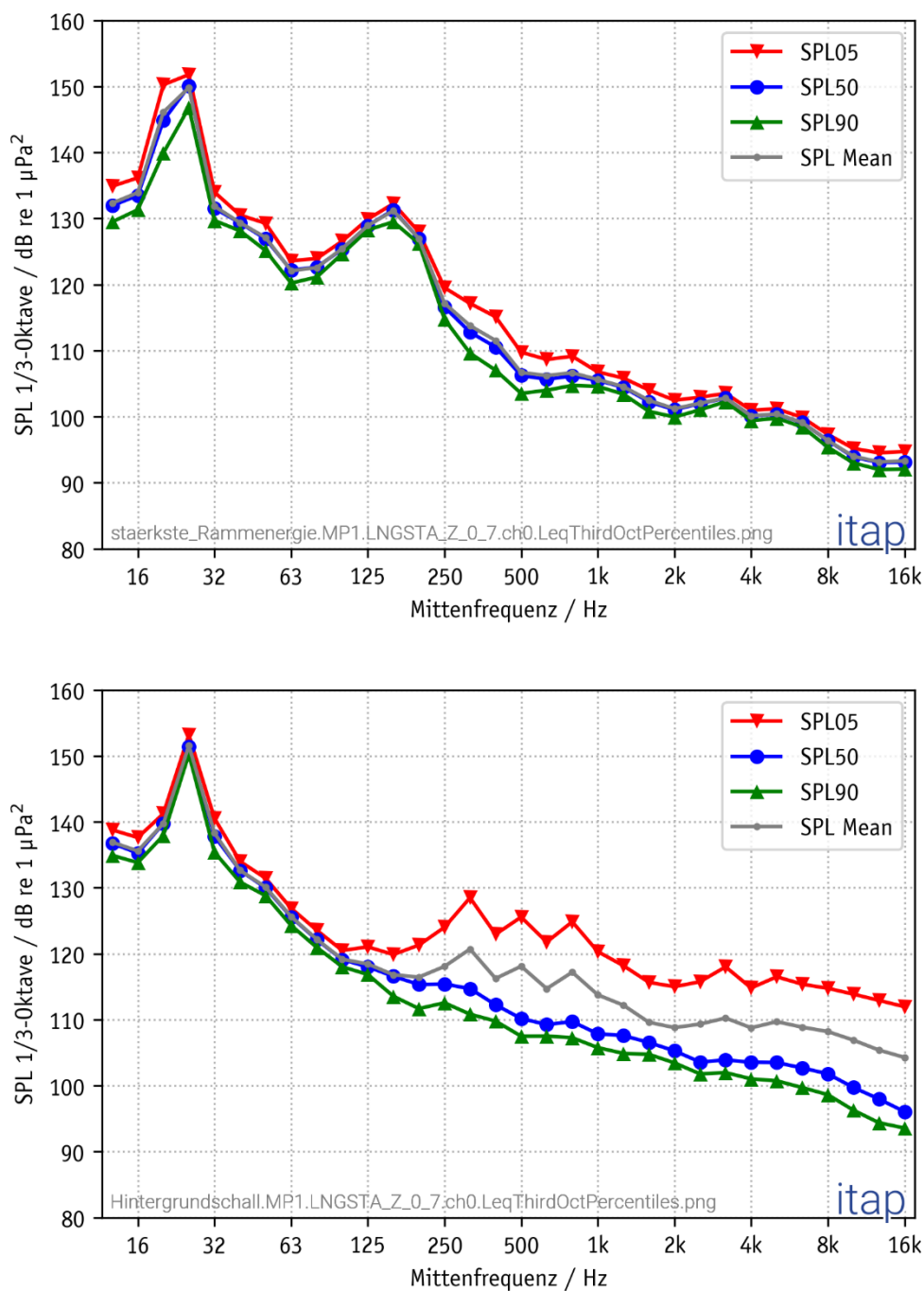


Abbildung 5: 1/3-Oktaven Darstellung (Terzspektrum) des Dauerschallpegels (oben) während und (unten) nach der Impulsrammung am Pfahl T-112 in ca. 830 m Entfernung.

Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass der pegelbestimmende Schalleintrag um 25 Hz sowohl während als auch nach der Impulsrammung vom Pfahl T-112 dauerhaft im Wasser detektierbar ist. Somit ist dieser Schalleintrag nicht durch die Impulsrammung an sich verursacht worden, sondern vermutlich durch ein vorbeifahrendes großes Schiff auf der Elbe. Die Impulsrammung zeichnet sich eindeutig durch die Schalleinträge (zweites lokales Maximum)

zwischen 80 und 250 Hz aus. Zu höheren Frequenzen nimmt der Schalleintrag wieder zunehmend ab. Dieser spektrale Verlauf ist typisch für einen derartigen Pfahl mit geringem Durchmesser (Bellmann, et al. 2020). Es ist nicht auszuschließen, dass im Frequenzbereich bis mehrere kHz weitere Schalleinträge durch die Impulsrammung verursacht worden sind. Jedoch ist weder das lokale Maximum zwischen 80 und 250 Hz noch die Schalleinträge in mehreren kHz pegelbestimmend. Zudem zeigt der Zeitraum nach der Rammung eindeutig, dass es im Frequenzbereich um mehrere kHz eine hohe Variation der Amplituden gibt, die auch durch vorbeifahrende Schiffe verursacht werden können. Zudem zeigt sich auch im vorliegenden Fall der Einfluss der Wassertiefe auf die Messergebnisse, je flacher das Wasser, desto leiser die Rammung und desto hochfrequenter.

Für die Beurteilung des Hörvermögens von Tieren ist die (Ruhe-) Hörschwelle die wichtigste audiologische Kenngröße. Sie gibt an, welchen Schallpegel ein Ton einer bestimmten Frequenz haben muss, damit er vom Tier gerade eben wahrgenommen wird (Abbildung 6). Wie beim Menschen ist die Hörschwelle stark frequenzabhängig. Zudem zeigen sich interindividuelle Unterschiede. Bei etwa der Hälfte der Individuen liegt die Hörschwelle dabei innerhalb eines Bereiches von ± 5 dB um den Medianwert. An den Rändern des Hörbereiches, also bei tiefen und hohen Frequenzen, ist die Streuung größer (z.B. Betke, 1991). Auch bei Landsäugetieren und Vögeln konnten diese Frequenzabhängigkeiten und interindividuellen Unterschiede festgestellt werden.

Die in Abbildung 6 dargestellten Spektren der Impulsrammung und des Hintergrundschallpegels können direkt mit Hörschwellen verglichen werden; die Vergleichbarkeit wird dadurch begünstigt, dass die sog critical bands, die im Gehör für die Lautstärkewahrnehmung wichtig sind, bei Schweinswalen grob angenähert die gleiche Breite wie die messtechnischen 1/3-Oktav-Bänder haben (Au und Hasting 2008).

Für den hier interessierenden Frequenzbereich unter 500 Hz gibt es allerdings nur wenige Hörschwellendaten von Schweinswalen. Dadurch ist auch wenig über die interindividuelle Streubreite bekannt, d.h. die Unterschiede in der Hörwahrnehmung von unterschiedlichen Tieren derselben Art. Wie bei anderen Tieren (und beim Menschen) ist eine weitere Schwierigkeit bei der Beurteilung, dass die bloße Hörbarkeit eines Geräusches (= Pegel liegt über der Hörschwelle) noch keine Stör- oder Meidewirkung bedeuten muss.

Generell erstreckt sich der sensitive Hörbereich bei Schweinswalen von ca. 20 bis 150 kHz. Klicklaute, die von Schweinswalen zur Echolokation ausgesendet werden und zur Orientierung und zur Jagd dienen, liegen im Bereich 100 bis 140 kHz.

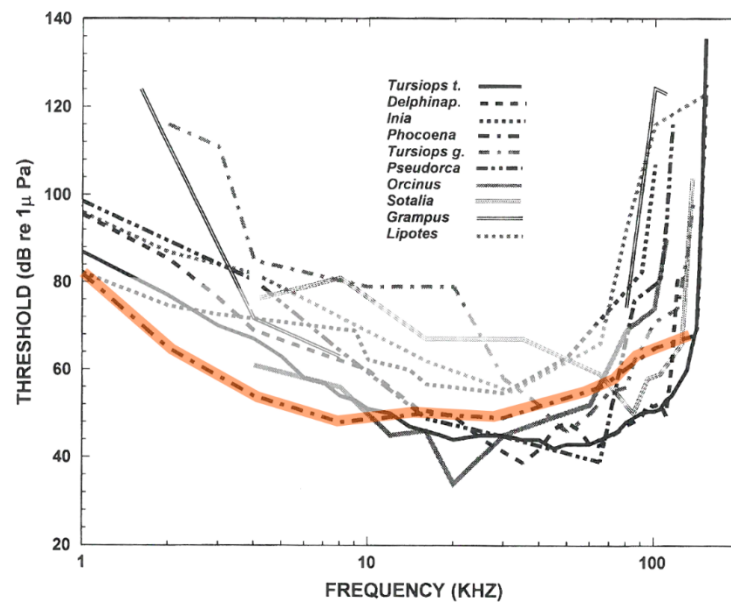


Abbildung 6: Hörschwellen verschiedener Zahnwale, farblich hervorgehoben ist die Hörschwelle eines Schweinswals (Au und Hasting 2008).

Basierend auf den dargestellten (Ruhe-) Hörschwellen ist grundsätzlich von keiner oder nur einer sehr geringen Wahrnehmung von Unterwasserschall bei Schweinswalen auszugehen.

6. Vergleich Messungen und Prognose

In der bestehenden Unterwasserschallprognose für die Impulsrammung der unterschiedlichen Pfahltypen mit unterschiedlichen Pfahldurchmessern wurden nachfolgende beurteilungsrelevante Einzelereignispegel SEL_{05} basierend auf der einzusetzenden Rammenergie und der bestehenden Wassertiefe erstellt (Fandrich, et al. 2023), Tabelle 4.

Tabelle 4: Beurteilungsrelevante Einzelereignispegel und Spitzenpegel für unterschiedliche Pfahltypen mit unterschiedlich hoher max. Rammenergie.

Durchmesser [m]	Wassertiefe [m]	Rammenergie [kJ]	SEL in 750 m Entfernung [dB]	$L_{p,pk}$ in 750 m Entfernung [dB]
1,62	3,0	50	144	167
1,62	3,0	100	147	170
1,62	3,0	150	148	172
1,62	3,0	200	149	173
1,62	3,0	280	150	174
1,82	3,0	50	145	168
1,82	3,0	100	147	171
1,82	3,0	150	149	172
1,82	3,0	200	150	173
1,82	3,0	280	151	174
0,61	3,0	50	137	161
0,61	3,0	100	140	163
0,61	3,0	150	141	165

Die Ergebnisse der am 14.02.2023 durchgeführten Messung untermauern die o.g. Prognosewerte für den Einzelereignispegel nur implizit, da der permanente Hintergrundschall immer pegelbestimmend war.

Basierend auf einer weiteren Baubesprechung mit dem Auftraggeber und den Fachgutachtern der ARSU wurde zudem die bestehende Rammschallprognose dahingehend erweitert, dass auch die Dalben mit einem Durchmesser von 1,82 m ganz zum Schluss der Baumaßnahmen (vmtl. ab August 2023) vor der bestehenden Spundwand und auch Spundrohre mit 1,62 m mittels Impulsrammverfahren in Wassertiefen von bis zu 14 m stattfinden können.

Die Neuberechnungen für die möglichen Impulsrammungen in größeren Wassertiefen sind in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Beurteilungsrelevante Einzelereignispegel und Spitzenpegel für unterschiedliche Pfahltypen mit unterschiedlichen max. Rammenergie.

Durchmesser [m]	Wassertiefe [m]	Rammenergie [kJ]	SEL in 750 m Entfernung [dB]	$L_{p,pk}$ in 750 m Entfernung [dB]
1,62	10	230	158	182
1,62	10	280	159	183
1,62	14	230	159	183
1,62	14	280	160	183
1,82	10	230	159	182
1,82	10	280	160	183
1,82	14	230	160	183
1,82	14	280	161	184

Basierend auf der Neuberechnung werden die dualen Lärmschutzwerte für die Rammungen mit Pfählen bis 1,82 m in bis zu 14 m Wassertiefe und einer maximalen Rammenergie von 280 kJ auch ohne weitergehende Schallschutzmaßnahmen eingehalten. Ausnahme stellt ggfs. die Rammungen der Dalben (1,82 m Durchmesser) ab August 2023 mit einer max. Rammenergie von 280 kJ da, bei diesem Rammszenario kann es zu einer geringfügigen Überschreitung von bis zu 0,6 dB durch den Einzelereignispegel des Lärmschutzwertes ohne Schallschutz rein theoretisch kommen.

7. Literaturverzeichnis

- Au, W. W. L., und M. C. Hasting. *Principles of marine bioacoustics*. Herausgeber: W. W. L. Au und M. C. Hasting. Springer-Verlag New York, 2008.
- Bellmann, Michael A., Jana Brinkmann, Adrian May, Torben Wendt, Stephan Gerlach, und Patrick Remmers. „Underwater noise during the impulse pile-driving procedure: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. Supported by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)), FKZ UM16 881500. Commissioned and managed by the Federal Maritime and Hydrographic Agency (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)), Order No. 10036866. Edited by the itap GmbH.“ Tech. rep., itap GmbH, 2020.
- BMU. „Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (Schallschutzkonzept).“ Tech. rep., Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2013.
- BSH. „Messungen von Unterwasserschall bei Rammarbeiten an Offshoreanlagen im ABC-Windpark - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.“ *Bericht Nr. M88 607/11*, 2011.
- Fandrich, D., P. Remmers, M. Bellmann, und M. Müller. „Neubau LNG-Terminal (Liegewand Bauabschnitt 1) in Stade - Unterwasserschallprognose für die Rammarbeiten.“ Prognosebericht, 2023.
- ISO 17025. „ISO/IEC 17025:2018-03, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2017).“ Standard, 2017.
- Kastelein, RA, WC Verboom, N Jennings, D de Haan, und S. van der Heul. *The influence of 70 and 120 kHz tonal signals on the behavior of harbor porpoises (Phocoena phocoena) in a floating pen*. Mar Environ Res. 2008 Sep;66(3):319-26. doi: 10.1016/j.marenvres.2008.05.005. Epub 2008 May 15. PMID: 18599117., 2008.
- Kastelein, Ronald, Jessica Schop, Lean Hoek, und Jennifer Covi. „Hearing thresholds of a harbor porpoise (Phocoena phocoena) for narrow-band sweeps.“ *The Journal of the Acoustical Society of America* 138 (October 2015): 2508-2512.
- MSRL. „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).“ 2008.

- Rosemeyer, Marina, Rainer Matuschek, Dr. Michael A. Bellmann, und Jana Brinkmann. „Cross-project evaluation of FaunaGuard operation before pile-driving for German offshore wind farms. Part 1: Underwater noise conditions of FaunaGuard during operation. Technical report on behalf of the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH).“ techreport, itap GmbH; BSH, 2021.
- Voß, Julika, Armin Rose, Vladislav Kosarev, Raúl Vilela, und Ansgar Diederichs. „Cross-project evaluation of FaunaGuard operation before pile driving for German offshore wind farms. Part 2: Effects on harbour porpoises. Technical report on behalf of the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH).“ December 2021.

4064_LNG_Terminal_Stade_Messung_Unterwasserschall_Bericht_v3

Final Audit Report

2023-02-27

Created:	2023-02-27
By:	Michael Bellmann (bellmann@itap.de)
Status:	Signed
Transaction ID:	CBJCHBCAABAAFott_uqSYQfU4yFwf-lYeDP9sSalCoJQ

"4064_LNG_Terminal_Stade_Messung_Unterwasserschall_Bericht_v3" History

 Document created by Michael Bellmann (bellmann@itap.de)

2023-02-27 - 12:17:05 PM GMT- IP address: 80.147.106.68

 Document emailed to fandrich@itap.de for signature

2023-02-27 - 12:17:26 PM GMT

 Email viewed by fandrich@itap.de

2023-02-27 - 12:29:02 PM GMT- IP address: 80.147.106.68

 Signer fandrich@itap.de entered name at signing as D.Fandrich

2023-02-27 - 12:29:17 PM GMT- IP address: 80.147.106.68

 Document e-signed by D.Fandrich (fandrich@itap.de)

Signature Date: 2023-02-27 - 12:29:19 PM GMT - Time Source: server- IP address: 80.147.106.68

 Agreement completed.

2023-02-27 - 12:29:19 PM GMT