



Ermittlung von Geräuschen, Modul Immissionsschutz



**Neubau der Geeste-Nordmole
in Bremerhaven
-Schall- und Erschütterungsimmissionen-**

Projekt Nr. 20220094/2

**Messstelle bekannt gegeben
nach § 29b BImSchG**

Auftraggeber:

bremenports GmbH & Co. KG
Am Strom 2
27568 Bremerhaven

Anlage 11.5
Anlage zum
wasserbehördlichen Verfahren
Bremerhaven, den **12 JUNI 2025**

Auftragnehmer:

technologie entwicklungen & dienstleistungen GmbH
Apenrader Straße 11
27580 Bremerhaven

Tel.: 0471 187-0 E-Mail: info@tedgmbh.de
Fax: 0471 187-29 Internet: www.tedgmbh.de

Bearbeiter: Dipl.-Phys. Frank Dittmar
 Dipl.-Ing. Daniel Haferkamp

Bremerhaven, 02. Februar 2024

Dieses Gutachten besteht aus 53 Seiten Bericht und 26 Seiten Anhang. Es darf nur in seiner Gesamtheit verwendet werden. Eine Vervielfältigung oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf einer schriftlichen Genehmigung durch die ted GmbH.

Inhaltsverzeichnis

I. Bericht		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Örtliche Gegebenheiten	1
3	Baubeschreibung	3
4	Schall: Beurteilungsgrundlagen	6
4.1	Regelwerk	6
4.2	Immissionsorte und immissionsschutzrechtliche Einstufung	7
5	Schall: Berechnung der Immissionen	11
5.1	Ausbreitungsrechnung	11
5.2	Immissionsprognoseprogramm	12
5.3	Eingangsparameter	12
6	Schall: Beurteilung der Immissionen	15
6.1	Beurteilungspegel	15
6.2	Geräuschspitzen	19
6.3	Diskussion von Schallminderungsmaßnahmen	21
7	Qualität der Schallimmissionsprognose	24
8	Erschütterungen: Beurteilungsgrundlagen und Berechnung	25
8.1	Regelwerk	25
8.2	Einwirkung auf bauliche Anlagen	26
8.3	Berechnungsansätze	27
8.4	Erschütterungstechnische Messungen	29
8.5	Berechnung der Erschütterungsimmissionen	30
9	Erschütterungen: Ergebnisse	31
9.1	Prognostizierte Erschütterungsimmissionen	31
9.2	Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Gebäude	33
10	Hydroschall	35
10.1	Beurteilungsgrundlagen und Hydroschallgrößen	35
10.2	Prognoseansätze	39
10.3	Ergebnisse	42
10.4	Schallschutzmaßnahmen	43
11	Zusammenfassung	44
12	Verwendete Gesetze, Normen, Richtlinien und Fachaufsätze	48

II. Anhang

Anlage A1 – Planmaterial des Auftraggebers

Anlage A2 – Fotodokumentation

Anlage A3 – Schalltechnisches Modell mit Quellen und Immissionsorten

Anlage A4 – Erschütterungsmessungen

Anlage A5 – Berechnungsergebnisse Schall

1 Aufgabenstellung

Die ted GmbH, Apenrader Straße 11 in 27580 Bremerhaven wurde von der bremenports GmbH & Co. KG, Am Strom 2 in 27568 Bremerhaven beauftragt, eine Prognose über die baubedingten Geräusch- und Erschütterungsimmissionen durch den Neubau der Geeste-Nordmole in Bremerhaven zu erstellen. Darüber hinaus waren Aussagen zum von der Baustelle ausgehenden Hydro-schall zu treffen.

Anhand der Prognose war zu überprüfen, ob die Richtwerte der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (AVV Baulärm) /G2/ für Geräuschimmissionen, verursacht durch die anstehenden Baustellenaktivitäten, an den maßgeblichen Immissionsorten in den unterschiedlichen Bauphasen eingehalten werden können. Die Bewertung der prognostizierten Erschütterungen durch die Rammarbeiten war anhand der DIN 4150-3 /N6/ hinsichtlich der Einwirkung auf bestehende bauliche Anlagen vorzunehmen.

Die Prognosen stellen zum einen die geräusch- und erschütterungsintensiven Arbeitsabläufe dar und zeigen somit die möglichen Konfliktpotenziale auf. Zum anderen eröffnet eine frühzeitige Untersuchung die Möglichkeit, die Untersuchungsergebnisse während der Bauausführung entsprechend zu berücksichtigen. Dadurch kann die geplante Baustelle z. B. durch Vorgaben vom Vorhabenträger gegenüber den bauausführenden Unternehmen schall- und erschütterungstechnisch optimiert betrieben werden, um dem Immissionschutz in der Nachbarschaft Rechnung zu tragen.

2 Örtliche Gegebenheiten

Die Geeste-Nordmole befindet sich an der Mündung der Geeste in die Weser. Im Schutz der Molen liegt der Schleusenvorhafen mit Einfahrtsbereich in die Doppelschleuse des Fischereihafens. Darüber hinaus befinden sich im Schleusenvorhafen die Liegeplätze der Lotsenbrüderschaft, des Wasser- und Schifffahrtsamtes, eines Seenotrettungskreuzers, der Binnenschifffahrt, der Anleger der Weserfähre Bremerhaven - Nordenham Blexen, des Zoils und der Wasserschutzpolizei.

Die nächstgelegene Wohnbebauung besteht im Gebäude „Weserterrassen“ an der Straße Am Alten Vorhafen 7 bis 11 und in Wohngebäuden an der Straße An der Geeste. Weitere umliegende Bebauungen sind die Lotsenstation, das Weserstrandbad, das Panorama Restaurant am Deich, das Deutsche Schifffahrtsmuseum, das Restaurant „Wasserschout“, das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Weser-Jade-Nordsee, Hörsaalgebäude der Hochschule Bremerhaven, das Planetarium Bremerhaven, Gebäude des AWI-Campus und ein Gebäude der Weserfähre GmbH. Die Lotsenstation liegt unmittelbar am Beginn der Nordmole; die Wohneinheiten der „Weserterrassen“ sind mindestens 140 m vom Beginn der Nordmole entfernt. Die Wohngebäude an der Straße An der Geeste sind mindestens 350 m vom Beginn der Nordmole entfernt. Einen Überblick über die örtlichen Gegebenheiten liefert das folgende Luftbild:



Abbildung 1 Übersicht, Googlemaps © 2022 AeroWest, CNES / Airbus, GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, VuK BHV, Kartendaten © 2022 GeoBasis-DE/BKG

3 Baubeschreibung

Es ist erforderlich, die 1912/13 errichtete Nordmole aufgrund nicht mehr gegebener Standsicherheit zu erneuern. Im Zuge dessen wird, um den zunehmenden Schiffsgrößen und Tiefgängen Rechnung zu tragen, zur Verbesserung der Zufahrt zum Fischereihafen eine Verschwenkung der Mole in Richtung Nordwest vorgenommen.

Die vorhandene Mole wird durch einen Neubau in Spundwandbauweise ersetzt /F1/. Es werden zwei neue Wände errichtet (Südwand: Geeste- bzw. Weserseite / Nordwand: Stadt- bzw. Strandbadseite). Für die Planungen wurde das Bauwerk hinsichtlich der unterschiedlichen Ausbildung nach /F1/ in folgende Abschnitte unterteilt:

- Bereich A: Länge rund 4 m, Molenbreite rund 8,8 m, Rückverankerung mit Bohrverpresspfählen
- Bereich B: Länge rund 115 m, Molenbreite rund 6 m, Rückverankerung mit Bohrverpresspfählen
- Bereich C: Länge rund 140 m, Molenbreite rund 6 m, Rückverankerung mit Rammpfählen
- Molenkopf: Durchmesser rund 14 m

Die entsprechenden Abschnitte sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

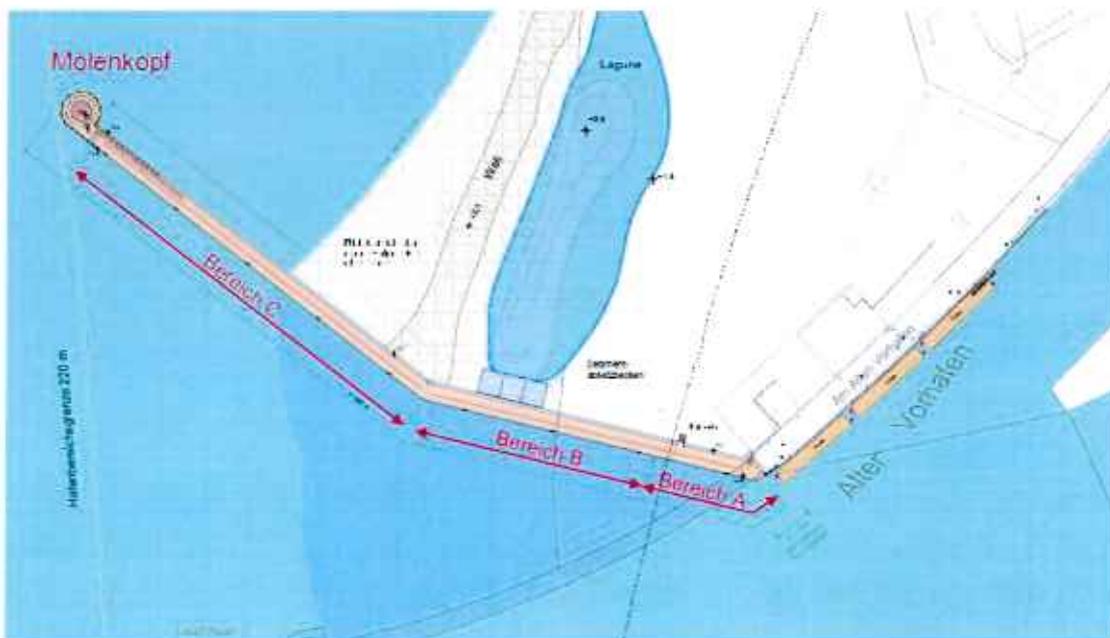


Abbildung 2 Übersichtslageplan, bremenports GmbH & Co. KG, Stand 08/2022 /F1/

Die neuen Spundwände werden in allen Bereichen als kombinierte Spundwand mit Doppel und Füllbohlen ausgeführt. In allen Bereichen wird eine Wand mit Schrägpfählen rückverankert und die jeweils andere Wand mit Horizontalankern an der rückverankerten Wand angeschlossen, so dass die Horizontalkräfte jeweils über einen Anker abgetragen werden. In den Bereichen A und B wird die Nordwand mit Bohrverpresspfählen im bestehenden Gelände rückverankert. Durch das Bohrverfahren ergeben sich aufgrund der Lagegenauigkeit und den geringeren Erschütterungen geringere Schadensrisiken für das Lotsenbetriebsgebäude und den zu überbauenden Düker. Im Bereich C ohne landseitig anstehendes Gelände wird die Südwand mit Ramppfählen rückverankert. Das Molenbauwerk wird mit Sand verfüllt und mit einer aussteifenden Platte in Stahlbetonbauweise hergestellt. Die Oberfläche wird in Pflasterbauweise befestigt. Auf der Nordseite wird eine rund 1.5 m hohe Brüstung in Stahlbeton ausgeführt /F1/.

Der Molenturm mit dem Schifffahrtsfeuer soll in seiner historischen Form neu aufgebaut werden. Das Bauwerk erhält in der neuen Position eine Tiefgründung mittels eines Stahlrohrs DN 2000 – die umlaufenden Spundwände werden über Horizontalanker miteinander bzw. mit dem Rohr verbunden /F1/.

Der geplante Bauablauf ist, lt. Scoping-Unterlage mit Stand 08/2022 /F1/, grob in 7 Phasen unterteilt, wobei die Angaben laut Auftraggeber lediglich einen möglichen bzw. exemplarischen Bauablauf darstellen. Weder die beschriebenen Verfahren noch mögliche Dauern einzelner Fertigungsschritte oder Vorgänge können, Stand 08/2022, garantiert werden. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die Rammarbeiten in den Baubereichen mit einer Oberkante oberhalb NHN 0 m (d.h. oberhalb des mittleren Tidewasserstandes) als Landrammung ausgeführt werden. Die Bereiche unterhalb NHN 0 m wird die Spundwand von der Wasserseite mit schwimmenden Gerät eingebaut /F1/.

Um den Einsatz der Geräte oberhalb NHN 0 m durchzuführen, ist die Schaffung einer temporären Arbeitsebene notwendig, die eine ausreichende Standsicherheit aufweist und – zumindest für ortsüblich durchschnittliche Wasserstände und Seegangsverhältnisse – dauerhaft ausgebildet werden muss. Es wird ein baulicher Beginn auf der Landseite und eine Fortführung in die Weser hinein unterstellt /F1/.

Phase Nr.	Bauarbeiten
1	Baustelleinrichtung und tidefreie Fläche im Strandbadbereich, Herstellung der Spundwände in den Bereichen A / Übergang zu B und Rückverankerung, partieller Abbruch der alten Mole, Arbeitsebene im Bereich B
2 / 3	Einbau der aussteifenden Betonelemente zwischen den beiden Spundwänden und Verfüllung, Herstellung der Spundwände im Bereich B und Rückverankerung, Auffüllung und Einbau der Stahlbetonplatte
4	Umbau / Rückbau der Arbeitsebene, Herstellung einer Schwimmtiefe für den Einbau der Spundwände und Schrägpfähle im Bereich C, Einbau von der Wasserseite aus, Einbau der Stahlbetonbalken sowie der Betonplatte
5 / 6	Abschluss der Rammarbeiten mit der Ausbildung des Molenkopfes, weiterer Ausbau der Mole, Verfüllung des Molenkörpers
7	Ausbau der Mole, Leuchtfeuer, vollständiger Rückbau der alten Mole, Wiederherstellung der Flächen des Weserstrandbades

Tabelle 1 Geplante Bauphasen in grober Unterteilung /F1/

Die Hauptbaustoffe für den landseitigen Transport werden über die Straße Am Alten Vorhafen an- und abtransportiert. Ob für den Umschlag bzw. die Zwischenlagerung im Baufeld ein gesonderter Baustellenanleger hergestellt wird oder ob Transportpontons in das Baufeld verholt werden und dann bei Niedrigwasser trockenfallen, obliegt dem Verantwortungsbereich der ausführenden Firma – die Vorgehensweise richtet sich nach den verfügbaren Geräten, der angestrebten Logistikreihenfolge und letztendlich auch nach der Baurichtung. Diese Ansätze sind von den Bietern in der Angebotsphase darzustellen und obliegen im Bauvertrag dann dem Verantwortungsbereich des Auftragnehmers /F1/.

In Anhang A1 sind ein Rahmenterminplan des Auftraggebers vom 10.03.2023 sowie der geplante Geräteeinsatz als Anlage zum Rahmenterminplan für die einzelnen Bautätigkeiten enthalten, die der Prognostizierung der Schallimmissionen zugrunde gelegt wurden. Die Baustelle soll als Tagesbaustelle zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr geführt werden. Zur Nachtzeit sind keine relevanten Schallemissionen zu erwarten.

Prägend für die Geräuschimmissionssituation im Bauprojekt ist der Einsatz von Schlagrammen und Rüttlern zum Einbringen der Trag- und Füllbohlen in den einzelnen Abschnitten. Hierbei führt zu erwartenderweise das schlagende Rammen in den vorderen Abschnitten (insbesondere A) zu den höchsten Immissionspegeln an den maßgeblichen Immissionsorten. Im Rahmen der vorliegenden Prognose wurden darüber hinaus alle Baumaschinen und Bauvorgänge mit schalltechnischer Relevanz erfasst, zumal an einigen Tagen auch Überlappungen von Bauaktivitäten und somit Pegeladditionen zu erwarten sind.

4 Schall: Beurteilungsgrundlagen

4.1 Regelwerk

Die Beurteilung der baubedingten Geräuschimmissionen an den nächstgelegenen schutzbedürftigen Bebauungen erfolgte in Anlehnung an die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen /G2/. Für die Anwendung der Immissionsrichtwerte kommt die Einstufung der Schutzwürdigkeit entsprechend der tatsächlichen Nutzung zum Tragen:

Immissionsrichtwerte nach AVV Baulärm		
Einstufung der Schutzwürdigkeit	Tageszeit (7 ⁰⁰ - 20 ⁰⁰ Uhr)	Nachtzeit (20 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ Uhr)
Gebiete in denen nur gewerbliche oder industrielle Anlagen und Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	70 dB(A)	70 dB(A)
Gebiete in denen vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	65 dB(A)	50 dB(A)
Gebiete mit gewerblichen Anlagen und Wohnungen, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	60 dB(A)	45 dB(A)
Gebiete, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	55 dB(A)	40 dB(A)
Gebiete, in denen ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	50 dB(A)	35 dB(A)

Tabelle 2 Immissionsrichtwerte nach AVV Baulärm /G2/

Als Tageszeit gilt gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen /G2/ die Zeit zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr und als Nachtzeit die Zeit zwischen 20⁰⁰ und 7⁰⁰ Uhr. Der Richtwert für die Nachtzeit ist auch überschritten, wenn nur ein Messwert (Spitzenpegel) den Immissionsrichtwert um mehr als 20 dB überschreitet. Dies kommt jedoch nicht zur Anwendung, da während der Nachtzeit keine immissionsrelevante Bautätigkeit stattfindet.

4.2 Immissionsorte und immissionsschutzrechtliche Einstufung

Für die in Abbildung 1 gezeigten nächstgelegenen Bebauungen mit Wohnnutzung oder ständigem Aufenthalt (Weserterrassen, Lotsenstation, Restaurant, AWI-Außenstelle, Häuserzeile An der Geeste) bestehen unterschiedliche Einstufungen auf Basis der Planlage. Eine Übersicht der Planlage ist wie folgt:



Abbildung 3 Übersicht der Planlage, © GeoBasis-DE / Vermessungs- und Katasteramt Bremerhaven 2022

Das Weserstrandbad wird in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt, da es aufgrund der erforderlichen tidefreien Fläche, die im Zuge der Baustelleneinrichtung in Phase 1 geschaffen wird, Teil der Baustelle ist. Darüber hinaus sind die dort zu erwartenden Immissionen nicht höher als am Lotsengebäude, welches bei den Prognoserechnungen berücksichtigt wird.

Das Gebäude der Weserterrassen liegt im Geltungsbereich von B-Plan Nr. 357 /G7/, der die Schutzwürdigkeit eines Mischgebietes vorsieht. Für die Lotsenstation und das Restaurant sieht der Flächennutzungsplan /G6/ eine Gemischte Baufläche vor. Die AWI-Außenstelle liegt gemäß Flächennutzungsplan /G6/ im Sondergebiet FuE, Forschung und Entwicklung. Die Einstufung der Häuserzeile An der Geeste ist laut B-Plan Nr. 288 /G8/ und 338 /G9/ die eines Mischgebietes. Unter Berücksichtigung der genannten Schutzwürdigkeit werden im Folgenden exemplarisch die Weserterrassen und das Lotsengebäude als Immissionsorte einbezogen, da dort aufgrund der Nähe zur Baustelle am ehesten eine Überschreitung der anzuwendenden Immissionsrichtwerte zu erwarten ist.

Über die betrachteten, exemplarischen Immissionsorte hinaus sind an dahinter gelegenen Gebäudereihen ebenfalls noch Geräuschimmissionen durch die Baustelle zu erwarten. Jedoch sind aufgrund der Einstufungen dieser Bebauungen i. V. m. mit den dazugehörigen Immissionsrichtwerten der AVV Baulärm und der Abnahme des baulärmbedingten Schalldruckpegels mit der Entfernung etwaige Richtwertüberschreitungen dort geringer als an den dargestellten Immissionsorten.

Aus den Einstufungen nach Planlage /G6/, /G7/ sowie der Inaugenscheinnahme in einem Ortstermin (siehe auch Anlage A2) wird im vorliegenden Gutachten eine Einstufung der Schutzwürdigkeit für den Bereich des Lotsengebäudes von 65 dB(A) zur Tageszeit (Gebiet mit vorwiegend gewerblichen Anlagen nach AVV Baulärm /G2/) und für die Weserterrassen von 60 dB(A) (gewerbliche Anlagen und Wohnungen gleichermaßen nach AVV Baulärm /G2/) abgeleitet, siehe diesbezüglich Tabelle 2. Im vorliegenden Fall ist die Nachtzeit nicht relevant, da dann keine immissionsrelevanten Bauarbeiten durchgeführt werden.

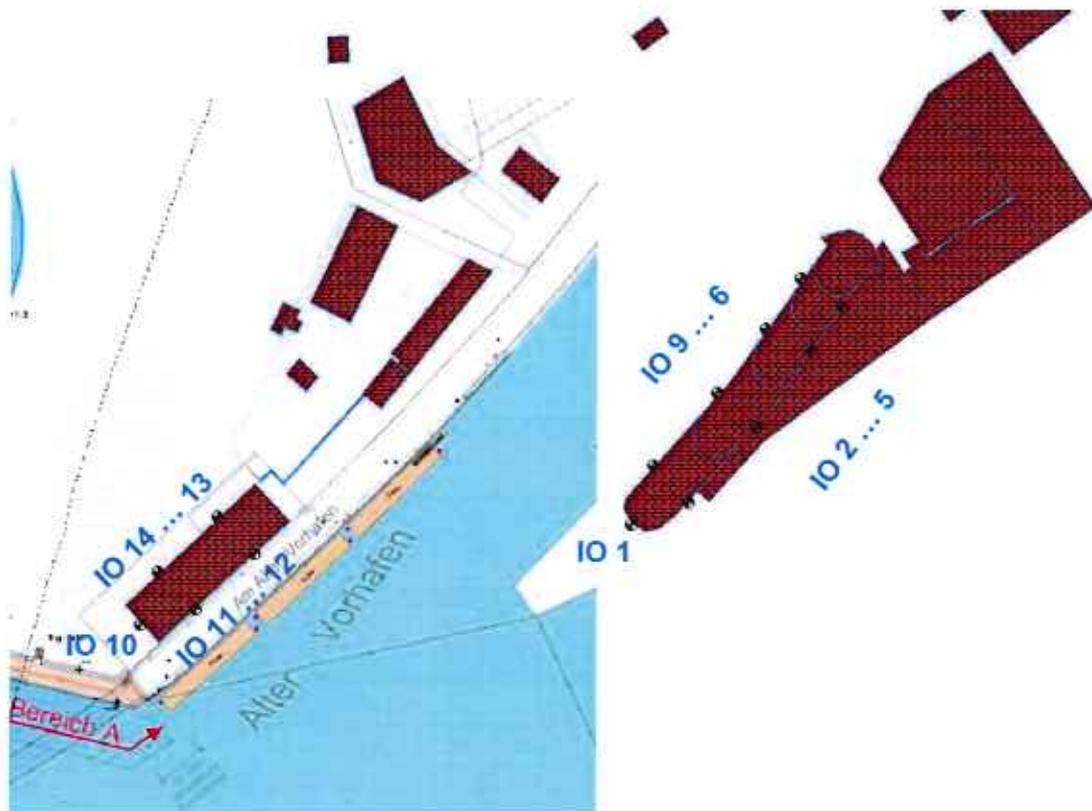


Abbildung 4 Lage der Immissionsorte (Hintergrund: Scoping-Unterlage)

Die Lage der maßgeblichen Immissionsorte im gesamten schalltechnischen Prognosemodell ist im Anhang A3 des Berichtes dargestellt.

IO	Beschreibung	Höhe in m	Immissionsrichtwerte in dB(A)		
			Tageszeit (7 ⁰⁰ - 20 ⁰⁰ Uhr)	Nachtzeit ¹⁾ (20 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ Uhr)	
1-8m	Weserterrassen, Südwest	8	60	45	
2-8m	Weserterrassen, Südost	8	60	45	
3-8m		8	60	45	
3-14m		14	60	45	
4-8m		8	60	45	
4-14m		14	60	45	
4-17m		17	60	45	
5-8m		8	60	45	
5-14m		14	60	45	
5-17m		17	60	45	
5-20m		20	60	45	
6-8m		Weserterrassen, Nordwest	8	60	45
6-14m			14	60	45
6-17m	17		60	45	
6-20m	20		60	45	
7-8m	8		60	45	
7-14m	14		60	45	
7-17m	17		60	45	
8-8m	8		60	45	
8-14m	14		60	45	
9-8m	8		60	45	
10-8m	Lotsengebäude, Südwest	8	65	50	
11-8m	Lotsengebäude, Südost	8	65	50	
11-11m		11	65	50	
12-8m		8	65	50	
12-11m		11	65	50	
13-8m	Lotsengebäude, Nordwest	8	65	50	
13-11m		11	65	50	
14-8m		8	65	50	
14-11m		11	65	50	

Tabelle 3 Immissionsorte mit Immissionsrichtwerten nach AVV Baulärm /G2/

¹⁾ kein Nachtbetrieb der Baustelle

5 Schall: Berechnung der Immissionen

5.1 Ausbreitungsrechnung

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen /G2/ ist vornehmlich auf Messungen abgestellt und gibt nur ein überschlägiges Verfahren zur Berechnung des Schallpegels an einem Immissionsort an. Das Ausbreitungsmodell nach der DIN ISO 9613–2 /N1/ „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“, welches auch bei der Schallimmissionsprognose von genehmigungsbedürftigen Anlagen eingesetzt wird, entspricht dem derzeitigen Stand der Technik.

Die Schallimmissionen wurden somit gemäß DIN ISO 9613–2 /N1/ nach dem alternativen Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel berechnet. Als Eingangsdaten wurden A-bewertete Summen-Schalleistungspegel für die Schallquellen angesetzt. Für die Berechnung der Dämpfung auf dem Ausbreitungsweg wurde von einer mittleren Frequenz von 500 Hz ausgegangen. Für die Berechnung der Luftabsorption A_{atm} kamen die Standardwerte $T = 10\text{ °C}$ und $r.F. = 70\%$ zum Ansatz. Aus dem Summenschalleistungspegel wurde der an einem Immissionsort zu erwartende Immissionspegel unter Mitwindbedingungen wie folgt ermittelt:

$L_{AT}(DW)$	=	$L_W + D_c - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} - A_{bar} - A_{misc}$
$L_{AT}(DW)$	=	äquivalenter Dauerschalldruckpegel bei Mitwind in dB
L_W	=	Schalleistungspegel in dB(A)
D_c	=	Richtwirkungskorrektur in dB
A_{div}	=	Dämpf. auf Grund geometrischer Ausbreitung in dB
A_{atm}	=	Dämpf. auf Grund der Luftabsorption (Lufttemp. 10°C und Luftf. 70%) in dB
A_{gr}	=	Dämpf. auf Grund des Bodeneffektes (alternatives Verfahren nach 7.3.2, DIN ISO 9613–2) in dB
A_{bar}	=	Dämpf. auf Grund von Abschirmung in dB
A_{misc}	=	Dämpf. auf Grund verschiedener anderer Effekte in dB

Eine meteorologische Korrektur der berechneten Schalldruckpegel, wie sie zur Ermittlung eines Langzeitmittelungspegels angewandt wird, erübrigt sich im Fall von Baulärm; die Ausbreitungsrechnungen erfolgten stattdessen durchgängig und konservativ im Sinne des Schallschutzes für Mitwindbedingungen.

5.2 Immissionsprognoseprogramm

Die Ausbreitungsrechnungen wurden mit dem Immissionsprognoseprogramm „Immi“ der Firma Wölfel Engineering GmbH & Co. KG durchgeführt. Die Software erfüllt die Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen gemäß ISO 17534–1 /N2/ und der ergänzenden DIN 45687 /N3/ zu nationalen Rahmenbedingungen und Regelwerken. Für die Ausführung der Berechnungen wurden die erforderlichen geometrischen und schalltechnischen Daten des Untersuchungsgebietes (Gelände, Gebäude mit Abschirmungs- und Reflexionseigenschaften, Immissionsorte und Geräuschquellen) in das schalltechnische Modell implementiert. Die Schallausbreitungsrechnung zu den einzelnen Immissionsorten erfolgte dann durch das Programm. Einzelheiten der Ausbreitungsrechnung sind Abschnitt 5.1 sowie der DIN ISO 9613–2 /N1/ zu entnehmen.

5.3 Eingangsparmeter

Die schalltechnischen Eingangsparmeter zur Ermittlung der baubedingten Geräuschimmissionen bestehen in erster Linie aus den spezifischen Schallleistungspegeln der eingesetzten Gerätschaften, ihrer Anzahl und der Dauer ihres Betriebs (Einwirkzeit) während der Beurteilungszeit zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr nach AVV Baulärm /G2/ sowie der Lage der Emission. Die in der Prognose angesetzten Einwirkzeiten und Anzahlen wurden vom Vorhabenträger vorgegeben, siehe Unterlagen in Anlage A1.

In der 32. BImSchV - Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung /G3/ vom 29. August 2002 werden zum einen über den Verweis auf Artikel 12 der Europäischen Richtlinie 2000/14/EG /G4/ Geräuschemissionsgrenzwerte für diverse Geräte- und Maschinentypen (Geräte und Maschinen nach Spalte 1) vorgegeben. Zum anderen sind in der Verordnung /G3/ Geräte- und Maschinentypen aufgeführt, für die nach Artikel 13 der Richtlinie /G4/ lediglich eine Kennzeichnungspflicht über die Geräuschemissionen besteht (Geräte und Maschinen nach Spalte 2). Die 32. BImSchV /G3/ bezieht sich im Wesentlichen auf Geräte und Maschinen, die in Deutschland oder im Gebiet der Europäischen Gemeinschaft nach dem 29. August 2002 erstmalig für den Vertrieb bzw. für die Nutzung zur Verfügung gestellt und erstmalig benutzt werden.

Für den im Bauprojekt geplanten Einsatz von Geräten und Maschinen nach Spalte 1 der 32. BImSchV /G3/ wurden die Schallemissionsansätze in Anlehnung an die Europäische Richtlinie 2000/14/EG /G4/ ermittelt. Falls sich im praktischen Einsatz eines Gerätes höhere Schallemissionen ergeben könnten, wurde auf die höheren Ansätze wie z. B. aus Studien /F3/, /F4/ zurückgegriffen, um konservative Ansätze im Sinne des Schallschutzes zu gewährleisten.

Für den geplanten Einsatz von Geräten und Maschinen nach Spalte 2 der 32. BImSchV /G3/ sowie für Baumaschinen, die nicht in den Anwendungsbereich der 32. BImSchV /G3/ fallen, basieren die Emissionsansätze auf eigenen schalltechnischen Messungen bei vergleichbaren Arbeitsvorgängen /F8/, /F9/ sowie auf Literaturangaben aus /F3/ bis /F7/, /N4/. Im Übrigen sind die zugrunde gelegten Daten konsistent mit den Schallgutachten zu anderen Kajeubauprojekten /F10/ bis /F13/, sofern der Geräteeinsatz vergleichbar ist.

Beim Einbringen der Bohlen kommen sowohl Rüttler als auch Rammen zum Einsatz. Diesbezüglich wurde für die vorliegende Prognose ein hoher Zeitanteil von 25 % für das Rammen angesetzt, sofern nicht in der Tabelle zum Geräteeinsatz in Anlage A1 explizit die Ramm- und Rüttelzeiten vorgegeben sind.

Folgende schalltechnische Eingangsparameter der eingesetzten Gerätschaften gingen in die Prognoserechnungen ein:

Geräuschemittent	Emissionsbereich	Spezifischer Schalleistungspegel	Betriebszeit (a. tags in h/d
		$L_w / L'_{w,1h}$ in dB(A)	tags 7 ⁰⁰ - 20 ⁰⁰ Uhr
- Schlagramme - Rüttler	- Bereich A, B, C, Kopf	145 dB(A) ³⁾ 130 dB(A)	1 / 4 h ^{1) 2)} 3 / 6 h ^{1) 2)}
- Großbohrgerät - Bohrgerät für Rückverankerung	- Bereich A, Rückbau - Bereich A, B	115 dB(A) 109 dB(A)	8 h 6 h
- Seilbagger - Hydraulikbagger	- Bereich Rückbau - alle Bereiche	107 dB(A) 113 dB(A)	8 h 8 h
- Stemmhammer	- Bereich A, Rückbau	122 dB(A)	8 h
- Hopperbagger	- fast alle Bereiche	111 dB(A)	8 h
- Radlader - Planierraupe - Walze / Rüttelplatte	- Einrichtung / Räumung - Einrichtung / Räumung - Strandbad / Lagune	107 dB(A) 111 dB(A) 115 dB(A)	4 / 8 h ¹⁾ 8 h 8 h
- Teleskoplader - Betonfahrzeug / -pumpe - Brenn- und Schweißgerät	- fast alle Bereiche - Bereich A, B, C - Bereich A, B, C, Kopf	98 dB(A) 106 dB(A) 97 dB(A)	2 / 8 h ¹⁾ 6 h 8 h
- Lkw (Rangieren) - Lkw (Fahren)	- Baustellenverkehr, Aufhöhung, Räumung	80 dB(A) 62 dB(A)/m	4 / 8 h ¹⁾ 4 / 8 h ¹⁾

Tabelle 4 Schalltechnische Eingangsdaten

¹⁾ Betriebszeit / Frequentierung vom Bauvorgang abhängig

²⁾ als reine Ramm- / Rüttelzeit relevant

³⁾ ohne Schallminderungsmaßnahmen (Faltenbalg)

Die in Tabelle 4 aufgeführten Schalleistungspegel enthalten die ggf. anfallenden Zuschläge wie z. B. Impulzzuschläge. Für die Lkw-Fahrwege wurden die Straße Am Alten Vorhafen sowie die Wege auf der Baustelle in den betreffenden Bauphasen berücksichtigt. Da die Emissionskennwerte von Baumaschinen und Arbeitsverfahren stark variieren können, wurden für die Prognose jeweils hohe, d. h. konservative Ansätze im Sinne des Immissionsschutzes getroffen.

Für die Position der Emissionsquellen bzw. -bereiche sind in Abstimmung mit dem Auftraggeber die in Anlage A3 dargestellten Flächen (bzw. Linien im Fall der Lkw-Fahrwege) zugrunde gelegt worden.

Aufgrund der z. T. nur über wenige Tage mit hohen Schallemissionen ablaufenden Bautätigkeiten sowie der auch überlappenden Aktivitäten (siehe Anlage A1) ist die Prognose auf Basis des Rahmenterminplans tagesgenau durchgeführt worden. Verschiebungen im Zeitplan bei der Realisierung, die alle Aktivitäten in etwa gleichermaßen betreffen, haben keinen relevanten Einfluss auf die ermittelten Beurteilungspegel. Jedoch können insbesondere bei Änderungen im Ablauf des Einbringens der Spundwandbohlen mit abweichenden Überlappungen im Zeitablauf ergänzende Prognoserechnungen erforderlich werden.

6 Schall: Beurteilung der Immissionen

6.1 Beurteilungspegel

Unter Berücksichtigung der o. g. Eingangsparameter resultieren für die einzelnen Bauphasen gemäß Anlage A1 an den betrachteten Immissionsorten in der Beurteilungszeit von 7⁰⁰ - 20⁰⁰ Uhr (tags) rechnerisch die in Tabelle 5 aufgeführten mathematisch gerundeten Beurteilungspegel, wobei das Maximum aller Aktivitäten der jeweiligen Bauphase aufgeführt ist. In Tabelle 6 sind die dazugehörigen Unter- oder Überschreitungspegel in Bezug auf den jeweils maßgeblichen Immissionsrichtwert für die Tageszeit nach Tabelle 3 dargestellt. Zu bestimmten Zeiten können aufgrund überlappender Bauphasen auch höhere Pegel auftreten. Pegelverläufe in Tagesauflösung, die auch diese Überlappungen berücksichtigen, sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 exemplarisch für die zwei Immissionsorte dargestellt, die an den beiden Gebäuden (IO 1-8m an den Weserterrassen und IO 10-8m an der Lotsenbrüderschaft) der Baustelle am nächsten liegen. An diesen IO werden für die meisten der Bauphasen, insbesondere für die mit den geräuschintensiven Bautätigkeiten, entsprechend Tabelle 5 die höchsten Beurteilungspegel für das jeweilige Gebäude prognostiziert.

In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind zur Information auch die Immissionsrichtwerte (als gestrichelte Linie) und die Zeiträume (als rote Balken) dargestellt, in denen Bohlen eingebracht werden. Weitere Zeiträume mit Richtwertüberschreitungen sind in den Abbildungen gesondert mit Pfeilen gekennzeichnet. In Anlage A4 sind die Immissionsanteile der einzelnen Bauaktivitäten sowie die Gesamt-Beurteilungspegel in Tagesauflösung für alle Immissionsorte aufgelistet. In der Liste sind die Pegel, die nach mathematischer Rundung eine Richtwertüberschreitung anzeigen, farblich gekennzeichnet.

IO	Mathematisch gerundete, maximale Beurteilungspegel L_r in dB(A)							
	Einrichtung / Räumung	Abbruch	Rammen / Rütteln	Bohren	Stahlbau	Erdarbeiten	Betonarbeiten	Ausrüstung
1-8m	54	64	78	47	41	58	47	42
2-8m	39	48	61	32	24	39	31	23
3-8m	36	43	59	27	19	37	26	21
3-14m	43	52	67	35	27	45	34	29
4-8m	35	41	58	26	17	36	24	21
4-14m	36	42	59	27	18	37	25	22
4-17m	42	49	66	33	25	44	31	28
5-8m	35	40	57	25	16	36	23	21
5-14m	35	41	58	26	17	36	24	21
5-17m	36	43	59	27	19	37	25	22
5-20m	42	49	67	33	24	44	31	28
6-8m	54	60	78	44	36	56	42	42
6-14m	54	60	79	45	36	57	43	43
6-17m	55	61	79	45	36	58	43	43
6-20m	55	61	79	45	37	58	43	43
7-8m	54	61	78	44	36	57	43	43
7-14m	55	61	79	45	37	58	44	43
7-17m	55	61	79	46	37	58	44	43
8-8m	54	62	78	45	38	57	44	43
8-14m	55	62	79	46	38	59	45	44
9-8m	54	63	78	46	40	58	46	43
10-8m	75	81	96	66	59	70	66	56
11-8m	64	75	88	59	53	63	59	50
11-11m	64	75	88	59	53	63	59	49
12-8m	59	70	84	54	48	58	54	48
12-11m	59	71	84	55	49	59	55	47
13-8m	66	68	90	55	45	67	51	45
13-11m	66	69	90	56	45	67	52	45
14-8m	69	73	92	59	50	68	56	47
14-11m	70	73	92	59	50	68	56	47
	Überschreitung bis 5 dB(A)				Überschreitung über 5 dB(A)			

Tabelle 5 Maximale Beurteilungspegel in den Bauphasen

IO	Unter- / Überschreitungspegel in dB(A)							
	Einrichtung / Räumung	Abbruch	Rammen / Rütteln	Bohren	Stahlbau	Erdarbeiten	Betonarbeiten	Ausrüstung
1-8m	-6	4	18	-13	-19	-2	-13	-18
2-8m	-21	-12	1	-28	-36	-21	-29	-37
3-8m	-24	-17	-1	-33	-41	-23	-34	-39
3-14m	-17	-8	7	-25	-33	-15	-26	-31
4-8m	-25	-19	-2	-34	-43	-24	-36	-39
4-14m	-24	-18	-1	-33	-42	-23	-35	-38
4-17m	-18	-11	6	-27	-35	-16	-29	-32
5-8m	-25	-20	-3	-35	-44	-24	-37	-39
5-14m	-25	-19	-2	-34	-43	-24	-36	-39
5-17m	-24	-17	-1	-33	-41	-23	-35	-38
5-20m	-18	-11	7	-27	-36	-16	-29	-32
6-8m	-6	0	18	-16	-24	-4	-18	-18
6-14m	-6	0	19	-15	-24	-3	-17	-17
6-17m	-5	1	19	-15	-24	-2	-17	-17
6-20m	-5	1	19	-15	-23	-2	-17	-17
7-8m	-6	1	18	-16	-24	-3	-17	-17
7-14m	-5	1	19	-15	-23	-2	-16	-17
7-17m	-5	1	19	-14	-23	-2	-16	-17
8-8m	-6	2	18	-15	-22	-3	-16	-17
8-14m	-5	2	19	-14	-22	-1	-15	-16
9-8m	-6	3	18	-14	-20	-2	-14	-17
10-8m	10	16	31	1	-6	5	1	-9
11-8m	-1	10	23	-6	-12	-2	-6	-15
11-11m	-1	10	23	-6	-12	-2	-6	-16
12-8m	-6	5	19	-11	-17	-7	-11	-17
12-11m	-6	6	19	-10	-16	-6	-10	-18
13-8m	1	3	25	-10	-20	2	-14	-20
13-11m	1	4	25	-9	-20	2	-13	-20
14-8m	4	8	27	-6	-15	3	-9	-18
14-11m	5	8	27	-6	-15	3	-9	-18
	Überschreitung bis 5 dB(A)				Überschreitung über 5 dB(A)			

Tabelle 6 Unter- / Überschreitungspegel in den Bauphasen

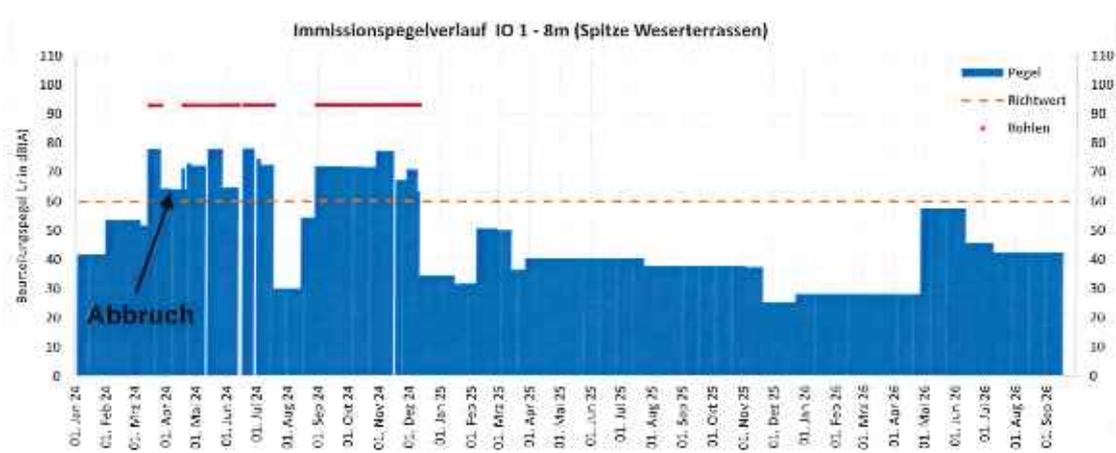


Abbildung 5 Beurteilungspegel in Tagesauflösung an IO 1-8m (Spitze Weserterrassen)

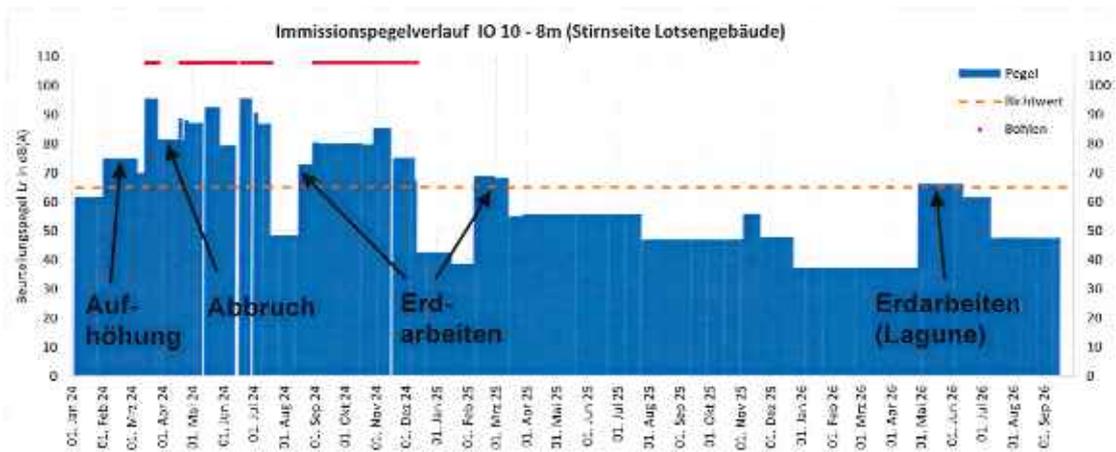


Abbildung 6 Beurteilungspegel in Tagesauflösung an IO 10-8m (Stirnseite Lotsengebäude)

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass während des Einbringens der Bohlen an allen Immissionsorten zum Teil deutliche Überschreitungen der Richtwerte nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm /G2/ zu erwarten sind. Die Überschreitungen sind erwartungsgemäß am zur Quelle nächstgelegenen Gebäude der Lotsenbrüderschaft am höchsten (IO 10-8m bis IO 14-11m). Weitere Überschreitungen der Immissionsrichtwerte um mehr als 5 dB werden, ebenfalls an diesem Gebäude, für die Zeiten des Abbruchs der Bestandsanlagen prognostiziert.

Am Gebäude der Weserterrassen (IO 1-8m bis IO 9-8m) werden, abgesehen von den hohen Richtwertüberschreitungen beim Einbringen der Bohlen nur bei den Abbrucharbeiten geringfügige Überschreitungen um weniger als 5 dB zu

erwarten sein. Bei den übrigen Bautätigkeiten sind die Baulärmemissionen an den Weserterrassen nicht geeignet, Richtwertüberschreitungen hervorzurufen.

Am Lotsengebäude sind abgesehen vom Einbringen der Bohlen und dem Abbruch lediglich bei einzelnen Bautätigkeiten wie z. B. der Baustelleneinrichtung / -räumung und bei Erdarbeiten, mit Ausnahme der Stirnseite, geringfügige Richtwertüberschreitungen um maximal 5 dB zu erwarten. An der Stirnseite des Lotsengebäudes können auch bei der Einrichtung / Räumung der Baustelle Überschreitungen um 10 dB auftreten.

Die Gesamtdauer der Richtwertüberschreitungen liegt für den in Abbildung 5 dargestellten Immissionsort an der Spitze der Weserterrassen bei 221 Tagen; für die Stirnseite des Lotsengebäudes (siehe Abbildung 6) sind es 357 Tage. Den Hauptanteil daran haben die nach Bauzeitenplan des Auftraggebers über rund 200 Tage andauernden Tätigkeiten zum Einbringen der Bohlen.

6.2 Geräuschspitzen

Die höchsten Geräuschimmissionen sind durch den Betrieb der Schlagrammen zu erwarten. Dabei werden in den entsprechenden Bauphasen nicht nur die Beurteilungspegel, sondern auch die Spitzenpegelsituationen durch den Betrieb der Baumaschinen bestimmt. Hierbei ist insbesondere die Position der Baumaschine (Ramme) relativ zu den Immissionsorten von Bedeutung. Wird für die Rammarbeiten in den einzelnen Bereichen die kürzeste Entfernung zwischen Ramme und Immissionsorten angesetzt (siehe auch Anlage A3), können während des schlagenden Rammens die in Tabelle 7 aufgeführten maximalen Spitzenpegel zur Tageszeit auftreten. Die Angaben dienen der Information, da ein Spitzenpegelkriterium in der AVV Baulärm /G2/ nur für die Nachtzeit existiert und während der Nachtzeit im vorliegenden Fall keine Bautätigkeiten stattfinden.

IO	Maximale Spitzenpegel L_{AFmax} in dB(A)			
	Rammen in Bereich A	Rammen in Bereich B	Rammen in Bereich C	Rammen im Bereich Molenkopf
1-8m	93	89	83	82
2-8m	77	73	65	62
3-8m	73	67	63	60
3-14m	82	77	72	69
4-8m	67	65	63	60
4-14m	69	67	64	61
4-17m	77	75	71	68
5-8m	66	65	62	59
5-14m	67	66	63	60
5-17m	70	68	64	61
5-20m	78	75	72	68
6-8m	88	85	84	81
6-14m	89	85	84	81
6-17m	89	86	84	81
6-20m	89	87	84	81
7-8m	89	85	84	81
7-14m	90	86	85	81
7-17m	90	86	85	81
8-8m	90	86	85	82
8-14m	91	86	85	82
9-8m	92	87	83	81
10-8m	110	105	95	86
11-8m	107	87	75	66
11-11m	107	89	77	69
12-8m	103	83	71	64
12-11m	103	86	74	68
13-8m	85	100	93	85
13-11m	89	100	93	85
14-8m	89	103	94	86
14-11m	92	103	95	86

Tabelle 7 Maximale Spitzenpegel

6.3 Diskussion von Schallminderungsmaßnahmen

Im Rahmen des BImSchG /G1/ sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränken.

Die Berechnungen für die betrachteten Bauphasen haben gezeigt, dass deutliche Richtwertüberschreitungen an den betrachteten Immissionsorten in einigen Fällen nicht ausgeschlossen werden können.

Nummer 4.1 der AVV Baulärm /G2/ behandelt grundsätzliche Maßnahmen zur Minderung von baubedingten Geräuschimmissionen. Überschreitet der Beurteilungspegel des von Baumaschinen hervorgerufenen Geräusches den geltenden Immissionsrichtwert um mehr als 5 dB, sollen Maßnahmen zur Minderung der Geräusche angeordnet werden. Nach AVV Baulärm /G2/ kommen insbesondere folgende Maßnahmen in Betracht:

- a) Maßnahmen bei der Einrichtung der Baustelle,
- b) Maßnahmen an Baumaschinen,
- c) die Verwendung geräuscharmer Baumaschinen,
- d) die Anwendung geräuscharmer Bauverfahren,
- e) die Beschränkung der Betriebszeit lautstarker Baumaschinen.

Durch die Umsetzung des Schallminderungskonzeptes lassen sich die Geräuschimmissionen auf ein Mindestmaß für die geplante Ausführung reduzieren. Allerdings können Richtwertüberschreitungen nach Umsetzung der Schallschutzmaßnahmen weiterhin nicht ausgeschlossen werden.

Es ist zu empfehlen, aktiv die Betroffenen hinsichtlich der Notwendigkeit der Baumaßnahme sowie über das Konzept mit etwaigen technischen und organisatorischen Schallschutzmaßnahmen zu informieren. Insbesondere sollte der Beginn einzelner geräuschintensiver Bauphasen rechtzeitig bekannt gegeben werden. Durch diese Vorgehensweise kann bei den Betroffenen das Bewusstsein geweckt werden, dass seitens des Bauträgers bereits im Vorfeld der Baumaßnahme detailliert auf die Immissionsschutzbelange der Betroffenen eingegangen wird. Somit kann für die anstehenden Arbeiten im Kontext eher eine Akzeptanz gefunden werden. Die Akzeptanz wird im vorliegenden Fall

möglicherweise dadurch gefördert, dass Bautätigkeiten zur Nachtzeit unterbleiben.

Von einer Stilllegung der Baumaschinen und der Bauarbeiten trotz Überschreitung des Richtwertes kann nach Nummer 5.2.2 der AVV Baulärm /G2/ abgesehen werden, wenn die Bauarbeiten im öffentlichen Interesse dringend erforderlich sind und die Bauarbeiten ohne die Überschreitung der Richtwerte nicht oder nicht rechtzeitig durchgeführt werden können.

Von Maßnahmen zur Schallminderung kann gemäß AVV Baulärm /G2/ abgesehen werden, soweit durch den Betrieb von Baumaschinen infolge nicht nur gelegentlich einwirkender Fremdgeräusche keine zusätzlichen Gefahren, Nachteile oder Belästigungen eintreten.

a) Maßnahmen bei der Einrichtung der Baustelle

Die Baustelle kann generell derart eingerichtet werden, dass geräuschintensivere Baugeräte den größtmöglichen Abstand zu den schutzbedürftigen Bebauungen aufweisen. Zudem können insbesondere kleinere Baumaschinen (auch zusammengefasst) in Richtung der Immissionsorte durch mobile Schallschutzwände abgeschirmt werden. Diese Forderung kann in die Ausschreibung für die Baumaßnahme aufgenommen werden.

Diese Maßnahme ist in Bezug auf die geräuschintensiven Rammarbeiten mit einer vorgegebenen Position zum Einbau der Rammgüter nicht möglich. Zudem können diese Großgeräte auf Grund der Abmessungen der einzubauenden Rammgüter in Richtung der schutzbedürftigen Nutzungen nicht effektiv abgeschirmt werden.

b) Maßnahmen an Baumaschinen

Der Geräteeinsatz wird in weiten Zügen durch die Vorgabe des Bauverfahren im Rahmen der Ausschreibung vorgegeben. Die Baumaschinen allerdings, die auf der geplanten Baustelle eingesetzt werden, befinden sich nicht im Bestand des Vorhabenträgers. Insofern würden bauliche Maßnahmen an den Baumaschinen zur Emissionsbegrenzung im Aufgabenbereich des bauausführenden Unternehmens liegen. In Bezug auf das BImSchG /G1/ besteht für dieses jedoch die Pflicht, Baugeräte einzusetzen, die dem Stand der Technik

entsprechen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass Baumaschinen eingesetzt werden, die dem Stand der Technik entsprechen.

c) / d) Verwendung geräuscharmer Baumaschinen / Bauverfahren

Die Emissionsansätze, die im Rahmen der Prognose gewählt wurden, stellen tendenziell konservative Werte für die Baugeräteart dar und basieren auf Literaturangaben und eigenen schalltechnischen Messungen. Baugeräte, die in den Anwendungsbereich der Spalte 1 der 32. BImSchV /G3/ (Grenzwertvorgabe) fallen, sollen die Grenzwertvorgabe der Stufe II aus dem Jahr 2006 erfüllen; dies kann in der Ausschreibung vorgegeben werden. Generell besteht die Möglichkeit, dem ausführenden Unternehmen den Einsatz lärmarmen Baumaschinen, bezogen auf die erforderliche Leistungsklasse, vorzugeben.

Es ist vorgesehen, für das Einbringen der Bohlen dort wo möglich moderne Vibrationsrammen einzusetzen. Hierbei sollte es sich, entsprechend dem gegenwärtigen Stand der Technik, um geregelte HF-Vibratoren mit kräftefreiem An- und Ablauf handeln. Wenn es der Baugrund oder die Endfestigkeit erfordern, kommen Schlagrammen zum Einsatz.

Als weitergehende Schallminderungsmaßnahme kann der Einsatz eines Faltenbalgs vorgesehen werden, der während der Rammung das Rammgut umschließt. Die Umschließung des Rammguts bewirkt eine Pegelminderung von mindestens 6 dB. Im Rahmen der Untersuchungen /F9/ konnte eine Pegelminderung von 8 dB bei Schlagrammung nachgewiesen werden, sofern das Rammgut bis auf die Wasseroberfläche umschlossen ist.

Für Fahrzeuge wie Lkw gelten die Anforderungen nach der EU-Verordnung 540/2014 /G5/ für Kraftfahrzeuge, die zur Teilnahme am Straßenverkehr vorgesehen sind. Die Einhaltung der in dieser Richtlinie aufgeführten Grenzwerte stellen eine Grundvoraussetzung zum Erlangen einer EG-Typgenehmigung dar. Diese Kfz müssen dem Stand der Technik entsprechen.

e) Beschränkung der Betriebszeit lautstarker Baumaschinen

Der Vorhabenträger hat den Bauablauf derart geplant, dass die geräuschintensiven Bauarbeiten von Montag bis Freitag in der Beurteilungszeit zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr durchgeführt werden können.

Durch zeitliche Einschränkungen des täglichen Baustellenbetriebs mit der damit verbundenen geringeren Einsatzzeit von Baugeräten, aus denen geringere Beurteilungspegel resultierten, würde sich die Dauer der Baumaßnahme insgesamt deutlich erhöhen. Eine Halbierung der Einwirkzeit bewirkt eine Minderung von 3 dB im Beurteilungspegel. Dem steht allerdings gegenüber, dass weiterhin in einigen Fällen deutliche Richtwertüberschreitungen bei einer Verdoppelung der Bauzeit und somit der Einwirkzeit der Geräuschimmissionen auftreten.

Bei Wartezeiten im Bauablauf kann jedoch die Betriebszeit einer Baumaschine auf ein Mindestmaß beschränkt werden, d. h. bei längeren Wartezeiten „muss“ eine Baumaschine abgestellt werden.

7 Qualität der Schallimmissionsprognose

Eine Aussage zur Qualität einer Schallimmissionsprognose soll Dritten die Einschätzung ermöglichen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Immissionsrichtwerte eingehalten bzw. überschritten werden können. Im Rahmen der wiederkehrenden verwaltungsrechtlichen Rechtsprechung wird häufig der Satz verwendet: „die Prognose muss auf der sicheren Seite sein“. Die Güte einer Schallimmissionsprognose hängt im Wesentlichen von der Genauigkeit ihrer Eingangsdaten sowie der Genauigkeit des Prognosemodells inklusive seiner programmtechnischen Umsetzung ab. Sofern die verwendeten schalltechnischen Eingangsdaten (z. B. Schalleistungspegel) im Rahmen der Prognoseerstellung nicht messtechnisch durch den Gutachter selbst ermittelt worden sind, lässt sich die Güte dieser Eingangsdaten in der Regel nicht numerisch ausdrücken.

Für die Schallausbreitungsrechnung enthält die DIN ISO 9613–2 /N1/ Abschätzungen zur Genauigkeit und Einschränkung ihres Berechnungsverfahrens. Dementsprechend können bei Abständen von 100 m bis 1000 m und Quellenhöhen bis zu 30 m Immissionspegel von einzelnen Quellen mit einer Genauigkeit von ± 3 dB berechnet werden. Bei mittleren Quellenhöhen von 5 bis 30 m und Abständen kleiner als 100 m können Immissionspegel durch einzelne Schallquellen mit einer Genauigkeit von ± 1 dB ermittelt werden. Im vorliegenden Projekt trifft letztgenannter Fall nur für das Lotsengebäude und die Bauarbeiten in den Bereichen A und B und nur für bodennahe Bauvorgänge zu.

Neben den o. g. Unsicherheiten im Hinblick auf Eingangsdaten und Prognosemodell können ggf. auch durch die Wahl der Prognosesoftware oder der Programmversion differierende Berechnungsergebnisse erwartet werden. Gleichwohl ist der Einfluss der Prognosesoftware aus gutachterlicher Erfahrung heraus deutlich geringer als der von den Eingangsdaten und des Prognosemodells herrührende. Im Ergebnis ist eine numerische Darlegung der Unsicherheit der Prognose nur in wenigen Spezialfällen (z. B. bei Windenergieanlagen) aufgrund existierender Richtlinien und verwaltungsrechtlicher Vorgaben möglich.

Um zu gewährleisten, dass trotz der nicht exakter zu bestimmenden Unsicherheiten die Prognoseberechnungen auf der „sicheren“ Seite liegen, wurden im Rahmen dieser Untersuchung im Sinne des Immissionsschutzes konservative Ansätze gewählt. Des Weiteren wurden die prognostizierten Pegel an den Immissionsorten für schallausbreitungsgünstige Witterungsbedingungen errechnet, die sich unter Mitwindverhältnissen oder leichter Bodeninversion ergeben.

8 Erschütterungen: Beurteilungsgrundlagen und Berechnung

8.1 Regelwerk

Zur Einschätzung rambbedingter Auswirkungen soll die Stärke der durch das Rammen hervorgerufenen Erschütterungen in Abhängigkeit vom Abstand der Ramme quantifiziert werden, um mögliche Auswirkungen auf bestehende Einrichtungen in der Umgebung der Rambbereiche einzuschätzen /F1/. Im Vorfeld von Ausführungsarbeiten kann dies naturgemäß nur im Rahmen einer Prognose erfolgen, für welche die DIN 4150-1 /N5/ Berechnungsgrundlagen angibt. Die Bewertung der prognostizierten Erschütterungen erfolgt anhand der Anhaltswerte der DIN 4150-3 /N6/ hinsichtlich der Einwirkung auf bauliche Anlagen /F1/. Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung erwartet wird, dass Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht eintreten.

Jedoch wird in der DIN 4150-3 /N6/ bezüglich der Einwirkung auf bauliche Anlagen darauf hingewiesen, dass Grundlage der Norm Schwingungsmessungen in Verbindung mit DIN 45669-1 /N7/ und DIN 45669-2 /N8/ sind. Letzteres trifft auch auf die Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von

Erschütterungsimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) zu /F18/, die als Konkretisierung der Anforderungen aus dem BImSchG /G1/ sowie zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen dienen sollen.

8.2 Einwirkung auf bauliche Anlagen

Die DIN 4150-3 /N6/ differenziert in ihren Anhaltswerten zwischen der Beurteilung des Gesamtbauwerks, der Beurteilung von Decken, massiven und unterirdischen Bauwerken sowie erdverlegten Rohrleitungen. Des Weiteren wird eine Unterscheidung zwischen kurzzeitigen und dauerhaften Erschütterungen vorgenommen. Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf die Gebäudeteile werden in der DIN 4150-3 /N6/ folgende Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit angegeben:

Art der Erschütterung	Gebäudeart	$v_{x,y,z}$ in mm/s	v_z in mm/s	$v_{x,y}$ in mm/s
		Fundament 1 - 10 Hz	Deckenmitte alle Frequenzen	oberste Deckenebene, horizontal alle Frequenzen
kurzzeitige Erschütterung	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20	40
	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	20	15
	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind	3	20	8
Dauererschütterung	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	 	10	10
	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	 	10	5
	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind	 	10	2,5

Tabelle 8 Erschütterungen: Anhaltswerte für die Einwirkung auf Gebäude

Zur Beurteilung nach DIN 4150-3 /N6/ ist der Betrag der maximalen Schwinggeschwindigkeit (Betragsmaximalwert) $v_{l,max}$ der Raumrichtungen (x, y, z) in mm/s maßgeblich. Die Referenzorte zur Beurteilung des Gesamtbauwerks liegen in der Regel in der obersten Deckenebene (x, y), für kurzzeitige Erschütterungen auch am Gebädefundament (x, y, z). Für erdverlegte Leitungen und

unterirdische Hohlräume (Tunnel etc.) sind gesonderte Positionen vorgesehen. Im Fall der Anregung von Oberschwingungen durch Dauererschütterungen z. B. bei Gebäuden mit mehr als drei Vollgeschossen sind die Geschosse mit den größten Schwingamplituden maßgeblich.

Nach Nr. 3.5 der DIN 4150-3 /N6/ sind kurzzeitige Erschütterungen dadurch gekennzeichnet, dass die Häufigkeit ihres Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet sind, um in der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen. Letzteres ist insbesondere beim Betrieb von Rüttlern zu beachten, die über einen unwuchtfreien An- und Ablauf verfügen müssen /F18/. Auch sind im Fall auftretender Beschwerden über Resonanzen in umliegenden Gebäuden unverzüglich Maßnahmen zur Resonanzdämpfung, z. B. durch Änderung der Erregerfrequenzen etc., einzuleiten, die hinsichtlich der technischen und geologischen Voraussetzungen einsetzbar sind.

Im vorliegenden Fall wurden bei der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen für das Gebäude der Lotsenbrüderschaft die Anhaltswerte eines gewerblich oder ähnlich strukturierten Baus und für die Weserterrassen die eines Wohngebäudes zugrunde gelegt.

8.3 Berechnungsansätze

Die Einschätzung der Erschütterungen setzt voraus, dass zwischen Baustelle und Immissionsort vergleichsweise homogene Verhältnisse im Baugrund vorliegen. Beim Einbau der Spundbohlen ist diese Bedingung nicht für alle Ausbreitungswege erfüllt, da die Bohlen vor der bestehenden Kaje im Hafenbecken eingebaut werden. Die Ausbreitung der Erschütterungen ist aufgrund der Übergangssituation vom Grund des Hafenbeckens in Richtung der Bebauungen nicht hinreichend exakt bestimmbar. Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass die zugrunde gelegten Prognosegleichungen vom Grundsatz her zwar eine gute Basis für die grobe Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungsintensitäten darstellen, entsprechende Messungen jedoch nicht ersetzen können /F19/. Die in Fachaufsätzen angeführten Beweissicherungsmaßnahmen /F18/, /F19/ sollten an den nächstgelegenen Immissionsorten aufgrund der Nähe zu den Rammen / Rüttlern tatsächlich durchgeführt werden.

In der Praxis ist angesichts des Errichtens der Spundwand vor der bestehenden Kaje im Hafenbecken von tendenziell geringeren Erschütterungen als prognostiziert auszugehen.

Die in den folgenden Abschnitten dargestellten Ergebnisse gelten nur unter der Voraussetzung, dass die neben den Schlagrammen eingesetzten Vibrationsrammen über einen kräftefreien An- und Ablauf zur Unterdrückung von Resonanzen verfügen. Im Fall auftretender Beschwerden über Resonanzen in umliegenden Gebäuden sind unverzüglich Maßnahmen zur Resonanzdämpfung einzuleiten.

Hinsichtlich der Rammenergie, bezüglich der in der Scoping-Unterlage mit Stand 08/2022 /F1/ noch keine Aussage getroffen worden ist, wurde für die Schlagrammen ein Wert von 250 kJ zugrunde gelegt, was in Analogie zu anderen Kajeubauprojekten einen konservativen Ansatz im Sinne des Immissionsschutzes darstellt /F11/. Die Energie der Rüttelvorgänge wurde auf Grundlage der in Anlage A1 angehängten Datenblätter zu 30 kJ ermittelt.

Die Erregerfrequenzen wurden analog zu einem vergleichbaren Kajeubauprojekt /F14/ sowie dem Datenblatt des Herstellers (siehe Anlage A1) zu 35 Hz (Rütteln) und zu 2 Hz (Rammen) veranschlagt. Für die Entfernung zwischen Baumaschine und Immissionsort wurden konservativ die jeweils kleinsten Abstände angesetzt, d. h. eine Ausbreitung der Erschütterungen vom östlichen Ende der jeweiligen Baubereiche bis zur Stirnseite des Lotsengebäudes (IO 1-8m) bzw. bis zur Südspitze der Weserterrassen (IO 10-8m).

Das in direkter Nähe der Baustelle befindliche Gebäude der Lotsenbrüderschaft weist, im Unterschied zu den Standardprognosen im Rahmen der DIN 4150-3 /N6/, die baulichen Besonderheiten einer Tiefgründung und einer aufgeständernten Bauweise an der Stirnseite auf (siehe Foto in Anlage A2). Aufgrunddessen war von einer gegenüber „Standardbauten“ verminderten Übertragung von Erschütterungen auf die oberen Etagen auszugehen. Um dies zu verifizieren und um für die erschütterungstechnische Prognose belastbare Eingangsdaten zu quantifizieren, wurden gesonderte erschütterungstechnische Messungen durchgeführt.

8.4 Erschütterungstechnische Messungen

Zwecks Ermittlung der Übertragung von Erschütterungen vom Fundament auf die oberen Etagen an der Stirnseite des Lotsengebäudes wurden am 01.06.2023 erschütterungstechnische Messungen durchgeführt. Bei der eingesetzten Messtechnik handelte es sich um zwei Erschütterungsmesssysteme MR3000C des Herstellers SYSCOM Instruments SA. Die Durchführung der Messungen erfolgte auf Grundlage der DIN 45669-1 /N7/ und DIN 45669-2 /N8/ unter Berücksichtigung von DIN 4150-3 /N6/. Als Messorte wurden ein mit dem Fundament verbundener Betonsockel direkt an der Stirnseite und der Boden der obersten Etage im aufgeständerten Bereich gewählt, um den von den Erschütterungen am stärksten betroffenen Bereich zu erfassen. Fotos der Messorte sowie Auszüge der gemessenen Zeitverläufe der Schwinggeschwindigkeiten während des Einschwingens sind in Anlage A4 zu finden.

Zur Anregung der Erschütterungen diente eine 7t-Vibrationswalze, die in einem Abstand von ca. 15 m von der Stirnseite des Gebäudes Erschütterungen mit einer Frequenz von 32 Hz in den Boden einbrachte.

Die Auswertung ergab folgende Amplituden der Schwinggeschwindigkeiten nach der Einschwingphase, bezogen auf die jeweiligen Effektivwerte („root mean square“), sowie die daraus resultierenden Übertragungsfaktoren:

1			2			3	4
Fundament: $v_{x,y,z}$ in mm/s			oberste Etage: $v_{x,y,z}$ in mm/s			Auswertung der Messungen: Übertragungs- faktor k_0	Prognose- ansatz: Übertragungs- faktor k_0
x	y	z	x	y	z		
0,097	0,179	0,343	0,102	0,160	0,222	1,1	1,5

Tabelle 9 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen

Die y-Richtung entspricht der Längsrichtung des Gebäudes, x der Querrichtung, z bezeichnet vertikale Schwingungen. Die Berechnung des Übertragungsfaktors in Spalte 3 von Tabelle 9 basiert auf dem Maximum aus den drei Raumrichtungen. Für die Prognoserechnungen wurde der konservative Wert mit Sicherheitszuschlag in Spalte 4 zugrunde gelegt.

8.5 Berechnung der Erschütterungsimmissionen

Grundlage zur Einschätzung der Erschütterungen bei Tiefgründungen stellen die Abstands-Lademengen-Beziehung für das Nahfeld sowie die Gleichung zur Beschreibung der Erschütterungsabnahme im Fernfeld dar.

Abstands-Lademengen-Beziehung gemäß /N5/ und /F19/:

$$v_1 = k \cdot \sqrt{\frac{E}{E_0}} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} \right)$$

mit:

v_1	=	Schwinggeschwindigkeitsamplitude in mm/s im Bezugsabstand R_1
k	=	Proportionalitätsfaktor in mm/s, ($k \approx 15 - 32$ für Schlagrammen, $k \approx 15 - 24$ für Vibrationsrammen /F19/)
E	=	Rammenergie in kNm
E_0	=	Bezugsenergie 1 kNm
R_1	=	Bezugsabstand in m (Übergang Nah- / Fernfeld), hier ca. λ_R /N5/
R_0	=	1 m

Gleichung für das Fernfeld gemäß /N5/

$$v = v_1 \cdot \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} \cdot \exp[-\alpha \cdot (R - R_1)]$$

mit:

v	=	Schwinggeschwindigkeitsamplitude in mm/s im Abstand R
n	=	Exponent der von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung abhängt, $n = 1$ Schlagramme, $n = 0,5$ Rüttler nach /N5/
α	=	Abklingkoeffizient, $\alpha \approx 2\pi D/\lambda$
D	=	Dämpfungsgrad, $D = 0,01$ nach /N5/
λ	=	Wellenlänge bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca. 250 m/s, /N5/, /F19/
R	=	Abstand zur Erschütterungsquelle in m

Folgende zusätzliche Eingangsdaten zur Beschreibung des Übergangs auf ein Gebäude und innerhalb dessen wurden berücksichtigt:

Parameter mit Beschreibung		Schlagramme	Rüttler
Übertragungsfaktor vom Boden vor dem Gebäude auf die Geschosdecke	k_U	2,5 ¹⁾	6,0 ¹⁾
		1,5 ²⁾	1,5 ²⁾
Faktor zur Ermittlung der Schwinggeschwindigkeitsamplitude im Boden vor dem Gebäude in x, y-Richtung	$k_{x,y}$	0,8	0,8
Faktor zur Ermittlung der Schwinggeschwindigkeitsamplitude im Boden vor dem Gebäude in z-Richtung	k_z	0,6	0,6

Tabelle 10 Übertragungsparameter

¹⁾ Weserterrassen: Literaturwert

²⁾ Lotsenbau: Ergebnis der erschütterungstechnischen Messungen

³⁾ Lotsenbau: konservative Anpassung des Literaturwertes nach Messungen

In den Berechnungen wurden, wie z. B. beim Proportionalitätsfaktor k in der Abstands-Lademengen-Beziehung oder der Verwendung unterschiedlicher Näherungsgleichungen nach /N5/, /F19/, konservative Ansätze im Sinne des Immissionsschutzes gewählt.

9 Erschütterungen: Ergebnisse

9.1 Prognostizierte Erschütterungsimmissionen

Auf Grundlage der o. g. Eingangsparameter und Berechnungsverfahren sind folgende Erschütterungsimmissionen beim Einbringen der Bohlen an den nächstgelegenen Immissionsorten IO 1-8m und IO 10-8m zu erwarten:

Arbeitsbereich	Bereich A		Bereich B		Bereich C	
	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, x, y, in mm/s	3	1	2	1	2	«1
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, z, in mm/s	2	1	2	1	1	«1
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	7	6	6	4	4	2
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	5	4	4	3	3	1

Tabelle 11 Ergebnisse der Erschütterungsprognose für IO 1-8m (Weserterrassen)

Arbeitsbereich	Bereich A		Bereich B		Bereich C	
	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, x, y, in mm/s	20	7	10	4	4	1
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, z, in mm/s	15	5	7	3	3	1
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	30	11	15	6	5	2
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	23	8	11	5	4	2

Tabelle 12 Ergebnisse der Erschütterungsprognose für IO 10-8m (Lotsengebäude)

An den übrigen Immissionsorten sowie bei zunehmendem Baufortschritt mit größerer Entfernung der Baumaschinen sind die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen geringer.

9.2 Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Gebäude

Hinsichtlich der Einwirkung kurzzeitiger Erschütterungen auf bauliche Anlagen ergeben sich aus den Berechnungsergebnissen die folgenden Bewertungen nach Tabelle 8 der DIN 4150–3 /N6/:

Arbeitsbereich	Bereich A		Bereich B		Bereich C	
	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln
Bauvorgang						
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, x, y, in mm/s	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, z, in mm/s	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung

Tabelle 13 Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude an IO 1-8m (Weserterrassen)

Aus den Berechnungen folgt, dass beim Einbringen der Bohlen die Anhaltswerte an den Weserterrassen trotz konservativer Ansätze im Sinne des Immissionsschutzes weit unterschritten werden, sodass gemäß DIN 4150–3 /N6/ Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. In jedem Fall ist darauf zu achten, dass, wie es dem Stand der Technik entspricht, die Vibrationsrammen über einen kräftefreien An- und Ablauf zur Unterdrückung von Resonanzen verfügen.

An weiter zurück liegenden Immissionsorten sind noch geringere Schwinggeschwindigkeiten zu erwarten. Alle übrigen Bautätigkeiten sind mit signifikant geringeren Erschütterungsimmissionen verbunden.

Die Erschütterungssituation am Lotsengebäude stellt sich wie folgt dar:

Arbeitsbereich	Bereich A		Bereich B		Bereich C	
	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln	Ramm- en	Rütteln
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, x, y, in mm/s	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung
Schwinggeschwindigkeits- amplitude am Fundament, z, in mm/s	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	Über- schrei- tung 3 mm/s	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung	Einhal- tung

Tabelle 14 Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude an IO 10-8m (Lotsengebäude)

Aus den Berechnungen folgt, dass die Anhaltswerte für den Fundamentbereich des Lotsengebäudes beim Einbringen der Bohlen eingehalten werden. Mit Ausnahme einer geringfügigen Überschreitung um 3 mm/s bzw. 15 % beim Rammen im vorderen Bereich A trifft dies auch auf die Anhaltswerte für die Geschossdecken zu, sodass im Ergebnis gemäß DIN 4150-3 /N6/ Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Letzteres ist aus der Tatsache abzuleiten, dass bei den Ausbreitungsrechnungen der Erschütterungen an mehreren Stellen konservative Ansätze im Sinne des Immissionsschutzes gewählt worden sind. Darüber hinaus werden bei Zunahme der Entfernung zwischen Ramme und Gebäude um 3 m und mehr im Zuge des Baufortschritts die Anhaltswerte wieder eingehalten.

Ungeachtet der Ergebnisse gilt der Hinweis auf die erforderlichen Beweissicherungsmaßnahmen. Auf die Unterdrückung von Resonanzen beim Rütteln ist generell zu achten.

10 Hydroschall

10.1 Beurteilungsgrundlagen und Hydroschallgrößen

In Bezug auf Hydroschall existiert noch kein Regelwerk mit verbindlich vorgegebenen Grenz-, Richt- oder Anhaltswerten wie bei Schall und Erschütterungen. Auch das EU-Regelwerk der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie /F21/ enthält diesbezüglich keine konkreten Vorgaben. Jedoch ist das Thema Hydroschall im Zuge des Ausbaus der Offshore-Windenergie in den vergangenen Jahren zunehmend Forschungsgegenstand geworden. Hierbei ist in erster Linie der Einfluss von Unterwasserschall auf Meeressäuger und im Speziellen auf Schweinswale in den Fokus gerückt, die sich im Einflussbereich der Baumaßnahmen zu Offshore-WEA aufhalten. Zu den Emissionsquellen mit hohen Schallleistungspegeln, die dabei weiträumig zu hohen Unterwasser-Schalldruckpegeln führen, zählt vorrangig das Einbringen großer Pfähle der Stahlfundamente, die mit hydraulischen Hämmern in den Meeresboden getrieben werden.

Die für die Gründung von Offshore-WEA erforderlichen Rammenergien liegen im Bereich bis ca. 800 kJ /F22/. Im vorliegenden Fall einer Kajerammung kommen nur bis zu 250 kJ zum Einsatz, was eine gesonderte Betrachtung erforderlich macht. Des Weiteren sind die Pfahldurchmesser im Offshore-Bereich mit bis zu 4,5 m /F22/ deutlich größer als die der Kajerammungen, was eine größere Emissionsfläche und somit einen höheren Energieeintrag in das umgebende Wasser bedeutet. An dem Punkt stehen Untersuchungen der ted GmbH im Zusammenhang mit dem einst geplanten Offshore-Terminal Bremerhaven zur Verfügung, die sowohl Prognosen als auch Hydroschallmessungen beinhalteten /F23/, /F24/. Anhand derer konnte im vorliegenden Gutachten eine praxisnahe Einschätzung der in das Wasser eingebrachten Schallenergie für den vorliegenden Fall der Kajerammung vorgenommen werden.

Hinsichtlich der Einschätzung der Auswirkung auf Meeressäuger ist die Ausweisung der benachbarten Wasserflächen als Bremisches FFH-Gebiet „Weser bei Bremerhaven“ (DE 2417-370) sowie als niedersächsisches FFH-Gebiet „Unterweser“ mit landesinterner Nummer 203, EU-Kennzahl 2316-331 zu berücksichtigen. In Abbildung 8 und Abbildung 8 sind die betreffenden Flächen farbig und die Lage des Bauprojekts mit einem roten Kreis gekennzeichnet. Der kürzeste Abstand der Bautätigkeiten zu den Grenzen des niedersächsischen

FFH-Gebietes beträgt 2 km; das Bremische FFH-Gebiet beginnt bereits auf Höhe der (ehemaligen) Molentürme bzw. jenseits des Vorhafens.

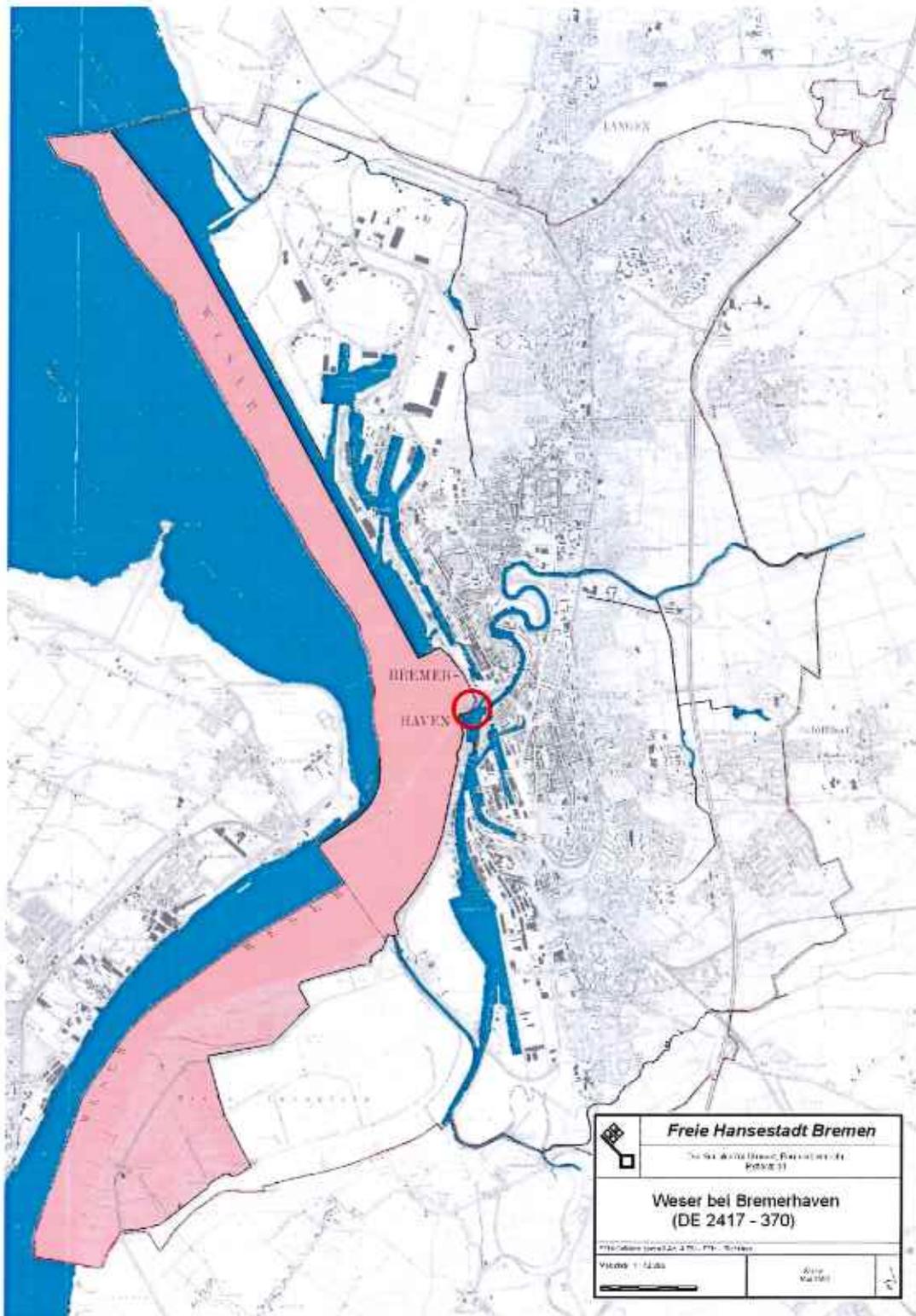


Abbildung 7 Fauna-Flora-Habitat-Gebiet „Weser bei Bremerhaven“

© Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, 2023

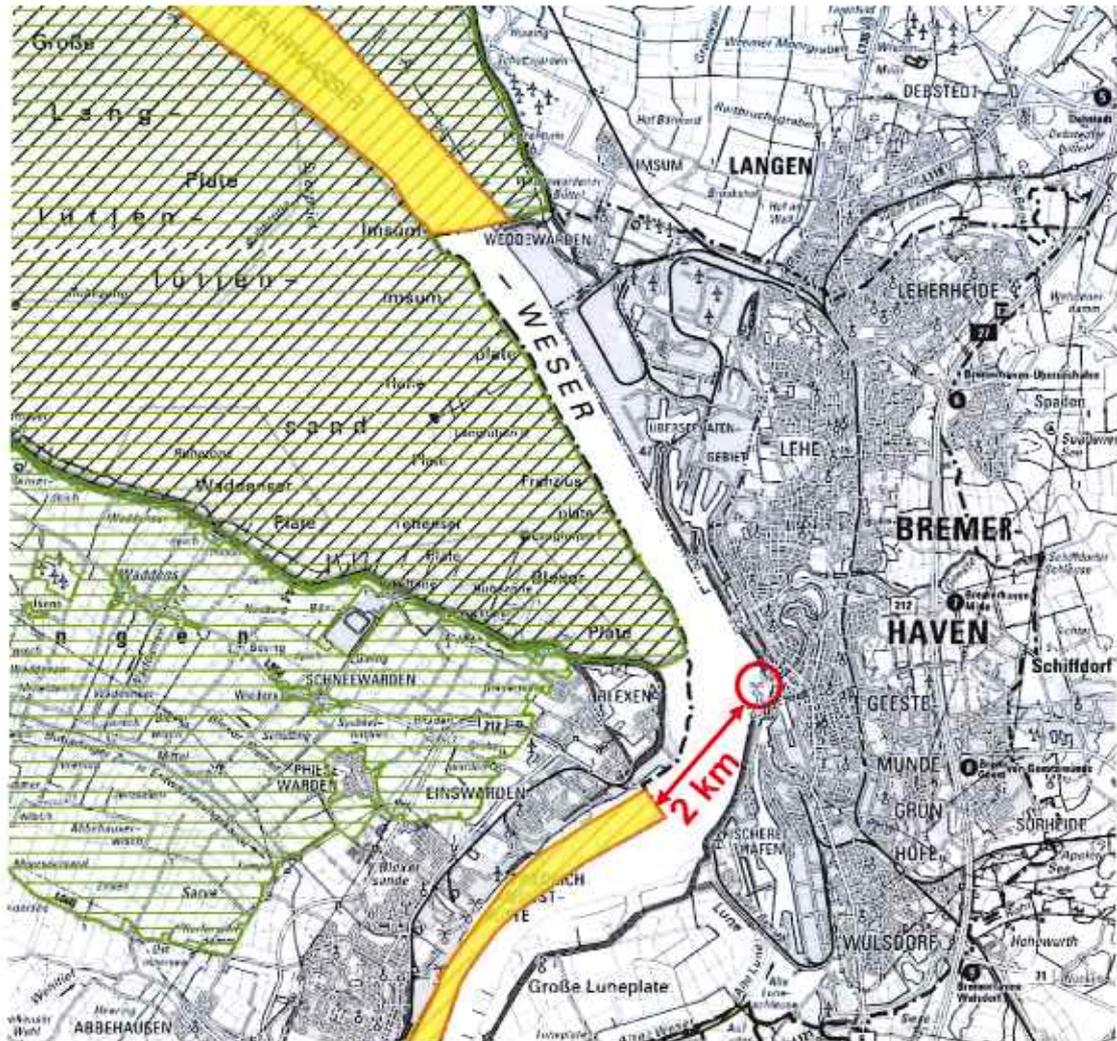


Abbildung 8 Fauna-Flora-Habitat-Gebiet „Unterweser“

© Umweltkarten Niedersachsen, 2023

Als schalltechnische Größen in der Hydroakustik, speziell im Zusammenhang mit Unterwasser-Baugeräuschen kommen vor allem der Spitzenpegel L_{peak} und der Einzelereignis-Schalldruckpegel L_E (in englischsprachiger Literatur als sound exposure level, SEL bezeichnet) zur Anwendung. L_E ist der auf eine Dauer von 1 s bezogene, energetisch äquivalente Pegel eines isolierten Schalleignisses (z. B. ein Rammschlag), der oft (nicht immer) mit der Bezugsgröße „re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ “ zur Kennzeichnung des Energieflusses des Schallimpulses angegeben wird /F25/:

$$L_E = 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right)$$

mit:

$p(t)$ = Schalldruckpegelverlauf

p_0 = $1 \mu\text{Pa}$

T_1, T_2 = Beginn und Ende des Schallereignisses

T_0 = 1 s

L_{peak} definiert sich als logarithmierter Spitzenwert des Schalldrucks p_{peak} unabhängig von dessen Vorzeichen:

$$L_{\text{peak}} = 20 \log (| p_{\text{peak}} | / p_0)$$

mit dem Bezug „re $1 \mu\text{Pa}$ “. Im Fall von Schlagrammgeräuschen sind die Spitzenschalldruckpegel typischerweise um 20 bis 30 dB höher als die SEL-Pegel /F26/, /F29/, /F30/. Mitunter wird auch, analog zum Luftschall, der äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} als Mittelungspegel angegeben, wenngleich unter Wasser ohne Frequenzbewertung und mit dem Bezugsdruck „re $1 \mu\text{Pa}$ “.

Auch wenn keine verbindlichen Grenz-, Richt- oder Anhaltswerte für Hydro-schall vorgegeben sind, empfiehlt das Umwelt-Bundesamt, dass in einer Entfernung von 750 Metern von der Schallquelle ein Einzelereignis-Schallexpositionspegel (SEL) von 160 dB und ein Spitzenschalldruckpegel ("SPL_{peak-peak}") von 190 dB nicht überschritten werden, wenn Schäden an Schweinswalen nach derzeitigem Stand des Wissens ausgeschlossen werden sollen /F27/. Weiter heißt es, Zitat /F27/: „Die Einhaltung dieser Auflagen sollte durch Messungen belegt werden. Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, dass sich im Nahbereich der Rammstelle (bis 750 m Entfernung) keine marinen Säugetiere aufhalten. Dabei kann der momentan praktizierte Einsatz von akustischen Vergrämern, und hierbei insbesondere von „Acoustic Harassment Devices“ (AHDs), die ein Breitbandsignal von über 185 dB erzeugen, nur als Interimsmaßnahme verstanden werden, bis effektiver Schallschutz verfügbar ist.“ Bezüglich der Methodik von Hydroschallmessungen ist auf eine Veröffentlichung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie zu verweisen /F31/.

Auf der anderen Seite wird in der UBA-Empfehlung /F27/ auf noch bestehenden Forschungsbedarf und auf Sicherheitsabschlüsse in den angegebenen Pegelwerten hingewiesen; in Fachkreisen wird davon ausgegangen, dass es sich um

konservative Werte aufgrund eines noch nicht abschließend gesicherten Erkenntnisstandes handelt /F26/. Mangels neuerer, belastbarer Erkenntnisse hat sich nichtsdestotrotz der Schallexpositionspegel von 160 dB als Vorsorgewert, z. B. in Genehmigungsverfahren zur Errichtung von Offshore-Windparks, etabliert, der, Zitat /F22/, „bislang weder wissenschaftlich hinsichtlich der durchaus unterschiedlichen Zielsetzungen (Schädigung, Störung) untermauert noch „entwertet“ worden“ ist.

10.2 Prognoseansätze

Als Ausgangspunkt zur Einschätzung der zu erwartenden Wasserschallimmissionen durch das Bauvorhaben dienten die Schalldruckpegel im Wasser neben oder nahe der Ramme. Diesbezüglich werden in der UBA-Empfehlung /F27/ Schalldruckpegel im Wasser direkt neben der Ramme von bis zu 235 dB re 1 μ Pa angegeben. In einer Entfernung von 15 m sind SEL-Pegel von 203 dB gemessen worden /F30/. Weiteren Literaturangaben kann ein Spitzenwert in 10 m Abstand von 205 dB re 1 μ Pa entnommen werden /F28/, /F29/.

In einem Abstand von 750 m wurde beim Bau von Offshore-Konstruktionen mit einer Energie von 800 kJ ein Schalldruckpegel L_E von 174 dB re 1 μ Pa gemessen /F26/. Dies würde nach unten dargestellter Ausbreitungsrechnung einem Pegel neben der Ramme von 217 dB entsprechen; der Spitzenwert läge entsprechend höher.

Die dargestellte Schwankungsbreite der Literaturangaben von bis zu 20 dB ist auf die komplexen Verhältnisse bei der Hydroschallentstehung und -ausbreitung bei unterschiedlichen Bedingungen wie Wassertiefe, Bodenbeschaffenheit, Salzgehalt und Temperatur zurückzuführen. Daher wurde im Rahmen des vorliegenden Gutachtens aus dem Querschnitt der zur Verfügung stehenden Daten ein Ausgangspegel bestimmt, anschließend das Prognosemodell an die Kajenrammung angepasst und am Ende mit den Hydroschallmessungen in der Weser nahe Bremerhaven /F24/ nachkalibriert.

Als mittlerer Rammpegel wurde aus dem Querschnitt der bereits zitierten Studien und Berichte ein Einzelereignis-Schalldruckpegel in unmittelbarer Nähe des Offshore-Ramppfahls von typischerweise 215 dB re 1 μ Pa abgeleitet. Zur Skalierung der Offshore-Rammung auf die Kajenrammung bezüglich der in das

Wasser eingebrachten Schallenergien wurde aus der Fachübersicht /F22/ eine Abnahme des Schalldruckpegels von ca. 5 dB bei 250 kJ Rammenergie (Kaje) gegenüber 800 kJ (Offshore) abgeleitet. Für die Skalierung der Abstrahlflächen aufgrund kleinerer, zu rammender Elemente wurde nach /F22/ eine weitere Abnahme von ca. 10 dB angenommen. Daraus ergibt sich für den Ausgangspegel im Wasser neben der Ramme an der Kaje ein Ereignis-Schalldruckpegel von 200 dB.

Für die Ausbreitungsdämpfung des Hydroschalls mit der Entfernung (TL „transmission loss“) konnte nach /F34/ zum einen die halbempirische Näherungsformel „Thiele-Formel“ /F32/ herangezogen werden, zum anderen der Logarithmus des Abstandes mit getrennten Vorfaktoren k für Nord- und Ostsee /F33/. Letzterer ließ sich nach /F26/ für den vorliegenden Fall des Nahbereiches zu $k = 15$ ansetzen. Somit standen folgende Beziehungen für die Abnahme des Schalldruckpegels TL mit der Entfernung (Ausbreitungsverlust) zur Verfügung:

$$TL = (16,07 + 0,185 \cdot F) \cdot (\log [R] + 3) + (0,174 + 0,046 \cdot F + 0,005 \cdot F^2) \cdot R$$

(Thiele-Formel)

$$TL = 15 \cdot \log [R \cdot 1000]$$

mit:

$$F = 10 \cdot \log [f / \text{kHz}]$$

$$R = \text{Entfernung in km}$$

Konservativ im Sinne des Immissionsschutzes wurde der logarithmische Ausbreitungsverlust angesetzt, da er in der Prognose zu größeren Schalldruckpegeln in der Entfernung führt. Demnach ist nach einem Kilometer von einer Abnahme des Hydroschalls um 45 dB auszugehen. Bei Verdopplung des Abstandes impliziert der Ansatz eine Pegelabnahme um jeweils 4,5 dB, was mit früheren Prognoseansätzen korreliert /F23/.

Aus den im Vorigen dargestellten Ansätzen ergeben sich in erster prognostischer Näherung folgende Schalldruckpegel mit zunehmender Entfernung von der Quelle:

Entfernung	SEL-Schalldruckpegel in dB
10	185
25	179
50	175
75	172
100	170
250	164
500	160
750	157
1000	155
1250	154
1500	152
1750	151
2000	150

Tabelle 15 Zwischenergebnis: Prognostizierte Hydroschalldruckpegel, vor messtechnischer Nachkalibrierung

Dabei sind reflektierende, absorbierende oder abschirmende Einflüsse aufgrund der Geometrie der Hafeneinfahrt und der Beschaffenheit am Boden der Wasserflächen nicht berücksichtigt und können ohne eine genaue Aufnahme des Bodenprofils auch nicht prognostisch evaluiert werden. Die angegebenen Pegel gelten für das schlagende Rammen; rüttelndes Einbringen der Pfähle ist mit schwächerem Hydroschall verbunden /F23/, /F24/.

Im Vergleich mit den Hydroschallmessungen in der Weser nahe Bremerhaven /F24/ zeigt sich, dass bei 750 m die prognostizierten Schalldruckpegel aus Tabelle 15 die auf Messung beruhenden, entsprechenden Pegel aus /F24/ um ca. 8 dB überschreiten. Um die prognostizierten Pegel den gemessenen anzunähern bzw. das Schallentstehungs- und Ausbreitungsmodell an das Untersuchungsgebiet nachzukalibrieren und dabei trotzdem eine Aussage auf der sicheren Seite zu treffen, wurde, mit dem Ansatz eines Sicherheitszuschlages von 3 dB, ein Abzug von 5 dB von den Werten in Tabelle 15 vorgenommen.

10.3 Ergebnisse

Aus den im Sinne des Immissionsschutzes konservativen Prognoseansätzen resultieren folgende, zu erwartende Hydroschalldruckpegel:

Entfernung	SEL-Schalldruckpegel in dB
10	180
25	174
50	170
75	167
100	165
250	159
500	155
750	152
1000	150
1250	149
1500	147
1750	146
2000	145

Tabelle 16 Endergebnis: Zu erwartende Hydroschalldruckpegel

Die in Tabelle 16 aufgeführten Schalldruckpegel sind bezüglich der Einwirkung auf Lebewesen gesondert zu beurteilen. Informativ wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Empfehlung des Umwelt-Bundesamtes /F27/ eines nicht zu überschreitenden Einzelereignis-Schallexpositionspegels (SEL) von 160 dB in einer Entfernung von 750 Metern eingehalten bzw. um 8 dB unterschritten wird. In Bezug auf die Empfehlung des maximalen Spitzenpegels ist ebenfalls keine Überschreitung zu erwarten, da selbst bei konservativer Addition von 30 dB zum SEL-Pegel (siehe Abschnitt 10.1) die Empfehlung von 190 dB um 8 dB unterschritten wird. Das Vibrationsrammen ist mit um ca. 5 dB geringeren SEL- und um ca. 15 dB geringeren Spitzenpegeln verbunden /F23/, /F24/.

An der Grenze zum niedersächsischen FFH-Gebiet „Unterweser“ liegen die Pegel nach Tabelle 16 um weitere 7 dB, also insgesamt 15 dB unter der Empfehlung des UBA /F27/. Bei Annäherung an die Kafenbaustelle auf weniger als

250 m kann eine Überschreitung der, in Fachkreisen als konservativ eingestuft, vom UBA empfohlenen Hydroschalldruckpegel /F27/ eintreten.

10.4 Schallschutzmaßnahmen

Parallel zur Diskussion um maximal „zulässige“ bzw. „empfohlene“ Hydroschalldruckpegel wird seit einigen Jahren intensiv an Schallminderungsmaßnahmen beim Einbringen von Gründungen geforscht. Auch wenn im geplanten Bauprojekt die ermittelten, zu erwartenden Hydroschalldruckpegel in Bezug auf die Einwirkung auf Lebewesen gesondert zu beurteilen sind, werden der Vollständigkeit halber folgende Maßnahmen genannt:

In den UBA-Empfehlungen /F27/ wird darauf hingewiesen, dass durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen ist, dass sich im Nahbereich der Rammstelle (bis 750 m Entfernung) keine marinen Säugetiere aufhalten. Dies kann durch den Einsatz von akustischen Vergrämern, und hierbei insbesondere durch „Acoustic Harassment Devices“ (AHDs), die ein Breitbandsignal von über 185 dB erzeugen, erfolgen. Hierbei handelt es sich gemäß Schutzkonzept des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit /F35/ nicht um eine Schallminderungs- sondern um eine Schallschutzmaßnahme. Ein vergleichbarer, bereits in der Praxis realisierter Ansatz mit gleicher Zielrichtung besteht darin, die Rammenergie kontinuierlich hochzufahren („soft start“), um den Vergrämungseffekt zu erzielen /F35/. Das Zeitintervall bis zum Erreichen der maximalen Rammenergie ist dabei an die Fluchtgeschwindigkeiten der zu schützenden Arten aus dem o. g. Umkreis von 250 m um die geplante Baustelle heraus anzupassen.

Als primäre Schallminderungsmaßnahme kommt der Einsatz des Vibrationsrammverfahrens in Frage /F26/; dies wäre auch mit geringeren Schallimmissionen in Bezug auf das Schutzgut Mensch verbunden (siehe Abschnitt 6). Das rüttelnde Einbringen der Pfähle ist in der Bauplanung grundsätzlich enthalten /F1/; die Steigerung des Einsatzes steht unter dem Vorbehalt, dass der Rammgrund dies zulässt. Eine sekundäre Schallminderungsmaßnahme wie z. B. der Einsatz von Blasenschleibern wäre konstruktiv an die Rammgeometrie und die Aufstellbedingungen anzupassen und kann im konkreten Fall technisch-physikalischen Restriktionen, z. B. in Bezug auf maximale Strömungsgeschwindigkeiten, unterliegen.

11 Zusammenfassung

Die ted GmbH, Apenrader Straße 11 in 27580 Bremerhaven wurde von der bremenports GmbH & Co. KG, Am Strom 2 in 27568 Bremerhaven beauftragt, eine Prognose über die baubedingten Geräusch- und Erschütterungsimmissionen durch den Neubau der Geeste-Nordmole in Bremerhaven zu erstellen. Darüber hinaus waren Aussagen zum von der Baustelle ausgehenden Hydro-schall zu treffen. Im Rahmen des Gutachtens war zu überprüfen, ob die Richtwerte der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (AVV Baulärm) /G2/ für Geräuschimmissionen, verursacht durch die anstehenden Baustellenaktivitäten, an den maßgeblichen Immissionsorten in den unterschiedlichen Bauphasen eingehalten werden können. Die Bewertung der prognostizierten Erschütterungen durch die Rammarbeiten war anhand der DIN 4150-3 /N6/ hinsichtlich der Einwirkung auf bestehende bauliche Anlagen vorzunehmen.

Die Baustelle soll als Tagesbaustelle zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr geführt werden. Zur Nachtzeit sind keine relevanten Schallemissionen zu erwarten. Prägend für die Geräuschimmissionssituation im Bauprojekt ist der Einsatz von Schlagrammen und Rüttlern zum Einbringen der Trag- und Füllbohlen. Im Rahmen der vorliegenden Prognose wurden darüber hinaus alle Baumaschinen und Bauvorgänge mit schalltechnischer Relevanz und die tagesgenaue zeitliche Überlappung von Bauaktivitäten erfasst. Unter Berücksichtigung der Schutzwürdigkeit wurden aufgrund der Nähe zur Baustelle exemplarisch die Weserterrassen und das Lotsengebäude als Immissionsorte einbezogen.

Im Ergebnis sind während des Einbringens der Bohlen an allen Immissionsorten zum Teil deutliche Überschreitungen der Richtwerte nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm /G2/ zu erwarten. Die Überschreitungen sind erwartungsgemäß am zur Quelle nächstgelegenen Gebäude der Lotsenbrüderschaft am höchsten. Weitere Überschreitungen der Immissionsrichtwerte um mehr als 5 dB werden, ebenfalls an diesem Gebäude, für die Zeiten des Abbruchs der Bestandsanlagen prognostiziert. Am Gebäude der Weserterrassen werden, abgesehen von den hohen Richtwertüberschreitungen beim Einbringen der Bohlen nur bei den Abbrucharbeiten geringfügige Überschreitungen um weniger als 5 dB zu erwarten sein. Bei den übrigen Bautätigkeiten sind die Baulärmemissionen an den Weserterrassen nicht geeignet, Richtwertüberschreitungen hervorzurufen.

Am Lotsengebäude sind abgesehen vom Einbringen der Bohlen und dem Abbruch lediglich bei einzelnen Bautätigkeiten wie z. B. der Baustelleneinrichtung / -räumung und bei Erdarbeiten, mit Ausnahme der Stirnseite, geringfügige Richtwertüberschreitungen um maximal 5 dB zu erwarten. An der Stirnseite des Lotsengebäudes können auch bei der Einrichtung / Räumung der Baustelle Überschreitungen um 10 dB auftreten. Die Gesamtdauer der Richtwertüberschreitungen liegt für den Immissionsort an der Spitze der Weserterrassen bei 221 Tagen; für die Stirnseite des Lotsengebäudes sind es 357 Tage. Den Hauptanteil daran haben die nach Bauzeitenplan des Auftraggebers über rund 200 Tage andauernden Tätigkeiten zum Einbringen der Bohlen.

Als Schallminderungsmaßnahme im Sinne der AVV Baulärm /G2/ kann der Einsatz eines Faltenbalgs vorgesehen werden, der während der Rammung das Rammgut umschließt. Die Umschließung des Rammguts bewirkt eine Pegelminderung von mindestens 6 dB. Darüber hinaus ist zu empfehlen, aktiv die Betroffenen hinsichtlich der Notwendigkeit der Baumaßnahme sowie über das Konzept mit etwaigen technischen und organisatorischen Schallschutzmaßnahmen zu informieren. Insbesondere sollte der Beginn einzelner geräuschintensiver Bauphasen rechtzeitig bekannt gegeben werden.

Zur Einschätzung der durch das Rammen hervorgerufenen Erschütterungen war deren Stärke in Abhängigkeit vom Abstand der Ramme zu quantifizieren und mögliche Auswirkungen auf bauliche Anlagen anhand der Anhaltswerte der DIN 4150-3 /N6/ einzuschätzen /F1/. Aus den Berechnungen folgt, dass die Anhaltswerte an den Weserterrassen beim Einbringen der Bohlen trotz konservativer Ansätze im Sinne des Immissionsschutzes weit unterschritten werden, sodass gemäß DIN 4150-3 /N6/ Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind.

Am Gebäude der Lotsenbrüderschaft werden die Anhaltswerte für den Fundamentbereich des Gebäudes eingehalten. Mit Ausnahme einer geringfügigen Überschreitung um 3 mm/s bzw. 15 % beim Rammen im vorderen Bereich A trifft dies auch auf die Anhaltswerte für die Geschossdecken zu, sodass im Ergebnis gemäß DIN 4150-3 /N6/ Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Letzteres ist aus der Tatsache abzuleiten, dass bei den Ausbreitungsrechnungen der Erschütterungen an mehreren Stellen konservative Ansätze im Sinne des Immissionsschutzes gewählt worden sind. Darüber hinaus werden bei Zunahme der

Entfernung zwischen Ramme und Gebäude um 3 m und mehr im Zuge des Baufortschritts die Anhaltswerte wieder eingehalten. An weiter zurück liegenden Immissionsorten sind geringere Schwinggeschwindigkeiten zu erwarten. Alle übrigen Bautätigkeiten sind mit signifikant geringeren Erschütterungsimmissionen verbunden.

Die erschütterungsbezogenen Ergebnisse gelten nur unter der Voraussetzung, dass die neben den Schlagrammen eingesetzten Vibrationsrammen über einen kräftefreien An- und Ablauf zur Unterdrückung von Resonanzen verfügen. Im Fall auftretender Beschwerden über Resonanzen in umliegenden Gebäuden sind unverzüglich Maßnahmen zur Resonanzdämpfung einzuleiten. Darüber hinaus sollten die in Fachaufsätzen angeführten Beweissicherungsmaßnahmen /F18/, /F19/ an den zu den Rammen / Rüttlern nächstgelegenen Immissionsorten tatsächlich durchgeführt werden.

In Bezug auf Hydroschall existiert noch kein Regelwerk mit verbindlich vorgegebenen Grenz-, Richt- oder Anhaltswerten wie bei Schall und Erschütterungen. Das Umwelt-Bundesamt (UBA) empfiehlt, dass in einer Entfernung von 750 Metern von der Schallquelle ein Einzelereignis-Schall-expositionspegel (SEL) von 160 dB und ein Spitzenschalldruckpegel ("SPL_{peak-peak}") von 190 dB nicht überschritten werden, wenn Schäden an Schweinswalen nach derzeitigem Stand des Wissens ausgeschlossen werden sollen /F27/. In Fachkreisen wird davon ausgegangen, dass es sich bei den Empfehlungen des UBA um konservative Werte handelt /F26/. Im geplanten Bauprojekt ist die Ausweisung der benachbarten Wasserflächen als Bremisches FFH-Gebiet „Weser bei Bremerhaven“ (DE 2417-370) sowie als niedersächsisches FFH-Gebiet „Unterweser“ mit landesinterner Nummer 203, EU-Kennzahl 2316-331 zu berücksichtigen.

Zur Berechnung des zu erwartenden Hydroschalls wurden im Rahmen des vorliegenden Gutachtens Prognoserechnungen durchgeführt, die am Ende mit Hydroschallmessungen in der Weser nahe Bremerhaven /F24/ nachkalibriert worden sind. Dabei wurde ein Sicherheitszuschlag von 3 dB einkalkuliert.

Die im Rahmen der durchgeführten Prognoserechnung ermittelten, zu erwartenden Hydroschalldruckpegel sind in Bezug auf die Einwirkung auf Lebewesen gesondert zu beurteilen. Informativ wird darauf hingewiesen, dass der empfohlene SEL-Pegel des Umwelt-Bundesamtes /F27/ von 160 dB in einer Entfernung von 750 Metern eingehalten bzw. um 8 dB unterschritten wird. In Bezug auf die

Empfehlung des maximalen Spitzenpegels ist ebenfalls keine Überschreitung zu erwarten, da selbst bei konservativer Addition von 30 dB zum SEL-Pegel die Empfehlung von 190 dB um 8 dB unterschritten wird. Das Vibrationsrammen ist mit um ca. 5 dB geringeren SEL- und um ca. 15 dB geringeren Spitzenpegeln verbunden /F23/, /F24/. An der Grenze zum niedersächsischen FFH-Gebiet „Unterweser“ liegen die Pegel um weitere 7 dB, also insgesamt 15 dB unter der Empfehlung des UBA /F27/. Bei Annäherung an die Kajenbaustelle auf weniger als 250 m kann eine Überschreitung der, in Fachkreisen als konservativ eingestuft, vom UBA empfohlenen Hydroschalldruckpegel /F27/ eintreten. Der Vollständigkeit halber sind im vorliegenden Gutachten Maßnahmen zur Minderung von Hydroschall beim Einbringen von Gründungen genannt.

Bremerhaven, 02. Februar 2024



Dipl.-Phys. Frank Dittmar

- Erstellt -



Dipl.-Ing. Daniel Haferkamp

- Fachlich verantwortlich -

12 Verwendete Gesetze, Normen, Richtlinien und Fachaufsätze

Gesetze

/G1/	BlmSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz, Fassung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1792)
/G2/	AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen, 19.08.1970
/G3/	32. BlmSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung), Fassung vom 29. August 2002 (BGBl. I S. 3478), zuletzt geändert durch Artikel 14 der Verordnung vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146)
/G4/	Richtlinie (EU)	Richtlinie 2000/14/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 08. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen
/G5/	Verordnung (EU)	Verordnung EU 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG
/G6/	Flächennutzungsplan	Flächennutzungsplan der Seestadt Bremerhaven, 03.07.2006
/G7/	Bebauungsplan	Bebauungsplan Nr. 357 „Am Alten Vorhafen“, Stadt Bremerhaven, 05.07.1999
/G8/	Bebauungsplan	Bebauungsplan Nr. 288 „Südliches Geestufer“, Stadt Bremerhaven, 05.04.1990
/G9/	Bebauungsplan	Bebauungsplan Nr. 338 „Bussestraße / An der Geeste“, Stadt Bremerhaven, 21.08.1997

/G10/	Bebauungsplan	Bebauungsplan Nr. 443 „Borriesstraße / Columbusstraße“, Stadt Bremerhaven, 26.11.2013
/G11/	Bebauungsplan	Bebauungsplan Nr. 314 „Erweiterung Deutsches Schifffahrtsmuseum“, Stadt Bremerhaven, 30.04.1993
/G12/	Juristischer Kommentar	Kommentar zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Prof. Dr. Hans D. Jarass, 5., vollständig überarbeitete Auflage, Verlag C. H. Beck München 2002

Normen

/N1/	DIN ISO 9613-2	Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, 1999-10
/N2/	ISO 17534-1	Akustik – Software für die Berechnung von Schall im Freien – Teil 1: Qualitätsanforderungen und Qualitätssicherung, 2015-05
/N3/	DIN 45687	Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen, 2006-05
/N4/	VDI 3765	Kennzeichnende Geräuschemission typischer Arbeitsabläufe auf Baustellen, 2001-12-Entwurf, zurückgezogen
/N5/	DIN 4150-1	Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, 2022-12
/N6/	DIN 4150-3	Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, 2016-12
/N7/	DIN 45669-1	Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen, 2020-06
/N8/	DIN 45669-2	Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Messverfahren, 2005-06

Fachaufsätze

- /F1/ Scoping-Unterlage Neubau der Geeste-Nordmole, Arbeitsfassung, bremenports GmbH & Co. KG, Stand 08/2022
- /F2/ Heft 89 Parkplatzlärmstudie, 6. überarbeitete Auflage Bayerisches Landesamt für Umwelt, 08/2007
- /F3/ Heft 2 Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2004
- /F4/ Heft 247 Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen, Hessische Landesanstalt für Umwelt, 1998
- /F5/ RLS-19 Richtlinie für Lärmschutz an Straßen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2019
- /F6/ Messbericht „Lärmmessungen an Baggerschiffen“, Masuch + Olbrisch Ingenieurgesellschaft für das Bauwesen mbH, 25.03.1994
- /F7/ Fachhinweise „Hinweise für die Berücksichtigung des Faktors „lärmintensive Baugeräte“ im Rahmen von Planfeststellungsverfahren beim Wasserbau“, Bundesanstalt für Gewässerkunde, 09/2002
- /F8/ „Begleitende schalltechnische Messungen bei Proberammungen im Bereich der Kaiserschleuse in Bremerhaven und schalltechnische Optimierung der anstehenden Arbeitsabläufe während der geplanten Neubauphase“, ted GmbH, Projekt Nr. 05.130-5, 28.03.2006
- /F9/ „Begleitende schall- und schwingungstechnische Messungen während der Proberammungen in zwei Probefeldern für den Offshore Terminal Bremerhaven“, ted GmbH, Projekt Nr. 13.076-5, 23.01.2014
- /F10/ „Prognose über die baubedingten Geräuschemissionen im Rahmen der Ertüchtigung der Hochwasserschutzanlagen auf der Columbusinsel im Überseehafengebiet in Bremerhaven“, ted GmbH, Projekt Nr. 16.070-5, 02.09.2016
- /F11/ „Neubau der Columbuskaje im stadtbremischen Überseehafengebiet in Bremerhaven-Prognose über baubedingte Geräuschemissionen-“, ted GmbH, Projekt Nr. 20190094/2, 30.06.2020

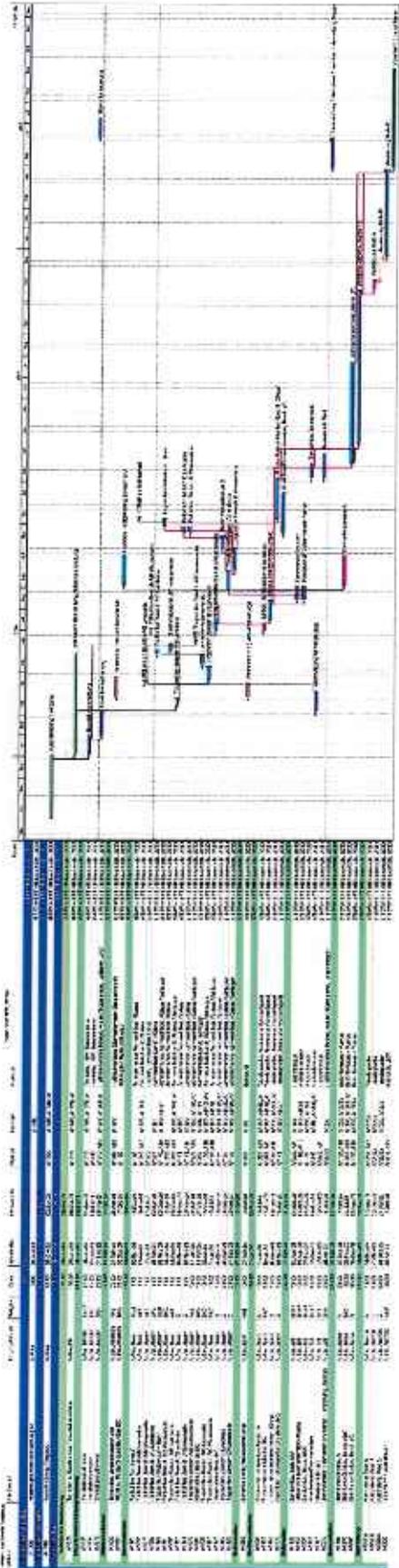
- /F12/ „Ertüchtigung der nordöstlichen Ufereinfassung im Bremer Kalihafen -Prognose der baubedingten Schallimmissionen-“, ted GmbH, Projekt Nr. 20220103/1, 11.01.2023
- /F13/ „Neubau der Kaje 82 im Fischereihafen II in Bremerhaven -Prognose der baubedingten Geräuschimmissionen-“, ted GmbH, Projekt Nr. 20200080, 29.07.2020
- /F14/ „Neubau der Kaje 82 im Fischereihafen II in Bremerhaven -Prognose der baubedingten Erschütterungen-“, ted GmbH, Projekt Nr. 20200070, 31.07.2020
- /F15/ Grundbau Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 7. Auflage, Karl Josef Witt, 2008
- /F16/ Grundbau Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Karl Josef Witt, 2009
- /F17/ Grundbau Taschenbuch, Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke, 7. Auflage, Karl Josef Witt, 2009
- /F18/ „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Vermeidung von Erschütterungsimmissionen“, Länderausschuss für Immissionsschutz, März 2018
- /F19/ „Prognosen für das Fernfeld – Ein praktischer Leitfaden hilft den Ingenieuren bei Erschütterungsproblemen“, Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, 2006
- /F20/ „Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen“, Berichtsheft 20 der Informationsreihe des Instituts für Bauforschung e. V., Hannover, Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, 2005
- /F21/ 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)
- /F22/ „Darstellung und Bewertung der Auswirkungen von Schallemissionen durch Offshore-Rammarbeiten auf Meeressäuger“, BioConsult SH GmbH & Co.KG im Auftrag des Offshore Forum Windenergie, Dezember 2011
- /F23/ „Schalltechnische Untersuchungen im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für den geplanten Offshore-Terminal Bremerhaven - Betrachtungen für angrenzende naturnahe Flächen -“, ted GmbH, Projekt Nr. 11.087-5/3, 14.09.2012

- /F24/ „Begleitende Hydroschallmessungen während der Proberammungen in zwei Probefeldern für den Offshore-Terminal Bremerhaven“, ted GmbH, Projekt Nr. 13.077-5, 03.03.2014
- /F25/ „Minderung des Unterwasserschalls bei Rammarbeiten für Offshore-WEA – Praktische Erprobung verschiedener Verfahren unter Offshore-Bedingungen“, Umweltforschungsplan des BMUV, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 53 113, im Auftrag des UBA, Oktober 2006
- /F26/ „Schallimmissionen und Schallschutz beim Rammen des Monopiles FINO3“, W. J. Gerasch, Institut für Statik und Dynamik der Leibniz Universität Hannover, zusammenfassende Darstellung in Vortragsfolien
- /F27/ „Empfehlung von Lärmschutzwerten bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA)“, Information Unterwasserlärm, Umwelt-Bundesamt, Mai 2011
- /F28/ „Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallemissionen von Offshore-Windenergieanlagen: SCHALL 2“, Abschlussbericht zum BMU-Forschungsvorhaben 0329947, Institut für Statik und Dynamik, Leibniz Universität Hannover, März 2007
- /F29/ „Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydro-acoustic Effects of Pile Driving on Fish“, ICF Jones & Stokes and Illingworth and Rodkin, Inc for California Department of Transportation, February 2009
- /F30/ „Untersuchung und Erprobung von Hydro-Schall-Dämpfern (HSD) zur Minderung von Unterwasserschall bei Rammarbeiten für Gründungen von OWEA“, Abschlussbericht, Förderkennzeichen 0325365, Technische Universität Braunschweig, September 2015
- /F31/ „Offshore-Windparks – Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen“, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg, Oktober 2011
- /F32/ Standardwerte zur Ausbreitungsdämpfung in der Nordsee, R. Thiele, G. Schellstede, FWG-Bericht, Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik, 1980-7
- /F33/ Prognose des Unterwassergeräusches beim Bau und Betrieb des Offshore-Windparks Borkum-West („alpha ventus“) und Messungen des Hintergrundgeräusches im Planungsgebiet, K. Betke, M. Schultze-von Glahn, 2008
- /F34/ „Modellierung von ramminduzierter Schallausbreitung in Wasser und Boden“, Katja Reimann, Jürgen Grabe, Institut für Geotechnik und Baubetrieb, TU Hamburg-Harburg, DAGA 2012 – Darmstadt

/F35/ „Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee“, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Die zitierten und verwendeten Gesetze, Normen, Richtlinien und Fachaufsätze wurden jeweils in ihrer letzten gültigen Fassung zur Bearbeitung herangezogen.

Anlage A1
Planmaterial des Auftraggebers



Rahmenterminplan 10.03.2023, Gesamtansicht

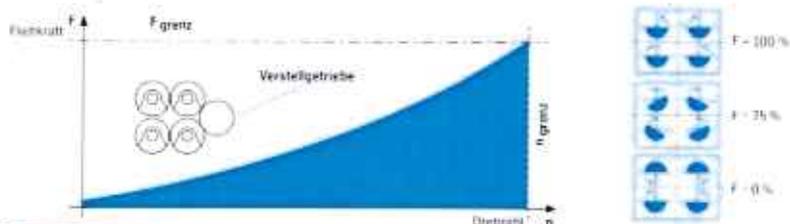
Aktivitäts-ID	Aktivitätsname	Dauer d.h. Gerätevorhaltung und -betrieb [d]	Dauer nur Gerätebetrieb [d]	Ressourcenname / Gerät	Einsatz Gerätevorhaltung und -betrieb [h/d]	Ø Einsatz tgl. Gerätebetrieb [h/d]
A1030	Baustelleneinrichtung			Radlader	8	4
A1030	Baustelleneinrichtung	20	10	Teleskoplader	8	8
A1030	Baustelleneinrichtung			LKW	8	4
A1040	Strandbadaufhöhung			Hydraulikbagger	8	8
A1040	Strandbadaufhöhung			Raupe	8	8
A1040	Strandbadaufhöhung	25	25	Walze / Rüttelplatte	8	8
A1040	Strandbadaufhöhung			Radlader	8	8
A1040	Strandbadaufhöhung			LKW	8	8
A1250	Baustelleneinrichtung			Radlader	8	4
A1250	Baustelleneinrichtung	20	10	LKW	8	6
A1250	Baustelleneinrichtung			Teleskoplader	8	4
A1060	Füllbohlen Bereich A/B			Hydraulikbagger	8	8
A1060	Füllbohlen Bereich A/B	20	20	Stemmhammer	8	8
A1060	Füllbohlen Bereich A/B			Großbohrgerät	8	8
A1061	Rückbau Restgründung Bereich B/C			Seilbagger	8	8
A1061	Rückbau Restgründung Bereich B/C	30	30	Hydraulikbagger	8	8
A1050	Tragbohlen Bereich A/B Landseite			Rammenheit (Land)	8	8
A1050	Tragbohlen Bereich A/B Landseite	9	9	Rütteln / Schlagen	8	4
A1051	Füllbohlen Bereich A/B Landseite			Rammenheit (Land)	8	8
A1051	Füllbohlen Bereich A/B Landseite	3	3	Rütteln	8	6
A1070	Tragbohlen Bereich A/B Wasserseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1070	Tragbohlen Bereich A/B Wasserseite	10	10	Hütteln / Schlagen	8	4
A1071	Füllbohlen Bereich A/B Wasserseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1071	Füllbohlen Bereich A/B Wasserseite	4	4	Rütteln	8	6
A1090	Tragbohlen Bereich B/C Landseite			Rammenheit (Land)	8	8
A1090	Tragbohlen Bereich B/C Landseite	13	13	Rütteln / Schlagen	8	4
A1091	Rammfähle Bereich B/C			Rammenheit (Land)	8	8
A1091	Rammfähle Bereich B/C	10	10	Schlagen	8	4
A1092	Füllbohlen Bereich B/C Landseite			Rammenheit (Land)	8	8
A1092	Füllbohlen Bereich B/C Landseite	5	5	Hütteln	8	6
A1110	Tragbohlen Bereich B/C Wasserseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1110	Tragbohlen Bereich B/C Wasserseite	13	13	Rütteln / Schlagen	8	4
A1111	Füllbohlen Bereich B/C Wasserseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1111	Füllbohlen Bereich B/C Wasserseite	7	7	Rütteln	8	6
A1160	Tragbohlen Bereich C Landseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1160	Tragbohlen Bereich C Landseite	21	21	Rütteln / Schlagen	8	4
A1161	Füllbohlen Bereich C Landseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1161	Füllbohlen Bereich C Landseite	9	9	Rütteln	8	6
A1170	Tragbohlen Bereich C Wasserseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1170	Tragbohlen Bereich C Wasserseite	21	21	Rütteln / Schlagen	8	4
A1171	Rammfähle Bereich C			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1171	Rammfähle Bereich C	13	13	Schlagen	8	4
A1172	Füllbohlen Bereich C Wasserseite			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1172	Füllbohlen Bereich C Wasserseite	9	9	Rütteln	8	6
A1180	Tragbohlen Molenkopf + Rohr			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1180	Tragbohlen Molenkopf + Rohr	7	7	Rütteln / Schlagen	8	4
A1181	Füllbohlen Molenkopf			Schwimmende Rammeinheit	8	8
A1181	Füllbohlen Molenkopf	2	2	Rütteln	8	6
A1260	Schöpfähle A/B (Rückverankerung)			Bohrgerät	8	6
A1080	Einbau Hitzekollektoren Bereich A			Teleskoplader	8	2
A1080	Einbau Hitzekollektoren Bereich A	10	10	Brenn- und Schweißgerät	8	8
A1120	Einbau Horizontalanker B/C			Teleskoplader	8	2
A1120	Einbau Horizontalanker B/C	20	20	Brenn- und Schweißgerät	8	8
A1190	Einbau Horizontalanker Bereich C/Kopf			Teleskoplader	8	2
A1190	Einbau Horizontalanker Bereich C/Kopf	40	40	Brenn- und Schweißgerät	8	8
A1270	Ausrüstung Rückverankerung Bereich C			Teleskoplader	8	2
A1270	Ausrüstung Rückverankerung Bereich C	40	40	Brenn- und Schweißgerät	8	8
A1100	Arbeitsbereich Rammarbeiten			Hydraulikbagger	8	8
A1130	Sandeinbau Mole A/B			Hopperbagger	8	8
A1150	Nassauhub Schwimmwelle Pantan			Hydraulikbagger	8	8
A1151	Nassauhub Rest			Hopperbagger	8	8
A1200	Sandeinbau Bereich B/C			Hopperbagger	8	8
A1240	Bodenauftrag / Hermetisieren Strandbad / Herstellung Badelagune			Hydraulikbagger	8	8
A1240	Bodenauftrag / Hermetisieren Strandbad / Herstellung Badelagune			Raupe	8	8
A1240	Bodenauftrag / Hermetisieren Strandbad / Herstellung Badelagune	30	30	Walze / Rüttelplatte	8	8
A1240	Bodenauftrag / Hermetisieren Strandbad / Herstellung Badelagune			Hopperbagger	8	8
A1140	Schichtaufbau A			Betonfahrzeug / Pumpe	8	6
A1210	Stahlbetondeckbau Bereich B/C			Betonfahrzeug / Pumpe	8	6
A1280	Schichtaufbau Bereich C			Betonfahrzeug / Pumpe	8	6
A1220a	Ausrüstung Mole A			Teleskoplader	8	4
A1220b	Ausrüstung Mole B			Teleskoplader	8	4
A1220c	Ausrüstung Mole C			Teleskoplader	8	4
A1230	Molenturm / Laufblauer			Radlader	8	8
A1230	Molenturm / Laufblauer	100	80	LKW	8	4

Geräteinsatz – Anlage zum Rahmenterminplan, 10.03.2023

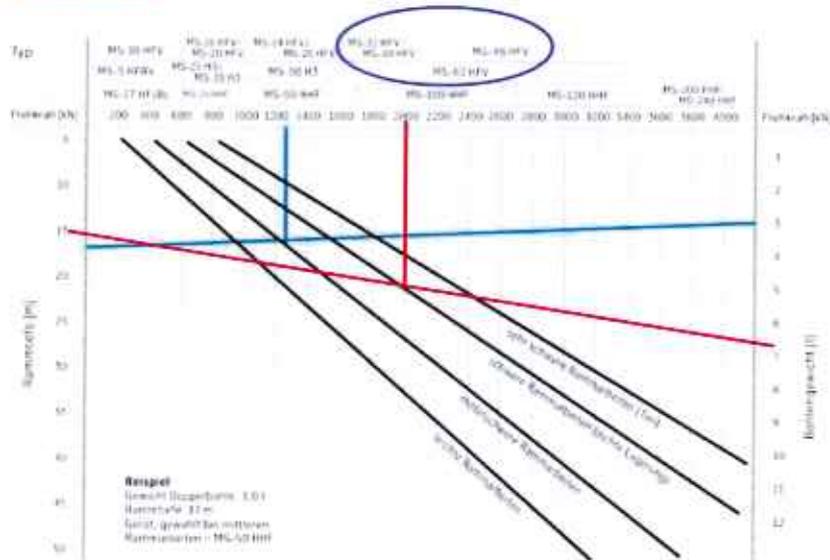
müller Vibratoren HFV-Serie

Technische Daten													
Typ		MS-10 HFV	MS-12 HFV	MS-16 HFV	MS-20 HFV	MS-25 HFV	MS-30 HFV	MS-35 HFV	MS-40 HFV	MS-45 HFV	MS-50 HFV	MS-60 HFV	
Fliehkraft	F (max.)	kN	810	710	1010	1.270	1.460	1.473	2.083	2.588	2.880	2.990	
Schleiss-Moment	M (max.)	kgm	0.30	0.17,3	0.16	0.19,5	0.24	0.24	0.32	0.39,2	0.48	0.62	
Drehzahl	n (max.)	min ⁻¹	2.318	2.545	2.370	2.450	2.550	2.700	2.570	2.100	2.350	2.100	
Freiquelle	F (max.)	W	58,3	59,0	79,5	89,0	102	98,5	99,6	85,0	94,0	87,0	
Zugkraft	F (Zug (max.))	kN	100	200	300	300	400	500	600	600	600	600	
Gewicht dynamisch	ohne Spannschraube	kg	1.700	1.750	2.515	2.530	2.900	3.120	4.870	5.000	6.570	6.805	
Gewicht statisch	mit Spannschraube	N	2.500	2.550	3.530	3.600	4.000	4.220	7.250	7.610	9.700	11.165	
Schwingweite	ohne Spannschraube	mm	11,8	14,1	17,5	15,4	16,5	18,0	13,2	15,5	14,1	10,2	
Leistungsbedarf	P (max.)	kW	147 / 203	229 / 207 / 402	415	401 / 551	428 / 514	570 / 683	630 / 756	682 / 823	100 / 720	100 / 720	
Schleissstrom	Q Motor (max.)	l/min	253 / 248	333	503 / 693	500	651 / 845	751 / 880	1.045 / 1.175	1.030 / 1.236	1.170 / 1.412	1.480 / 1.760	
Druck	p (max.)	bar	350	350	350	350	370	370	350	350	350	350	
Abmessungen	Länge L	mm	1.635	1.635	2.000	2.000	2.300	2.300	2.571	2.657	2.371	2.371	
	Breite B	mm	252	252	310	310	395	395	400	426	426	426	
	Höhe H	mm	1.500	1.500	2.500	2.000	2.246	2.240	2.455	2.807	2.575	2.575	
	Tiefe T	mm	130	250	300	310	451	451	545	457	660	660	
Typ. Antriebsgerät	Typ	MS-A	100 / 200	250 / 200 / 200	400	400 / 515	400 / 515	570 / 700	100 / 100	100 / 100	100 / 100	1.150 / 1.000	
	Typ	MS-A	250	420	570	570	570	570	570	570	570	570	
Erstpreisunterkunft	Typ	MS-D	37	80 / 100	150 A	110 A	100 A	100 A	250 A	250 A	360 A	300 A	
Doppelanwendung	Typ	MS-D	2 x 54	2 x 54	2 x 90	2 x 90	2 x 90	2 x 90	2 x 150 C	2 x 150 C	2 x 180 C	2 x 180 C	

Variables statisches Moment



Geräteauswahlhilfe

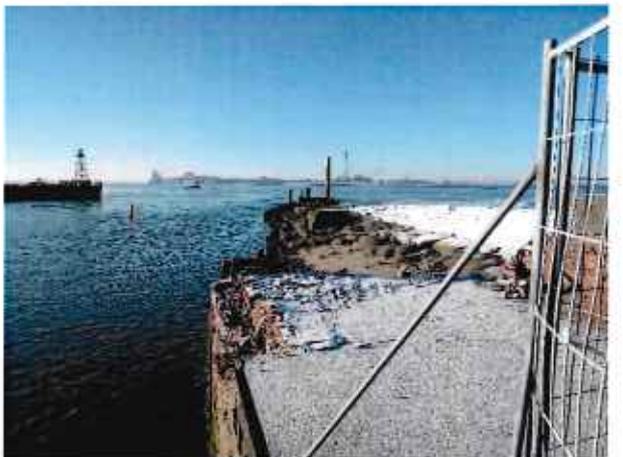


Beispiel
 Gewicht Baugruppe: 3.0 t
 Baugruppe: 12 m
 Sand, gewöhnlich mittleren
 Rammverhalten - MS-50 HFV

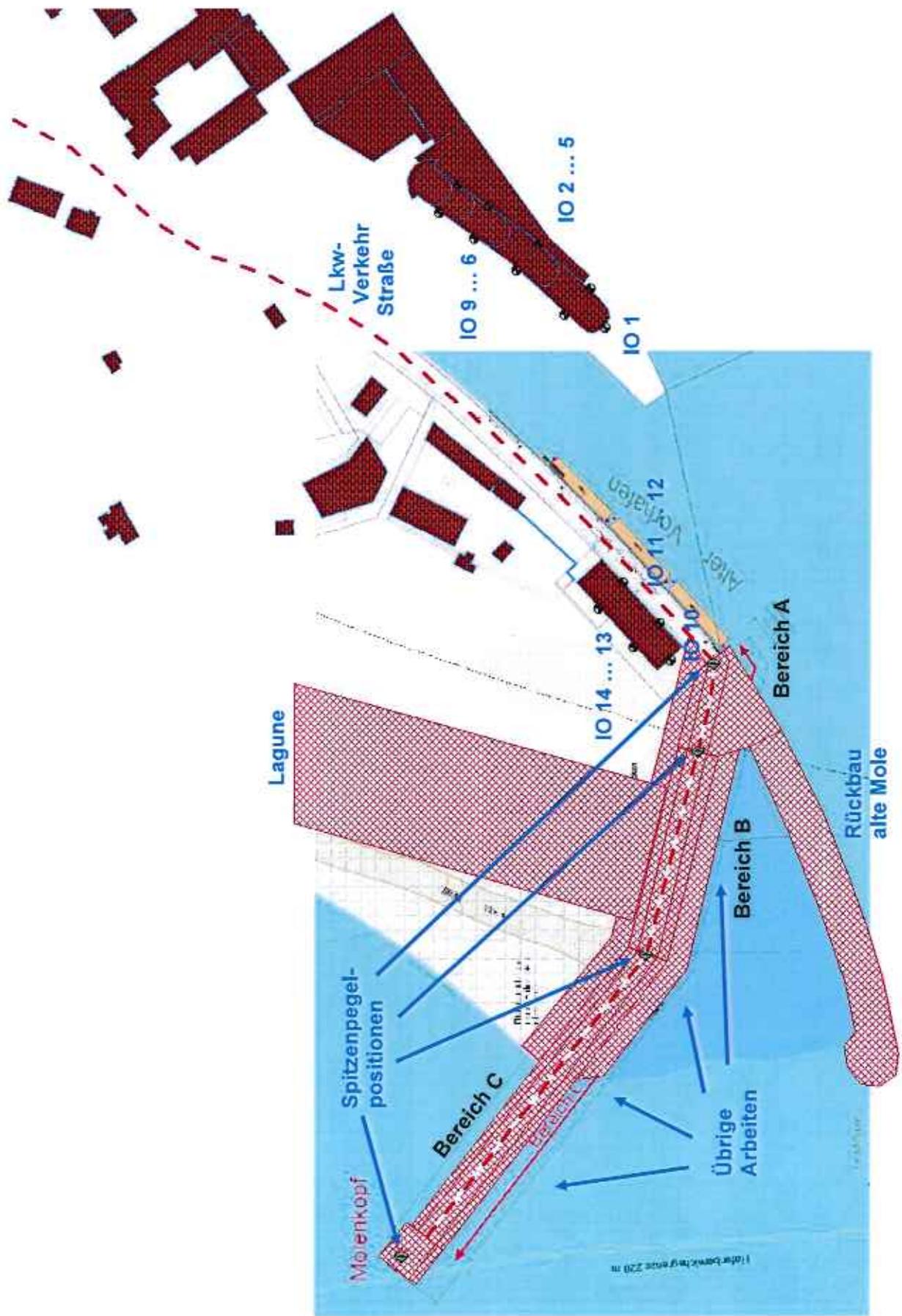
Nordmole (aktueller Stand der Planung)
 Gewicht Tragrohr 1016x12; L = 21,60m → 6,7 t
 Rammtiefe: GOK +3m NHH; LK -1,7m NHH, 70m abzüglich obersten 5m Sediment → 15m
 Annahme: schwere Rammung aufgrund mitteldichter und dichter Lagerung des Sandes

Datenblatt Rüttler und Geräteauswahl

Anlage A2
Fotodokumentation



Anlage A3
Schalltechnisches Modell mit Quellen und Immissionsorten



Anlage A4
Erschütterungsmessungen



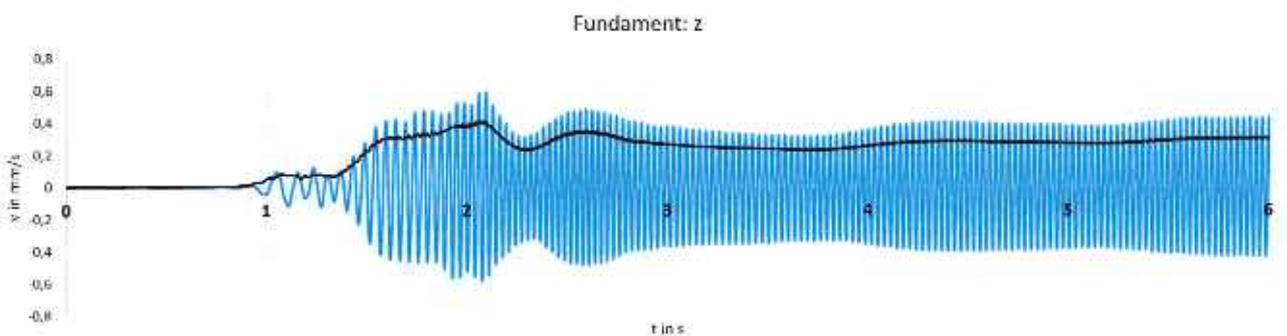
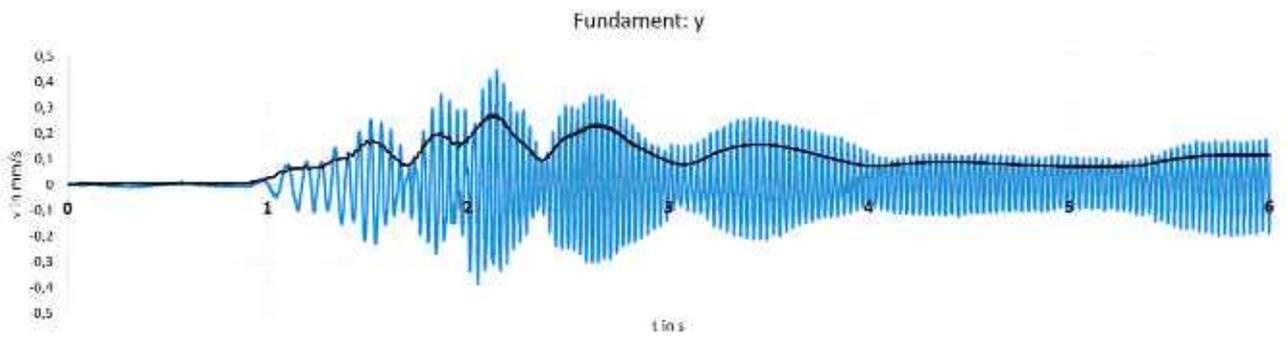
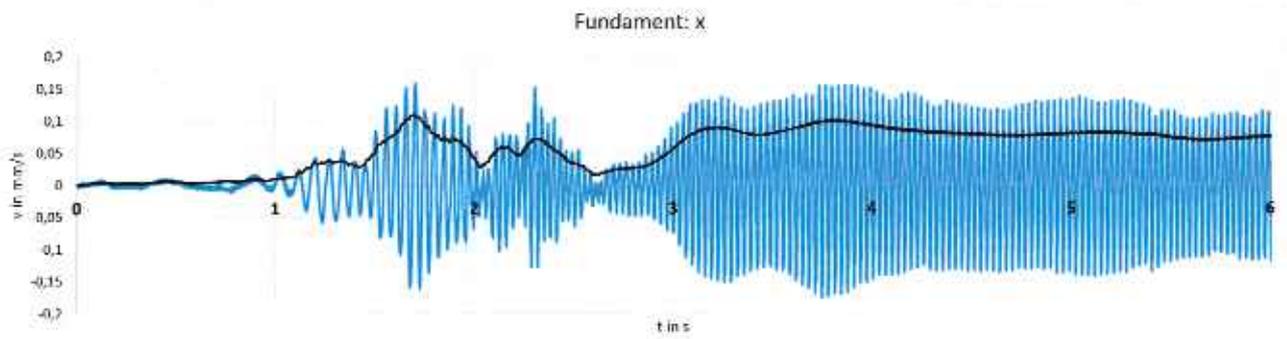
Messort Fundament

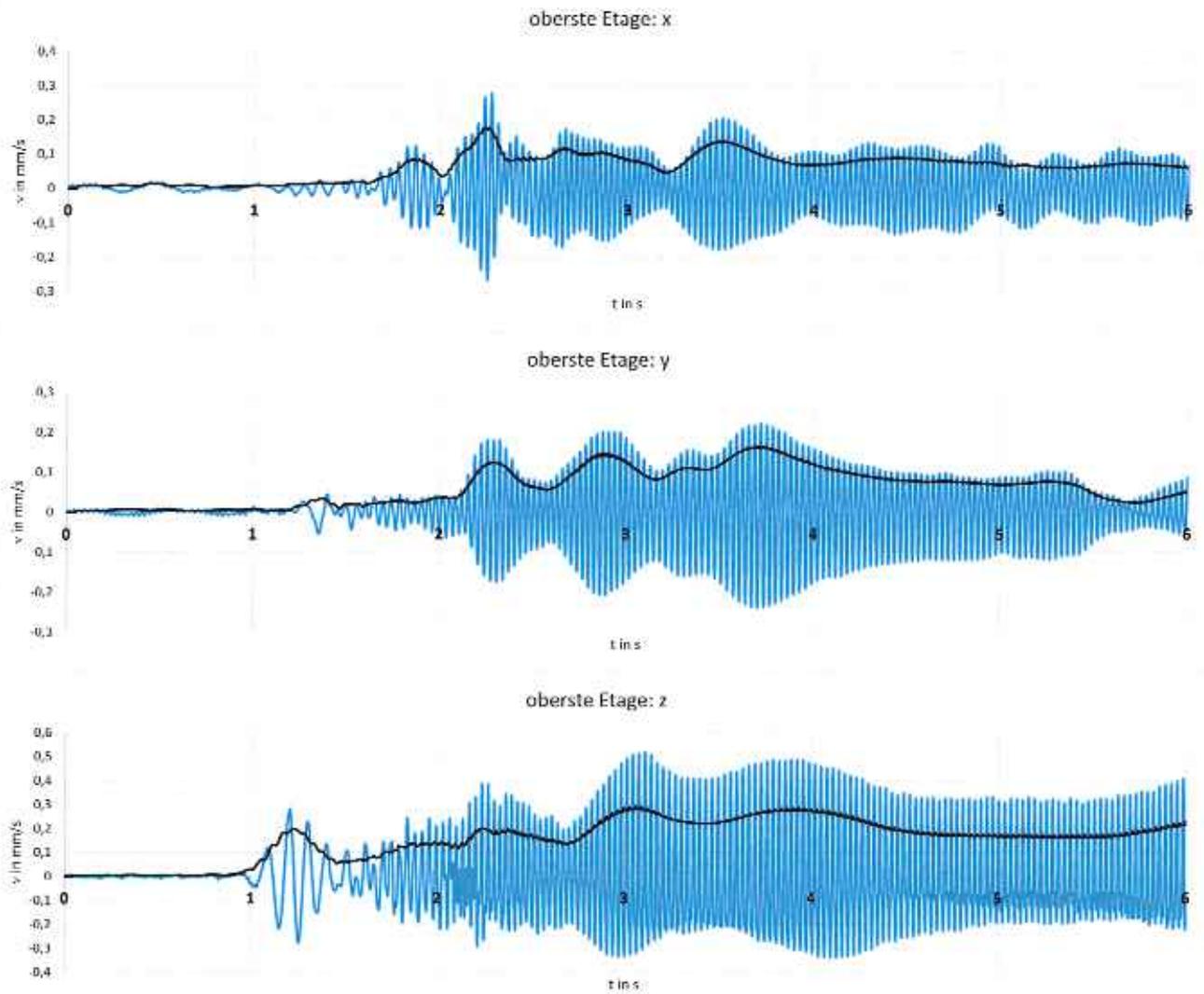


Messort oberste Etage



Erschütterungsquelle





Messschriebe während des Einschwingens nach dem Einschalten der Walze

Anlage A5
Berechnungsergebnisse Schall

01-2	01-3	01-4	01-5	01-6	01-7	01-8	01-9	01-10	01-11	01-12	01-13	01-14	01-15	01-16	01-17	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-30	01-31	01-32	01-33	01-34	01-35	01-36	01-37	01-38	01-39	01-40	01-41	01-42	01-43	01-44	01-45	01-46	01-47	01-48	01-49	01-50	01-51	01-52	01-53	01-54	01-55	01-56	01-57	01-58	01-59	01-60	01-61	01-62	01-63	01-64	01-65	01-66	01-67	01-68	01-69	01-70	01-71	01-72	01-73	01-74	01-75	01-76	01-77	01-78	01-79	01-80	01-81	01-82	01-83	01-84	01-85	01-86	01-87	01-88	01-89	01-90	01-91	01-92	01-93	01-94	01-95	01-96	01-97	01-98	01-99	01-100	
01-001	01-002	01-003	01-004	01-005	01-006	01-007	01-008	01-009	01-010	01-011	01-012	01-013	01-014	01-015	01-016	01-017	01-018	01-019	01-020	01-021	01-022	01-023	01-024	01-025	01-026	01-027	01-028	01-029	01-030	01-031	01-032	01-033	01-034	01-035	01-036	01-037	01-038	01-039	01-040	01-041	01-042	01-043	01-044	01-045	01-046	01-047	01-048	01-049	01-050	01-051	01-052	01-053	01-054	01-055	01-056	01-057	01-058	01-059	01-060	01-061	01-062	01-063	01-064	01-065	01-066	01-067	01-068	01-069	01-070	01-071	01-072	01-073	01-074	01-075	01-076	01-077	01-078	01-079	01-080	01-081	01-082	01-083	01-084	01-085	01-086	01-087	01-088	01-089	01-090	01-091	01-092	01-093	01-094	01-095	01-096	01-097	01-098	01-099	01-100

Kilometer	Wegstrecke										Wegstrecke										Wegstrecke																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000