

Messung der Hydroschallimmissionen beim Neubau LNG-Terminal am Bestandsbauwerk der UVG Brücke (Anleger 1) in Wilhelmshaven



Messbericht Nr. 2 inkl. gutachterlicher Stellungnahme hinsichtlich Schallminderungsmaßnahmen

Project-ID: 3993

Version 1

05.07.2022

Auftraggeber: Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
Pazifik 1
26388 Wilhelmshaven

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

Bearbeiter: Patrick Remmers, B. Eng.
Dr. Michael A. Bellmann

Projektleitung: Patrick Remmers, B. Eng.
Michael Müller, B. Eng.

Bericht: 23 Seiten

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

Raiffeisenbank Oldenburg
IBAN:
DE80 2806 0228 0080 0880 00
BIC: GENO DEF1 0L2

Commerzbank AG
IBAN:
DE70 2804 0046 0405 6552 00
BIC: COBA DEFF XXX

VAT No.: DE 181 295 042

Revision List

Version	Datum	Kommentar
Version 1	05.07.2022	Erste Version

Diese Version ersetzt alle vorangegangenen Versionen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassende Beurteilung.....	3
2.	Projektbeschreibung und Umfang des Dokumentes	5
3.	Durchführung der Unterwasserschallmessungen.....	7
4.	Messergebnisse	10
5.	Schallschutzkonzept.....	12
6.	Literaturverzeichnis	14
7.	Anhang A.....	15
7.1	Restrike Pfahl 1T-04.....	15
7.1.1	Messposition MP1	15
7.1.2	Messposition MP2	17
7.2	Impulsrammung Pfahl 4T-44.....	18
7.4	Vibropiling Pfahl 4T-44.....	21

1. Zusammenfassende Beurteilung

Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG errichtet derzeit den LNG-Terminal am Bestandsbauwerk der UVG Brücke (Anleger 1) in Wilhelmshaven. Der Terminal beinhaltet eine Plattform, drei Anlegedalben, vier Vertäudalben und eine Zugangsbrücke, die allesamt auf Stützpfehlen gegründet werden. Diese Pfehle mit Durchmessern von 0,71 m, 1,22 m und 2,10 m werden mit kombiniertem Vibrations- und Impulsrammverfahren in den Meeresboden eingebracht.

Das Vibrationsrammverfahren gilt als schallarmes Installationsverfahren laut BMU Schallschutzkonzept. Die davon ausgehenden Schalleinträge ins Wasser sind als Dauerschall gemäß Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL 2008) einzustufen, von denen i. d. R. kein Tötungs- oder Verletzungsrisiko für marine Säugetiere ausgeht.

Die Schalleinträge mittels Impulsrammverfahrens sind hingegen als impulshaltiger Schall gemäß MSRL einzustufen, welche durchaus schädigende Auswirkungen auf marine Säugetiere haben kann, siehe Lucke *et al.* (2009) und Kastelein *et al.* (2015). Zur Beurteilung der Schalleinträge ins Wasser wurde eine Impulsrammschall-Prognose (Remmers und Bellmann 2022) erstellt. Aufgrund der sehr geringen vorherrschenden Wassertiefe und dem vorherrschenden Tidenhub wurden bisher an zwei Pfehlen mit Pfehldurchmessern von 1,22 m Impulsrammungen Unterwasserschallmessungen normkonform zur Messvorschrift für Unterwasserschall (BSH 2011) in wenigen hundert Metern zur Rammung durchgeführt. Die Unterwasserschallmessungen bestätigen die Ergebnisse der Unterwasserschallprognose für Impulsrammungen.

Es ist somit davon auszugehen, dass sämtliche Pfehle mittels Impulsrammverfahren mit einer maximalen Rammenergie von 150 kJ in den Meeresboden eingebracht werden können, ohne dass es zu Überschreitungen der Lärmschutzwerte von 160 dB_{SEL} und 190 dB_{LP,PK} kommen wird. Nur für den unwahrscheinlichen Fall einer Rammung der 24 Lotpfehle mit einem Pfehldurchmesser von 2,10 m mit Rammenergien von > 150 kJ kann es u. U. zu einer Überschreitung des Lärmschutzwertes von 160 dB_{SEL} in 750 m von bis zu 2 dB kommen. Diese Lotpfehle mit Durchmessern von 2,10 m werden voraussichtlich ab Ende Juli 2022 gegründet. Dem Vorsorgeprinzip folgend wurde nachfolgende Schallminderungsmaßnahmen ausgearbeitet:

- i. Installation der Lotpfehle mittels Vibrationsrammverfahren bis auf Endtiefe, falls möglich.
- ii. Im Falle, dass Pfehle nicht bis auf Endtiefe vibriert werden können, erfolgt die Gründung bis auf Endtiefe mittels Impulsrammverfahrens mit dem S-150 Rammhammer.

- iii. Für den unwahrscheinlichen Fall, dass die Lotpfähle weder mittels Vibrationsrammverfahren noch mit einem Impulsrammhammer S-150 bis auf Endtiefe gebracht werden können, wird auf den größeren Impulsrammhammer S-280 gewechselt und notfalls die Impulsrammung bei Niedrigwasser beendet.

Aus akustischer Sicht ist das o. g. Schallschutzkonzept sinnig und schlüssig. Eine Einhaltung der Lärmschutzwerte zur Vermeidung von Tötung und Verletzung von marinen Säugetieren durch Impulsrammschall ist möglich und zu erwarten.

Die Anwendung von bewährten Schallschutzsystemen aus dem Offshore-Bereich sind aufgrund der standort- und projekt-spezifischen Gegebenheiten, wie kleine Pfahldurchmesser, geringe Wassertiefen, hohe Strömung und eng beieinanderstehenden Pfählen, technisch nicht möglich.

Oldenburg, 05. Juli 2022



Patrick Remmers, B. Eng.

Sachgebietsleiter Unterwasserschall-Prognosen
erstellt



Dr. Michael A. Bellmann

Geschäftsführer
geprüft

2. Projektbeschreibung und Umfang des Dokumentes

Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG errichtet derzeit den LNG-Terminal am Bestandsbauwerk der UVG Brücke (Anleger 1) in Wilhelmshaven. Der Terminal beinhaltet eine Plattform, drei Anlegedalben, vier Vertäudalben und eine Zugangsbrücke, die allesamt auf Stützpfehlen gegründet werden. Die Plattform wird auf 20 Lotpfählen und acht Schrägpfehlen errichtet. Für die drei Anlegedalben sind 48 Stützpfehle von 1,22 m im Durchmesser erforderlich. Die Vertäudalben werden auf insgesamt 56 Lotpfählen und 26 Schrägpfehlen gegründet. Für die Zugangsbrücke sind 24 Pfehle erforderlich. Zusätzlich werden noch 12 Pfehle für die Eisabweiser gegründet. Für die Gründung der Plattform, der Dalben und der Eisabweiser werden Lotpfähle mit 1,22 m im Durchmesser verwendet. Bei der Zugangsbrücke haben die Stützpfehle einen Durchmesser von 2,10 m. Alle Schrägpfehle der Plattform und der Vertäudalben haben einen Durchmesser von 0,71 m. Insgesamt werden für den Terminal 34 Schrägpfehle mit 0,71 m Durchmesser, 136 Lotpfähle mit 1,22 m Durchmesser und 24 Lotpfähle mit 2,10 m Durchmesser im kombinierten Vibrations- und im Impulsrammverfahren gegründet.

Die ersten Meter erfolgt die Einbindung der Pfehle mittels Vibrationsrammverfahren; zur Erreichung der Endeinbindetiefe werden die Pfehle mittels Impulsrammverfahren in den Meeresboden eingebracht (Planungsstand 12. Mai 2022). Für die Installation der Schrägpfehle soll ein Rammbar S-90 mit einer maximalen Rammenergie von 90 kJ zum Einsatz kommen. Für die Lotpfähle stehen ein Rammbar S-150 und notfalls ein Rammbar S-280 mit maximalen Rammenergien von 150 kJ und 280 kJ zur Verfügung. 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 dem Vorsorgeprinzip 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 Einzereignispegels) 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 Hafensohle befindet sich in einer Wassertiefe von -16,5 m NHN. Landseitig nimmt die Wassertiefe mit einer Steigung von 1:5 ab, wodurch die Vertäudalben in deutlich flacherem Wasser errichtet werden. In der näheren Umgebung von wenigen 100 m um das Baufeld variieren die Wassertiefen zwischen -20 m NHM und -12 m NHN. Das mittlere Tidenhochwasser (MThw) beträgt 1,58 m und das mittlere Tidenniedrigwasser (MTnw) -1,76 m.

Der Baugrund im Umfeld des Vorhabengebietes besteht im Wesentlichen aus Sand. Die Umgebung des LNG-Terminals und die Wassertiefen gemäß EMODnet sind in Abbildung 1 dargestellt.

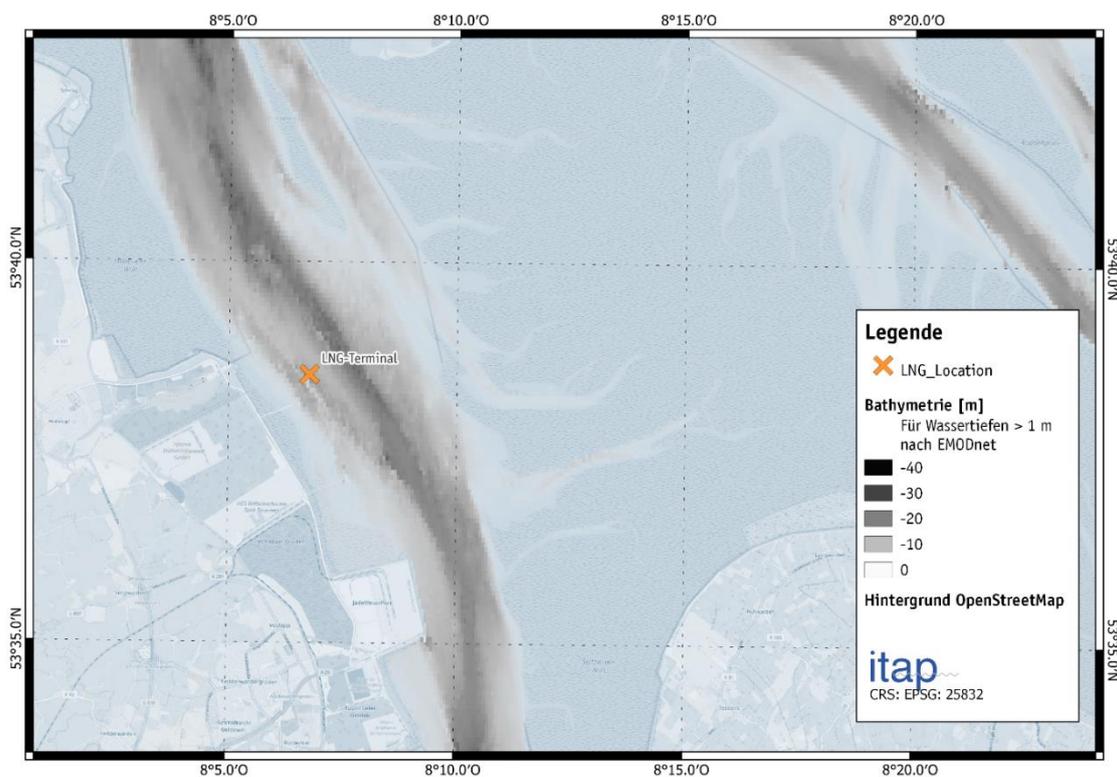


Abbildung 1: Übersichtplan mit Wassertiefen im Umkreis des LNG-Terminals

Die itap- Institut für technische und angewandte Physik GmbH wurde beauftragt, Unterwasserschallmessungen versuchsweise bei vereinzelt Pfahlgründungen normgerecht durchzuführen, um die bestehende Unterwasserschallprognose (Remmers und Bellmann 2022) zu verifizieren. Hierbei liegt der Fokus aller Unterwasserschallmessungen auf dem Impulsrammschall, um Tötungen und Verletzungen mariner Säugetiere auszuschließen.

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

zu Überschreitungen der Lärmschutzwerte für Impulsschall kommen, so sollen geeignete Schallminderungsmaßnahmen entwickelt werden.

Dieser Messbericht umfasst die Messergebnisse aller bisher durchgeführten Unterwasserschallmessungen. Zudem beinhaltet dieser Bericht ein Schallminderungskonzept zur Reduzierung der Schalleinträge ins Wasser und der Einhaltung der Lärmschutzwerte für Impulsrammschall.

3. Durchführung der Unterwasserschallmessungen

Am 13.05.2022 wurden Restrikes¹ am Pfahl 1T-04 zum Neubau LNG-Terminal am Bestandsbauwerk der UVG Brücke in Wilhelmshaven durchgeführt. Zudem wurde am 23.06.2022 eine vollständige Pfahlinstallation des Pfahls 4T-44 des Anlegedalbens F03 mittels Vibrations- und Impulsrammverfahren messtechnisch erfasst. Für die beiden Pfahlinstallationen wurde ein Impulsrammhammer S-150 der Fa. IHC IQIP. Eingesetzt. Bei der Pfahlinstallation am 23.06.2022 wurde der Pfahl 4T-44 zunächst auf eine Einbindetiefe von 11,0 m mittels eines Vibrationsrammhammers vorvibriert. Die Impuls-Rammarbeiten wurden zeitlich so geplant, dass sie bei Niedrigwasser stattfanden.

Die Hydroschallemissionen (Schalleinträge ins Wasser) wurden Entfernung von ca. 400 m bis 750 m zur Quelle und in ca. 2 m Höhe über Grund mit einem abgelassenen Hydrophon von Bord eines Hafenschiffes gemäß *Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen* (BSH 2011) normgerecht durchgeführt. Die Auslegung der Messsysteme und die Erhebung der Messdaten erfolgte durch Mitarbeiter der *itap GmbH*. Für den Zeitraum der Unterwasserschallmessungen wurde zeitweise der Schiffmotor ausgeschaltet und die Position mittels eines GPS-Systems aufgezeichnet.

Die *itap GmbH* ist für die Durchführung von Messungen und Prognose 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 Position der jeweiligen Pfähle und die Zeiten, in denen dieses eingebracht wurde, sind der folgenden Tabelle 1 zu entnehmen. Die Uhrzeiten des Rammzeitraums (Vibration und

¹ Restrike bezeichnet eine erneute Rammung auf einen bereits gegründeten Pfahl. Im vorliegenden Fall wurde der 1. Gründungspfahl bereits Anfang Mai mittels Rammhären eingebracht. Am 13. Mai wurde der Rammhäre erneut auf diesen Pfahl gesetzt und wenige Rammschläge für die Restrike-Unterwasserschallmessungen ausgeführt.

Impulsrammung) sind die von den Messsystemen erfassten Zeiten und sind im UTC Zeitformat angegeben. Eine sekundengenaue Synchronisation mit der Uhr des Rammhammers wurde nicht durchgeführt. Weiterhin stellt die Tabelle 1 die Koordinaten der ausgelegten Messpositionen dar.

Die Abbildung 2 visualisiert die Position des Fundaments und der eingesetzten Messsysteme.

Tabelle 1: Fundamentbezeichnung (hier Pfahl) und Lokation der Gründungsstruktur und Messpositionen sowie Zeiten der Rammaktivitäten.

Pfahl			Messpositionen			Rammarbeiten / UTC [dd.mm.YYYY HH:MM]
No.	Task	WGS 84 [dd°mm,mmm']	No.	Entfernung [m]	WGS 84 [dd°mm,mmm']	
1T-04	Restrike	53° 38,539' N 008° 6,574' E	MP1	716	54° 29,136' N 007° 42,329' E	13.05.2022 06:57 - 06:58
			MP2	724	53° 38,441' N 008° 7,237' E	13.05.2022 07:07 - 07:08
4T-44	Vibrationsrammung	53° 38,518' N 008° 6,620' E	MP3	415	53° 38,598' N 008° 6,972' E	23.06.2022 07:00 - 12:00
	Impulsrammung	53° 38,518' N 008° 6,620' E	MP3	415	53° 38,598' N 008° 6,972' E	23.06.2022 13:52 - 14:27

Die angegebenen Rammzeiten beziehen sich auf die von den Messsystemen erfassten Zeiten. Eine Synchronisation untereinander und mit der Uhr des Rammhammers wurde nicht durchgeführt.

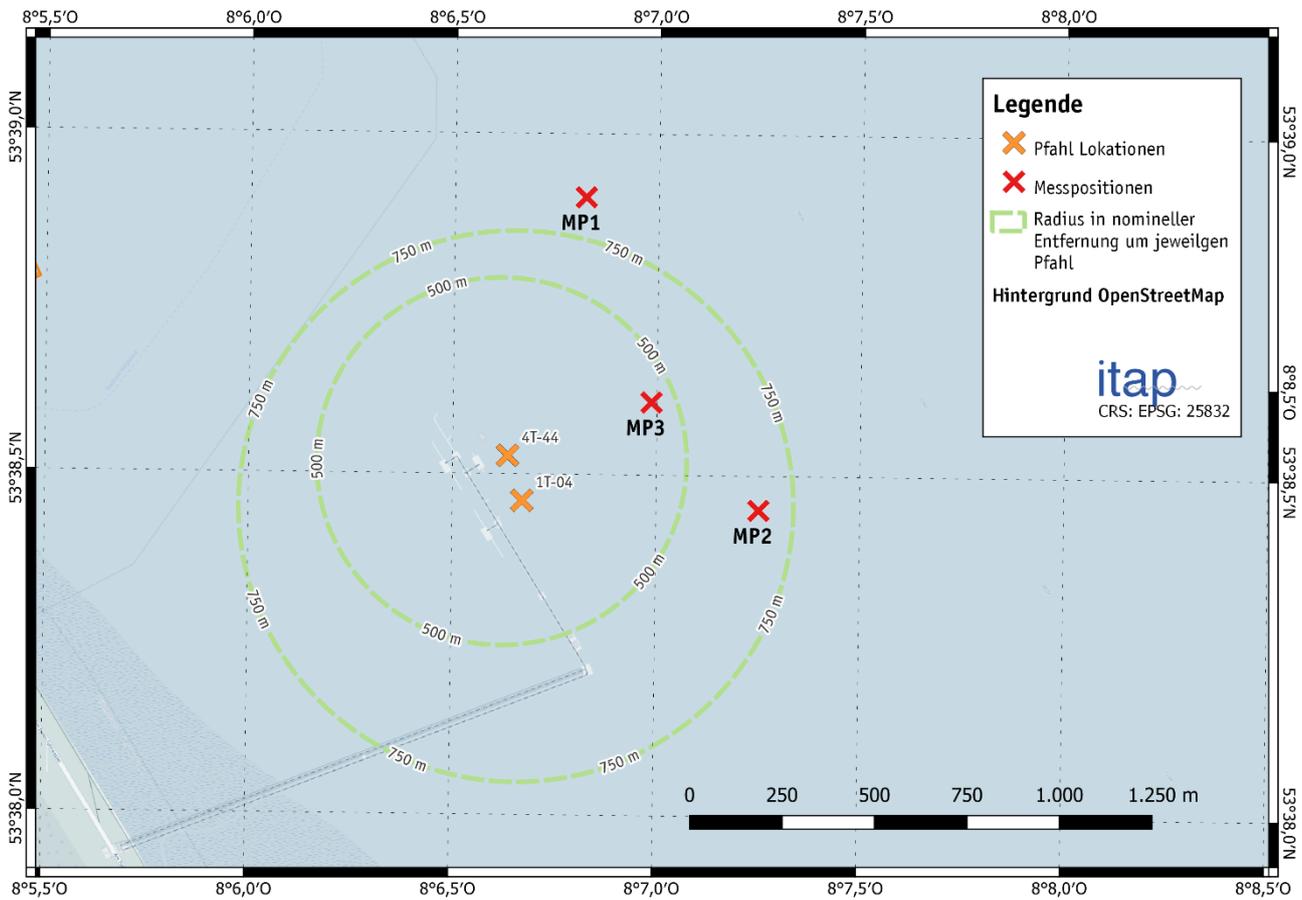


Abbildung 2: Lokation des Pfahls und der dazugehörigen Messpositionen.

4. Messergebnisse

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).

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 $190 \text{ dB}_{Lp,pk}$ in einer Entfernung von 750 m zur Rammbaustelle festgesetzt. Für den Einzelereignispegel bedeutet dies, dass eine Einhaltung des Lärmschutzwertes gegeben ist, sobald mindestens 95 % der Rammschläge diesen Wert unterschreiten. Eine Übersicht der Messergebnisse ist der **Tabelle 3** zu entnehmen. Es werden der Median (50 %) und die 95 %- und 10 % Perzentilpegel des Einzelereignispegels (SEL) und der Spitzenpegel ($L_{p,pk}$) aufgeführt.

Aufgrund des Charakters von Vibrationsrammschall (Dauerschall) ist eine Auswertung von Einzelereignispegeln nicht möglich. Aus diesem Grund werden gemäß *Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen* (BSH 2011) der Schalldruckpegel ausgewertet und dargestellt.

Tabelle 2: Beurteilungsrelevanter Schalldruckpegel während der Vibrationsrammung.

Pfahl	Messposition	Entfernung [m]	SPL ₉₀ [dB]	SPL ₅₀ [dB]	SPL ₀₅ [dB]
4T-44	MP3	415	126	146	150

In der nachfolgenden Abbildung ist der zeitliche Verlauf des gemessenen Unterwasserschallpegels in einer Entfernung von 415 m zum Pfahls 4T-44. Dabei wurden sowohl Unterwasserschallmessungen während der Einbindung des Pfahls in den Meeresboden mittels Vibrations- als auch Impulsrammverfahren durchgeführt.

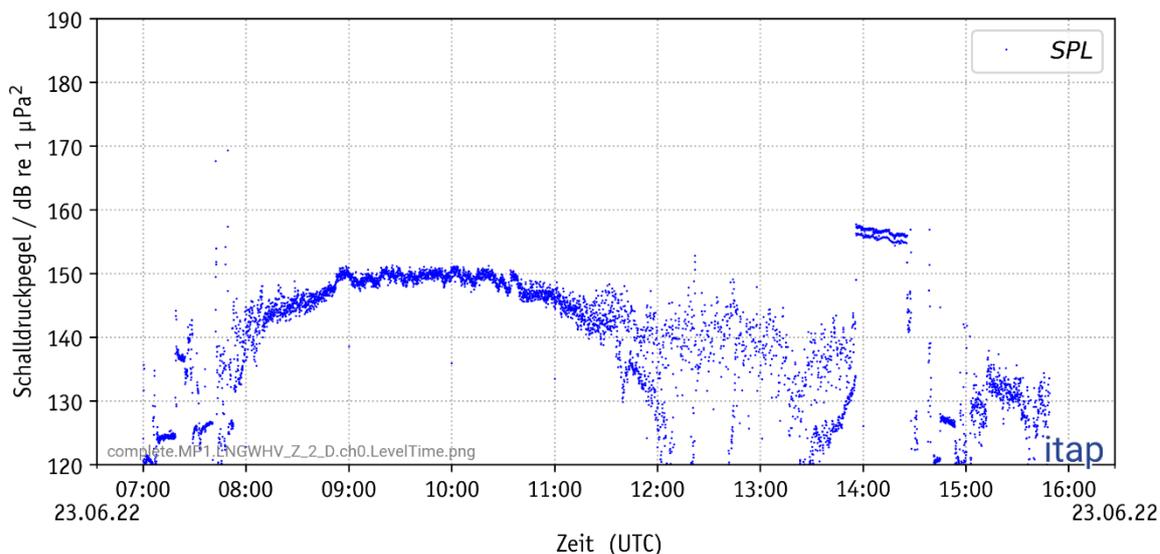


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des gemessenen Schalldruckpegels (SPL_{5s}) in einer Entfernung von ca. 415 m zum Pfahl 4T-44. Während der Messungen wurde in einem ersten Schritt der Pfahl mittels Vibrationsrammhammer auf eine Einbindetiefe von ca. 11 m vorvibriert (07:00 – 12:00 Uhr) und die letzten 13 m mittels Impulsrammhammer bis auf Endtiefe gerammt (13:52 – 14:27)

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

Pfahl	Messposition	Phase	Rammenergie [kJ]	Entfernung [m]	SEL ₉₀ [dB]	SEL ₅₀ [dB]	SEL ₀₅ [dB]	$L_{p,pk}$ [dB]
1T-04 Restrike	MP1* ¹	Phase 1	90	750	142	146	148	172
	MP2	Phase 2	90	750	153	154	154	173
4T-44	MP3		120	415	156	157	158	187

*¹ Der Unterschied zwischen den Messergebnissen an MP1 und Mp2 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die uneinheitliche Bathymetrie des Hafenbeckens zurückzuführen. Zwischen Pfahl und MP1 scheint die Wassertiefe deutlich geringer als die geschätzten 15 m betragen zu haben, was durch die nachfolgenden Spektren an MP1 und MP2 bestätigt wird. Je flacher das Wasser, desto leiser der Rammschall, da tiefe Frequenzen sich nicht im Wasser ausbreiten können.

Im Anhang A sind die Beurteilungsgrößen für die Messpositionen und Pfähle graphisch dargestellt.

In den weiteren Abbildungen werden die zeitlichen Verläufe der akustischen Kenngrößen Spitzenpegel, Dauerschallpegel und Einzelereignispegel, sowie ein Histogramm und eine spektrale Darstellung des gemessenen Einzelereignispegels abgebildet.

5. Schallschutzkonzept

In der vorliegenden Unterwasserschallprognose für die Impulsrammung der Lotpfähle unterschiedlichen Pfahldurchmessers wurden beurteilungsrelevante Einzelereignispegel SEL_{05} basierend auf der einzusetzenden Rammenergie und der bestehenden Bathymetrie erstellt (Remmers und Bellmann 2022).

Tabelle 4: Berechneter Pegel des ungeminderten Einzelereignispegels (SEL) und des ungeminderten zero-to-peak-Spitzenpegels ($L_{p,pk}$) in 750 m Entfernung für alle eingesetzten Pfahldurchmesser und unterschiedliche Rammenergien.

Durchmesser [m]	Rammenergie [kJ]	SEL in 750 m Entfernung [dB]	$L_{p,pk}$ in 750 m Entfernung [dB]
0,71	90	150	174
1,22	150	156	179
1,22	280	158	182
2,10	150	159	183
2,10	280	162	185

Die durchgeführten Unterwasserschallmessungen an den beiden Lotpfählen mit jeweils einem Pfahldurchmesser von 1,22 m in wenigen hundert Metern Entfernung zur Impulsrammung bestätigen die Ergebnisse hinsichtlich des beurteilungsrelevanten Einzelereignispegels, obwohl die Rammungen in sehr geringen Wassertiefen ausgeführt wurden. Es ist somit davon auszugehen, dass die Prognoseergebnisse für den größeren Pfahldurchmesser von 2,10 m der Realität sehr nahekommen werden. Somit ist von einer Einhaltung des Lärmschutzwertes in 750 m von 160 dB_{SEL} auch bei der Rammung der größeren Pfähle (Durchmesser 2,10 m) mit maximalen Rammenergien von 150 kJ auszugehen. Der Lärmschutzwert von 190 $dB_{Lp,pk}$ wird bei jeder möglichen Impulsrammung eingehalten.

Es sind somit lediglich Schallminderungsmaßnahmen für eine eventuelle Rammung der großen Lotpfähle mit einem Durchmesser von 2,10 m mit Rammenergien von > 150 kJ zu planen. In diesem Fall kann es u. U. zu einer Überschreitung des Lärmschutzwertes 160 dB_{SEL} von bis zu 2 dB kommen.

Nach derzeitigem Stand der Technik (Bellmann, et al. 2020) existieren derzeit nur drei unterschiedliche Schallschutzsysteme, die bei der Impulsrammung im Offshore-Bereich sich bewährt haben: das IHC Noise Mitigation Screen (IHC-NMS; Hüllrohr), der Hydro Sound Damper (HSD) und der Große Blasenschleier in einfacher oder doppelter Ausführung (engl. Big Bubble Curtain – BBC). Diese Schallschutzsysteme müssen jeweils für eine Anwendung

auf das jeweilige Offshore-Bauvorhaben und die vorherrschenden Wasserbedingungen angepasst werden und liefern Schallminderungen von 10 dB bis 17 dB. Das IHC-NMS und das HSD System sind dabei pfahlnahe Schallschutzsysteme, die vom Errichterschiff mittels großem Kran um den zu rammenden Pfahl positioniert werden müssen. Die projektspezifische Anpassung dieser Schallschutzsysteme dauert i. d. R. mindestens 1 Jahr. Aus zeitlichen Gründen, aber auch aus logistischen Gründen ist eine Anwendung dieser beiden pfahlnahen Schallschutzsysteme im vorliegenden Pfahl auszuschließen.

Auch der Große Blasenschleier als pfahlfernes Schallschutzsystem (Abstand mindestens 50 m) muss projektspezifisch angepasst werden und bedarf eines eigenen Begleitschiffes zur Auslegung und Einholung und zudem eine Vielzahl von Kompressoren. Für die projektspezifische Anpassung und die Bereitstellung von einem Begleitschiff und der entsprechenden Kompressoren ist i. d. R. auch mit einem Vorlauf von mindestens 6 Monaten zu rechnen. Unabhängig davon ist der Große Blasenschleier für dieses Bauvorhaben keine echte Alternative, da die vorherrschenden Strömungen ($>0,75$ m/s) zu einer Verdriftung der Luftblasen im Wasser führen wird und die zu rammenden Pfähle zu eng beieinander stehen, um jeden einzelnen Pfahl zu umschließen.

Aus den o. g. Gründen wurde daher in Abstimmung zwischen der bauausführenden Firma, der Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG und der itap GmbH das nachfolgende Schallschutzkonzept für die Rammungen der Lotpfähle mit einem Durchmesser von 2,10 m ab Ende Juli erstellt:

- iv. Installation der Lotpfähle mittels Vibrationsrammverfahren bis auf Endtiefe, falls möglich.
- v. Im Falle, dass Pfähle nicht bis auf Endtiefe vibriert werden können, erfolgt die Gründung bis auf Endtiefe mittels Impulsrammverfahrens mit dem S-150 Rammhammer.
- vi. Für den unwahrscheinlichen Fall, dass die Lotpfähle weder mittels Vibrationsrammverfahren noch mit einem Impulsrammhammer S-150 bis auf Endtiefe gebracht werden können, wird auf den größeren Impulsrammhammer gewechselt und notfalls die Impulsrammung bei Niedrigwasser beendet. Aufgrund der vorherrschenden Bathymetrie ist bei Niedrigwasser eine ungehinderte Ausbreitung des Impulsrammschalls in alle Raumrichtungen nicht möglich. Der Schall kann sich dann nur eingeschränkt entlang der Fahrrinne ausbreiten (siehe Ausbreitungsrechnung in Remmers & Bellmann, 2022). Mit dieser Maßnahme wird der mögliche Einwirkradius von $160 \text{ dB}_{\text{SEL}}$ minimiert.

6. Literaturverzeichnis

- Bellmann, Michael A., Jana Brinkmann, Adrian May, Torben Wendt, Stephan Gerlach, und Patrick Remmers. „Unterwasserschall während des Impulsrammverfahrens: Einflussfaktoren auf Rammschall und technische Möglichkeiten zur Einhaltung von Lärmschutzwerten. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), FKZ UM16 881500. Beauftragt und geleitet durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Auftrags-Nr. 10036866. Editiert durch die 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.
- DIN 17025. *DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN/ISO/IEC 17025:2017*. Standard, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, 2018.
- Kastelein, Ronald A., 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* (Acoustical Society of America (ASA)) 138 (10 2015): 2508–2512.
- Lucke, K., U. Siebert, P. A. Lepper, und M. A. Blanchet. „Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli.“ *Journal of the Acoustical Society of America* 425 (2009): 4060-4070.
- 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.
- Remmers, P., und M.A. Bellmann. „Neubau LNG-Terminal im Jade Weser Port in Wilhelmshaven - Unterwasserschallprognose für die Rammarbeiten.“ 2022.
- StUK 4. „Standard Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK 4) - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.“ 2013.

7. Anhang A

7.1 Restrike Pfahl 1T-04

7.1.1 Messposition MP1

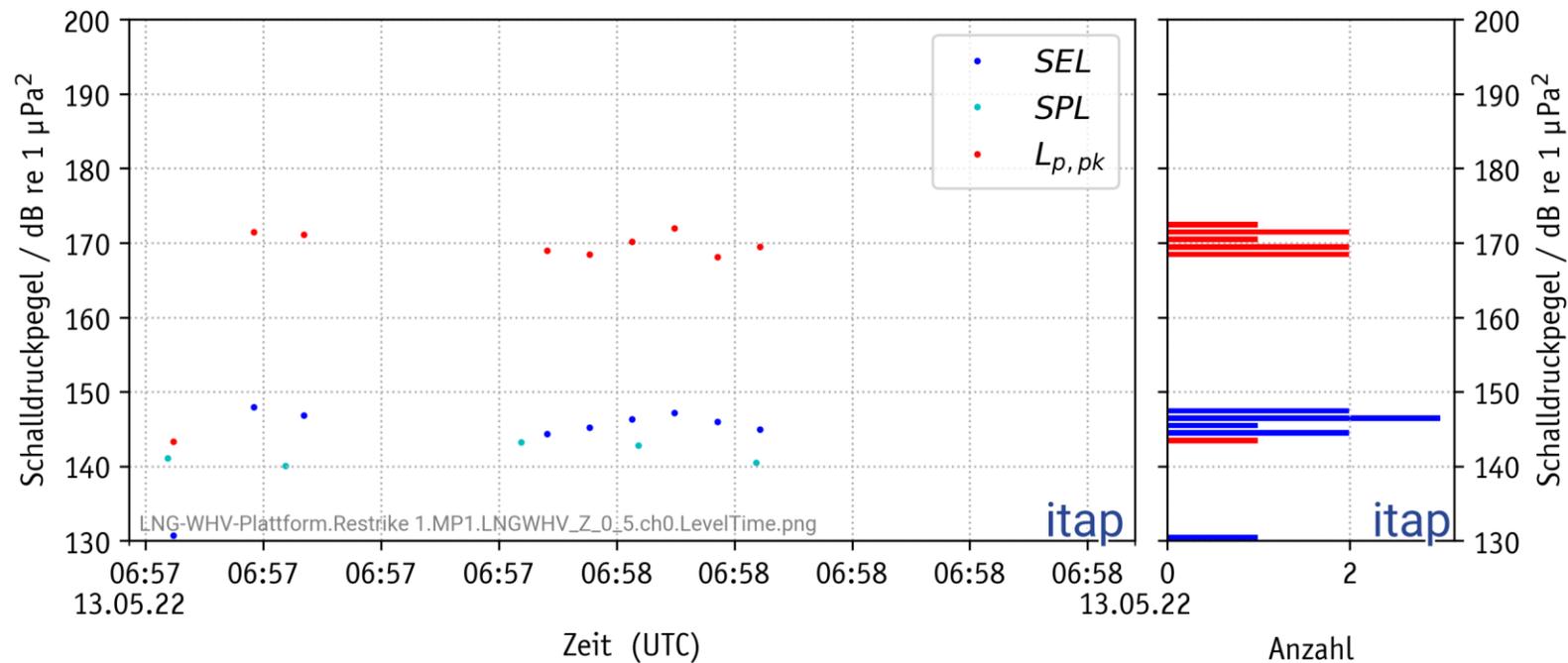


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Schalldruckpegel in ca. 750 m Entfernung zum Gründungspfahl 1T-04 während der Restrikes. Blau: Einzelereignispegel (SEL), Cyan: Dauerschalldruckpegel (SPL_{5s}) und Rot: Spitzenpegel ($L_{p,pk}$). Rechts sind die Verteilungen des Einzelereignispegels und des Spitzenpegels in einem Histogramm dargestellt.

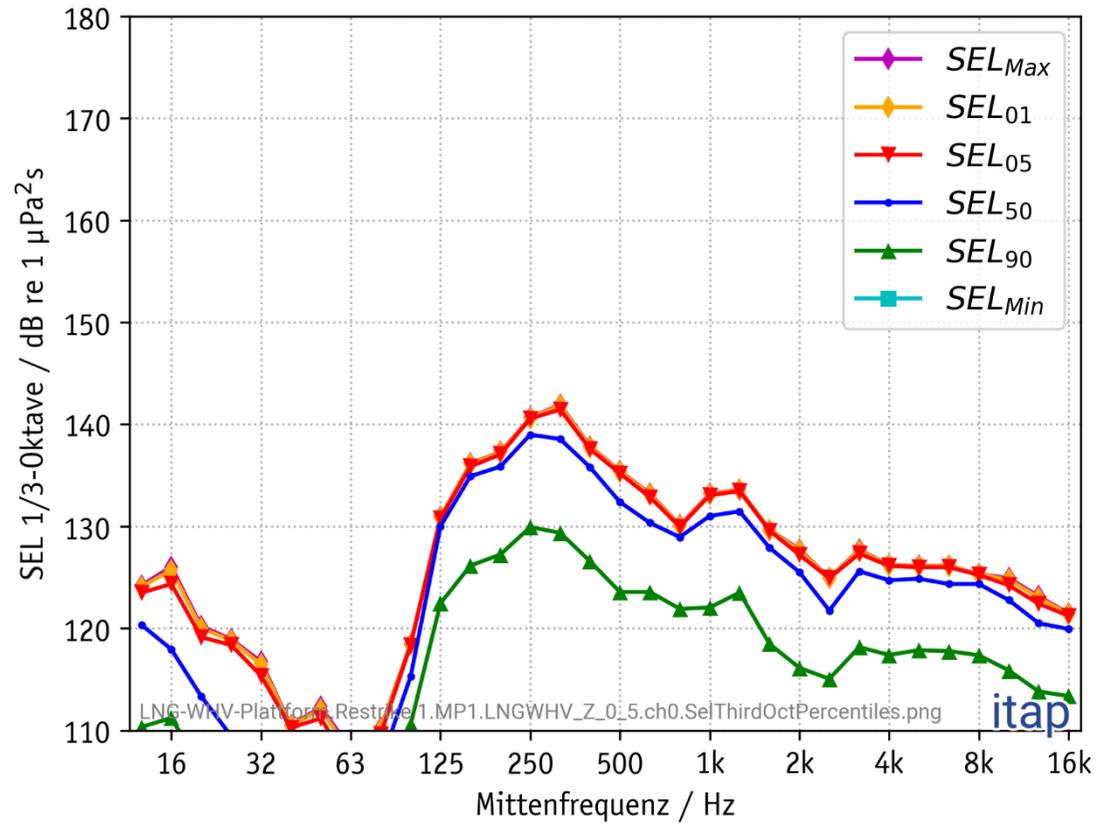


Abbildung 5: 1/3-Oktaven Darstellung (Terzspektrum) des Einzelereignispegels in ca. 750 m Entfernung zum Gründungspfahl 1T-04 während der Restrikes.

7.1.2 Messposition MP2

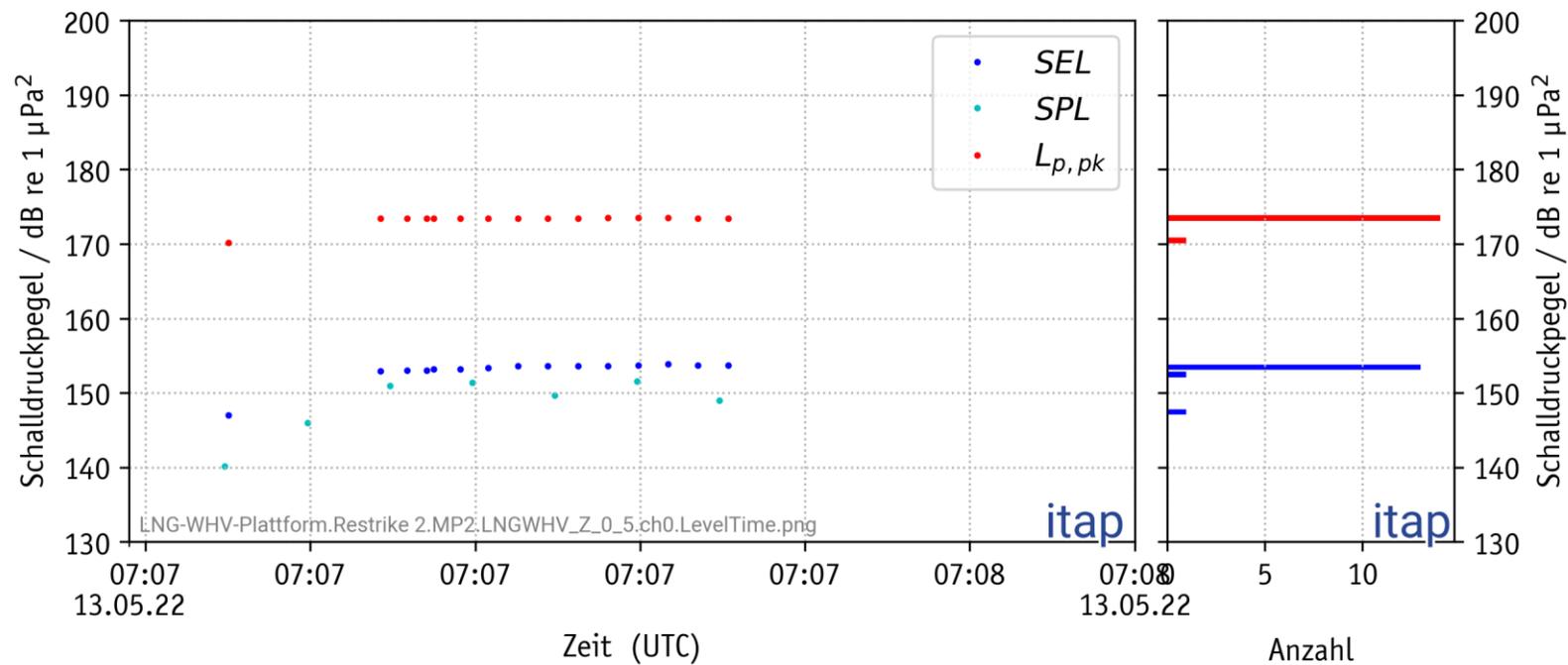


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Schalldruckpegel in ca. 750 m Entfernung zum Gründungspfahl 1T-04 während der Restrikes. Blau: Einzelereignispegel (SEL), Cyan: Dauerschalldruckpegel (SPL_{5s}) und Rot: Spitzenpegel ($L_{p,pk}$). Rechts sind die Verteilungen des Einzelereignispegels und des Spitzenpegels in einem Histogramm dargestellt.

7.2 Impulsrammung Pfahl 4T-44

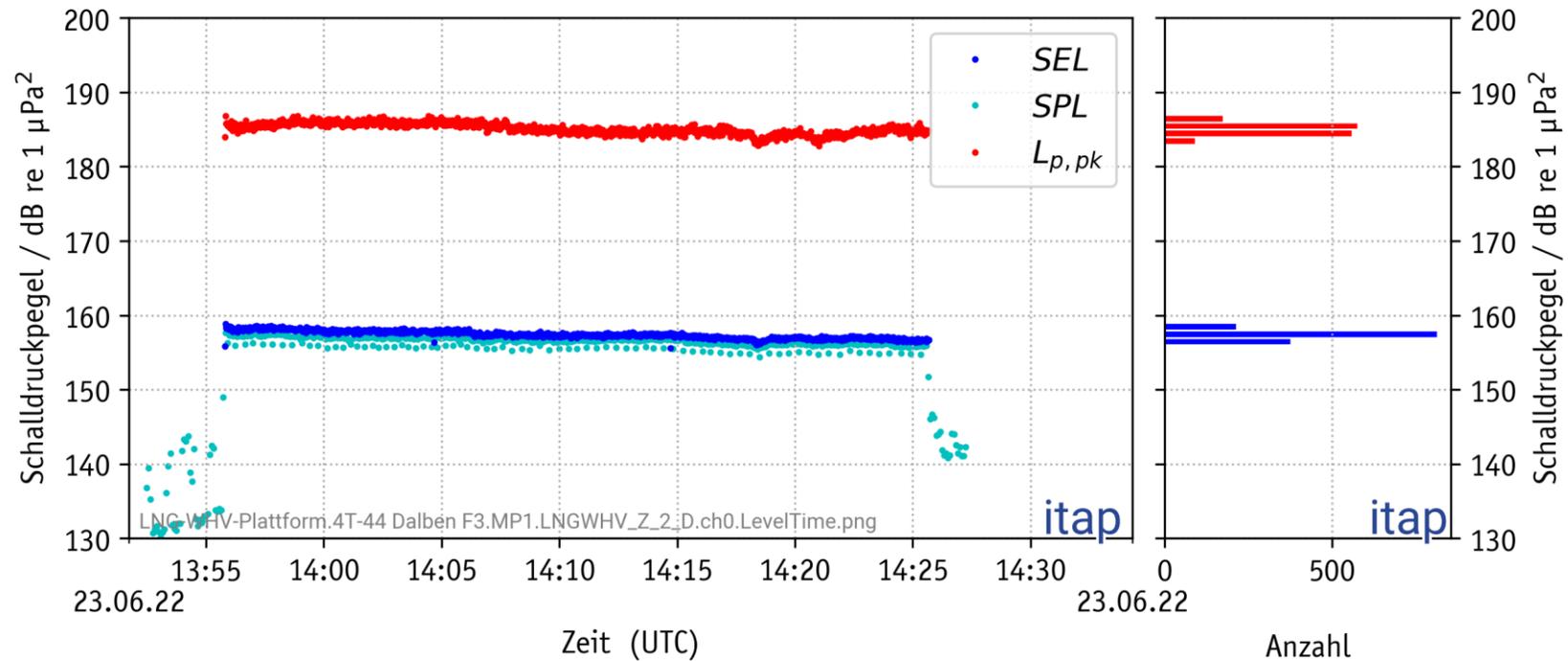


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Schalldruckpegel in ca. 415 m Entfernung zum Gründungspfahl 4T-44 während der Impulsrammung. Blau: Einzelereignispegel (SEL), Cyan: Dauerschalldruckpegel (SPL_{5s}) und Rot: Spitzenpegel ($L_{p, pk}$). Rechts sind die Verteilungen des Einzelereignispegels und des Spitzenpegels in einem Histogramm dargestellt.

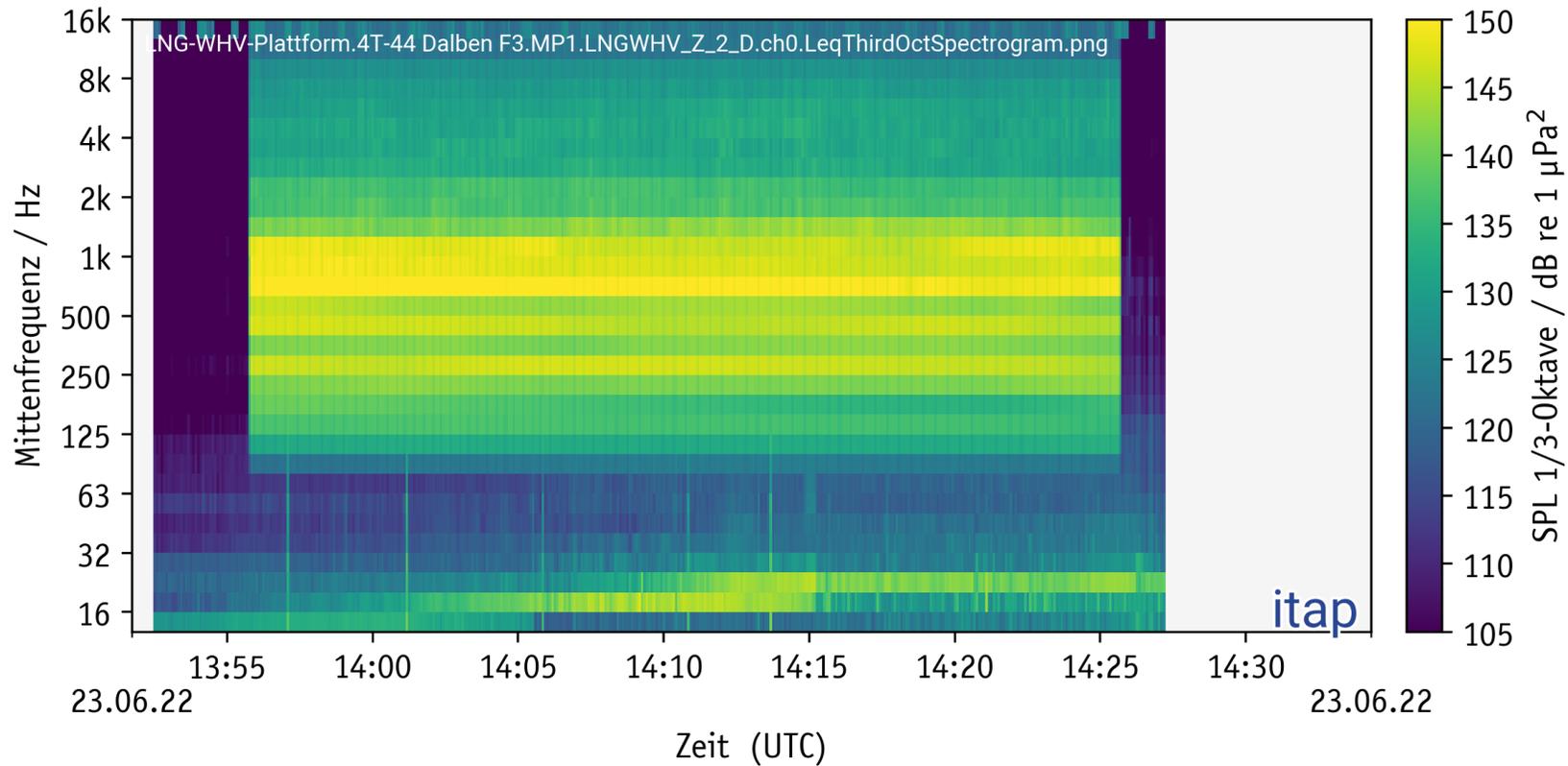


Abbildung 8: Spektrogramm des mittleren Schalldruckpegels (SPL_{5s}) während der Impulsrammung am Pfahl 4T-44 in ca. 415 m Entfernung in 1/3-Oktaven.

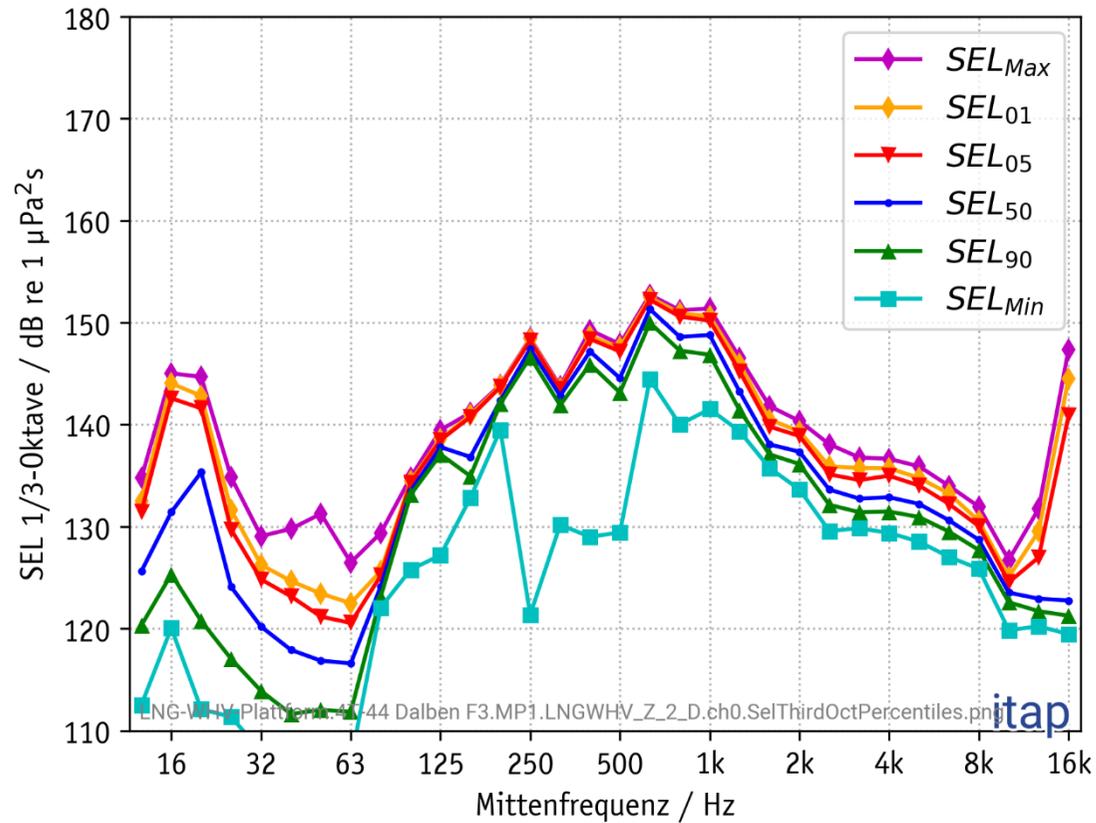


Abbildung 9: 1/3-Oktaven Darstellung (Terzspektrum) des Einzelereignispegels während der Impulsrammung am Pfahl 4T-44 in ca. 750 m Entfernung.

7.4 Vibropiling Pfahl 4T-44

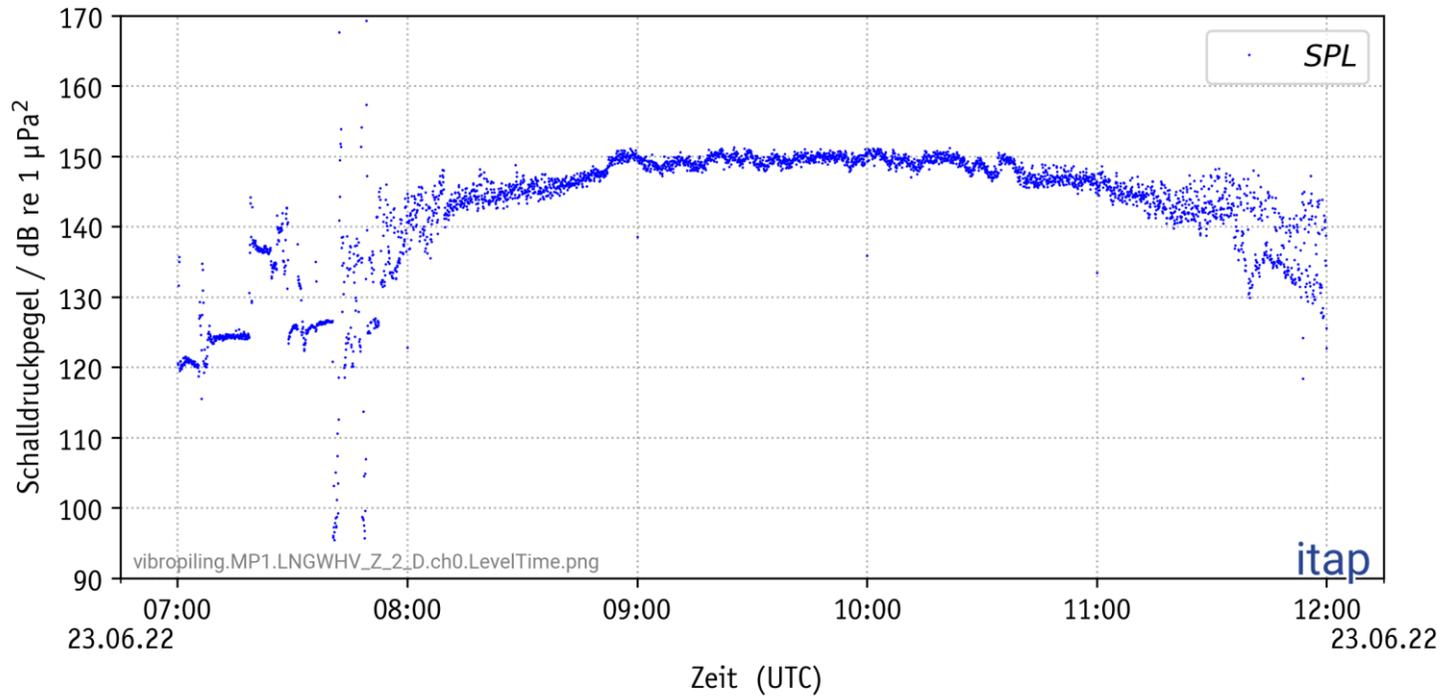


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf des 5 Sekunden Dauerschalldruckpegels (SPL) in ca. 415 m Entfernung zum Gründungspfahl 4T-44 während der Vibrationsrammung.

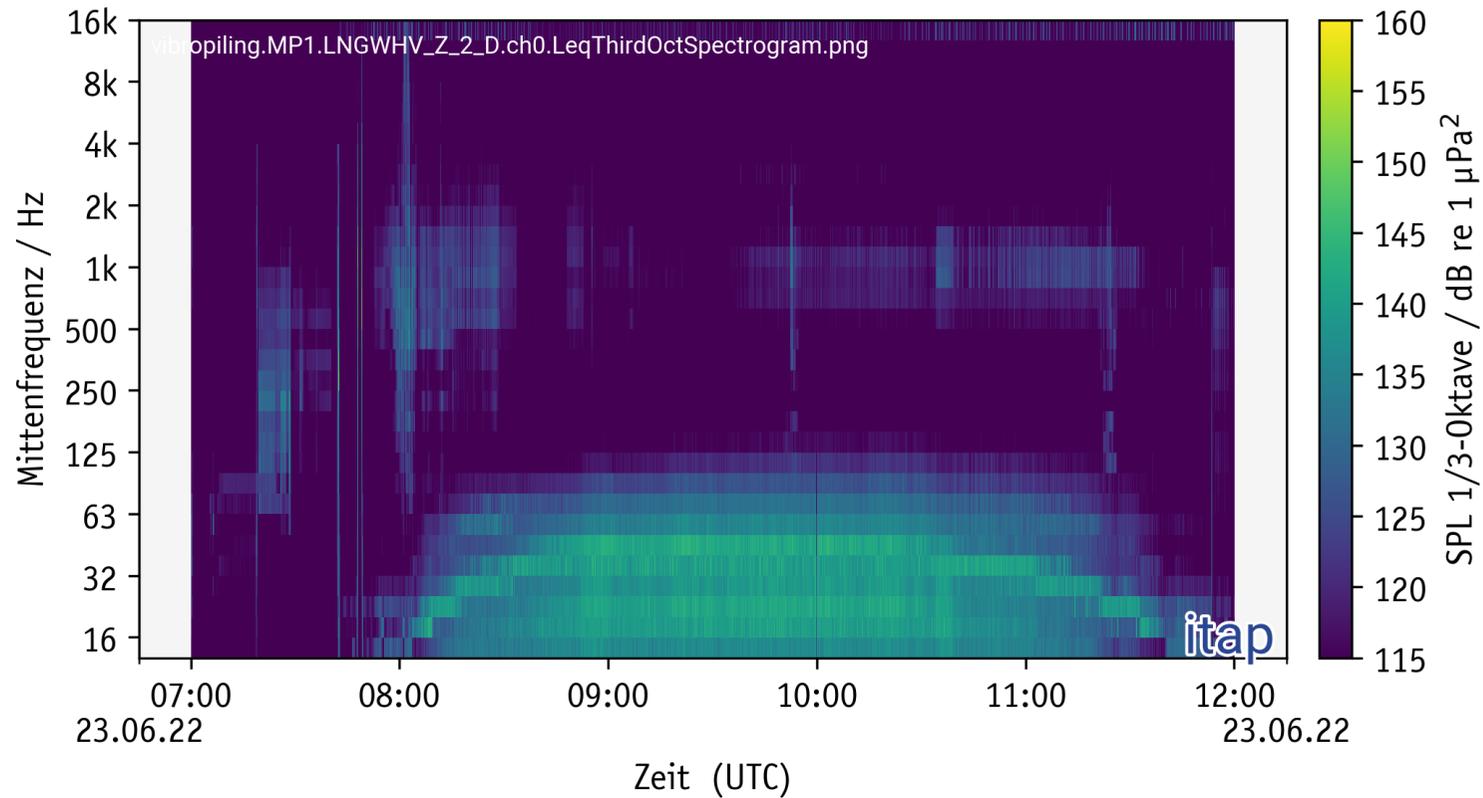


Abbildung 11: Spektrogramm des mittleren Schalldruckpegels (SPL_{5s}) während der Vibrationsrammung am Pfahl 4T-44 in ca. 415 m Entfernung in 1/3-Oktaven.

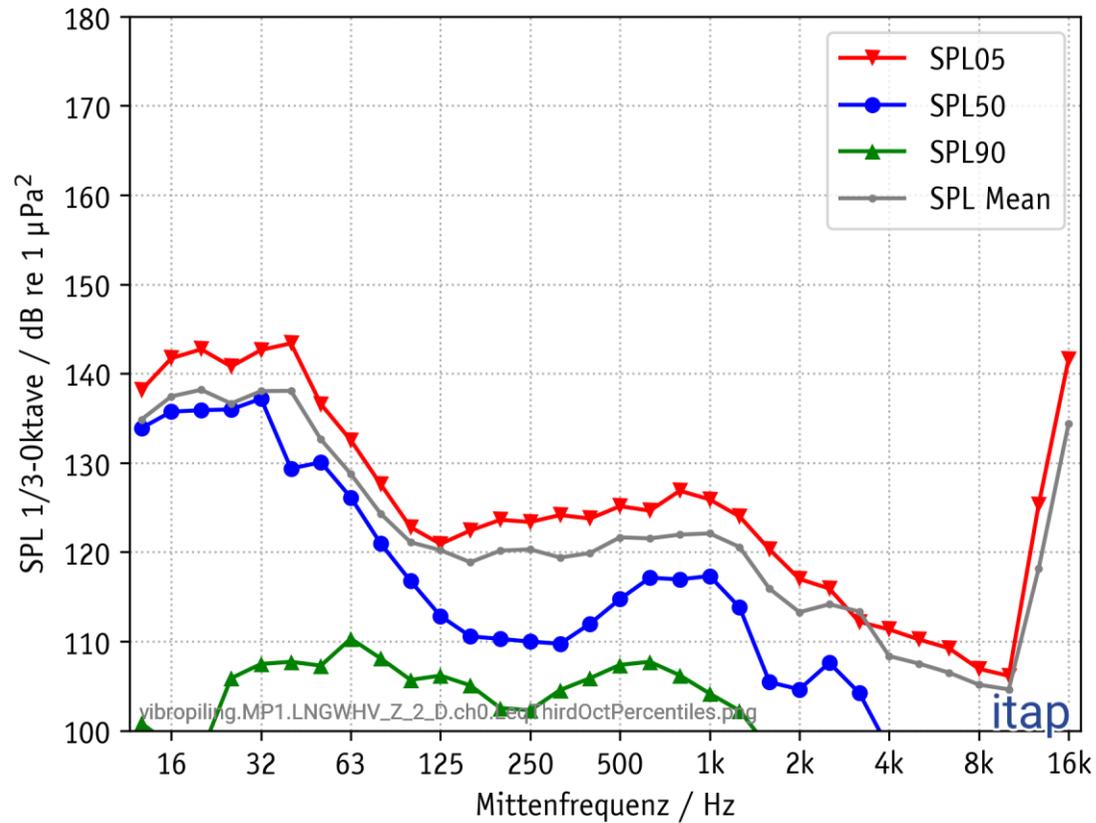


Abbildung 12: 1/3-Oktaven Darstellung (Terzspektrum) des Dauerschallpegels (SPL) während der Vibrationsrammung am Pfahl 4T-44 in ca. 415 m Entfernung.