MÜLLER-BBM

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

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

www.mbbm-ind.com

Dipl.-Ing. Thierry Maquil
Telefon +49(40)692145 168
thierry.maquil@mbbm-ind.com

14. März 2024
M177781/01 Version 2 MAQ/DNI

Vorhaben Offshore-Windpark *Gennaker*

Prognose der zu erwartenden Hydroschallimmissionen während der Rammarbeiten

Bericht Nr. M177781/01

Auftraggeber:	OWP Gennaker GmbH Stephanitorsbollwerk 3 (Haus LUV) · 28217 Bremen
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. Thierry Maquil Dr. rer. nat. Andreas Müller Dipl.-Ing. (FH) Matthias Wildemann
Berichtsumfang:	Insgesamt 39 Seiten, davon 29 Seiten Textteil, 5 Seiten Anhang A und 5 Seiten Anhang B.

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

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\MProj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx 14.03.2024

Inhaltsverzeichnis

1	**Situation und Aufgabe**	**3**
2	**Berücksichtigte Unterlagen**	**4**
3	**Kurzbeschreibung des geplanten Offshore-Windparks und zu untersuchende Lastfälle**	**6**
3.1	Position des Offshore-Windparks	6
3.2	Kurzbeschreibung des geplanten Offshore-Windparks	7
3.3	Zu untersuchender Lastfall Wasserschall	8
4	**Akustische Metrik, Immissionsrichtwerte, Immissionsorte**	**9**
4.1	Einleitung	9
4.2	Akustische Metriken	9
4.3	Immissionsrichtwerte und Immissionsorte	11
4.4	Terzsummenschalldruckpegel	11
5	**Berechnungsschritte der Schallemission und Schallimmission**	**12**
5.1	Schallausbreitung	12
5.2	Bathymetrie und Bodenbeschaffenheit	12
5.3	Wasserschallprognose	14
6	**Schallemission und Schallimmission**	**18**
6.1	Einzelereignispegel und Spitzenpegel in 750 m	18
6.2	Immissionsprognose, Isophone (ungedämmter Rammschall)	19
6.3	Prognosegenauigkeit	20
7	**Schallschutzsysteme**	**21**
7.1	Einleitung	21
7.2	Übersicht unterschiedlicher Schallschutzsysteme	21
7.3	Mindestanforderungen an Einfügungsdämpfung	23
7.4	Beurteilung der Umsetzbarkeit der notwendigen Einfügungsdämpfung	25
7.5	Immissionsprognose, Isophone (mit Schallschutzsystemen)	27
8	**Zusammenfassung**	**28**

Anhang A: Schallausbreitungskarten ungedämmter Rammschall

Anhang B: Schallausbreitungskarten Rammschall mit Schallschutzsystemen

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

1 Situation und Aufgabe

Die OWP Gennaker GmbH plant, die Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zur Errichtung und zum Betrieb eines Energieparks Offshore-Windpark (OWP) *Gennaker* im Wind-Vorrang-Gebiet „Darß“ zu beantragen. Geplant ist die Errichtung von 63 Windenergieanlagen (WEA) auf Monopiles auf einer Projektfläche von 44,2 km^2.

Ein bereits genehmigtes Konzept des Vorhabens basiert auf der zum Planungszeitpunkt größtmöglichen Turbine der Fa. Siemens Wind Power SWT-8.0-154 mit einer Leistung von max. 8,4 MW inkl. Power Boost.

Aufgrund des rasanten technischen Fortschritts und sich kontinuierlich verändernder Marktbedingungen ist für die wirtschaftliche Projektumsetzung die Umplanung auf größere Turbinen der 15-Megawatt-Klasse unumgänglich.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG ist die schalltechnische Verträglichkeit des Vorhabens nachzuweisen. Entsprechend sollen in diesem Zusammenhang sowohl die während der Bauphase als auch die beim Betrieb des Offshore-Windparks *Gennaker* zu erwartenden Schallimmissionen gutachterlich prognostiziert werden.

Die Gutachten teilen sich in unterschiedliche Fachgebiete (Luftschall- und Wasserschallimmissionen) auf. In diesem Bericht werden Unterwasserschallimmissionen während der Bautätigkeiten untersucht. In einem ersten Schritt werden typische Einzelereignispegel in 750 m in Abhängigkeit von unter anderem Pfahldurchmesser, Rammenergie und Wassertiefe prognostiziert. In einem zweiten Schritt werden Schallschutzsysteme, welche zur Minderung der Unterwasserschallimmissionen beitragen können, diskutiert. Für den ungedämmten Rammschall sowie für Rammschall mit Schallschutzsystemen werden Schallausbreitungskarten erstellt.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

2 Berücksichtigte Unterlagen

[1] OWP Gennaker GmbH (2023) Offshore Windpark Gennaker, Projektbeschreibung 15 MW Layout.
Dokument: *GEN-PMT-FIL-Projektbeschreibung_15MW_R00.pdf.*

[2] Bellmann M.A., Brinkmann J., May A., Wendt T., Gerlach S. & Remmers P. (2020), Unterwasserschall während des Impulsrammverfahrens: Einflussfaktoren auf Rammschall und technische Möglichkeiten zur Einhaltung von Lärmschutzwerten. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), FKZ UM16 881500. Beauftragt und geleitet durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Auftrags-Nr. 10036866. Editiert durch die itap GmbH.

[3] Acteon, Menck Noise Reduction Unit (MNRU).
https://acteon.com/products-services/noise-mitigation-systems/

[4] IQIP, PULSE – Piling Under Limited Stress Equipment.
https://iqip.com/products/pile-driving-equipment/piling-under-limited-stress-equipment/

[5] Umweltbundesamt (UBA), Empfehlung von Lärmschutzwerten bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA), 2011.

[6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (Schallschutzkonzept), 2013.

[7] BSH-Messvorschrift „Offshore-Windparks, Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen, aktuelle Vorgehensweise mit Anmerkungen, Anwendungshinweise“, Homepage des BSH, Publikationen, Stand Oktober 2011.

[8] ISO 1996: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedure.

[9] ISO 1996: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels.

[10] IEC 61672-1: Electroacoustics – Sound level meters. Part 1: Specifications.

[11] Thiele und Schellstede (1980), Standardwerte zur Ausbreitungsdämpfung in der Nordsee. FWG-Bericht 1980-7, Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik.

[12] R. J. Urick, Principles of Underwater Sound. Los Altos: McGraw-Hill Ryerson, Limited, ISBN 9780070660878, 1983.

[13] H. G. Urban, Handbuch der Wasserschalltechnik. Bremen: STN ATLAS Elektronik, ISBN 3936799024, 2002.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

[14] Fricke, M., Neddermann, B., Lübben, A. und Gabriel, J. 2014. Realistische Hydroschallszenarien auf der Basis von Prognosemodellen und Monitoring für den Bau von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (HyproWind). https://www.fino1.de/de/forschung/archiv-ergebnisse/schalldruckpegel.html?file=files/forschung/schalldruckpegel/FKZ0325212-HyproWind.pdf

[15] OWP Gennaker GmbH (2023) Offshore Windpark Gennaker, Geotechnical log combined with laboratory.
Dokument: *OWF Gennaker-Final-Field-Data-Report-Appendix A-Geotech Logs.pdf.*

[16] OWP Gennaker GmbH (2022) Offshore Windpark Gennaker, Bathymetrie.
Datei: GEN_GEO_BAT_2022_25cm_DHHN_25833.tif

[17] The European Marine Observation and Data Network (EMODnet): EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2022), Mean Depth, Stand 17.01.24.
https://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products

[18] Koschinski, S. und Lüdemann, K. (2020), Noise mitigation for the construction of increasingly large offshore wind turbines, Federal Agency for Nature Conservation (Bundesamt für Naturschutz, BfN).
https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/meeresundkuestenschutz/Dokumente/noise-mitigation-for-the-construction-of-increasingly-large-offshore-wind-turbines.pdf

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

3 Kurzbeschreibung des geplanten Offshore-Windparks und zu untersuchende Lastfälle

3.1 Position des Offshore-Windparks

Der geplante OWP *Gennaker* befindet sich im Wind-Vorrang-Gebiet „Darß“. In der Abbildung 1 ist die Vorhabenfläche des OWP *Gennaker* mit ausgewählten Entfernungsangaben zum Festland sowie anderen Windparks dargestellt.

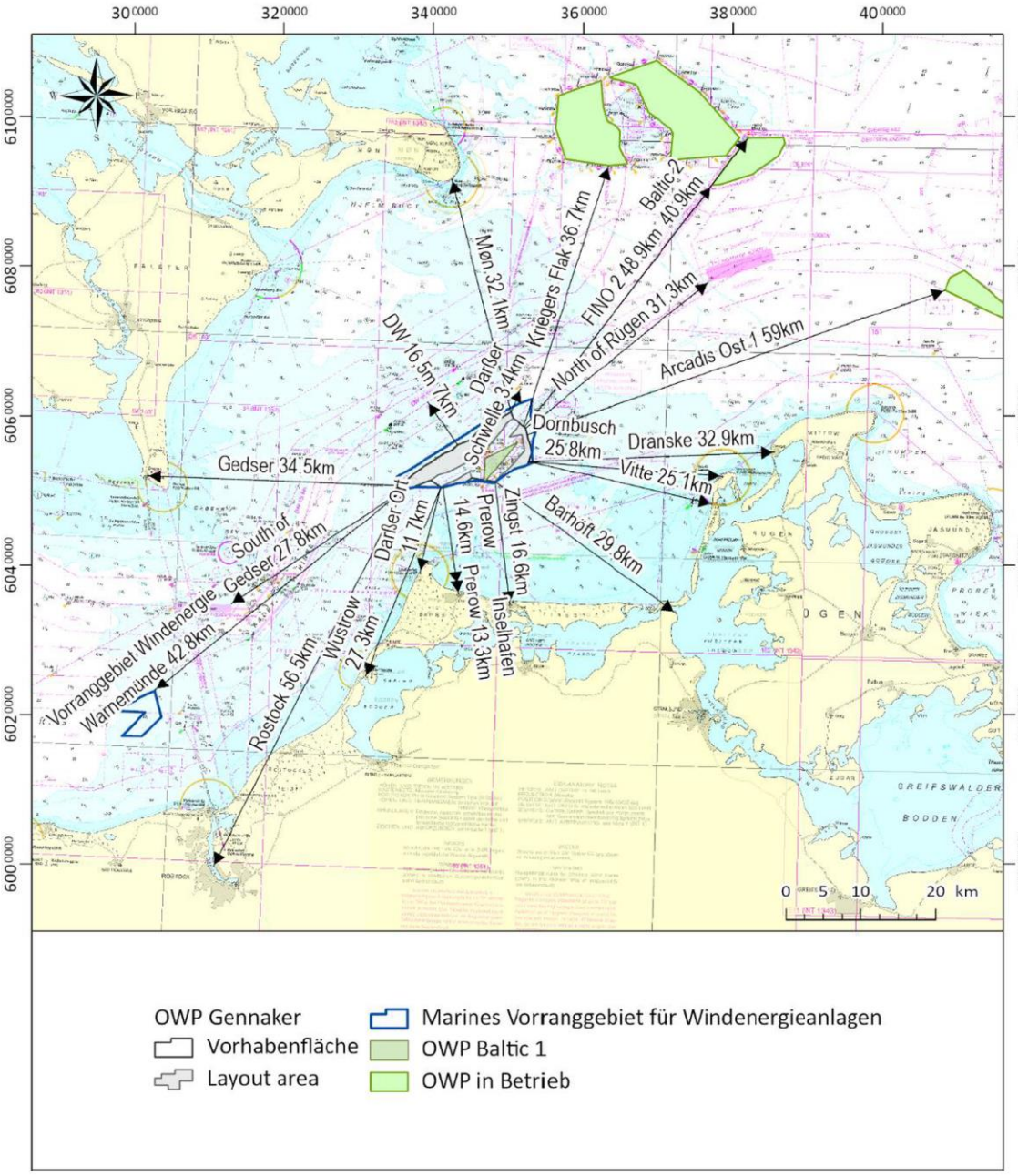


Abbildung 1: Übersicht über den geplanten Offshore-Windpark *Gennaker* im Wind-Vorrang-Gebiet „Darß“ [1].

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

3.2 Kurzbeschreibung des geplanten Offshore-Windparks

Die geplante Vorhabenfläche von 44,2 km² unterteilt sich in drei Einzelflächen: die größte nördliche Teilfläche mit 33,7 km², die östliche Teilfläche mit 8,1 km² und die südliche Teilfläche von 2,4 km². Insgesamt ist die Vorhabenfläche in Ost-West-Richtung ca. 18 km breit und in Nord-Südrichtung ca. 7,5 km lang. Die Wassertiefen variieren in diesem Gebiet zwischen 12,5 m und 20,0 m gemessen zum mittleren Wasserstand (m MSL). In die Vorhabenfläche sollen 63 WEAs mit je 15 MW Leistung installiert werden. Insgesamt soll der Offshore-Windpark *Gennaker* eine Gesamtkapazität von 945 MW ins Netz einspeisen. Abbildung 2 zeigt die geplanten WEA-Positionen im Offshore-Windpark *Gennaker*.

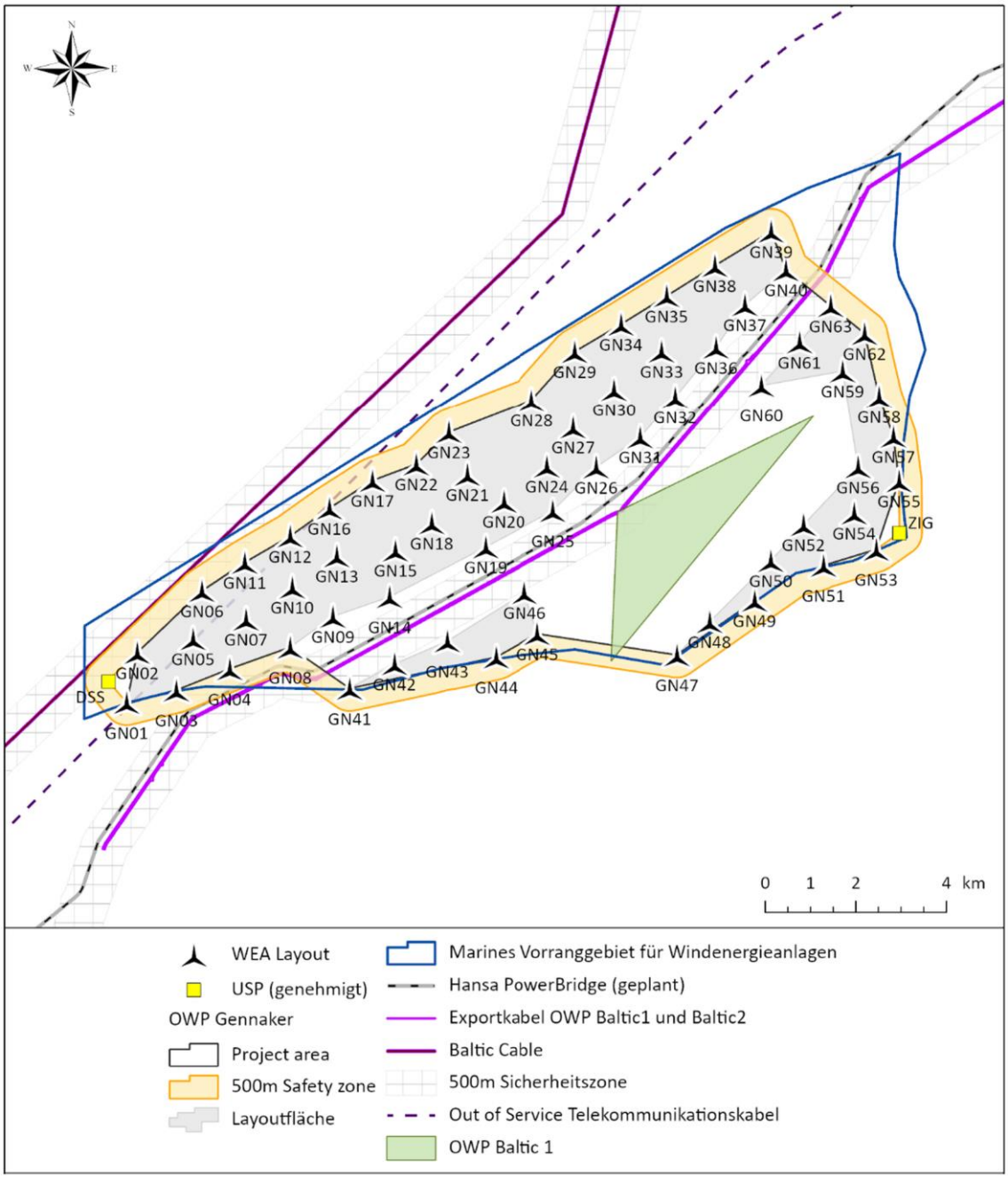


Abbildung 2: WEA-Positionen im geplanten Offshore-Windpark *Gennaker* [1].

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Die geplanten Windenergieanlagen sollen eine Gesamtbauhöhe von aktuell geplanten 261 m mit einer Nabenhöhe von maximal 143 m und einem Rotordurchmesser von ø = 236 m aufweisen.

Aktuell ist geplant, die Gründung der WEAs als Pfahlgründung (Tiefgründung) mittels Monopiles durchzuführen. Bei diesem Konzept wird ein Stahlrohr senkrecht in den Meeresboden gerammt.

3.3 Zu untersuchender Lastfall Wasserschall

Im aktuellen Vorhaben sollen die Monopile-Fundamente mit einem Impulsrammverfahren installiert werden.

Zur Gründung der Windenergieanlagen sind Stahlrohre mit einem maximalen Durchmesser von ø = 9 m und einer Länge von ca. 77 m eingeplant. Insgesamt sollen 63 Pfähle für die 63 Fundamente mithilfe eines Impulsrammverfahrens in den Grund eingetragen werden. An den Standorten der WEA variiert die Wassertiefe zwischen -14,2 m und -19,7 m (m MSL). Für die Prognose werden die zwei Fundamente mit diesen Grenztiefgängen gewählt. Der Typ der Ramme wurde aktuell noch nicht finalisiert, folglich werden Prognosen für die Rammenergien zwischen 1000 kJ und 5000 kJ in 1000 kJ-Schritten gerechnet. Bei der Prognose werden zwei Impulsrammverfahren (siehe [2]) betrachtet:

- Standard-Impulsrammverfahren mit handelsüblichem Rammhammer und
- optimiertes Impulsrammverfahren durch Reduzierung der Kraftspitzen und Verlängerung der Kraftübertagung, beispielhaft: MNRU [3] oder Pulse [4].

In diesem Gutachten wird das Pulse-System für die Prognosen und Berechnungen zum optimierten Impulsrammverfahren verwendet. Es wird erwartet, dass vergleichbare Systeme zu analogen Ergebnissen und Schlussfolgerungen führen.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

4 Akustische Metrik, Immissionsrichtwerte, Immissionsorte

4.1 Einleitung

Das Gesetz für die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) und das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) geben in Deutschland den Rahmen für die Prüfung von potenziell erheblichen Auswirkungen und für die Festlegung von Schallschutzsystemen zum Schutz von Arten und Habitaten vor.

Das Umweltbundesamt hat im Jahr 2011 Empfehlungen für Lärmschutz-Kriterien [5] ausgesprochen, um eine auditorische Beeinträchtigung des Schweinswals im Kontext einer vorübergehenden Hörschwellenverschiebung (TTS) zu vermeiden. Für Schweinswale in Deutschland hat das BMU ein Schallschutzkonzept veröffentlicht [6], das die Empfehlung des UBA für ein duales Lärmschutz-Kriterium übernommen hat.

Für die ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) setzt die deutsche Zulassungsbehörde BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) seit 2008 für Offshore-Windenergievorhaben nach dem Vorsorgeprinzip duale Lärmschutzwerte auf Aktivitätsebene für impulshaltige und lärmintensive Schalleinträge fest, die in einer Entfernung von 750 m zur Geräuschquelle eingehalten werden müssen.

Für das Vorhaben OWP *Gennaker* sind die messtechnischen Metriken des BSH [7] basierend auf den Empfehlungen des UBAs ebenfalls maßgeblich, obwohl dieses in der 12-sm-Zone gelegen ist.

Im Abschnitt 4.2 sind die notwendigen akustischen Metriken zusammengefasst, im Abschnitt 4.3 die Immissionsrichtwerte und Immissionsorte.

4.2 Akustische Metriken

Für die Betrachtung des Baulärms, siehe auch die Messvorschrift des BSH [7], gelten die nachstehend definierten Pegelgrößen:

- äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} für kontinuierliche Schallsignale,
- Einzelereignispegel L_E für impulshaltige Schallsignale,
- Spitzenpegel L_{peak} für impulshaltige Schallsignale.

Die verwendeten Pegelgrößen lehnen sich an die Definitionen der ISO 1996-1 ([8] und [9]) an, sind aber nicht identisch mit diesen. So wird die Definition des L_{eq} ohne Frequenzbewertung vorgenommen. Nach ISO 1996-1 soll die Bestimmung des Spitzenpegels (peak sound pressure level) mit einem Detektor gemäß IEC 61 672 [10] erfolgen.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} (oder Mittelungspegel)
ist definiert durch:

$$L_{\mathrm{eq}} = 10\,log_{10}\frac{{}^{1}/_{T}\int_0^T p(t)^2 dt}{p_0^2} \quad \mathrm{dB} \tag{1}$$

wobei p(t) den Schalldruck, p_0 den Bezugsschalldruck 1 µPa und T die Mittelungszeit darstellt[1].

Einzelereignispegel (auch: sound exposure level, SEL)

Zur Charakterisierung von impulshaltigen Geräuschen wird der Einzelereignispegel L_E[2] verwendet:

$$L_E = 10\,log_{10}\frac{E}{E_0} \quad \mathrm{dB} \tag{2}$$

mit der Schallexposition E

$$E = \int_0^T p(t)^2\,dt \tag{3}$$

und der Bezugsgröße

$$E_0 = p_0^2 \cdot T_o \tag{4}$$

wobei p_0 den Bezugsschalldruck 1 μPa, T_0 die Bezugszeitdauer 1 s und T die Mittelungszeit darstellt. Bei der Bewertung von Einzelereignissen entspricht die Mittelungszeit der Dauer T_E des Ereignisses.

Spitzenpegel L_{peak}

Diese Größe ist ein Maß für Schalldruckspitzen ohne Zeit-, Frequenzbewertung oder Mittelwertbildung

$$L_{\mathrm{peak}} = 20 \cdot log_{10}\frac{p_{\mathrm{peak}}}{p_0} \tag{5}$$

wobei p_0 den Bezugsschalldruck 1 µPa darstellt und p_{peak} den maximal festgestellten positiven oder negativen Schalldruck p_{peak}

$$p_{\mathrm{peak}} = max(|p(t)|). \tag{6}$$

[1] Laut ISO 1996-1 wird der äquivalente Dauerschallpegel auch mit dem Index T gekennzeichnet L_{eqT}.

[2] Es ist auch gebräuchlich, den Einzelereignispegel L_E als SEL (sound exposure level) zu bezeichnen.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

4.3 Immissionsrichtwerte und Immissionsorte

Die Immissionsrichtwerte und Immissionsorte sind nachstehend benannt:

Gemäß BSH [7] sind die dualen Lärmschutzwerte in 750 m von der Schallquelle messtechnisch zu erfassen. Diese Werte gelten für alle Vorhaben in der AWZ der Nordsee und sind auch in dem hier zu betrachtenden Vorhaben aufgrund der Maßgaben der Genehmigung einschlägig.

- Frequenz-ungewichteter, breitbandiger Einzelereignispegel:
  (SEL respektive LE) ≤ 160 dB (re 1 µPa2s),
- Spitzenpegel:
  (L_{peak}) ≤ 190 dB (re 1 µPa).

Diese Schallwerte werden in der messtechnischen Überprüfung und signalanalytischen Auswertung als 5 %-Perzentil bewertet.

4.4 Terzsummenschalldruckpegel

Der Gesamtpegel (oder Terzsummenschalldruckpegel) ergibt sich aus den einzelnen Terzpegeln eines Terzspektrums (1/3 Oktavspektrum) gemäß folgender Formel durch energetische Addition:

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot log_{10}\left(\sum 10^{\frac{Li}{10}}\right) \quad \text{dB} \tag{7}$$

mit

$$L_i = \text{Terzpegel} \; . \tag{8}$$

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

5 Berechnungsschritte der Schallemission und Schallimmission

5.1 Schallausbreitung

Die Schallausbreitung zu einem Immissionsort im Wasser hängt vor allem von zwei Faktoren ab: dem Abstand von einer Schallquelle und der Wassertiefe.

Zur Beschreibung der ausbreitungsabhängigen Abnahme der Schallintensität oder des Schalldrucks wird die Ausbreitungsdämpfung (oder der Ausbreitungsverlust) verwendet. In der Unterwasserakustik ist dies die Abnahme der Schallintensität oder des Schalldrucks zwischen zwei Messpunkten, angegeben in Dezibel. Im vorliegenden Fall ist das die Schalldruck-Pegeldifferenz zwischen zwei Messpunkten im Schallfeld.

In [11] sind Näherungsformeln zur Berechnung der Schallausbreitung für verschiedene Gebiete der Nordsee für „glatte“ und für „raue“ See publiziert. Bei Offshore-Arbeiten wird von günstigen Wetterbedingungen ausgegangen. Daher wird hier die Ausbreitungsdämpfung für „glatte“ See (IIg) verwendet:

$$TL = (16{,}07 + 0{,}185 \cdot F) \cdot (log_{10}(R) + 3) + (0{,}174 + 0{,}046 \cdot F + 0{,}005 \cdot F^2) \cdot R \quad (9)$$

Dabei sind:

TL	Ausbreitungsdämpfung (engl. Transmission Loss) in dB,
F	$F = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{f}{1\ \mathrm{kHz}}\right)$,
R	Entfernung zur Schallquelle in km,
f	Frequenz in Hz.

Anmerkung:
Strenggenommen gilt diese Gleichung nur für winterliche Bedingungen mit guter Durchmischung des Wassers ohne ausgeprägtes Schallgeschwindigkeitsprofil in der Nordsee. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Formel (9) im Vergleich mit Messdaten eine gute Näherung darstellt, siehe [2].

Die Berechnung der Ausbreitungsdämpfung (Schalldruckpegel in den Schallkarten) wurde in dieser Prognose nach Formel (9) durchgeführt unter Berücksichtigung der Ausbreitungseigenschaften aufgrund Bathymetrie und Boden, siehe den nachstehenden Abschnitt 5.2.

5.2 Bathymetrie und Bodenbeschaffenheit

Die Wassertiefe hat einen Einfluss auf die Ausbreitung des Wasserschalls. Abhängig von der Wassertiefe ist unterhalb einer Grenzfrequenz („Cut-off-Frequenz“) keine kontinuierliche Schallausbreitung möglich. Je flacher das Gewässer, desto höher ist die Grenzfrequenz. Weiterhin spielt die Bodenbeschaffenheit eine wichtige Rolle und kann über folgende Gleichung (10) aus [12] abgeschätzt werden.

$$f_0 = \frac{c_{Wasser}}{4h} \sqrt{\frac{1}{1-(c_{Wasser}/c_{Boden})^2}} \quad \mathrm{Hz} \quad (10)$$

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Dabei sind:

f_0	*die Grenzfrequenz in Hz*,
h	die Wassertiefe in m,
c_{Wasser}	die Schallgeschwindigkeit von Wasser: 1500 m/s,
c_{Boden}	die Schallgeschwindigkeit vom Boden in m/s.

Typische Kenndaten für sandige Böden sind in [13] gegeben. Die gesamte Metrik ist in [14] zusammengefasst. Der Verlauf der Grenzfrequenzen für verschiedene Sandarten ist in Abbildung 3 dargestellt. Weiter ist in Abbildung 3 die Abhängigkeit für einen schallharten Boden dargestellt.

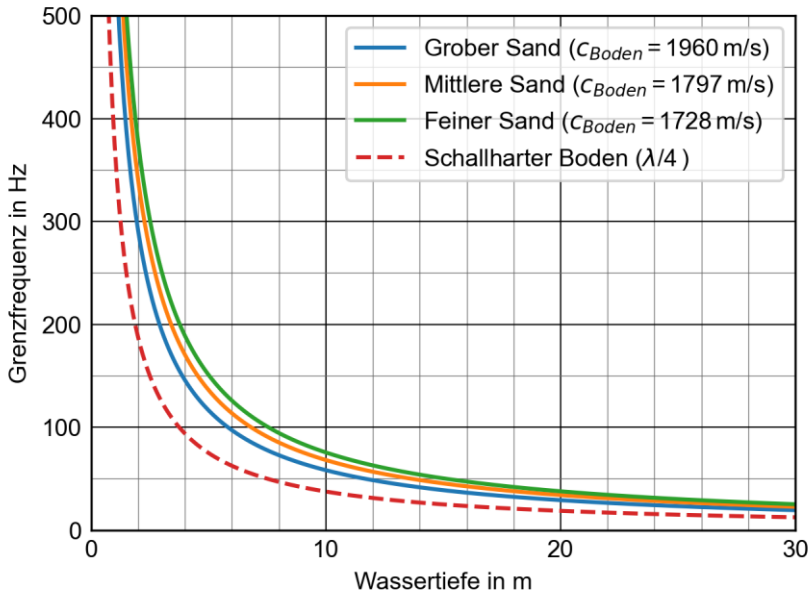


Abbildung 3: Grenzfrequenz für Sandböden in Abhängigkeit der Wassertiefe.

Die Grenzfrequenz ist eine Funktion der Wassertiefe und der Bodeneigenschaften: Im Wasser über schallharten Böden sind die Schallwellen nicht ausbreitungsfähig, wenn ein Viertel der Wellenlänge größer als die Wassertiefe ist. Die vorliegenden Bodenanalysen des geplanten Offshore-Windparks [15] zeigen als erste Bodenschicht über eine Tiefe von im Mittel 20 – 30 m einen Sandboden mit unterschiedlichen Körnungen auf. Im Rahmen dieser Prognose wurde ein Boden bestehend aus mittlerem Sand gemäß Abbildung 3 berücksichtigt.

Im Prognosegebiet liegen unterschiedliche Wassertiefen vor und folglich auch unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf die Ausbreitung des Wasserschalls. Zur Erstellung der Schallausbreitungskarten werden projektspezifische Bathymetrie-Daten [15] und öffentlich zugängliche Bathymetrie-Daten von EMODnet [16] verwendet, siehe Abbildung 4.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

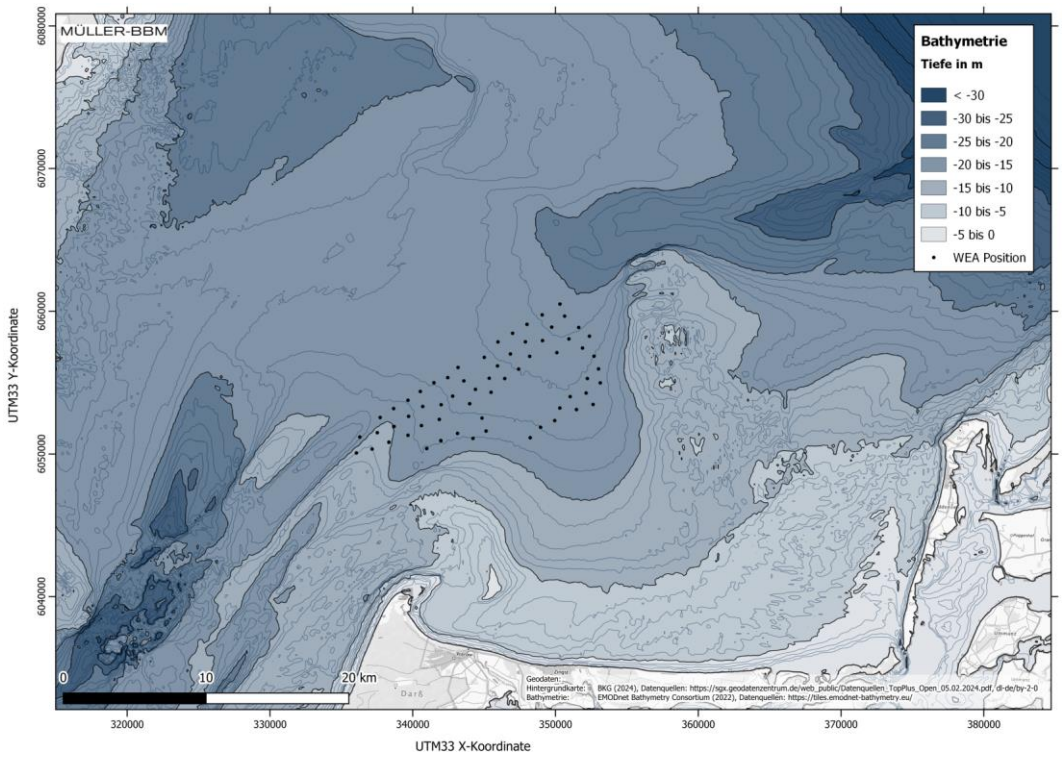


Abbildung 4 : Bathymetrie im Berechnungsgebiet der Schallausbreitung [16].

5.3 Wasserschallprognose

5.3.1 Vorgehensweise

Nachfolgend wird beschrieben, wie die Prognose durchgeführt worden ist:

- Berechnung des Einzelereignispegels – SEL in 750 m,
- Definition von idealisierten Rammspektren,
- Ausbreitungsdämpfung unter Berücksichtigung der Bathymetrie,
- Zusammenhang zwischen Einzelereignispegel und Spitzenpegel.

5.3.2 Berechnung des SEL in 750 m Entfernung mittels empirischer Formel

Müller-BBM hat im Rahmen eines internen Forschungsprojektes eine empirische Formel für die Berechnung des SEL in 750 m Entfernung entwickelt und mit zahlreichen Messungen validiert. In diese Formel gehen folgende Parameter ein:

- Rammenergie in kJ,
- Pfahldurchmesser in m,
- Wassertiefe am Pfahl in m.

Die empirische Formel berechnet den SEL in 750 m Entfernung vom Rammpfahl. Pegel in abweichenden Entfernungen können über die in Abschnitt 5.1 dokumentierte Ausbreitungsdämpfung, Gleichung (9), berechnet werden.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

In der vorliegenden Prognose wurde der SEL in 750 m Entfernung über die Ausbreitungsdämpfung (Abschnitt 5.1) und unter Berücksichtigung von Bathymetrie und Bodeneigenschaften (Abschnitt 5.2) berechnet.

Zur Validierung der empirischen Formel sind in Abbildung 5 der prognostizierte SEL in 750 m Entfernung in Abhängigkeit des Pfahldurchmessers mit einer Rammenergie von E = 2000 kJ bei einer Wassertiefe h = 20 m sowie interne Messdaten und Messdaten aus [2] dargestellt. Sofern die notwendigen Informationen zur Rammenergie zur Verfügung standen, wurden die Messdaten auf eine Rammenergie von 2000 kJ umgerechnet, d. h. normalisiert.

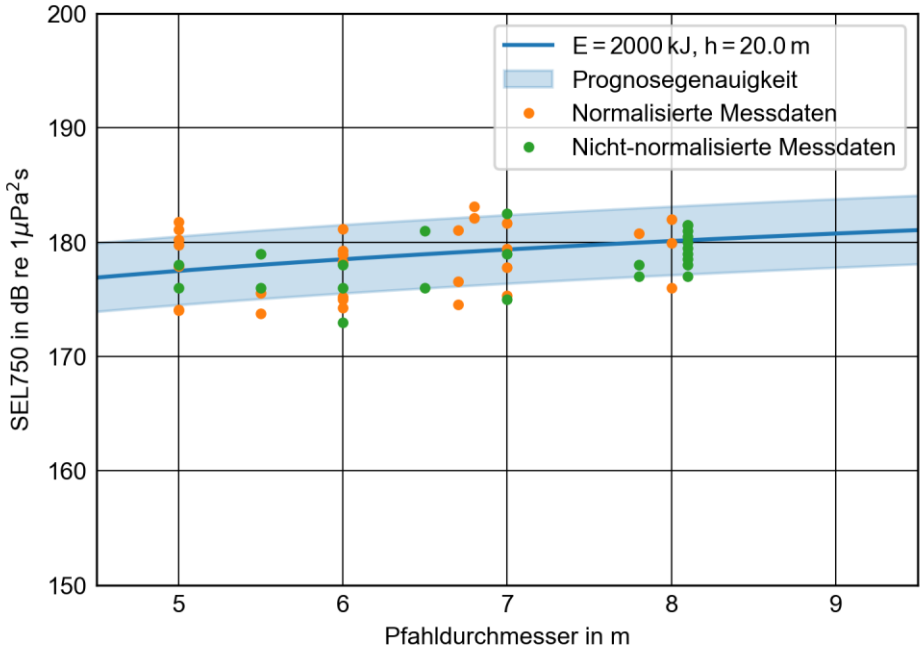


Abbildung 5: Vergleich zwischen der SEL Prognose (E = 2000 kJ, h = 20 m) mit internen Messdaten und Messdaten aus dem ERa-Bericht [2] in 750 m Entfernung. Sofern die notwendigen Informationen zur Rammenergie zur Verfügung standen, wurden die Messdaten auf eine Rammenergie von 2000 kJ umgerechnet, d. h. normalisiert.

5.3.3 SEL und idealisiertes Frequenzspektrum

Für die Prognose werden nachstehende Frequenzzusammensetzungen des Rammgeräusches betrachtet. Abbildung 6 zeigt die für diese Prognose eingesetzten idealisierten Frequenzspektren. Die idealisierten Frequenzverteilungen des Einzelereignispegels SEL in 750 m Entfernung wurden nach Erfahrungswerten für ein Standard- und ein optimiertes Impulsrammverfahren generiert und sind in Tabelle 1 dokumentiert.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Tabelle 1. Definition der idealisierten Frequenzspektren.

Ramme	Frequenzbereich	Pegeländerung
Standard-Impulsrammverfahren	10 Hz bis 50 Hz	+15 dB pro Oktave
	50 Hz bis 200 Hz	konstant
	200 Hz bis 500 Hz	-9 dB pro Oktave
	500 Hz bis 1 kHz	-3 dB pro Oktave
	1 kHz bis 20 kHz	-6 dB pro Oktave
Optimiertes Impulsrammverfahren (Bsp. Pulse-System)	10 Hz bis 40 Hz	+9 dB pro Oktave
	40 Hz bis 250 Hz	konstant
	250 Hz bis 20 kHz	-6 dB pro Oktave

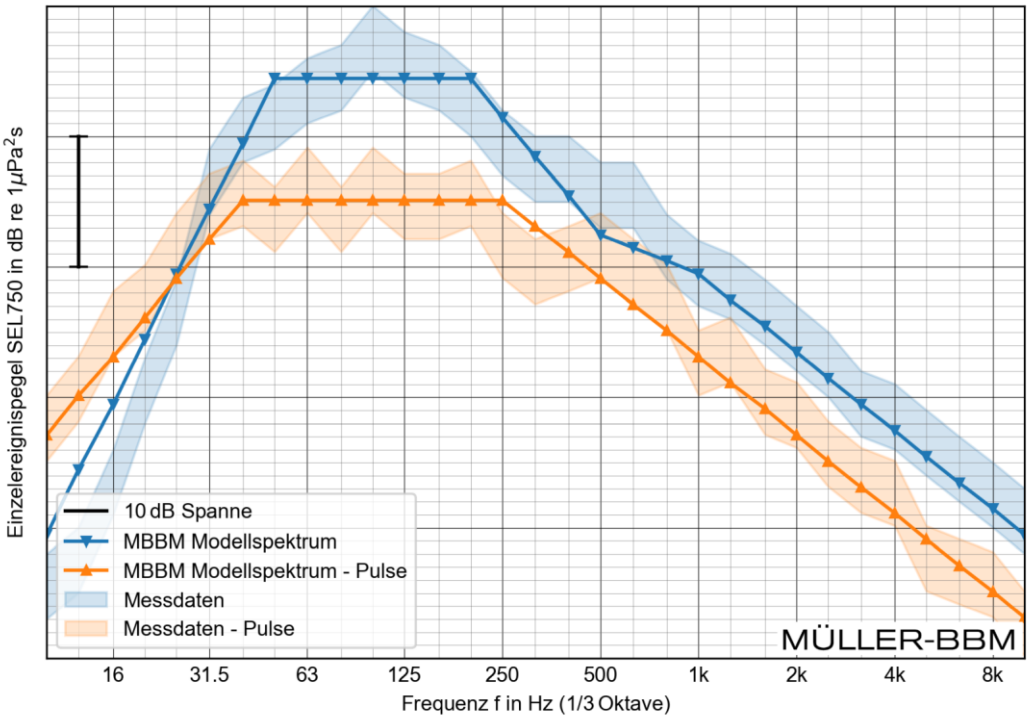


Abbildung 6: Frequenzverteilung für den Einzelereignispegel in 750 m Entfernung verursacht mit einem Standard- und einem optimierten Impulsrammverfahren (hier beispielhaft Pulse-System) mit exemplarischen Messdaten.

Die dargestellten idealisierten Frequenzspektren werden mit dem berechneten (und validierten) Einzelereignispegel in 750 m (SEL) so kombiniert, dass der Summenpegel des idealisierten Frequenzspektrums dem SEL entspricht. Für das optimierte Impulsrammverfahren wurde eine mittlere Reduktion von 8 dB im Vergleich zu dem Standard-Impulsrammverfahren angenommen, siehe vergleichend [4].

Anmerkung:
Die Position (Frequenzbereich) des Plateaus der höchsten Pegel variiert in Abhängigkeit der Pfahllänge und Größe. Die projektspezifischen Parameter wurden bei der Definition der in Abbildung 6 dargestellten Spektren berücksichtigt.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

5.3.4 Zusammenhang zwischen SEL und L_{peak}

Bei der Bewertung der Schallpegel in 750 m muss neben dem Einzelereignispegel (SEL) auch der Spitzenpegel L_{peak} betrachtet werden. In Abbildung 7 ist eine statistische Auswertung dieser Differenz basierend auf Messdaten dargestellt.

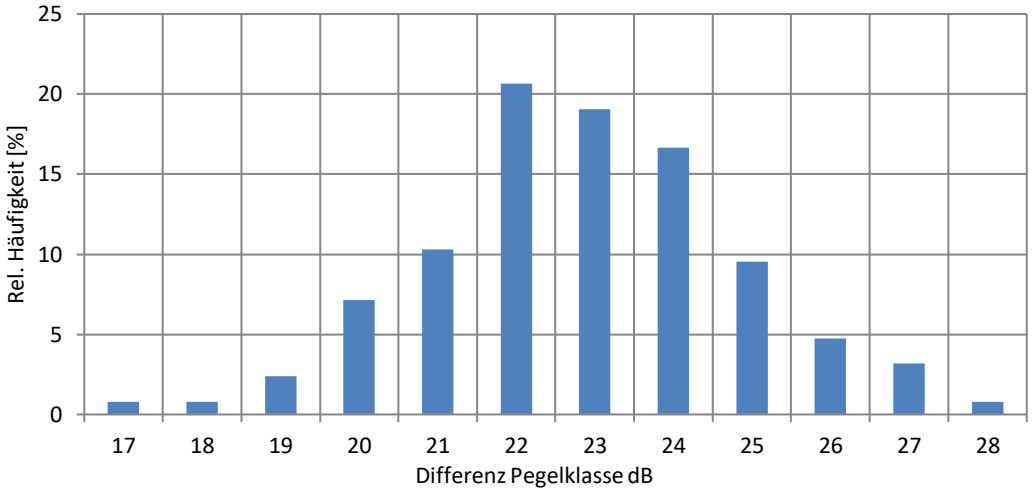


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Differenz L_{peak},5 % – SEL 5 % von 126 unterschiedlichen Messungen von Monopile-Rammprozessen.

Diese statistische Auswertung beruht auf 126 unterschiedlichen Messungen und Auswertungen an Pfählen, die in Windparks ermittelt wurden. Es wird für diesen Bericht eine Pegeldifferenz von L_{peak} = SEL + 24 dB angenommen, die für über 80 % der untersuchten Fälle eine obere Grenze darstellt.

5.3.5 Berechnung Ausbreitungsdämpfung unter Berücksichtigung der Bathymetrie und Bodenbeschaffenheit

Für die im Abschnitt 6.2 dargestellte Schallausbreitungskarte wird die Ausbreitungsdämpfung nach Formel (9) aus Abschnitt 5.1, unter Beachtung der in Abschnitt 5.2 dargestellten Bathymetrie und Bodenbeschaffenheit, mittels der dargestellten Grenzfrequenz der Schallausbreitung berechnet.

In den Schallausbreitungskarten wird der Summenpegel des Terzspektrums an jedem Ort dargestellt. Die einzelnen Terzpegel an jedem Ort berechnen sich aus den Terzpegeln der Quellspektren abzüglich der jeweiligen Ausbreitungsdämpfung in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Quelle und dem Ort und in Abhängigkeit von der Bathymetrie und Bodenbeschaffenheit an jedem Ort.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

6 Schallemission und Schallimmission

6.1 Einzelereignispegel und Spitzenpegel in 750 m

Für die Prognose werden exemplarisch zwei Positionen betrachtet, die des Fundamentes GN03 und die des Fundamentes GN39. Die gewählten Fundamente liegen an Eckpunkten des Windparks mit niedrigster sowie höchster Wassertiefe, siehe Abbildung 8. Die Geo-Koordinaten sowie die Wassertiefe dieser beiden Fundamente sind in Tabelle 2 dokumentiert.

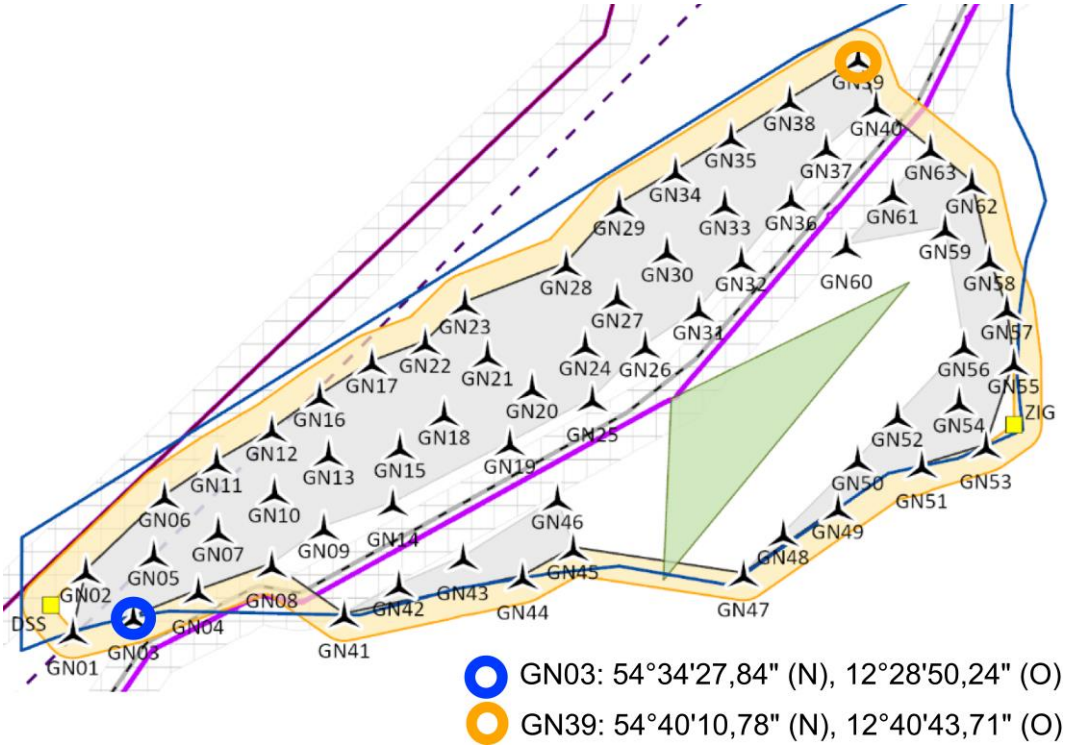


Abbildung 8: Geo-Positionen der geplanten WEA [1]. Markiert sind die Positionen für die Fundamente GN03 und GN39.

Tabelle 2. Geo-Koordinaten (ESPG 4326) und Wassertiefe (2020 m MSL) von den betrachteten Fundamenten.

Fundament	Breitengrad N	Längengrad O	Wassertiefe
GN03	54°34’27,84“	12°28’50,24“	-14,22 m
GN39	54°40’10,78“	12°40’43,71“	-19,73 m

Für die Prognose werden folgende Parameter verwendet:

- Wassertiefe -14,22 m / -19,73 m,
- Pfahldurchmesser ø = 9 m,
- Ramme Es werden zwei Verfahren betrachtet, Standard- sowie optimiertes Impulsrammverfahren.
- Rammenergie 1000 – 5000 kJ in 1000 kJ-Schritten.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Unter Berücksichtigung der oben genannten Parameter wurden die folgenden Einzelereignispegel berechnet. Die kursiven Werte repräsentieren die Werte unter Verwendung eines optimierten Impulsrammverfahren, wie zum Beispiel dem Pulse-System.

Tabelle 3. Prognose Unterwasserschall in 750 m Entfernung zur Schallquelle in dB für die ausgewählten Monopile-Gründungen in Abhängigkeit von der Rammenergie ohne Anwendung sekundärer Schallschutzsysteme.

Fundament (Wassertiefe)	**Rammenergie [kJ]**	**Einzelereignispegel SEL_{750m} [dB re 1 µPa²s]**	**Spitzenpegel $L_{peak,750m}$ [dB re 1 µPa]**
GN03 (-14,22 m)	1000	176 / *168**	200 / *192**
	2000	179 / *171**	203 / *195**
	3000	181 / *173**	205 / *197**
	4000	182 / *174**	206 / *198**
	5000	183 / *175**	207 / *199**
GN39 (-19,73 m)	1000	178 / *170**	202 / *194**
	2000	181 / *173**	205 / *197**
	3000	182 / *174**	206 / *198**
	4000	184 / *176**	208 / *200**
	5000	185 / *177**	209 / *201**

*für optimierte Impulsrammverfahren

Hinweise zu den Prognosen:

Die Werte aus Tabelle 3 gelten nur für den Fall, dass die Pfähle einzeln gerammt werden. Sollten mehrere Pfähle zeitgleich gerammt werden, erhöhen sich die prognostizierten Werte.

6.2 Immissionsprognose, Isophone (ungedämmter Rammschall)

Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Immissionsprognose für den Standort GN03 mit einer Rammenergie von 4000 kJ mit einem Standard-Impulsrammverfahren ohne die Verwendung von Schallschutzsystemen. Im Anhang A sind alle Immissionsprognosen (Standorte GN03 und GN39, Standard- und optimiertes Impulsrammverfahren) als größere Abbildungen dargestellt.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

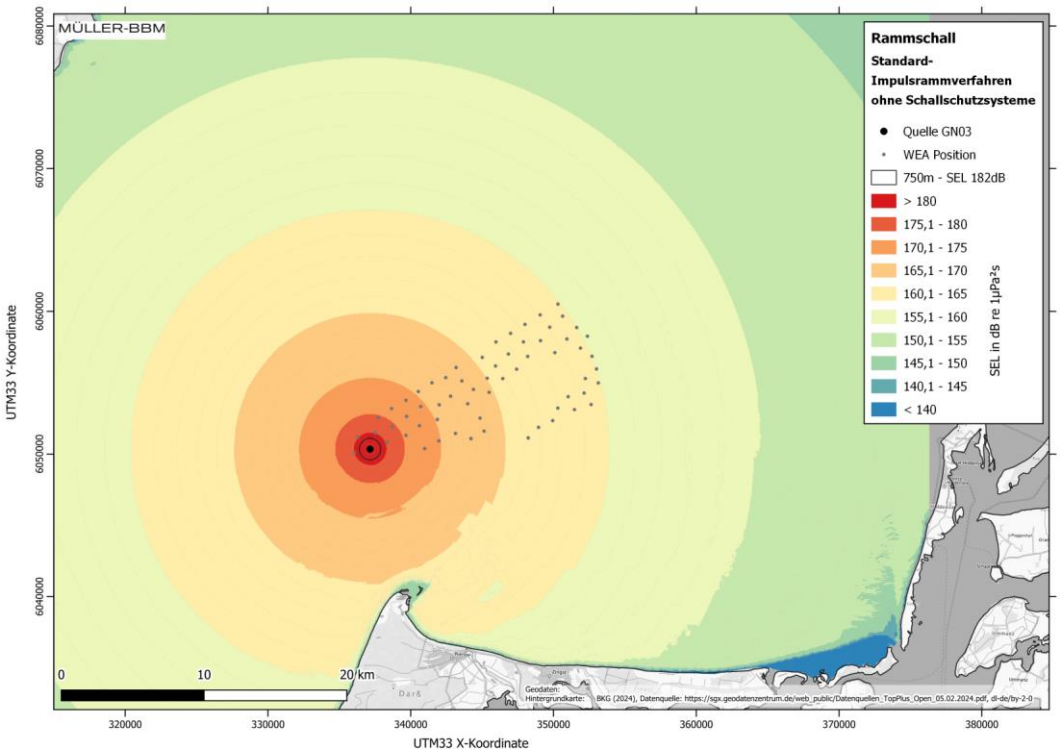


Abbildung 9: Immissionsprognose für den Standort GN03 mit einer Rammenergie von 4000 kJ mit einem Standard-Impulsrammverfahren ohne die Verwendung von Schallschutzsystemen.

In der Immissionsprognose ist der Summenpegel aus den einzelnen Terzpegeln unter Berücksichtigung der Ausbreitung, Wassertiefe und Bodenbeschaffenheiten dargestellt.

6.3 Prognosegenauigkeit

Das Müller-BBM-Prognosemodell für den Unterwasserschallpegel in 750 m Entfernung zur Schallquelle (750 m-Pegel) wurde mit zahlreichen Messdaten und numerischen Berechnungen aus Forschungsprojekten validiert. Es ist von einer Prognosegenauigkeit von ± 3 dB auszugehen, die sich u. a. aus der Wahl der Rammwerkzeuge, den Eigenschaften des Bodens (Schichtungen) und auch der Messungenauigkeit bei den Messungen in 750 m Entfernung, die zur Validierung herangezogen wurden, ergibt.

Bei der Ausbreitungsberechnung wird von einer geschätzten gesamten (750 m-Pegel plus Ausbreitung) Genauigkeit von ± 5 dB bis zu einer Entfernung von 10 km zur Quelle ausgegangen, die u. a. von den Witterungsbedingungen, Änderungen der Eigenschaften des Bodens (Schichtungen), Wasserschichtungen und Strömungen abhängig ist.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

7 Schallschutzsysteme

7.1 Einleitung

Basierend auf den prognostizierten Einzelereignispegeln in 750 m (siehe Tabelle 3), im Vergleich zu den Immissionsrichtwerten aus Kapitel 4.3, muss die Verwendung von Schallschutzsystemen eingeplant werden. Die Breitband-Einfügungsdämpfungen der verwendeten Schallschutzsysteme müssen bei konservativer Betrachtung folgende Anforderungen einhalten (für eine Rammenergie von 4000 kJ):

- Standard-Impulsrammverfahren: 27 dB,
- Optimiertes Impulsrammverfahren (Bsp. Pulse-System): 19 dB.

Diese Anforderungen beinhalten einen Sicherheitszuschlag von 3 dB, welcher die Prognoseungenauigkeit berücksichtigt.

Bei der Erstellung eines geeigneten Schallschutzkonzepts muss die spektrale Verteilung des Quellspektrums berücksichtigt werden.

7.2 Übersicht unterschiedlicher Schallschutzsysteme

Der ERa-Bericht [2] und beispielhaft Bericht [18] geben eine ausführliche Beschreibung von möglichen Schallschutzsystemen und dienen als Grundlage für die hier angeführte Auflistung an möglichen Systemen.

Hinweise zu den Breitband-Einfügungsdämpfungen:

Die im Folgenden genannten Breitband-Einfügungsdämpfungen (ΔSEL) können lediglich als Richtwert dienen und sind immer in Verbindung mit den dazugehörigen frequenzabhängigen spektralen Einfügungsdämpfungen und den Anwendungsfällen (Dimension der Pfähle, Rammenergien, Wassertiefen und Bodeneigenschaften/ Umgebungsbedingungen in den Projektgebieten) zu beurteilen.

Schallschutzsysteme können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

1. Primäre Schallschutzmaßnahmen und Schallschutzsysteme,
2. Sekundäre Schallschutzsysteme.

Der primäre Schallschutz zielt darauf ab, die Quellstärke zu reduzieren. Dies kann durch eine Reduzierung der Rammenergie oder durch optimierte Impulsrammverfahren erreicht werden, wie zum Beispiel:

- Menck Noise Reduction Unit (MNRU, ΔSEL: 9 – 12 dB von [3]),
- IQIP Piling Under Limited Stress Equipment (Pulse, ΔSEL: 6 – 10 dB von [4]).

Das MNRU-System und das Pulse-System sind Zusatzgeräte am Standard-Impulshammer und dämpfen den Schlag und damit den abgestrahlten Lärm.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Sekundäre Schallschutzsysteme zielen darauf ab, die Schallausbreitung in das umgebende Wasser zu mindern. Bei sekundären Schallschutzsystemen unterscheidet man zwischen:

- pfahlnahen Systemen,
- pfahlfernen Systemen und
- Kombinationen aus verschiedenen Systemen.

Die Schallschutzsysteme müssen projektspezifisch (u. a. unter der Berücksichtigung des frequenzabhängigen Quellspektrums) ausgewählt werden.

Pfahlnahe Systeme:

Häufig verwendete pfahlnahe Systeme sind beispielhaft:

- Hydroschall-Dämpfer (HSD, ΔSEL: 10 – 12 dB aus [2]):
  Um den Pfahl wird ein spezielles Netz aus Ballons/Schwimmblasen sowie Schaumstoffelementen angebracht. Die Auswahl (Menge, Größe, Verteilung) der verschiedenen Elemente wird den projektspezifischen Anforderungen angepasst.
- Noise Mitigation Screen (IHC-NMS, ΔSEL: 13 – 17 dB aus [2]):
  In einem feststehenden doppelwandigem Rohr wird der zu rammende Pfahl geführt gerammt. Zusätzlich wird zwischen Rohr und Pfahl ein Blasenschleier installiert. Parameter des Systems sind u. a. Dicke der Wandung, Unterschied der Durchmesser von Pfahl und Rohr, Variation des Blasenschleiers.

Pfahlferne Systeme:

Üblicherweise wird als pfahlfernes System ein Blasenschleier verwendet. Hierbei werden Luftschläuche kreisförmig in einem vordefinierten Abstand um den Pfahlstandort gelegt und mittels Kompressoren Luft durch Löcher in den Schläuchen ins Wasser gepumpt. Der Luftdruck, die Luftmenge, der Durchmesser und Abstand der Löcher sowie der Abstand zum Pfahl sind Einstellparameter für diese Systeme und müssen an das Projekt angepasst werden. Als mögliche Ausführung eines Blasenschleiers können folgende Varianten genannt werden:

- BBC (ΔSEL: 7 – 14 dB aus [2]): einfacher „Großer Blasenschleier“,
- DBBC/TBBC (ΔSEL: 8 – 18 dB aus [2]): doppelter/dreifacher „Großer Blasenschleier“.

Kombinationen aus verschiedenen Systemen:

Es liegen umfassende Erfahrungen mit der Kombination von pfahlnahen und pfahlfernen Systemen vor, um die Dämpfungswirkung zu erhöhen, bzw. die Schallminderung zu optimieren. Beispiele für Kombinationen aus anderen Projekten sind unter anderem:

- IHC-NMS und Blasenschleier (z. B. DBBC, ΔSEL: 19 – 22 dB aus [2]) und
- HSD und Blasenschleier (z. B. BBC, ΔSEL: 15 – 20 dB aus [2]).

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Ebenso kann eine Kombination aus primären (optimierten Impulsrammverfahren) und sekundären Schallschutzsystemen zu einer stärkeren Reduktion der Unterwasserschallpegel in 750 m als bei Verwendung nur eines Systems führen:

- Pulse/MRNU und Blasenschleier (z. B. DBBC),
- Pulse/MRNU und HSD und Blasenschleier (z. B. TBBC).

Den Autoren sind keine öffentlich dokumentierten Einfügungsdämpfungen zu solchen Kombinationen bekannt.

Hinweise zu den Einfügungsdämpfungen von kombinierten Schallschutzsystemen:

Die resultierende Einfügungsdämpfung aus einer Kombination von Schallschutzsystemen ist nicht die arithmetische Summe der einzelnen Einfügungsdämpfungen. Es muss berücksichtigt werden, dass:

- sich die Systeme gegenseitig beeinflussen können,
- sich die Effektivität der Schallschutzsysteme reduzieren kann, z. B. durch einen Bodennebenweg, und
- je nach Impulsrammverfahren unterschiedliche Frequenzverteilungen des Quellspektrums vorliegen können.

7.3 Mindestanforderungen an Einfügungsdämpfung

Zur Erfüllung der Lärmschutzwerte in 750 m müssen Schallschutzsysteme definiert werden, die die notwendigen Pegelreduktionen erzielen können.

In diesem Abschnitt werden exemplarisch zwei generische Einfügungsdämpfungen beschrieben, die die Auswahl von Schallschutzsystemen unterstützen können.

In Abbildung 10 sind diese Einfügungsdämpfungen dokumentiert, welche Mindestanforderungen (ohne den in Abschnitt 7.1 angesprochenen Sicherheitszuschlag von 3 dB) an zu implementierende Schallschutzsysteme darstellen, um die Lärmschutzwerte in 750 m einhalten zu können. Beide Anforderungen richten sich nach den verwendeten Impulsrammverfahren:

- Mindestanforderung der Einfügungsdämpfung an Standard-Impulsrammverfahren,
- Mindestanforderung der Einfügungsdämpfung an optimierte Impulsrammverfahren (beispielhaft Pulse- oder MNRU-System).

Zusätzlich sind in Abbildung 10 als Kurvenschar (graues Band) spektrale Einfügungsdämpfungen von diversen Schallschutzsystemen (Einzel- sowie kombinierte sekundäre Schallschutzsysteme) basierend auf Messdaten aus Bericht [2] dargestellt. Auf eine genaue Benennung der einzelnen Systeme wird explizit verzichtet, da die Einfügungsdämpfungen von einer Vielzahl von projektspezifischen Parametern abhängen und nicht eins zu eins auf das aktuelle Projekt übertragen werden können.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

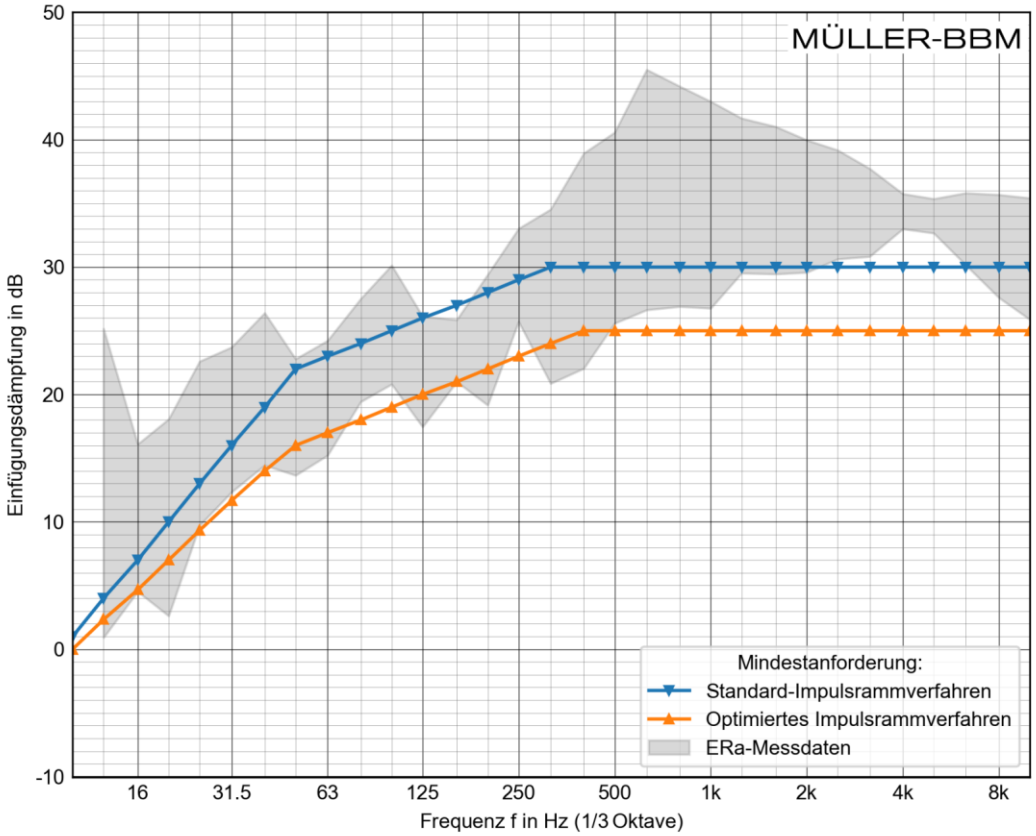


Abbildung 10: Generische Einfügungsdämpfungen von kombinierten sekundären Schallschutzsystemen. Mindestanforderung der Einfügungsdämpfung an Standard-Impulsrammverfahren (blau) und an optimierte Impulsrammverfahren (orange), ergänzt um Messdaten (graues Band) aus dem ERa-Bericht [2].

Hinweis zur Bestimmung der notwendigen Einfügungsdämpfung:

Abbildung 11 stellt exemplarisch für das Standard-Impulsrammverfahren den spektralen Einzelereignispegel in 750 m ohne Schallschutzsysteme (durchgezogene Linie) und mit Schallschutzsystemen (gepunktete Linie) mit einer Einfügungsdämpfung entsprechend der Mindestanforderung zum Einhalten der Lärmschutzwerte in 750 m dar. Die notwendige Einfügungsdämpfung ist als blaue Fläche zwischen den beiden spektralen Einzelereignispegeln dargestellt.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

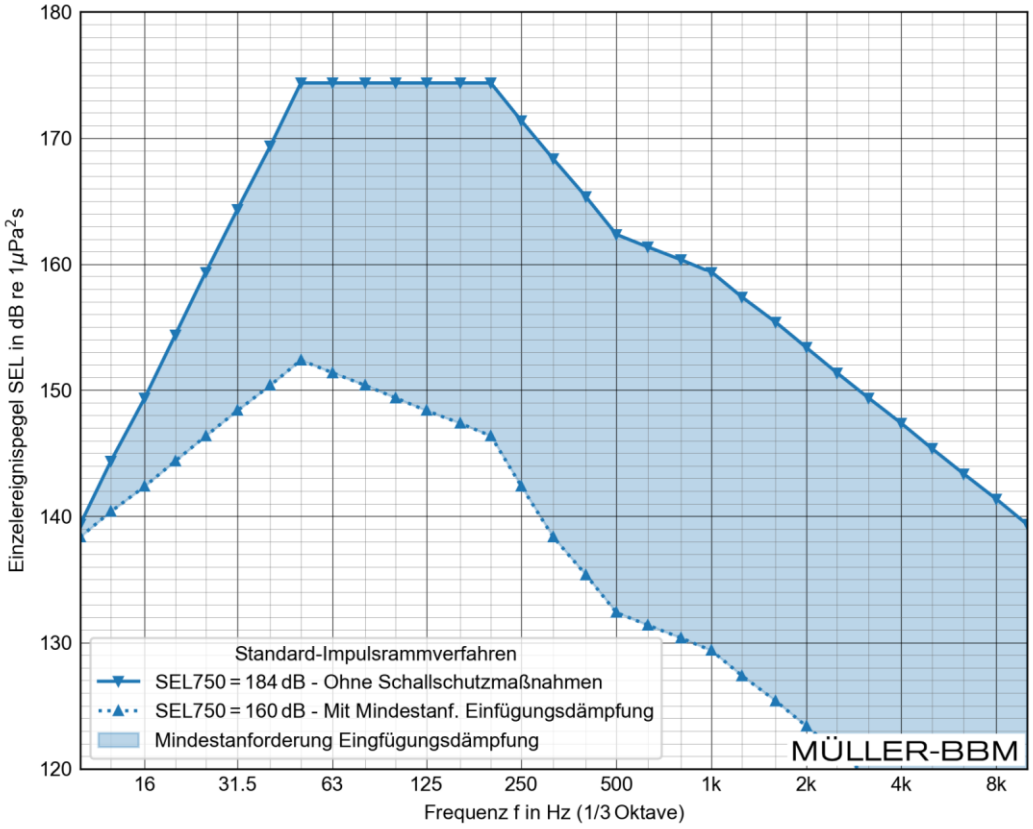


Abbildung 11: Examplarische Darstellung der spektralen Einzelereignispegel in 750 m ohne Schallschutzsysteme und mit Schallschutzsystemen mit einer Einfügungsdämpfung entsprechend der spektralen Mindestanforderung.

7.4 Beurteilung der Umsetzbarkeit der notwendigen Einfügungsdämpfung

Im folgenden Abschnitt wird diskutiert, inwieweit die notwendigen Einfügungsdämpfungen zum Einhalten der Lärmschutzwerte mit aktuell zur Verfügung stehenden Schallschutzsystemen umgesetzt werden können.

Vergleich der notwendigen Einfügungsdämpfung mit Messdaten:

In Abbildung 10 ist ein Vergleich zwischen den notwendigen und auf Messdaten basierenden Einfügungsdämpfungen gegeben. Hierbei ist zu beachten, dass die Messdaten sich auf das Standard-Impulsrammverfahren beziehen und dass die Messdaten aus Messungen an Pfählen bis zu einem maximalen Pfahldurchmesser von 8 m stammen.

Die Mindestanforderung der Einfügungsdämpfung an Standard-Impulsrammverfahren liegt im Frequenzbereich 50 Hz bis 250 Hz nah an der oberen Grenze der Messdaten-Kurvenschar, weswegen die Einhaltung der dualen Lärmschutzwerte durch diesen Bereich mit einem Standard-Impulsrammverfahren als herausfordernd angesehen werden muss.

Beim optimierten Impulsrammverfahren liegen die Mindestanforderungen der Einfügungsdämpfungen von kombinierten Schallschutzsystemen im Bereich schon

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

nachgewiesener Einfügungsdämpfungen und sind daher mit aktuell verfügbaren Techniken als einhaltbar einzustufen.

Notwendige hohe Einfügungsdämpfung bei tiefen Frequenzen:

Die spektralen Einzelereignispegel in 750 m zeigen die höchsten Pegel im Frequenzbereich von 50 Hz bis 250 Hz auf, siehe Abbildung 11. Diese Pegel bestimmen maßgeblich den Einzelereignispegel (SEL in 750 m) und somit die Frage der Einhaltung der Lärmschutzwerte in 750 m. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von einer hohen tieffrequenten Wirksamkeit der Schallschutzsysteme.

Kombination aus Schallschutzsystemen:

Bei der Kombination aus verschiedenen Schallschutzsystemen muss berücksichtigt werden, dass sich die Systeme gegenseitig beeinflussen können, dass sich die Effektivität der Systeme reduzieren kann und dass je nach Impulsrammverfahren unterschiedliche Frequenzverteilungen der Quellspektren, siehe Abbildung 6, vorliegen können.

Positionierung der pfahlfernen Schallschutzsysteme:

Neben dem direkten Schalleintrag ins Wasser sind die Nebenwege des Schalls über den Boden insbesondere wegen der langen Pfähle zu beachten. Die erste Schichtung aus Sandboden weist eine vergleichend zu anderen Böden gute Dämpfung auf und wird daher den Nebenweg über den Boden begrenzen.

Ergänzend sollte die Bodenschichtung bei der Positionierung der pfahlfernen Schallschutzsysteme mit beachtet werden.

Effektivität von Schallschutzsystemen bei geringen Wassertiefen:

Schallschutzsysteme wie der Blasenschleier werden heutzutage bis zu Wassertiefen von 45 m eingesetzt. Aufgrund der verfügbaren Technologien kann bei der geringeren Wassertiefe in dem Projektgebiet des OWP *Gennaker* der Massenstrom optimiert (hoher Volumenanteil der komprimierten Luft) eingesetzt werden, und es ist davon auszugehen, dass bei optimierter Auslegung eine gute schalltechnische Wirkung erzielt werden kann.

Abschließende Bemerkungen:

Um die Lärmschutzwerte zu erfüllen, sind zwei Lösungsansätze möglich. Es wird entweder

- ein optimiertes Impulsrammverfahren (Bsp. Pulse- oder MNRU-System) mit einem pfahlfernen Schallschutzsystem, welches mit einem pfahlnahen Schallschutzsystem kombiniert werden könnte,

oder

- ein Standard-Impulsrammverfahren mit einer Kombination aus einem effizienten pfahlnahen (Bsp. IHC-NMS-System) und pfahlfernen Schallschutzsystem notwendig sein, um die Lärmschutzwerte zu erfüllen.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Die Rammenergie von 4000 kJ sollte in beiden Ansätzen nicht überschritten werden, und es sollte vorzugsweise mit niedrigeren Rammenergien gearbeitet werden.

7.5 Immissionsprognose, Isophone (mit Schallschutzsystemen)

Abbildung 12 zeigt beispielhaft die Immissionsprognose für den Standort GN39 mit einem optimierten Impulsrammverfahren und der Verwendung von weiteren pfahlnahen und pfahlfernen Schallschutzsystemen mit einer Einfügungsdämpfung entsprechend den Mindestanforderungen, resultierend in einen Einzelereignispegel in 750 m Entfernung von der Schallquelle von 160 dB re 1 µPa^{2}s. Im Anhang B sind weitere Immissionsprognosen (Standorte GN03 und GN39, Standard-Impulsrammverfahren mit Schallschutzsystemen und optimiertes Impulsrammverfahren mit weiteren Schallschutzsystemen, SEL750 = 160 dB re 1 µPa^{2}s) als größere Abbildungen dargestellt.

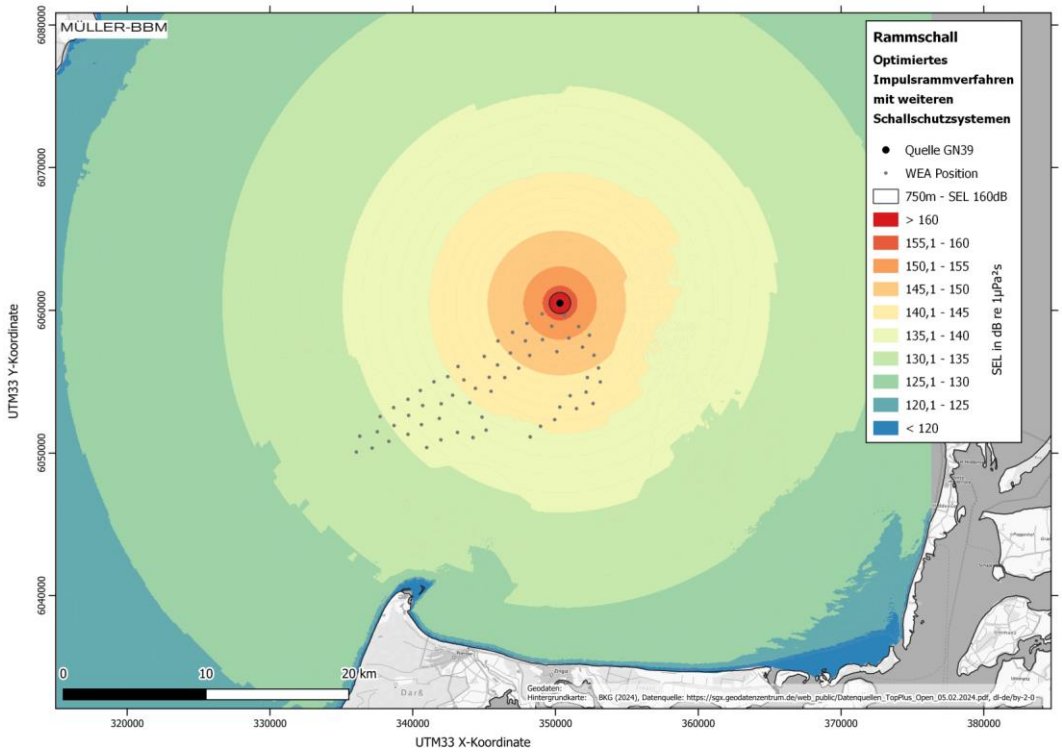


Abbildung 12: Immissionsprognose für den Standort GN39 mit einem optimierten Impulsrammverfahren und der Verwendung von weiteren Schallschutzsystemen mit einer Einfügungsdämpfung entsprechend der Mindestanforderung, resultierend in einen Einzelereignispegel in 750 m Entfernung zur Schallquelle von 160 dB re 1 µPa^{2}s.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

8 Zusammenfassung

Im Offshore-Windpark *Gennaker* im Wind-Vorrang-Gebiet „Darß“ sollen 63 Windenergieanlagen (WEA) auf Monopiles mit einem Durchmesser von maximal 9 m bei einer Wassertiefe an den WEA-Standorten zwischen -14,2 m und -19,7 m mit einem Impulsrammverfahren mit Rammenergien bis zu 4000 kJ installiert werden.

Es wurden die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG geforderten während der Bauphase zu erwartenden Unterwasserschallimmissionen gutachterlich prognostiziert.

Die Prognose erfolgte für zwei beispielhafte Fundamente mit Rammenergien zwischen 1000 kJ und 5000 kJ für ein Standard- und ein optimiertes Impulsrammverfahren. Die Prognosen mit einer Rammenergie von 4000 kJ ergeben einen Einzelereignispegel in 750 m Entfernung zur Schallquelle (SEL in 750 m) von:

- Fundament GN39 (Wassertiefe von -19,7 m):
  - 184 dB re 1 µPa^{2}s mit einem Standard-Impulsrammverfahren,
  - 176 dB re 1 µPa^{2}s mit einem optimierten Impulsrammverfahren.
- Fundament GN03 (Wassertiefe von -14,2 m):
  - 182 dB re 1 µPa^{2}s mit einem Standard-Impulsrammverfahren,
  - 174 dB re 1 µPa^{2}s mit einem optimierten Impulsrammverfahren.

Der Vergleich der prognostizierten Einzelereignispegel ohne Schallschutzsysteme im Vergleich zu zulässigen Lärmschutzwerten erfordert das Einplanen von Schallschutzsystemen.

Die vorliegende Prognose ergibt, dass die etablierten Lärmschutzwerte unter Verwendung von aktuell zur Verfügung stehenden Schallschutzsystemen eingehalten werden können. Es kann ein optimiertes Impulsrammverfahren mit einem pfahlfernen Schallschutzsystem verwendet werden, welches mit einem pfahlnahen Schallschutzsystem kombiniert werden könnte. Alternativ kann ein Standard-Impulsrammverfahren mit einem höher effizienten pfahlnahen Schallschutzsystem und einem pfahlfernen Schallschutzsystem verwendet werden. Die Einfügungsdämpfungen der verwendeten Systeme müssen die in dieser Prognose definierten Mindestanforderungen erfüllen. Die Rammenergie von 4000 kJ sollte nicht überschritten werden, und es sollte vorzugsweise mit niedrigeren Rammenergien gearbeitet werden.

Besonderer Fokus muss auf die tieffrequente Wirksamkeit der Schallschutzsysteme gelegt werden. Im Hinblick auf eine hohe Effektivität der Schallschutzsysteme wird die geringe Wassertiefe im Projektgebiet *Gennaker* als vorteilhaft angesehen. Weiterhin hat die obere Schichtung des Bodens (Sand) hohe Dämpfungseigenschaften, was sich reduzierend auf den Schallnebenweg über den Meeresboden auswirken wird.

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Es wurden Immissionsprognosen (Schallausbreitungskarten) für den ungedämmten Rammschall und für den Rammschall mit Schallschutzsystemen erstellt. Es ist positiv anzumerken, dass im Hinblick auf geringer werdende Wassertiefen (z. B. Flachwasserbereiche östlich des Vorhabengebietes) von einer stärkeren Ausbreitungsdämpfung und damit von geringeren Einzelereignispegeln auszugehen ist.

Dipl.-Ing. Thierry Maquil

Dr. Andreas Müller

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Wildemann

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Anhang A

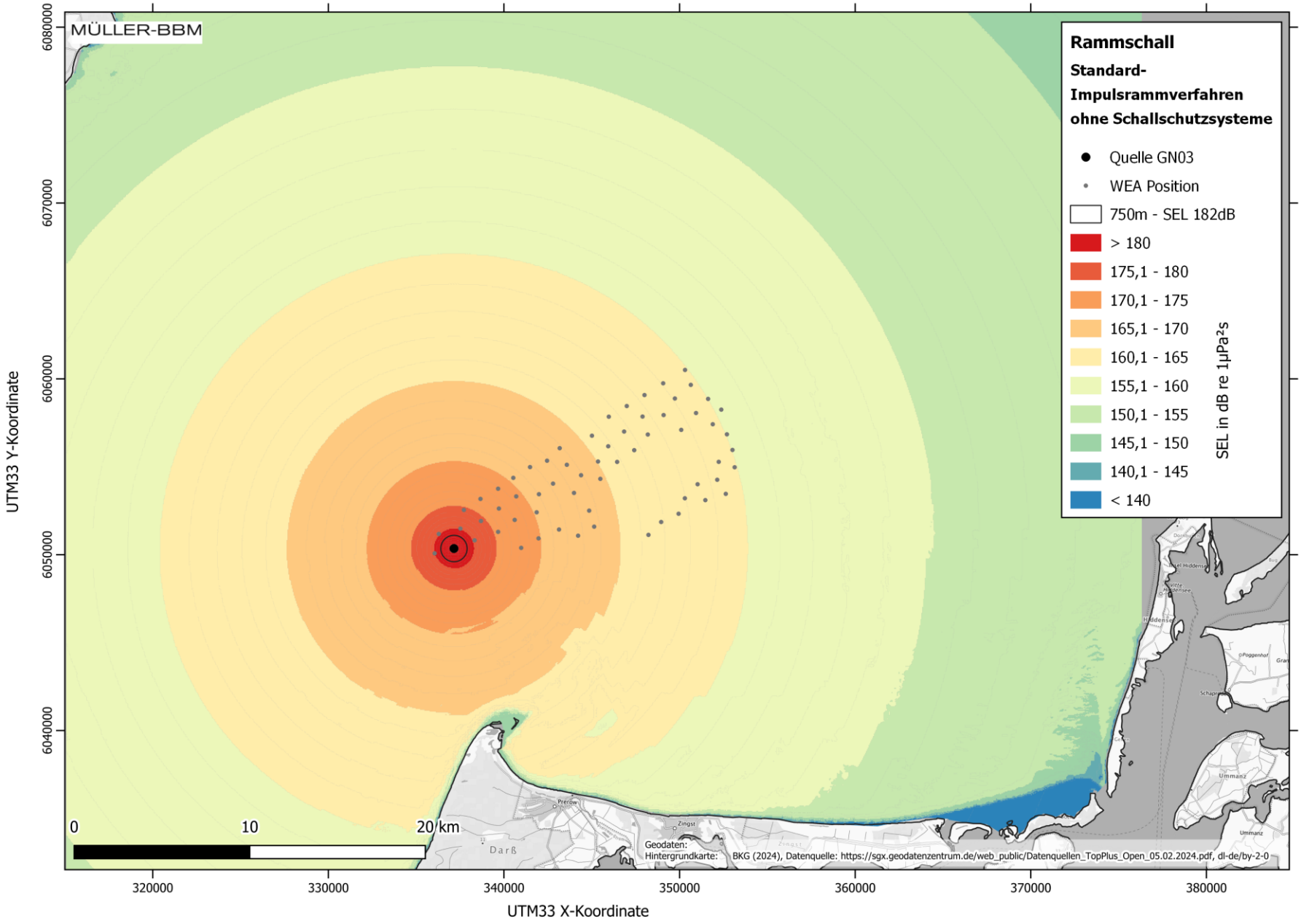
Schallausbreitungskarten ungedämmter Rammschall

Tabelle 4. Abbildungsverzeichnis des Anhangs A.

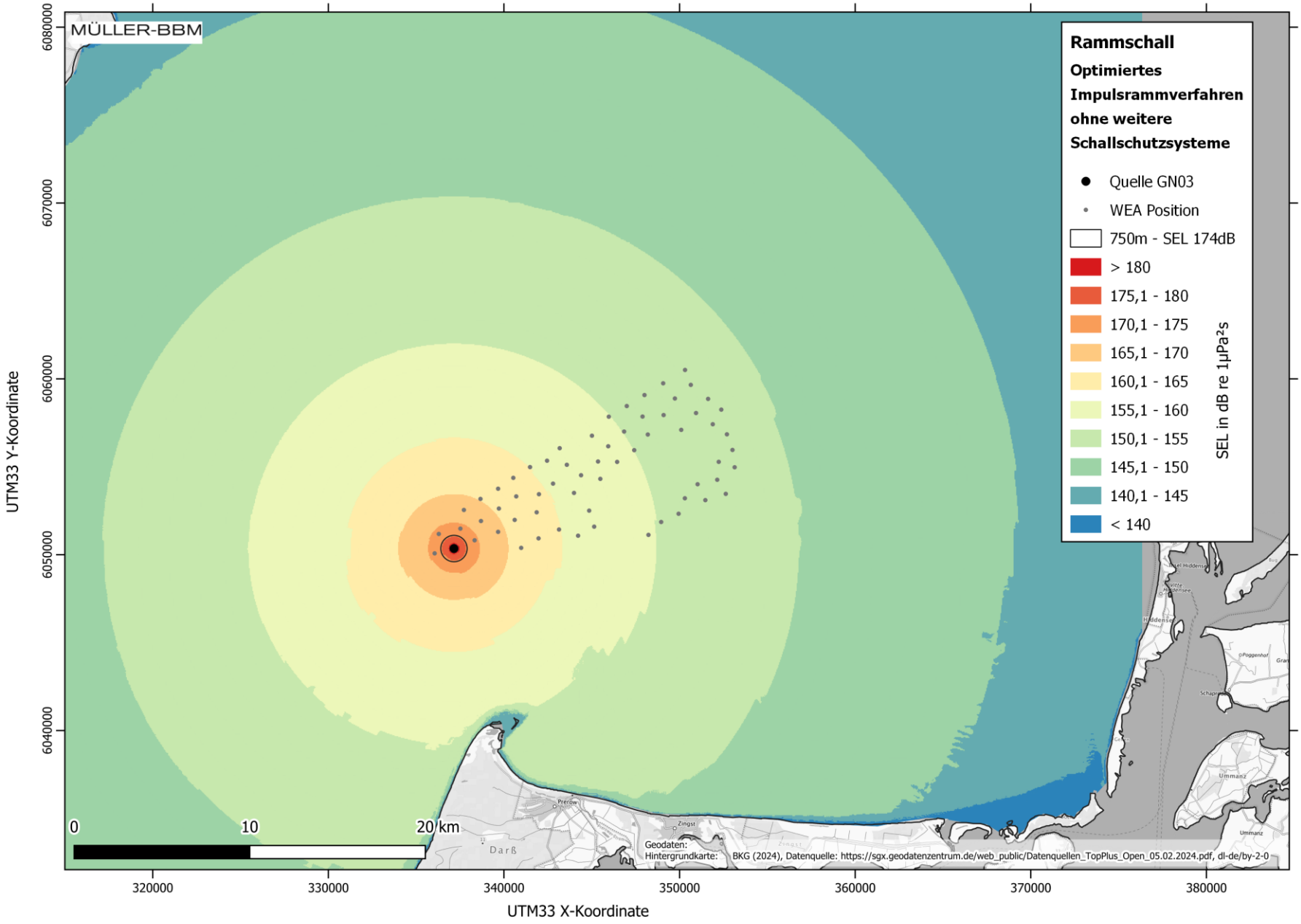
Seite	Beschreibung
Anhang A, Seite 2	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem Standard-Impulsrammverfahren ohne Schallschutzsysteme (SEL750 = 182 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN03.
Anhang A, Seite 3	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem optimierten Impulsrammverfahren ohne weitere Schallschutzsysteme (SEL750 = 174 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN03.
Anhang A, Seite 4	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem Standard-Impulsrammverfahren ohne Schallschutzsysteme (SEL750 = 184 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN39.
Anhang A, Seite 5	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem optimierten Impulsrammverfahren ohne weitere Schallschutzsysteme (SEL750 = 176 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN39.

* Pfahldurchmesser von ø = 9 m, Rammenergie von 4000 kJ, Standort-Wassertiefe

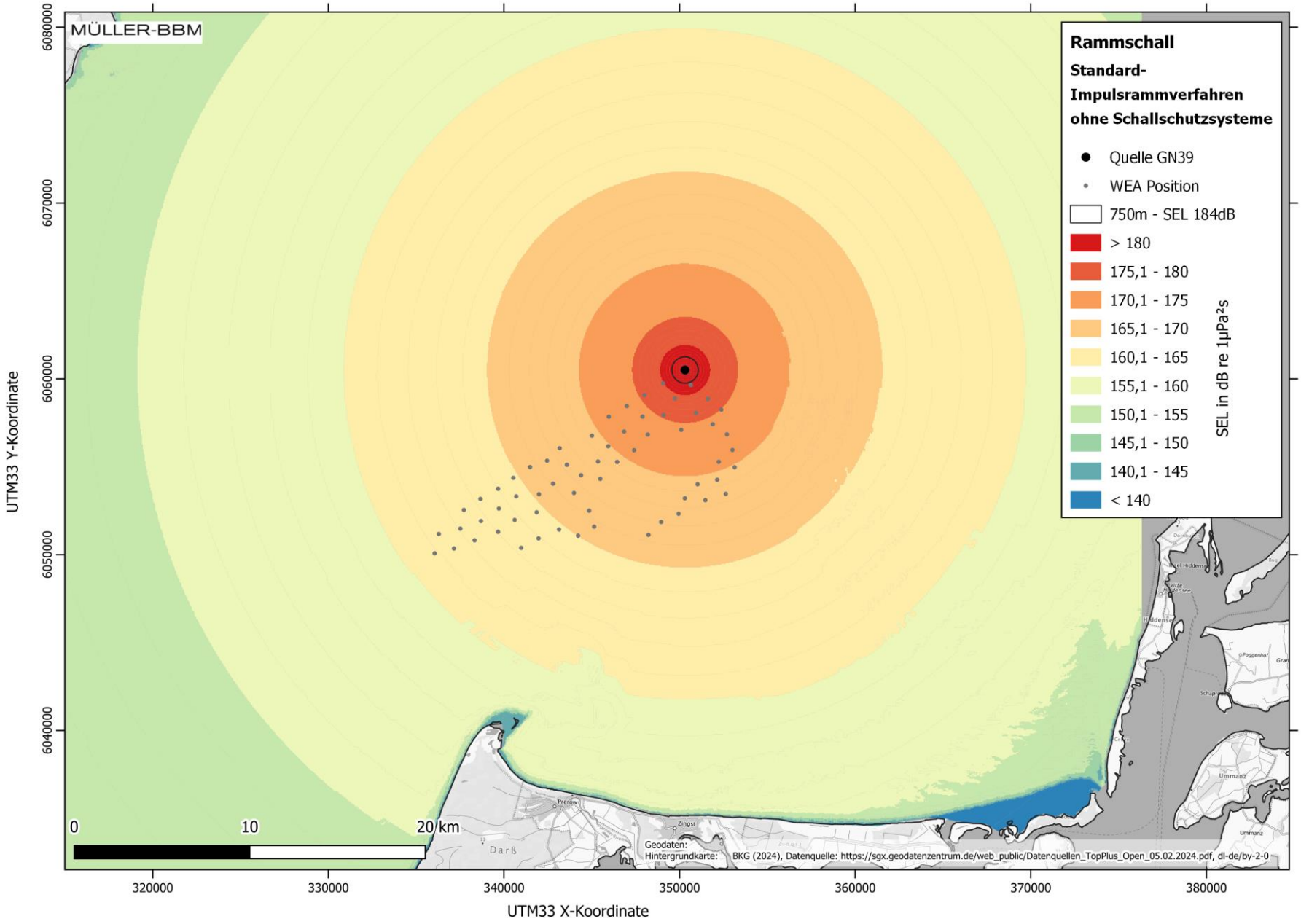
\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024



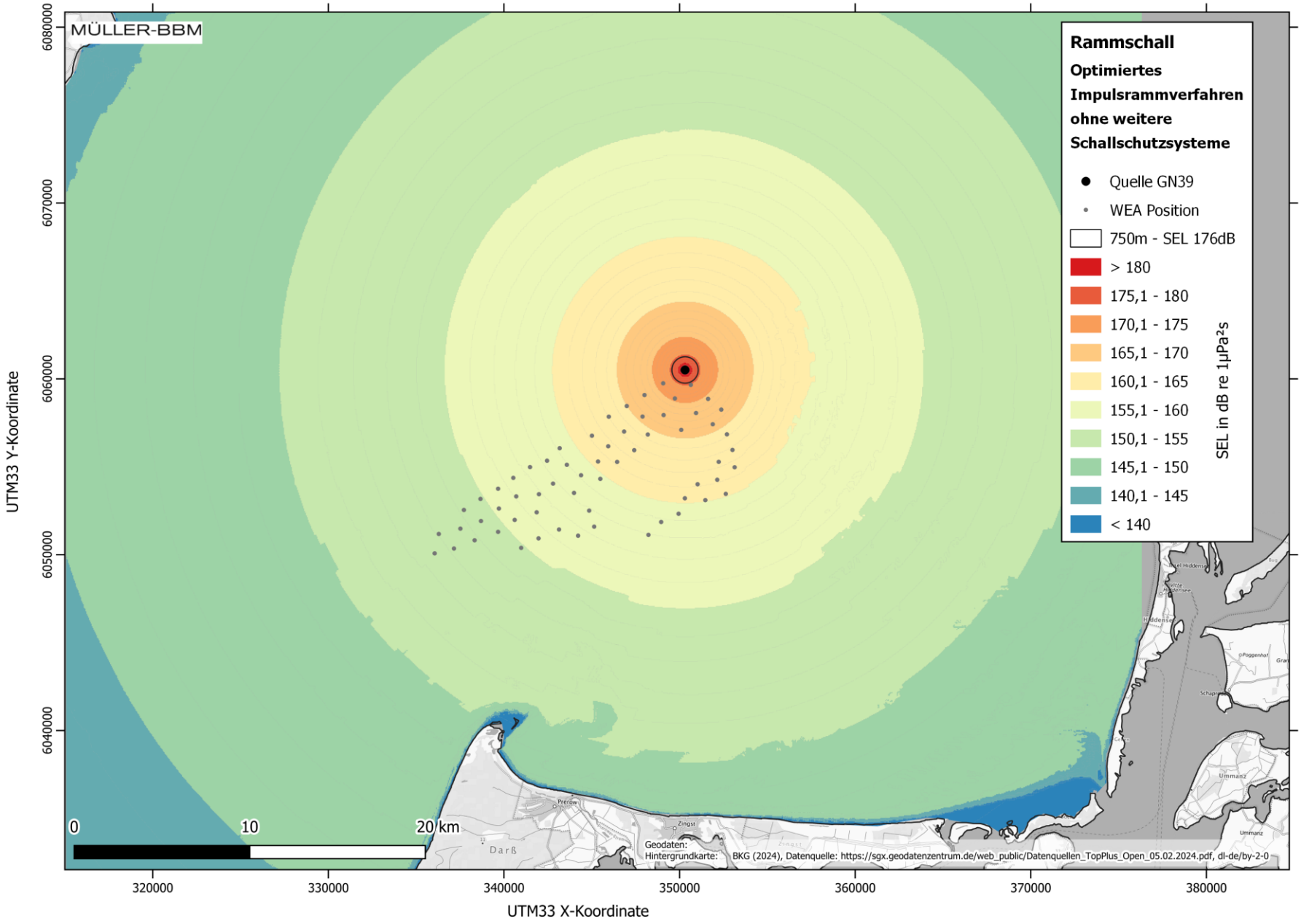
om\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024



om\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024



om\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024



om\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx:14.03.2024

Anhang B

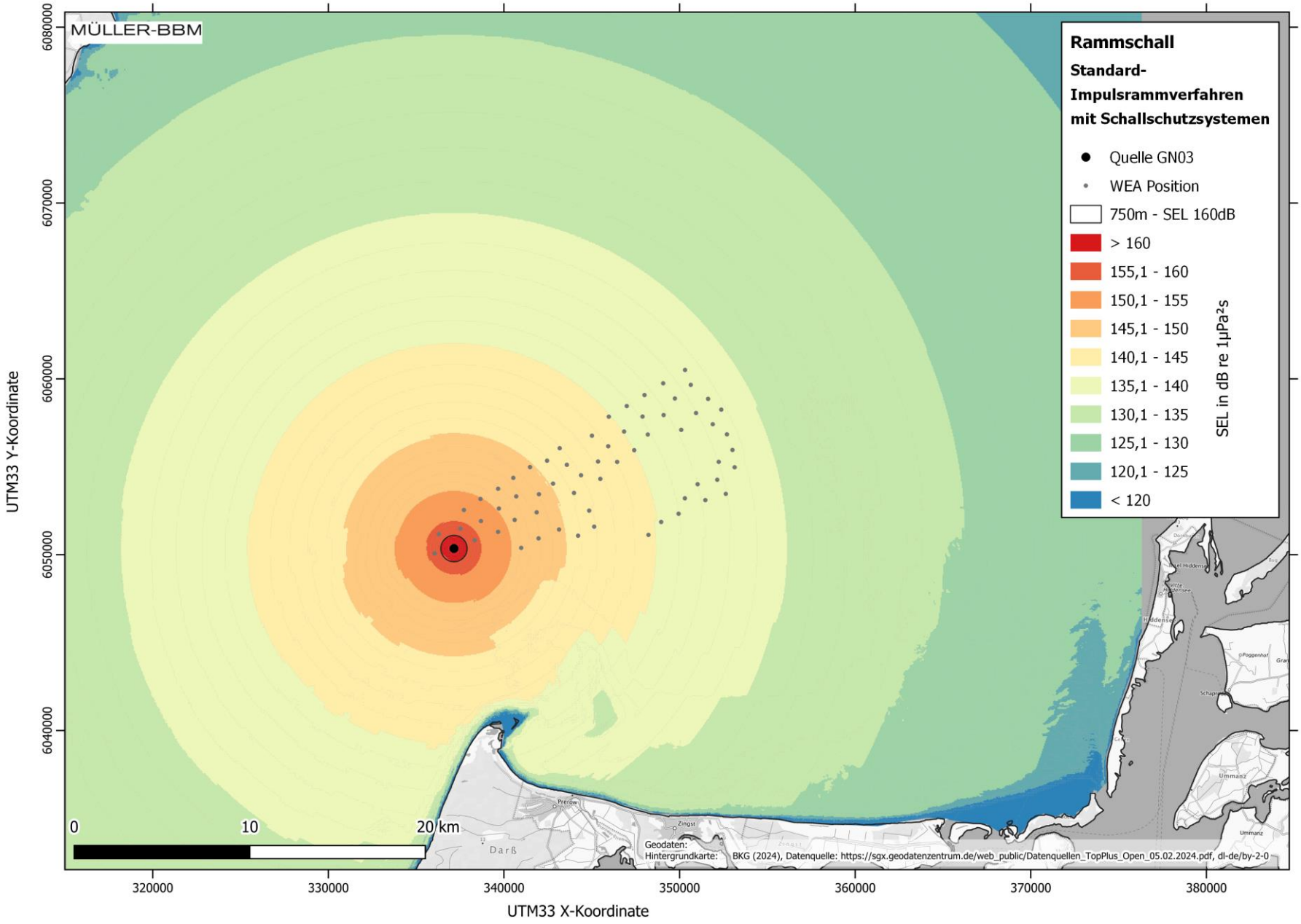
Schallausbreitungskarten Rammschall mit Schallschutzsystemen

\\s-ham-fs01.mbbm-group.com\AlleFirmen\M\Proj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx14.03.2024

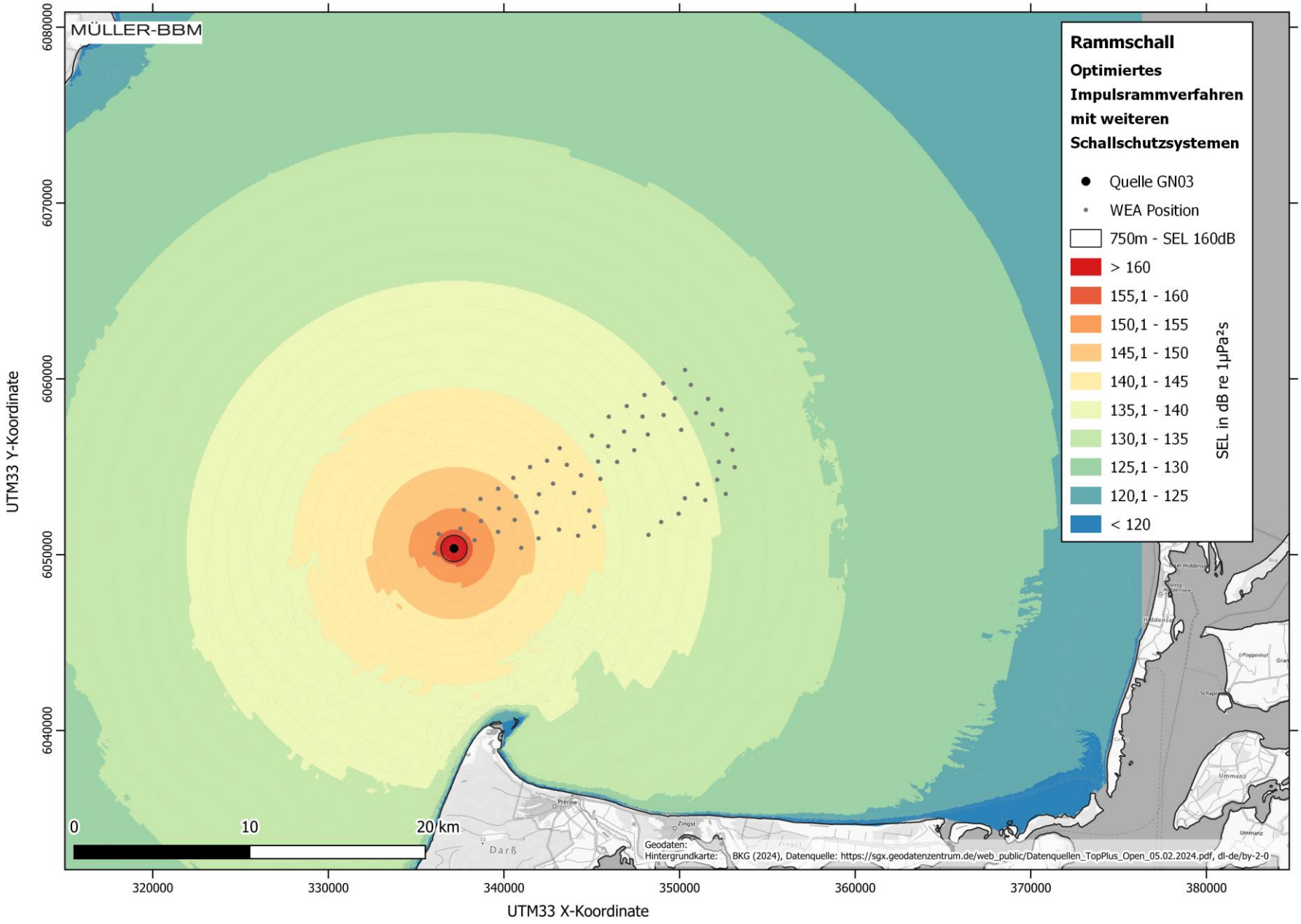
Tabelle 5. Abbildungsverzeichnis des Anhangs B.

Seite	Beschreibung
Anhang B, Seite 2	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem Standard-Impulsrammverfahren mit Schallschutzsystemen (SEL750 = 160 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN03.
Anhang B, Seite 3	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem optimierten Impulsrammverfahren und weiteren Schallschutzsystemen (SEL750 = 160 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN03.
Anhang B, Seite 4	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem Standard-Impulsrammverfahren mit Schallschutzsystemen (SEL750 = 160 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN39.
Anhang B, Seite 5	Immissionsprognose* für eine Monopile-Gründung mit einem optimierten Impulsrammverfahren und weiteren Schallschutzsystemen (SEL750 = 160 dB in re 1 µPa²s) am Standort GN39.

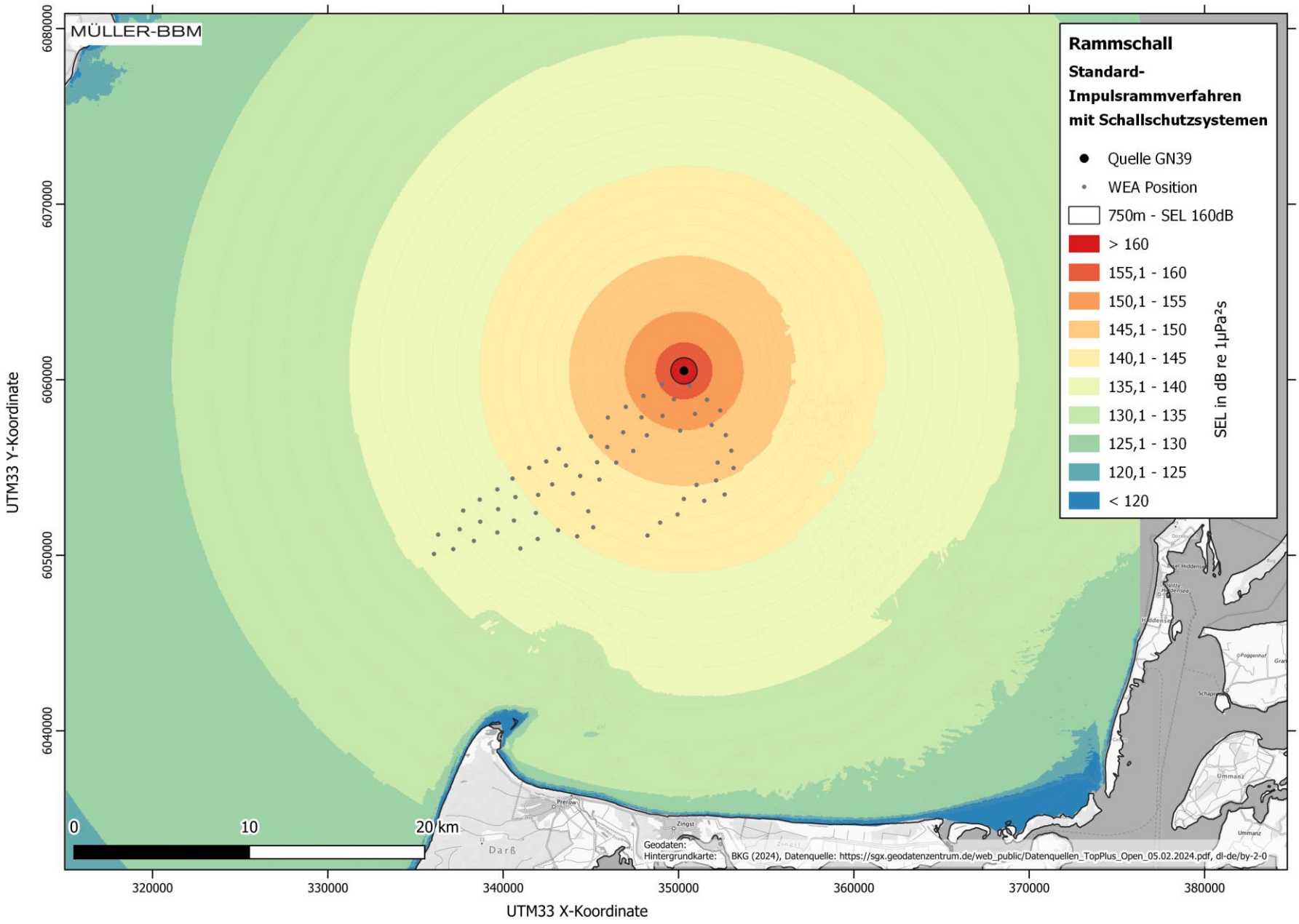
* Pfahldurchmesser von ø = 9 m, Rammenergie von 4000 kJ, Standort-Wassertiefe



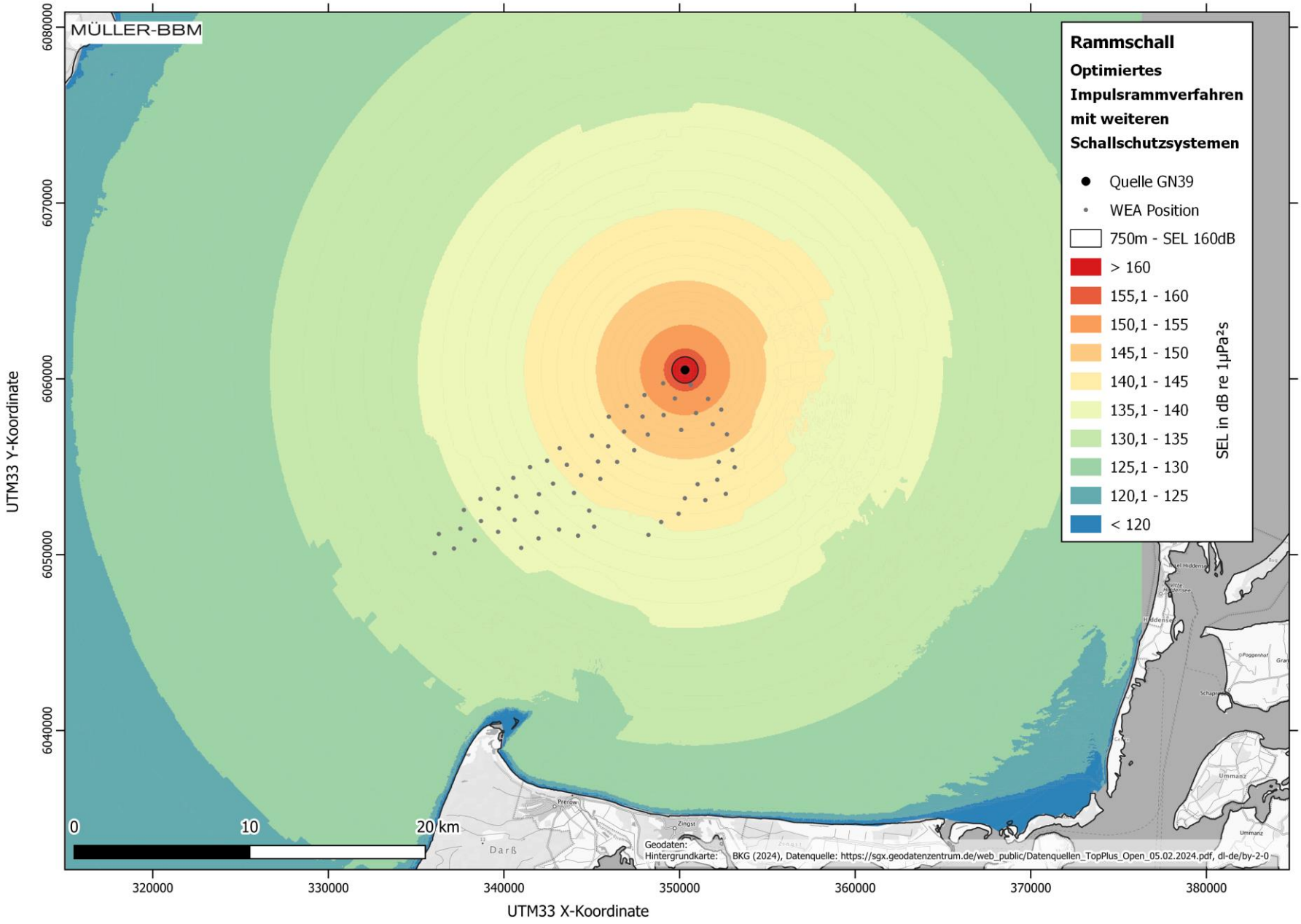
...AlleFirmen\MProj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx14.03.2024



...AlleFirmen\MProj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx14.03.2024



...AlleFirmen\MProj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx14.03.2024



...AlleFirmen\MProj\177\M177781\M177781_01_Ber_2D.docx14.03.2024