

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Niederlassung Hamburg
Bramfelder Str. 110b
22305 Hamburg

Telefon +49(40)692145 0
Telefax +49(40)692145 11

www.MuellerBBM.de

Dipl.-Ing. Carsten Worms
Telefon +49(40)692145 167
Carsten.Worms@mbbm.com

24. Februar 2023
M172921/05 Version 1 WOR/DNI

Tree Energy Solutions GmbH

Errichtung und Betrieb einer FSRU am Standort Wilhelmshaven

Zuarbeit zur naturschutzfachlichen Beurteilung – Wasserschall

Bericht Nr. M172921/05

Auftraggeber:	Tree Energy Solutions GmbH Emsstraße 20 26382 Wilhelmshaven
Bearbeitet von:	M. Sc. Ramona Eigenmann Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Michael Grabow Dipl.-Ing. Carsten Worms
Berichtsumfang:	Insgesamt 23 Seiten, davon 11 Seiten Textteil und 12 Seiten Anhang.

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Niederlassung Hamburg
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabe	3
2	Unterlagen	4
3	Kurzbeschreibung der geplanten Baustellen und zu untersuchende Lastfälle	5
3.1	Position Baufeld	5
4	Auswahl relevanter Schallemittenten	6
4.1	Relevante Geräuscherzeuger und Emissionsbereiche in Betriebsphase I	6
4.2	Relevanter Geräuscherzeuger und Emissionsbereiche in Betriebsphase II	7
4.3	Grundsätzliche Annahmen zur Schallausbreitung	8
5	Berechnungsgrundlagen	9
5.1	Körperschalltransmission	9
5.2	Fluidschalltransmission	9
5.3	Schallausbreitung im Wasser	9
6	Ergebnisse der Wasserschallprognose	10

Anhang: Berechnungsansätze und Ergebnisse

1 Situation und Aufgabe

Die Tree Energy Solutions GmbH (TES) beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb eines LNG-FSRU-Anlegers vor dem TES-Grundstück (Voslapper Groden Süd) am Westufer in der Jademündung im Hafengebiet von Wilhelmshaven zur Regasifizierung von seeseitig angeliefertem Flüssigerdgas (LNG = Liquefied Natural Gas; FSRU = Floating Storage and Regasification Unit). Der Anleger wird an das europäische Kerngasnetz angeschlossen.

Die FSRU des Anlegers soll über eine geplante LNG-Speicherkapazität von rund 138.000 Kubikmetern verfügen. Betreiber des Anlegers wird die FSRU Wilhelmshafen GmbH, eine Tochtergesellschaft des TES. Die FSRU soll für die nächsten fünf Jahre an der neuen Anlegestelle (bestehend aus Dalben) festgemacht werden und das LNG über LNG-Tanker aufnehmen.

Der neue Anleger für die FSRU soll aus Anlege- und Verankerungs-Dalben gebaut werden. Diese werden mit Plattformen ausgestattet, welche über Brücken miteinander verbunden werden. Der aktuelle Entwurf der Anlegestelle bevorzugt eine Monopile-Lösung für alle Anlege- und Verankerungs-Dalben. Der Pfahldurchmesser wird in dieser Entwurfsphase mit 4,5 m angesetzt. Das LNG wird über eine Pipeline auf dem Meeresboden an die Landstation gefördert.

Für den geplanten Betrieb der FSRU ist u. a. ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren erforderlich. Entsprechend sollen in diesem Zusammenhang sowohl die während der Bauphase als auch die beim Betrieb des LNG-FSRU-Anlegers zu erwartenden Schallimmissionen gutachterlich prognostiziert werden.

Die Gutachten teilen sich in unterschiedliche Fachgebiete (Luftschall- und Wasserschallimmissionen) auf. In diesem Bericht werden die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt (z. B. Säugetiere) hinsichtlich des Unterwasserschalls während der Bautätigkeiten untersucht.

2 Unterlagen

- [1] EXCELSIOR 138K FSRU Information, Stand: 13.03.2022, EXCELERATE/ TES.
- [2] General Arrangement Excelsior (DSME 2208), Stand: 07.12.2004, DSME/ TES.
- [3] Excelsior – Equipment List (2), Stand: 15.12.2022, DSME/ TES.
- [4] TES-WHV-VGN-PM-LST-1030.01 Excelsior list of machines during operation_V5_(EE Responses), Stand: 03.01.2023, TES.
- [5] Excelsior list of machines during operation_plus_documents_V6_4, Stand: 15.101.2023, TES.
- [6] FSRU main equipment's locations, Stand: 08.12.2022, TES.
- [7] FCRU_Positions_01022023_V3, Stand: 02.01.2023, TES.
- [8] 2208DA106M001 – Engine Room Arrangement, Stand: 17.07.2002, DSME/ TES.
- [9] WHV_FSRU_Total injection and CI injection Calculation, Stand: 21.12.2022, TES.
- [10] TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2000.00 Basis of Design Report, Stand: 17.11.2022, TES.
- [11] TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2001.00 Explanatory Report, Stand: 13.11.2022, TES.
- [12] TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2002.00 Preliminary Building Description, Stand: 13.11.2022, TES.
- [13] TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2019.01 Ship Navigation Study, Stand: 09.12.2022, TES.
- [14] TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2020.00 Noise Assessment Report, Stand: 15.11.2022, TES.
- [15] TES-WHV-VGN_OJT_MATU1_DRW_PLT_PLA-GIP_2023_01_27_R00_FI_Jetty_SKN_FSRU_C.
- [16] TES-WHV-VGN_OJT_MATU1_DRW_PLT_PLA-GIP_2023_01_27_R00_FI_Lage_Jetty_Option1.
- [17] Christian Audoly: AQUO Achieve QUIeter Oceans by shipping noise footprint reduction FP7 – Collaborative Project n° 314227 /WP2: Noise Sources Task T2.1 Ship Underwater Radiated Noise Patterns, 01.06.2015.
- [18] DNVGL-RU-SHIP-Silent Class, Stand:2017.
- [19] Homm A., Müller A., Nejedl V., Schulze R., Zerbs C. (2018) Lärmbekämpfung auf Schiffen und in See. In: Müller G., Möser M. (eds) Taschenbuch der Technischen Akustik. Springer Reference Technik. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- [20] Von Thiele und Schellenstede (1980, Standardwerte zur Ausbreitungsdämpfung in der Nordsee. FWGBericht 1980-7, Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik).

- [21] Urick, R. J.: Principles of Underwater Sound, 3. Aufl. McGraw-Hill, New York (1983).
- [22] Southall B L, Finneran J J, Reichmuth C, Nachtigall P E, Ketten D R, Bowles A E, Ellison W T, Nowacek D P, Tyack P L (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. Aquatic Mammals 2019, 45(2), 125-232, DOI:10.1578/AM.45.2.2019.125.
- [23] Echolocation signals of wild harbour porpoises, Phocoena phocoena, Anne Villadsgaard, Magnus Wahlberg, Jakob Tougaard, Journal of Experimental Biology 2007 210: 56-64; DOI: 10.1242/jeb.02618.
- [24] Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., and Dooling, R. (2016). "Communication masking in marine mammals: A review and research strategy," Mar. Pollut. Bull. 103, 15 – 38. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007>.
- [25] Michael Möser, Jan Absagen: Wasserschallmessungen, Fachwissen Technische Akustik, 2018.
- [26] M. L. Munjal, Acoustics of Ducts and Mufflers with Application to Exhaust and Ventilation System Design, John Wiley & Sons, 08.05.1987.
- [27] Positionen der Anlege- und Verankerungs-Dalben (Stand: 22.02.2023):
TES-WHV-VGN_OJT_MATU1_DRW_PLT_PLA-GIP_2023_02_17_R00_FI_Jetty_FSRU_Koord...-2.pdf

3 Kurzbeschreibung der geplanten Baustellen und zu untersuchende Lastfälle

3.1 Position Baufeld

Das geplante Baufeld befindet sich im Stadtteil Voslapper Groden der Stadt Wilhelmshaven.

Dort befindet sich aktuell ein Anleger, bestehend aus einer 1,35 km langen Umschlagbrücke und einem 675 m langen Ausleger. In der Verlängerung dieses Anlegers hat die LNG Terminal Wilhelmshaven GmbH den „LNG Terminal WHV“ errichtet.

Weiter südlich befindet sich die Tankerumschlaganlage „Inselanleger HES Wilhelmshaven“. Auf dem bestehenden HES Wilhelmshaven Tank Terminal bietet eine Tankfarm ein Fassungsvermögen von rund 1,3 Millionen m³ für Mineralölprodukte. Auch die Tankerumschlaganlage verfügt über einen bestehenden Ausleger. Das LNG-Terminal Wilhelmshaven GmbH befindet sich bereits in Betrieb.

Aktuell ist der neue LNG-FSRU-Anleger zwischen den beiden Auslegern geplant. Abbildung 1 zeigt den geplanten FSRU-Anleger auf der rechten Seite.

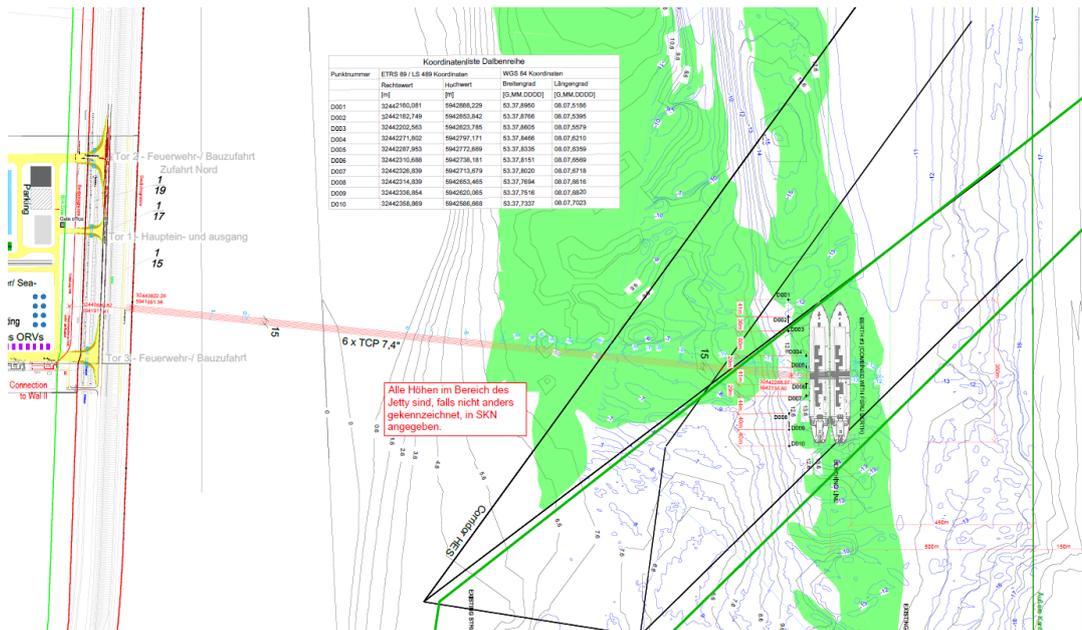


Abbildung 1: Übersicht über das geplante Baufeld [16].

4 Auswahl relevanter Schallemittenten

Um den Betrieb aus schalltechnischer Sicht bezüglich Wasserschallemissionen zu betrachten, wurden in Absprache mit der Arcadis Germany GmbH zwei Betriebsphasen definiert, für die eine typische, maximale Unterwasserschallabstrahlung gilt:

- Betriebsphase I: FSRU im Dauerbetrieb
- Betriebsphase II: Betriebsphase I + zusätzliches Anlegemanöver eines gleich großen LNG-Tankers (LNGC) im Schlepperbetrieb

4.1 Relevante Geräuscherzeuger und Emissionsbereiche in Betriebsphase I

In dieser Untersuchung wird eine „Worst-Case“-Szenario-Betrachtung hinsichtlich der Unterwasserschallemission prognostiziert. Zur Auswahl der relevanten Geräuscherzeuger sind insbesondere die eingeleitete Körperschallenergie sowie die Ausbreitungsverluste über die Schiffstruktur bis zur getauchten, emittierenden Außenhaut wichtige Parameter.

Auf Basis der zur Verfügung stehenden Eingangsdaten wurden für die Untersuchungen die erfahrungsgemäß wichtigsten Motoren, Generatoren, Pumpen sowie Kompressoren ausgewählt, die im normalen FSRU-Betrieb aktiv sind und eine elektrische Nennleistung von mindestens 100 kW aufweisen. Die so ermittelten Hauptgeräuscherzeuger sind in Tabelle 1 zusammengefasst und wurden als konservative Annahme mit der jeweils maximalen Leistung angesetzt.

Nach Prüfung der Unterlagen wurden vier signifikante Emissionsbereiche (E1, E2, E3 und E4) für die Abstrahlung von Körperschall und ein weiterer (E5) für die Abstrahlung von Fluidschall unterhalb der Wasseroberfläche detektiert (siehe Abbildung 3 im

Anhang). Die sich im selben Emissionsbereich befindlichen Geräuscherzeuger wurden für die Berechnungen jeweils zu einer einzelnen Punktquelle zusammengefasst.

Tabelle 1. Relevante Geräuscherzeuger FSRU.

Name	Ort	Emissionsbereich	Anzahl	Gesamtleistung [kW]
Hauptmotor (Dampf) und Generatoren	Maschinenraum	E1.1	2/3	7400
Seewasserpumpen	Maschinenraum	E1.2	2/3	400
LD-Kompressoren	Kompressorraum	E2	2/2	580
LNG-Pumpen	Trunkdeck/ Bug	E3	5/6	5500
Umwälzpumpen	Pumpenraum/ Bug	E4	2/3	1120
Seewasseraustritte	Unterschiff/ Bug	E5	2	4100

4.2 Relevanter Geräuscherzeuger und Emissionsbereiche in Betriebsphase II

Für eine weitere Betriebsphase (II) wurde angenommen, dass ein LNG-Tanker gleicher Größe mit Hilfe von vier Schleppern des Typs Rotor Tug längsseits an die in der Betriebsphase I befindliche FSRU anlegt. Für den LNG-Tanker wurden die Hauptgeräuscherzeuger gemäß Tabelle 2 ausgewählt. Die Leistungen wurden so angenommen, wie sie typischerweise während der Übertragung von LNG auf die FSRU zu erwarten sind. Die Lage der Emissionsbereiche E1.T und E2.T sind analog zu den entsprechenden Emissionsbereichen E1 und E2 der FSRU.

Tabelle 2. Relevante Geräuscherzeuger LNGC.

Name	Ort	Emissionsbereich	Anzahl	Gesamtleistung [kW]
Hauptantrieb (Diesel) und Generatoren	Maschinenraum	E1.T	2/3	7400
HD-Kompressoren	Kompressorraum	E2.T	2/2	2000

Für die Wasserschallquellpegel der Schlepper wurden empirische Modellierungsannahmen aus dem Forschungsprojekt [17] angesetzt. Dazu wurden alle vier Schlepper in vollem Einsatz angenommen, was einer maximalen Leistung (80 % MCR aller Antriebsmaschinen) als Prognosegröße für den abgestrahlten Wasserschall entspricht.

Das Wasserschallquellspektrum und die Anzahl der voll aktiven Schlepper sind eine konservative Prognoseannahme. Die Schlepper wurden als Punktschallquelle idealisiert. Ihre Lage wurde entsprechend dem in Bild 6-18 von [10] dargestellten Anlege- manöver bei Flut gewählt, da sich hierdurch minimale Abstände zum Immissionsort ergeben.

4.3 Grundsätzliche Annahmen zur Schallausbreitung

4.3.1 Körperschallpfad

Der Transmissionspfad für die betrachteten Wasserschallemissionszonen (E1, E1.T, E2, E2.T, E3, E4) beginnt als Körperschalleintrag eines Schallemittenten über dessen Fundamentierung in die Schiffsstruktur und endet mit der Abstrahlung von Schall unterhalb der Wasseroberfläche in die Umgebung. Die Berechnungsgrundlagen sind in Kapitel 5 zusammengefasst.

4.3.2 Fluidschallpfad der Seewasserpumpen

Da die dauerhaft in Betrieb befindlichen Seewasserpumpen im Maschinenraum der FSRU einen direkten Ein- und Ausgang in den betrachteten Emissionsbereich haben, wurde für sie ein Eintrag des hierüber erzeugten Fluidschalls prognostiziert.

Dafür wurde ein von Müller-BBM gemessenes Wasserschallspektrum auf der Druckseite einer vergleichbaren Pumpe angesetzt und entsprechend skaliert. Da die Seewassereintrittsöffnungen über einen großen Seekasten geführt werden und die Wasserschallpegel auf der Saugseite der Pumpen naturgemäß 10 dB bis 30 dB geringer ausfallen, wurde die Emission der Saugseite als vernachlässigbar angenommen.

Die beiden betrachteten Austrittsöffnungen mit DN590 sind in Abbildung 3 als zusätzlicher Emissionsbereich E5 dargestellt. Wegen der hohen Komplexität der Leitungsführung können keine realistischen Abzüge zur Berücksichtigung des großen Abstands zwischen den Eintrittsöffnungen im Heck und den beiden Austritten im Bereich des Vorderschiffs angesetzt werden. Mit Blick auf deren untergeordnete Bedeutung (relativ geringe Leistungen der Seewasserpumpen) scheint dieser konservative Ansatz dennoch akzeptabel.

4.3.3 Fluidschallpfad der LNG-Cargo und Regas-Pumpen

Weiterhin wurde der mögliche Schalleintrag über die in den LNG-Tanks befindlichen LNG-Cargo und Regas-Pumpen überprüft. Auf Grund von Erfahrungswerten zum konstruktiven (isolierten) Aufbau der Tanks und der Pumpenaufstellung wird eine Übertragung auf die Außenhaut über die schiffbauliche Struktur sowie das Fluid im Vergleich zu den anderen Geräuscherzeugern als vernachlässigbar eingeschätzt.

4.3.4 Unsicherheiten der Eingangsgrößen

Zum Zeitpunkt der Prognose lagen die körperschalltechnisch relevanten Daten der Emittenten nur in groben Zügen (Ort, Leistungsaufnahme, Drehzahl) vor. Wesentliche Quelldaten wurden daher aus Messerfahrungen vergleichbarer Aggregate von Müller-BBM abgeleitet. Stahlpläne lagen keine vor. Ersatzweise wurde das Stahlstrukturdesign eines Vergleichsschiffs berücksichtigt.

Da keine detaillierten Angaben zur Lagerung für die zu betrachtenden Aggregate vorlagen, wurde der ungünstigste Fall starrer Lagerungen für alle Pumpen und Kompressoren angenommen. Für die Turbogeneratoren wurde eine elastische Lagerung angenommen.

5 Berechnungsgrundlagen

Basierend auf den Körperschalldaten und unter Berücksichtigung der Anlagen- und Schiffsstrukturplanung wurden die von der FSRU in das umgebende Wasser abgestrahlten Unterwasserschallemissionen abgeschätzt.

5.1 Körperschalltransmission

Es wurden die Emission und Übertragung von Körperschall über die folgenden Stufen mit Hilfe semi-empirischer Ansätze betrachtet:

- Quellpegel der maßgeblichen Geräuscherzeuger (siehe Anhang, Abbildung 5):
 - Alle Quellpegel wurden aus Messergebnissen vergleichbarer Aggregate abgeleitet.
- Schallübertragung über Gerätelagerung und schiffbauliche Struktur auf die Außenhaut:
 - Die Transmissionsverluste über die Lagerung und der erwarteten üblichen Fundamentierungen wurden aus Messungen vergleichbarer Strukturen abgeleitet. Außer bei den Hauptmaschinen wurde von starren Lagerungen ausgegangen.
 - Die Transmissionsverluste innerhalb der Schiffsstruktur wurden im Wesentlichen nach [19], Kap. 6, abgeschätzt. Die dort erwähnten Transmissionsformeln wurden mit unseren Erfahrungen aus Messungen korrigiert.
- Schallabstrahlung von der Außenhaut ins umgebende Wasser:
 - Für die Abstrahlung der Außenhaut ins Wasser wurden Abstrahlungsgrundlagen aus [19] angesetzt.

5.2 Fluidschalltransmission

- Schallabstrahlung in Rohren über das Fluid:
 - Für Abstrahlung der Seewasserpumpen durch Fluidschall im Emissionsbereich E5 wurden die Grundlagen aus [26] herangezogen.

5.3 Schallausbreitung im Wasser

Es wurden die Ausbreitungsgesetze von Thiele und Schellenstede [20] verwendet. Die angewandten Gesetze führen insbesondere im flachen Wattgebiet zu sehr konservativen Abschätzungen der Schallausbreitung.

Bedingt durch die Bathymetrie im Bereich der Emissionszonen wurde gemäß [21] für die Wasserschallpegelauswertungen eine untere Grenzfrequenz von $f_u = 50$ Hz gewählt. Dies bestimmt die untere Grenze der Wasserschalldiagramme im Anhang. Die obere Grenzfrequenz $f_o = 4000$ Hz ist durch die üblicherweise zur Verfügung stehenden Eingangsdaten bestimmt.

Schweinswale gehören zu den sogenannten VHF-Spezies, siehe [22], die über einen weiten Frequenzbereich bis 160 kHz sehr gut hören können. Der aktive Kommunika-

tionsbereich (Echoortung) der in Nord- und Ostsee vorkommenden Schweinswale liegt zwischen 100 und 160 kHz [23] und damit deutlich oberhalb des Frequenzbereichs der vorliegenden Untersuchung. In einigen wissenschaftlichen Studien wird auf den Einfluss von Schiffslärm hingewiesen und dieser in Bezug auf die Kommunikationsmaskierung wissenschaftlich untersucht [24].

In der akustischen Betrachtung wurde der Frequenzbereich bis 4 kHz dargestellt, da dieser die dominanten Schallbeiträge gut abbildet und Prognosen der Schallausbreitung valide sind. In der Arbeit von Erbe [24] zeigt sich weiterhin, dass der mittlere Frequenzbereich auch bei fahrenden Schiffen einen vernünftigen Schätzer für die Bewertung des abgestrahlten Schalls von Schiffen liefert.

Da es sich in den Betriebsphasen I und II um die Betrachtung von Dauerschallquellen mit maximaler Leistung handelt, ist eine Spitzenpegelbewertung wie bei Ramm-schallereignissen nicht nötig.

Es wird ein Immissionspunkt (I1) in 750 m Entfernung zur FSRU betrachtet. Diese Entfernung wird typischerweise auch zur Beurteilung von Rammschall gewählt. Damit können die Wasserschallpegel der Untersuchung des Baulärms (Rammschall) orientierend verglichen werden. Die spektralen Ergebnisse in den Diagrammen im Anhang geben Auskunft über Dominanz und Tonalität der Geräuscherzeuger.

Weiterhin wurde die spektrale Dichte des Wasserschalls als auf 1 Hz Bandbreite normiertes Terzspektrum nach [25] berechnet und als Summenpegel am Immissionsort I1 im Anhang dargestellt. Diese Darstellung lässt sich qualitativ besser mit schmalbandigen Pegeldarstellungen vergleichen und wird besonders für die Darstellung von gemessenen Wasserschallpegeln verwendet.

Darüber hinaus wurde eine Kartierung der Schallbelastungen erstellt. Hierzu wurden die Isophonen im Umkreis der FSRU in 5 dB-Schritten bis zu einer unteren Grenze von 115 dB dargestellt.

6 Ergebnisse der Wasserschallprognose

Um einen Bezug zu dem in der Schifffahrt typisch abgestrahlten Wasserschall herzustellen, wurde als Referenz die Bewertungsgrundlage der Klassifikationsgesellschaft DNV, die DNV Silent(E) Transit, als Grenzkurve herangezogen (siehe [18]). Dabei wird die terzbasierte Wasserschallabstrahlung auf eine Punktquelle mit einem definierten Abstand von 1 m bezogen.

In Abbildung 6 des Anhangs erkennt man, dass die Beiträge aller Emissionszonen unterhalb der Grenzwerte von Silent (E) liegen. Die ebenfalls in Abbildung 6 und Abbildung 10 orientierend enthaltene Summation aller Schallquellen liegt im zweiten Fall (Betriebsphase II) leicht oberhalb der Grenzkurve, was an den dominierenden Beiträgen der vier Schlepper unter Volllast liegt. Hierbei müssen die weit auseinander liegenden Emissionsorte einschränkend berücksichtigt werden, für die keinerlei Abschwächungen in der Summation enthalten sind.

Für die Betrachtung der Ausbreitung wurde exemplarisch ein Immissionsort I1 in 750 m Abstand von Schiffsmitte der FSRU gewählt (s. Abschnitt 5.3). Dieser Abstand ist in den Lärmkartierungen (Anhang, Abbildung 9 und Abbildung 13) als Wirkradius eingezeichnet.

Die ausgebreiteten Wasserschallpegel an diesem Ort zeigen die Dominanz der Emissionszone E2 (Kompressorraum) ab etwa 250 Hz sowie der Pumpen im Frequenzbereich darunter (vgl. Anhang, Abbildung 7). Auch ist die Emissionszone E1 (Maschinenraum) dort mitbestimmend, da dies die niederfrequent dominierende Abstrahlung der dort befindlichen Seewasserpumpen einschließt.

In der Betriebsphase II sind die zusätzlichen Wasserschallemissionen der Schlepper bei 80 %MCR bis etwa 500 Hz pegelbestimmend. Darüber dominieren die im Vollastbetrieb angenommenen High Duty-Kompressoren des Tankers, was ebenfalls eine konservative Annahme darstellt.

Die spektralen Leistungsdichten des Wasserschalls ist für die jeweilige Betriebsphasen im Anhang, Abbildung 8 und Abbildung 12, dargestellt.

Für die Betriebsphasen I und II wurden Lärmkarten in Bezug auf Wasserschall im Anhang, Abbildung 9 und Abbildung 13, erstellt. Darin sind Wasserschallpegel als Summenpegel über Terzbänder mit den in Abschnitt 5.3 erläuterten Eckfrequenzen dargestellt. Die Farbskala wurde nach den Vorgaben des Bundesumweltverbandes gewählt.



M. Sc. Ramona Eigenmann



Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Michael Grabow



Dipl.-Ing. Carsten Worms

Anhang

Berechnungsansätze und Ergebnisse

Tabelle 2. Liste der Abbildungen aus Anhang.

Abb.	Beschreibung
Abbildung 2	Position des Anlegers und Definition eines Immissionsortes I1.
Abbildung 3	Schemata der relevanten Emissionsbereiche in Betriebsphasen I und II.
Abbildung 4	Darstellung der relevanten Wasserschallquellen der Betriebsphase II.
Abbildung 5	Körperschalleingangsdaten für die Prognose.
Abbildung 6	Wasserschallquellpegel der FSRU-Emissionsbereiche in Betriebsphase I.
Abbildung 7	Wasserschallpegel in der Betriebsphase I am Immissionsort I1.
Abbildung 8	Spektrale Dichte des Wasserschalls in der Betriebsphase I am Immissionsort I1.
Abbildung 9	Schallausbreitung des prognostizierten Wasserschalls in der Betriebsphase I.
Abbildung 10	Wasserschallquellpegel der einzelnen Emissionsbereiche in Betriebsphase II.
Abbildung 11	Wasserschallpegel in der Betriebsphase II am Immissionsort I1.
Abbildung 12	Spektrale Dichte des Wasserschalls in Betriebsphase II am Immissionsort I1.
Abbildung 13	Schallausbreitung des prognostizierten Wasserschalls in der Betriebsphase II.

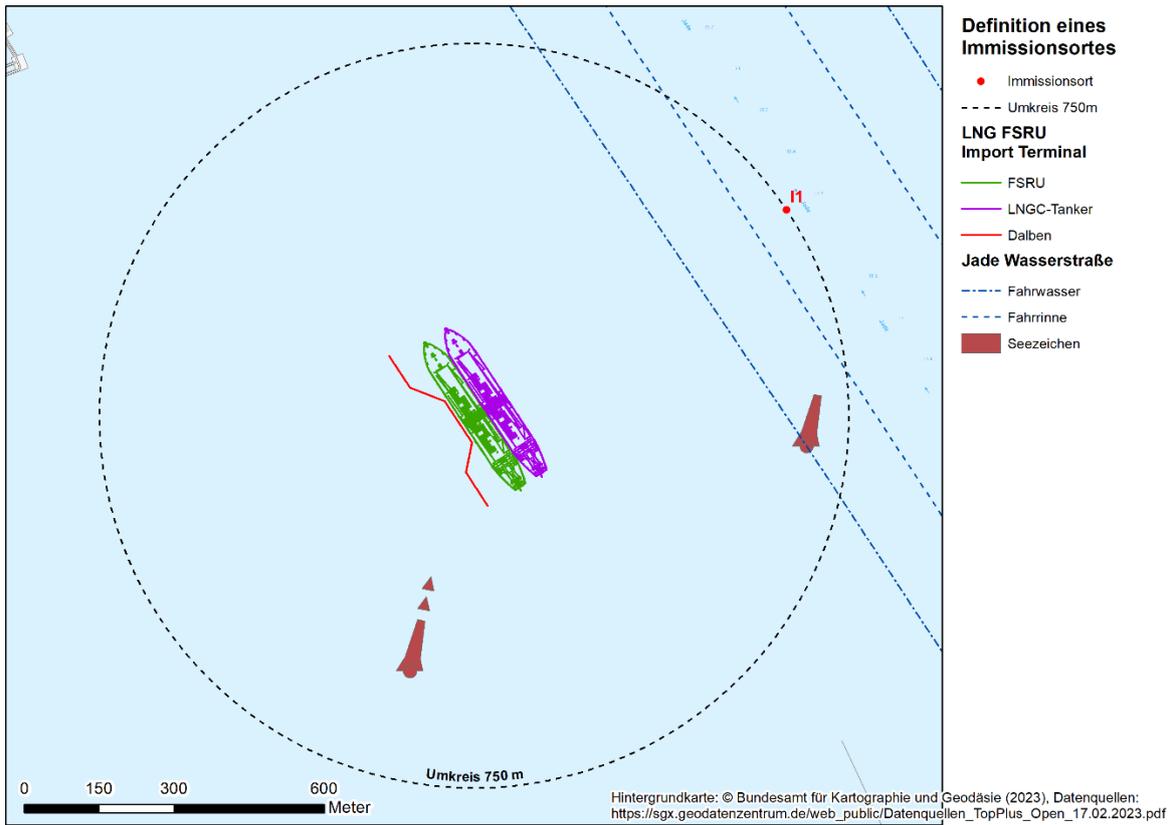


Abbildung 2. Position des Anlegers und Definition eines Immissionsortes I1.

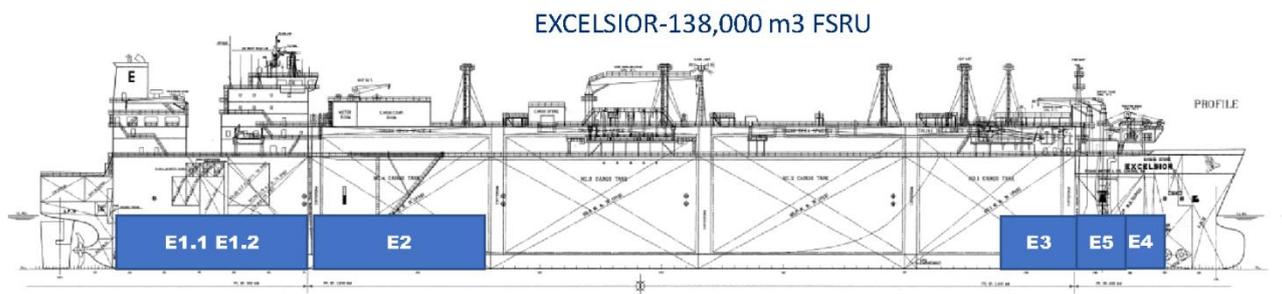


Abbildung 3. Schemata der relevanten Emissionsbereiche in Betriebsphasen I und II.

S:\WP\Proj\172\172\172921\172921_05_Ber_1D.DOCX:24. 02. 2023

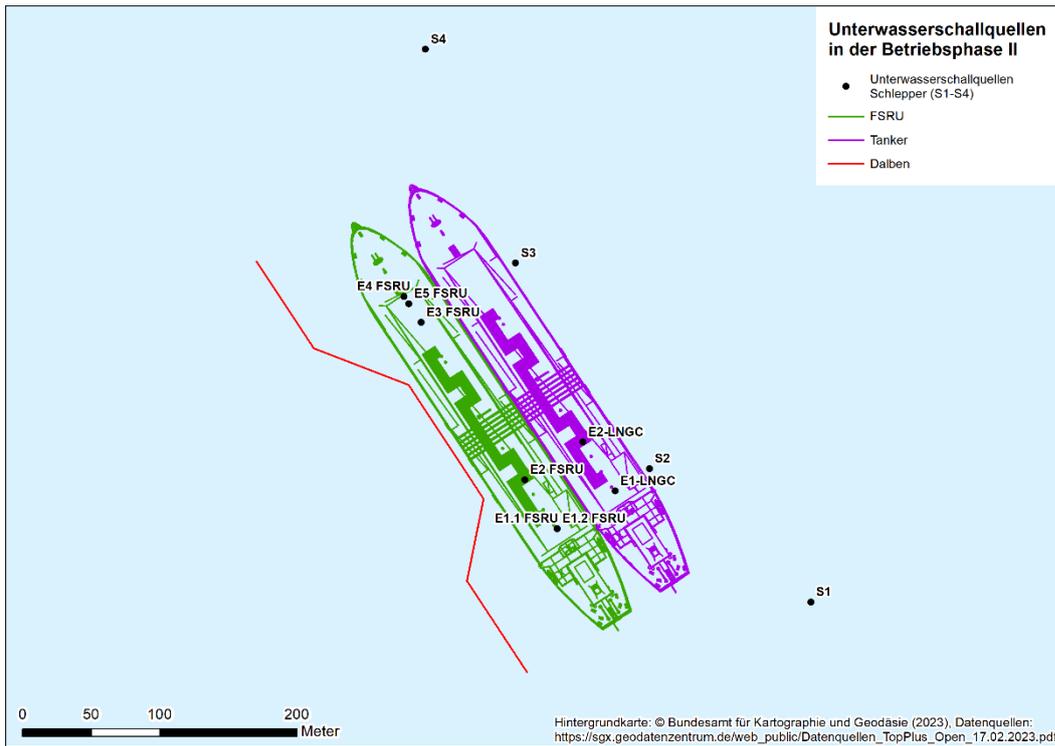


Abbildung 4. Darstellung der relevanten Wasserschallquellen der Betriebsphase II.

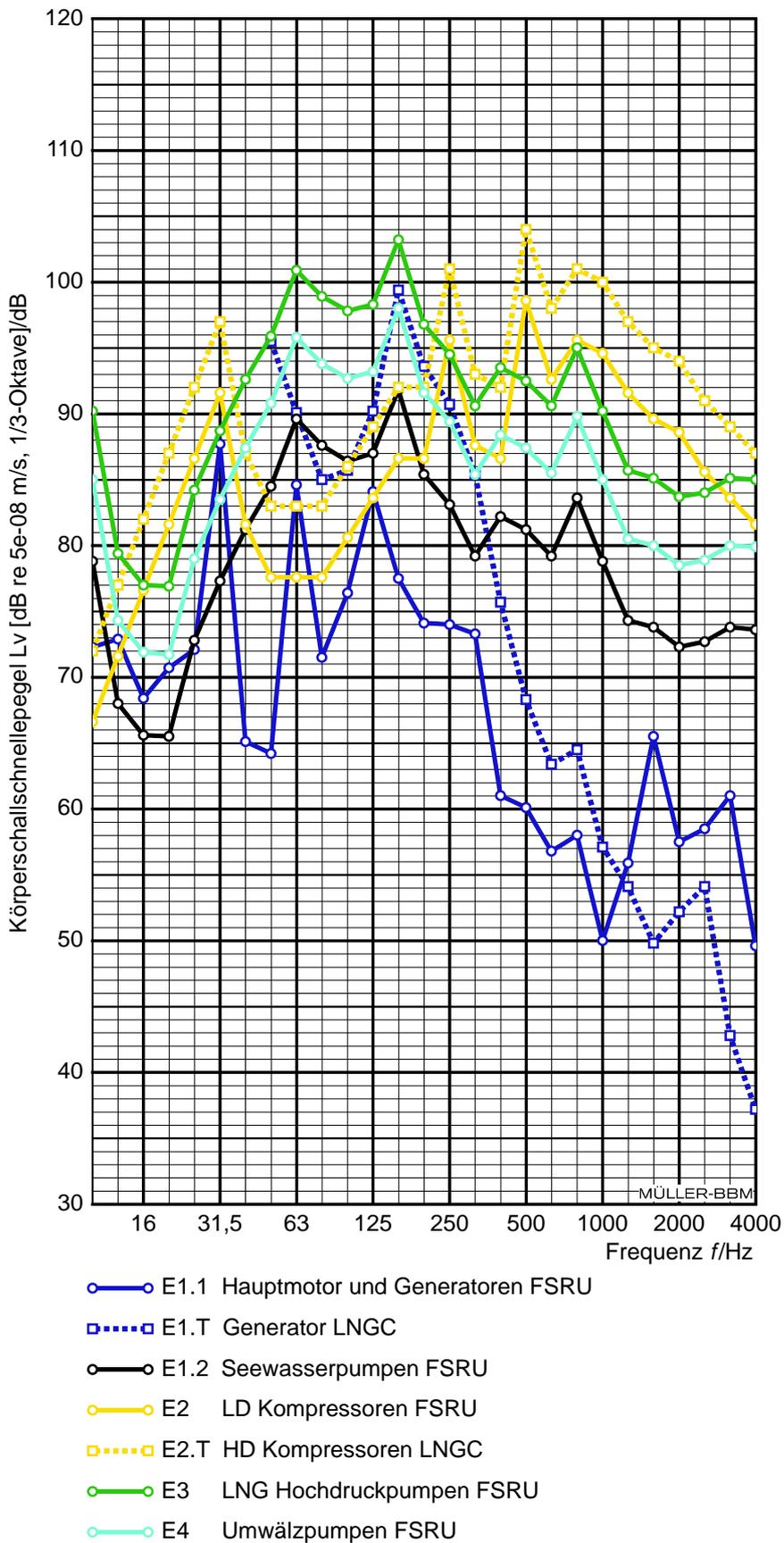


Abbildung 5. Körperschalleingangsdaten für die Prognose.

S:\WPProj\172\1M172921\1M172921_05_Ber_1D.DOCX:24. 02. 2023

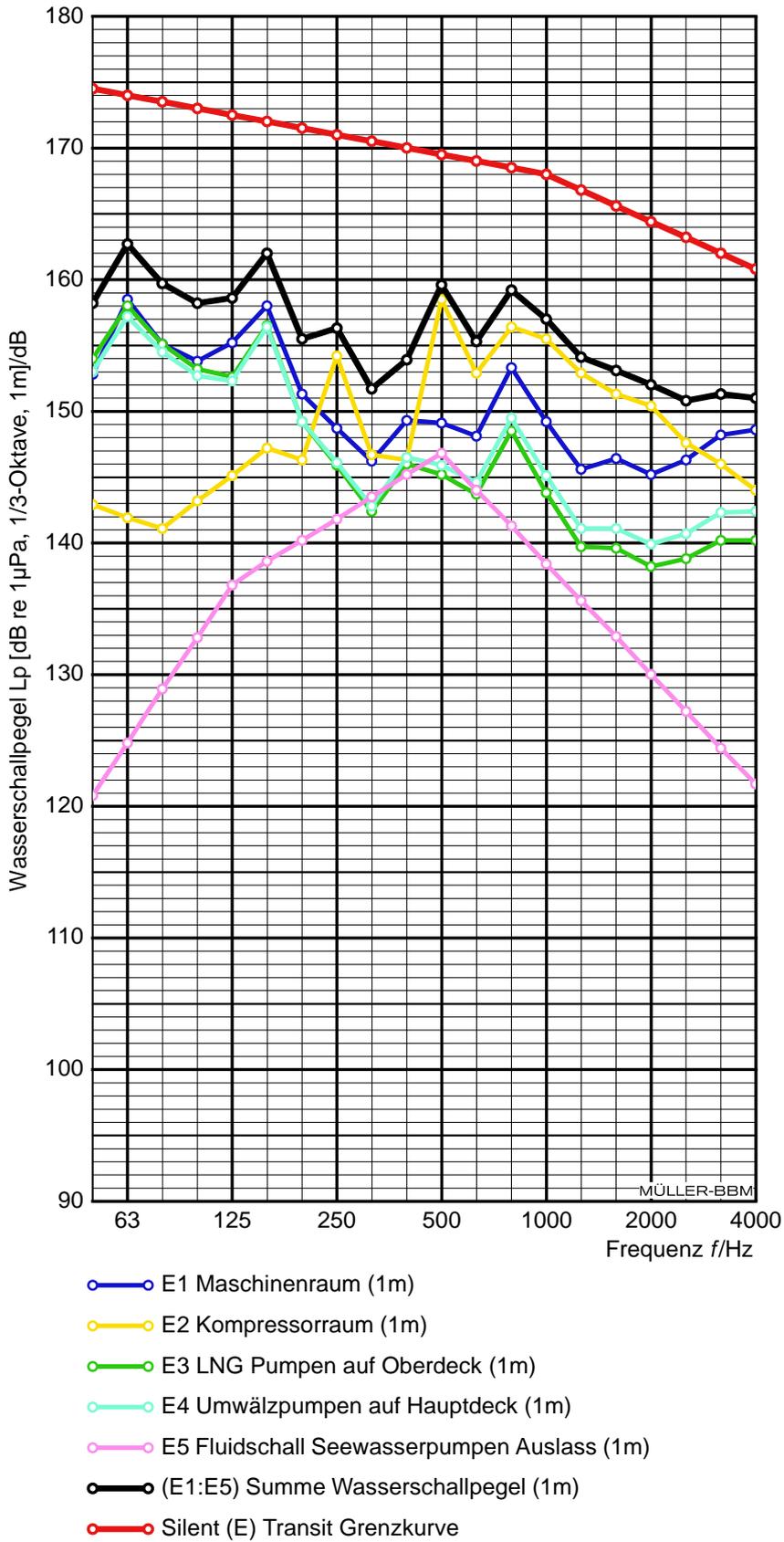


Abbildung 6. Wasserschallquellpegel der FSRU-Emissionsbereiche in Betriebsphase I.

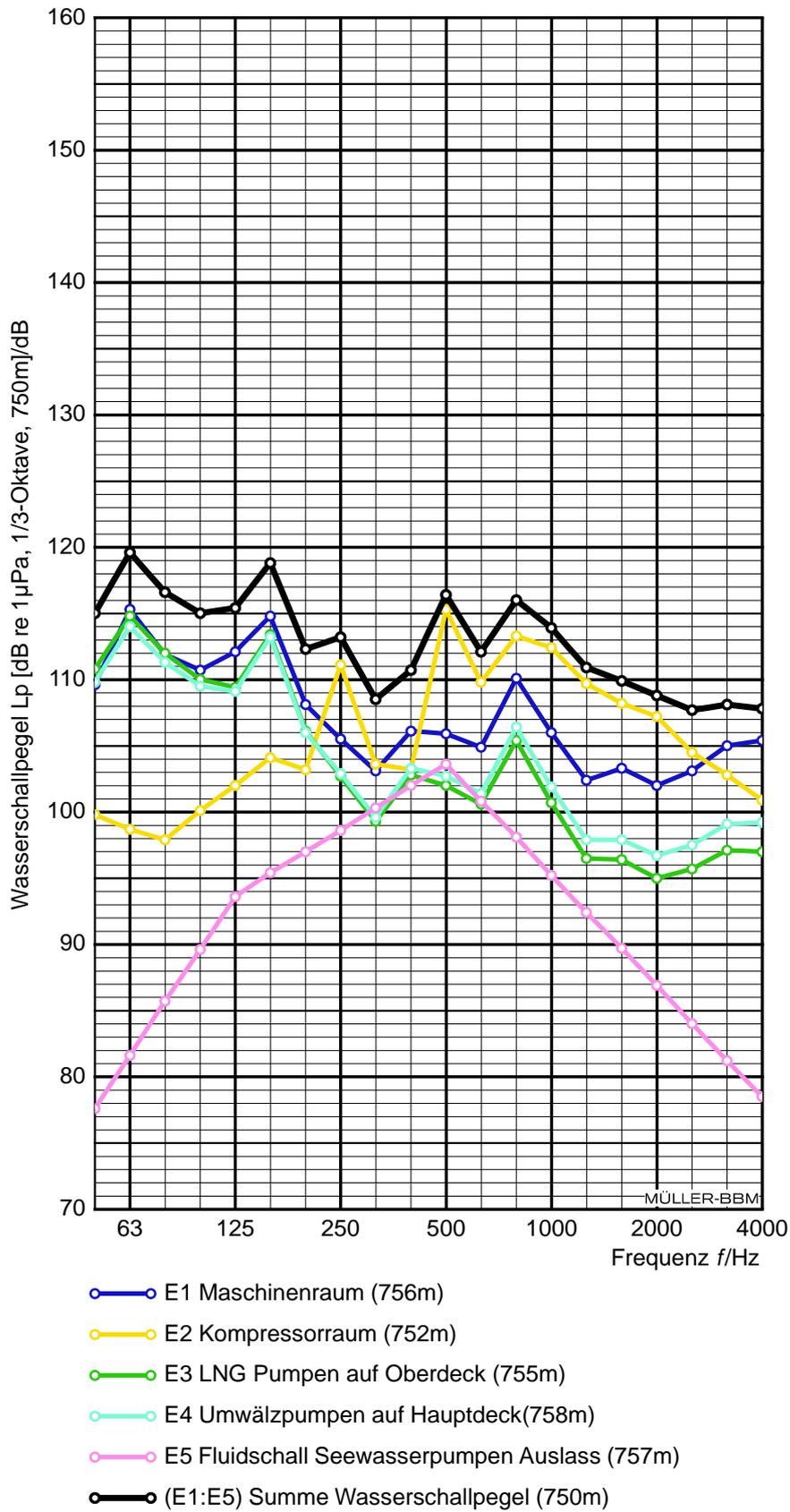


Abbildung 7. Wasserschallpegel in der Betriebsphase I am Immissionsort I1.

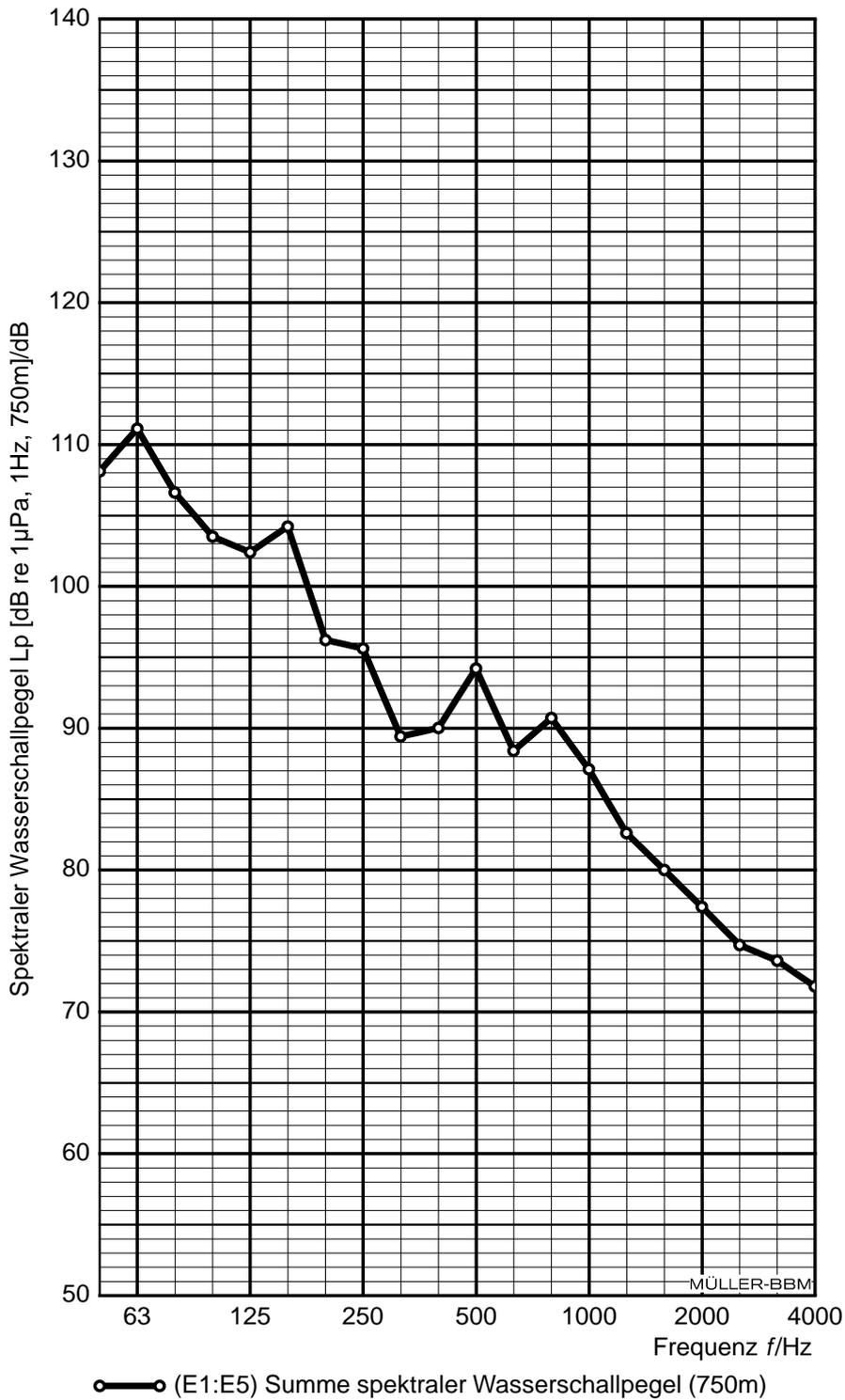


Abbildung 8. Spektrale Dichte des Wasserschalls in der Betriebsphase I am Immissionsort I1.

S:\M\Proj\172\M172921\M172921_05_Ber_1D.DOCX:24. 02. 2023

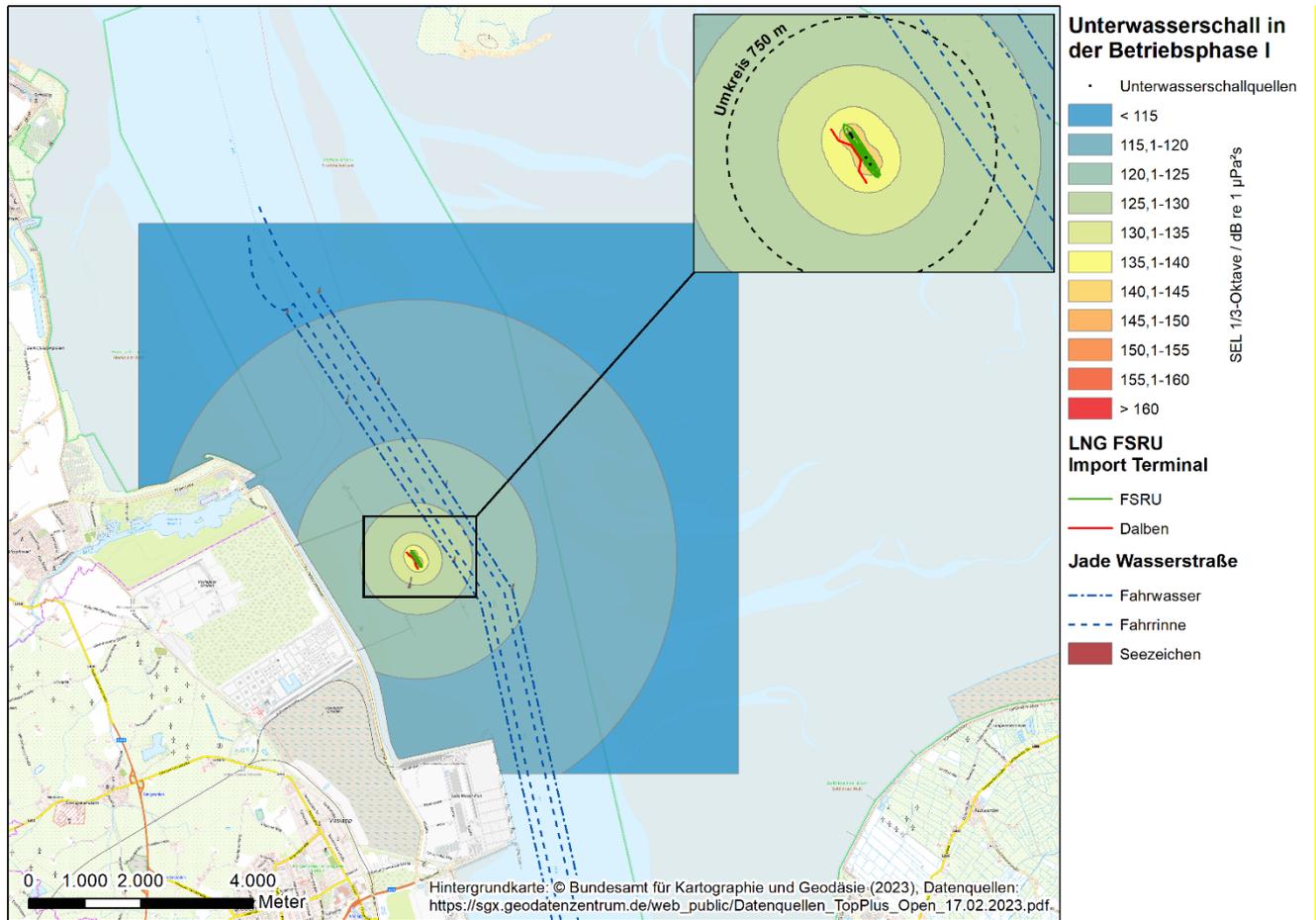


Abbildung 9. Schallausbreitung des prognostizierten Wasserschalls in der Betriebsphase I.

S:\M\Proj\172\M172921\M172921_05_Ber_1D.DOCX;24. 02. 2023

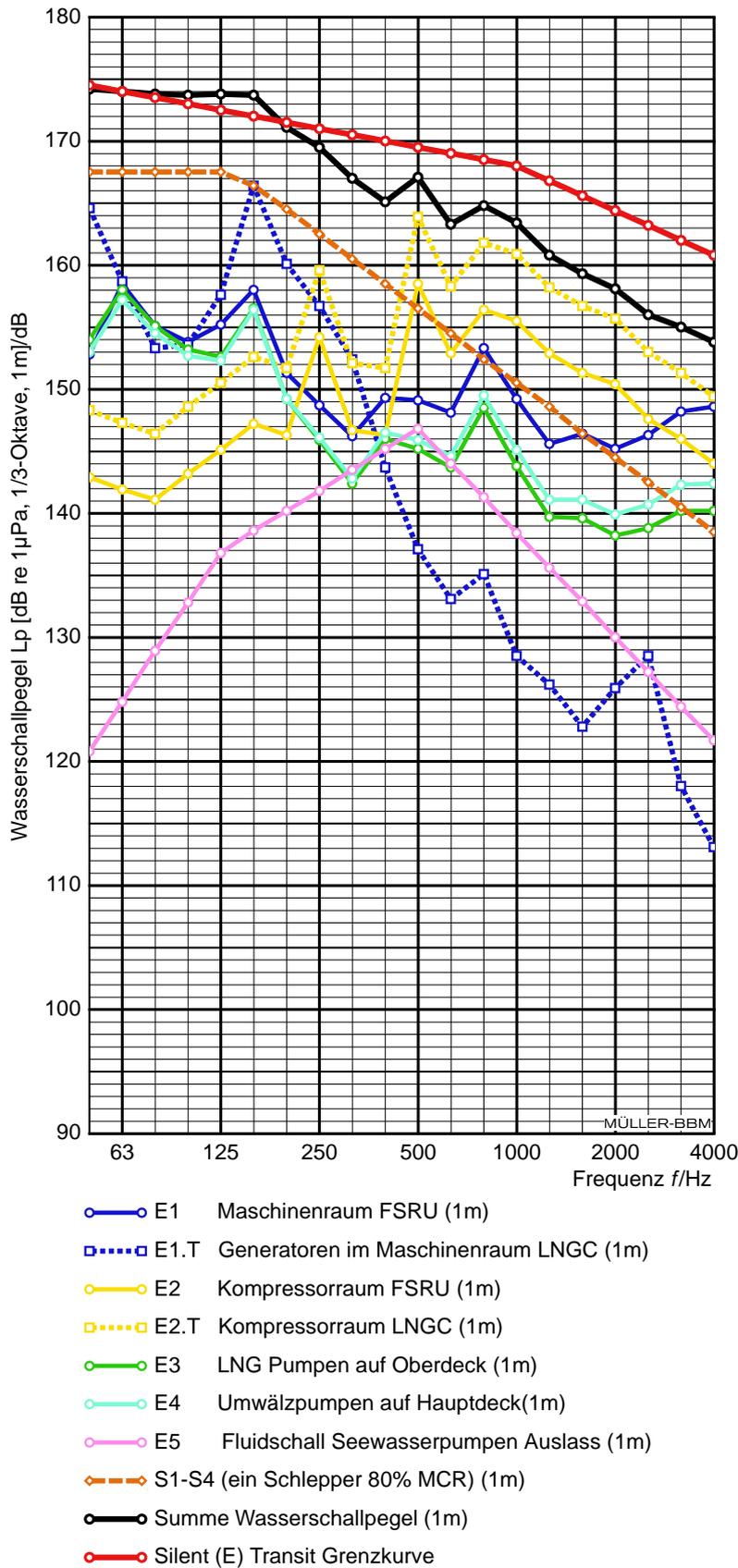


Abbildung 10. Wasserschallquellpegel der einzelnen Emissionsbereiche in Betriebsphase II.

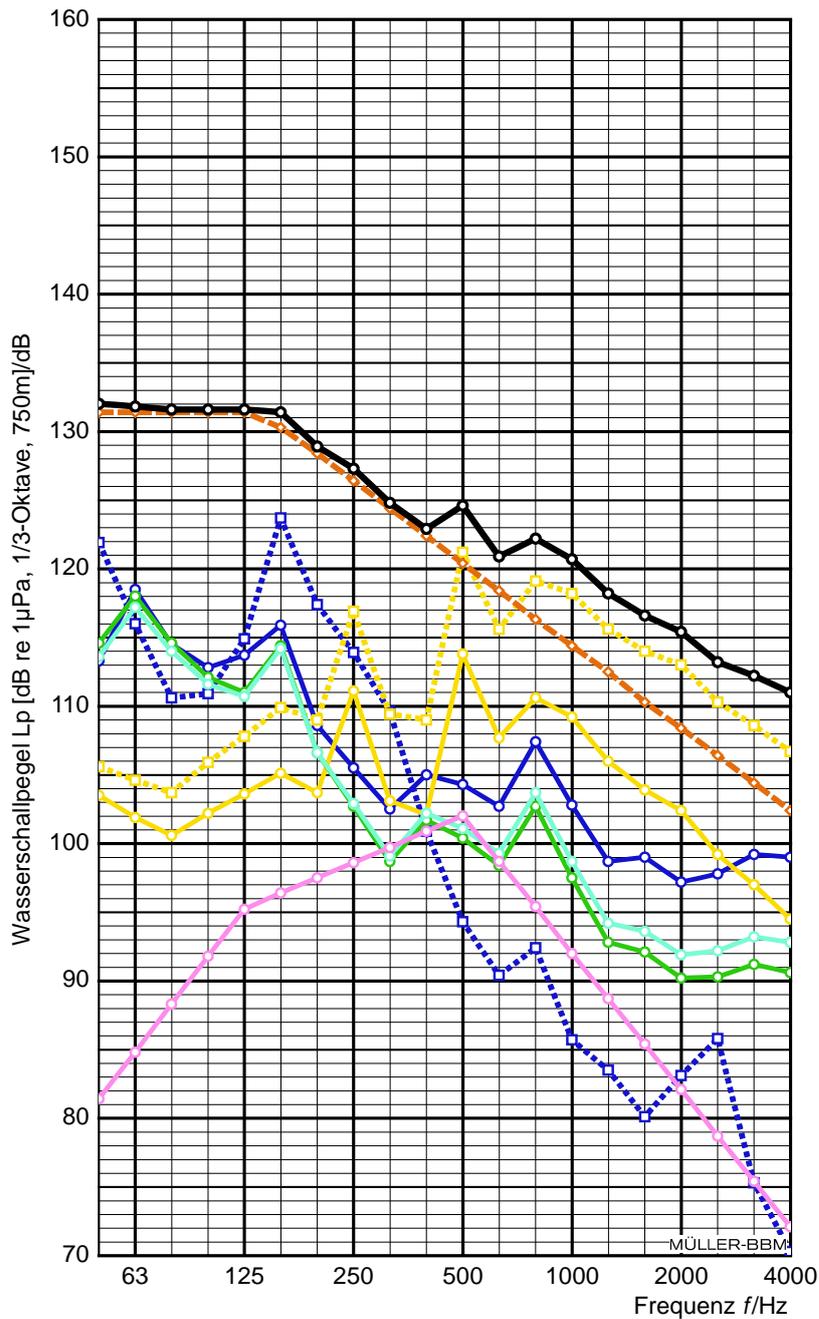


Abbildung 11. Wasserschallpegel in der Betriebsphase II am Immissionsort I1.

S:\WPProj\172\IM172921\IM172921_05_Ber_1D.DOCX:24. 02. 2023

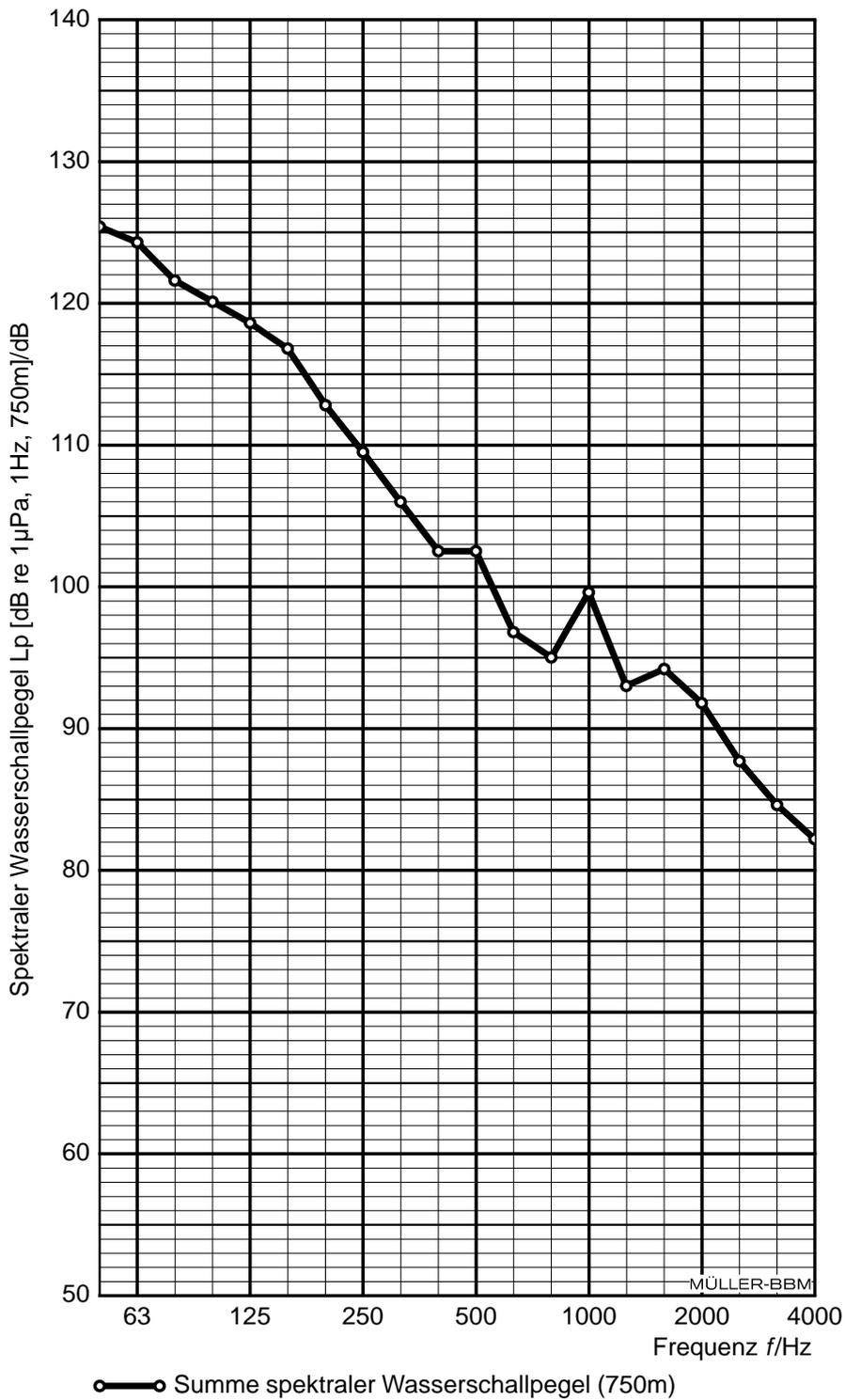


Abbildung 12. Spektrale Dichte des Wasserschalls in Betriebsphase II am Immissionsort I1.

S:\MIProj\172\M172921\M172921_05_Ber_1D.DOCX:24. 02. 2023

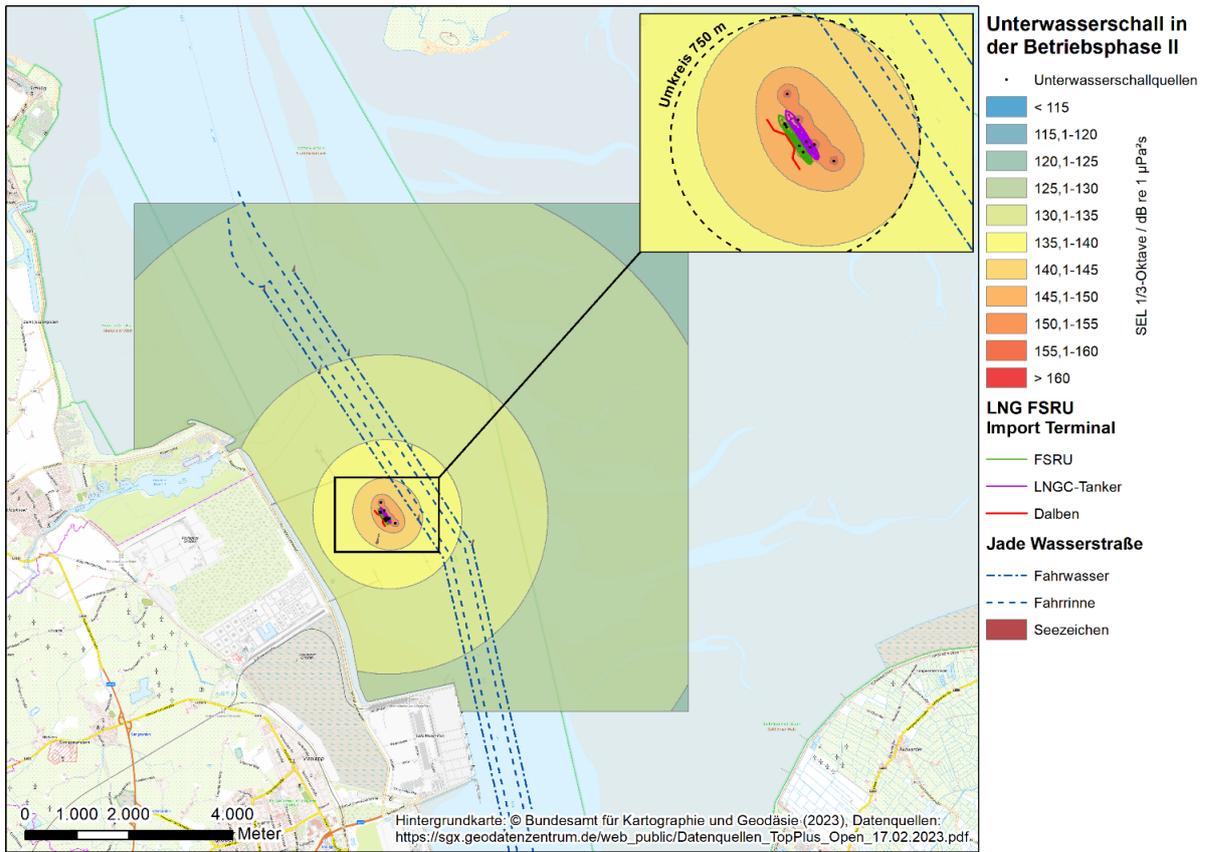


Abbildung 13. Schallausbreitung des prognostizierten Wasserschalls in der Betriebsphase II.