

59. Sitzung des Umwelt- und Agrarausschusses vom 9. Juni 2021

**Bericht der Landesregierung über Maßnahmen zum Schutz von  
Schweinswalen vor Beeinträchtigungen durch Speedboote**  
**Minister Jan Philipp Albrecht**

---

So genannte „Speedbootfahrten“ stehen aufgrund der potentiellen Gefährdungen insbesondere für Schweinswale in der Kritik. Der Landesregierung wurde in der Vergangenheit fälschlicherweise die Genehmigung dieser Fahrten, u.a. vom NABU mittels Pressemeldungen, vorgeworfen.

Die Speedbootfahrten auf dem Gebiet der Ostsee sind zulässige Nutzungen einer Bundeswasserstraße im Zuständigkeitsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes. Für diese besteht keine eigenständige strom- und schifffahrtspolizeiliche Genehmigungspflicht.

Unabhängig davon stellen die Speedbootfahrten auch keinen Eingriff in Natur und Landschaft dar und sind von daher nicht naturschutzrechtlich genehmigungspflichtig.

Für die Naturschutzgebiete (NSG) der schleswig-holsteinischen Ostsee besteht jedoch seit dem 01.10.2016 eine Befahrensverordnung des Bundes, die das Befahren bestimmter Zonen innerhalb der NSG untersagt. Dies gilt generell und nicht nur speziell für Speedboote.

Für eine Bewertung, ob erhebliche Beeinträchtigungen im Sinne des Habitat- oder Artenschutzes vorliegen, bedarf es sehr spezifischer Angaben zu den Fahrrouten, zu den erreichten Geschwindigkeiten und von den Fahrten bzw. Bootsmotoren ausgehenden Unterwasserlärmausbreitungen.

Im Juli 2020 kontaktierte das MELUND deshalb die ihm bekannten, an der schleswig-holsteinischen Ostsee ansässigen Anbieter von Speedbootfahrten, informierte über potentielle natur- und artenschutzrechtliche Betroffenheiten, ggfs. drohende Verstöße und wies auf die einschlägigen arten-, habitat- und gebietsschutzrechtlichen Vorschriften hin.

Da kein Genehmigungserfordernis (weder nach anderen Rechtsvorschriften noch nach Naturschutzrecht) besteht, hat die Naturschutzbehörde auch keine Möglichkeit, an die zur Bewertung erforderlichen spezifischen Informationen zu gelangen. Im Übrigen geben

die Betreiber an, die entsprechenden Natura 2000-Gebiete nicht oder, wenn erforderlich, mit entsprechend reduzierter Geschwindigkeit zu befahren. Zu den Schutzgebieten würden durchgehend große Abstände eingehalten und die Hochgeschwindigkeitsfahrten auf wenige Minuten beschränkt. Somit erfolgt im Ergebnis eine zulässige Nutzung der Bundeswasserstraße Ostsee.

Das MELUND beauftragte im Herbst 2020 ein Gutachten zum möglicherweise schädigenden Einfluss von schnell fahrenden Schlauchboote auf Schweinswale um belastbare Daten über mögliche Auswirkungen von Speedbooten zu erlangen.

Auf Basis der Erkenntnisse wurden naturschutzfachliche Maßnahmen und Erfordernisse abgeleitet, welche nach Auffassung des MELUND die Verletzung oder Tötung von Schweinswalen und die Beeinträchtigung von nationalen und europäischen Schutzgebieten vermeiden. Diese Maßnahmen sind den dem MELUND bekannten Unternehmen im Sinne des Vorsorgegrundsatzes mitgeteilt worden.

Da das MELUND weder über eigene Wasserfahrzeuge noch entsprechende personelle Kapazitäten verfügt, ist eine eigenständige Kontrolle der einschlägigen arten-, habitat- und gebietsschutzrechtlichen Vorschriften nicht möglich. Das MELUND wird deshalb die Wasserschutzpolizei auf die besondere Bedeutung des Schweinswalschutzes in der Ostsee und die durch das MELUND empfohlenen Maßnahmen zum Schweinswalschutz für die Speedbootfahrten, mit der Bitte um besondere Beachtung, hinweisen.

Darüber hinaus werden wir erneut an das zuständige Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit einem weiteren Ersuchen einer grundlegenden Befahrensregelung für schnell fahrende Wasserfahrzeuge für die gesamte Ostsee zum Zwecke des Schweinswalschutzes herantreten. Die Zuständigkeit für derartige rechtliche Regelungen liegt allein beim Bund.

Fazit: Der Schutz von Schweinswalen wird durch das MELUND sehr ernst genommen, die Speedbootbetreiber wurden kontaktiert und aufgeklärt. Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von Verstößen wurden eingeleitet.



**Bericht 3/1384-01**

# **Studie zur Unterwasserschallabstrahlung von RHIBs in der Ostsee**

**Kunde:**



**Schleswig-Holstein**  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt, Natur  
und Digitalisierung

Mercatorstraße 3  
24106 Kiel

Ausgestellt durch:

**DW-ShipConsult GmbH**

Lise-Meitner-Str. 9

24223 Schwentinental | GERMANY

## Dokumentenkontrollblatt

<b>Kunde</b>	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (MELUND)
<b>Projekt</b>	Studie zur Unterwasserschallabstrahlung von RHIBs in der Ostsee
<b>Bericht-Nr.</b>	Bericht 3/1384-01
<b>Titel</b>	Studie zur Unterwasserschallabstrahlung von RHIBs in der Ostsee

Rev. Nr.	Datum	Ausgubeanlass	Angefertigt	Kontrolliert	Genehmigt
0	14.12.2020	Erstausgabe	Büchler, Pache, *	M. Schuster	D. Wittekind
1	30.04.2021	Korrekturen	M. Dähne, T. Büchler		
*Die biologische Bewertung sowie das Kapitel 7, 9 wurden durch Herrn Dr. Michel Dähne erstellt.					

### Zusammenfassung

Diese Studie untersucht einen möglicherweise schädigenden Einfluss des Einsatzes von schnell fahrenden RHIBs in der Ostsee auf Schweinswale. Diese Untersuchung erfolgte in drei Schritten:

1. Ermittlung eines repräsentativen Quellpegels für diese Art von Wasserfahrzeugen bei hohen Geschwindigkeiten
2. Prognose des empfangenen Unterwasserschalls in einer definierten Entfernung
3. Abschätzung der störenden oder schädigenden Wirkung derartiger akustischer Pegel auf den Schweinswal

Die Ergebnisse zeigen, dass:

- Die Schallpegel von RHIBs in Fahrt schon bei mäßig schnellen Geschwindigkeiten von ca. 30 kn mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verhaltensänderung bei Schweinswalen in einem Radius von mind. 1.000 m hervorrufen. Unter Berücksichtigung einer Unsicherheit von 6 dB muss ein Sicherheitsabstand von <2.000 m definiert werden.
- Eine Gefährdung nach BNatSchG §44 Abs 1 (1) (temporäre oder permanente Hörschwellenverschiebung) nur im engsten Umfeld erfolgen könnte. Sie kann jedoch für Entfernungen unter 100 m nicht ausgeschlossen werden.
- Schweinswale grundsätzlich dem Risiko einer Kollision mit einem RHIB unterliegen

Die Quantifizierung des tatsächlich verursachten Schalls durch ein individuelles RHIB bei einer definierten Geschwindigkeit und in einer definierten Entfernung ist diversen Unsicherheiten ausgesetzt. Ebenso das tatsächliche Ausweichverhalten eines freilebenden Schweinswals. Dennoch können die obenstehenden Erkenntnisse mit großer Sicherheit genannt werden, da die Abstände zwischen prognostiziertem Pegel und Bewertungspegel deutlich größer als die Unsicherheiten sind.

Für die untersuchten RHIBs wird eine positive Korrelation zwischen Geschwindigkeit und abgestrahlten Schall beobachtet: Höhere Geschwindigkeiten gehen mit höheren abgestrahlten Pegeln einher. Zwischen den einzelnen untersuchten Fahrzeugen treten aber große individuelle Unterschiede im abgestrahlten Spektrum und beim quantitativen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Schallpegel auf, sodass aus den vorliegenden Daten keine verallgemeinerte Prognose für andere Fahrzeuge bei noch höheren Geschwindigkeiten abgeleitet werden kann.

Möchte man einen negativen akustischen Umwelteinfluss von Schiffen oder Schiffsklassen regulativ einschränken oder ausschließen, so bieten sich Grenzkurven für den abgestrahlten Unterwasserschall an. Derlei Grenzkurven sowie das dazugehörige Messverfahren werden bereits von Klassifikationsgesellschaften in den sogenannten Class Notations definiert. Es wäre daher denkbar, dass Wasserfahrzeuge, die oberhalb einer bestimmten Geschwindigkeit operieren können, einen solchen Nachweis erbringen müssen, um diesen Geschwindigkeitsbereich nutzen zu dürfen.

Um Schweinswale vor diesen Einflüssen zu schützen, wird empfohlen:

- 1) Einen Mindestabstand von 2 km Entfernung zu Schutzgebieten einzuhalten. Dies reduziert die potentielle Störwirkung in den Schutzgebieten und entspricht dem Vermeidungsgebot.
- 2) Routen festzulegen, an die die Betreiber sich halten müssen.
- 3) Um eine bessere Beurteilung zu erlauben sind unbedingt Signaturen von Vorbeifahrten reeller RHIBs erforderlich. Erst auf Grundlage solcher Daten kann eine bessere Einordnung des Eingriffes vorgenommen werden.
- 4) Sensible Zeitperioden, in denen Schweinswale Kälber gebären und säugen sind zu meiden.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Literaturrecherche zu Quellpegeln vergleichbarer Schiffe .....	5
2.1	Überblick über die verfügbare Literatur .....	5
2.2	Ergebnisse der JASCO Studie .....	9
2.3	Diskussion der Literaturergebnisse .....	14
3	Modellierung des Monopolquellpegels .....	16
3.1	Modelliertes RHIB.....	16
3.2	Quellpegel .....	16
4	Prognose des empfangen Schalldruckpegels .....	19
4.1	Modellierung des Seegebiets .....	19
4.2	Empfangener Schalldruckpegel im Querschnitt.....	20
5	Vergleich des empfangenen Pegels mit dem anderer Seefahrzeuge .....	27
6	Grenzen der Prognosen.....	29
7	Naturschutzrechtliche Grundlagen für Auswirkungen des Schalls auf Schweinswale.....	31
7.1	Stand der Fachliteratur zur Abschätzung von Auswirkungen von anthropogenen Einwirkungen auf Schweinswalpopulationen .....	33
7.2	Einordnung von RHIBs in bisherige Studien zu Auswirkungen von Schiffschall.....	34
7.3	Besondere Risiken aufgrund charakteristischer Eigenschaften von RHIBs .....	37
7.4	Abschätzung der Gefährdung nach BNatSchG §44 Abs 1 (1) .....	37
7.5	Abschätzung der Gefährdung nach BNatSchG §44 Abs 1 (2) .....	39
8	Zusammenfassende Bewertung.....	41
9	Empfehlungen .....	42
10	Anhänge.....	45
10.1	Darstellung verschiedener Frequenzen in Abhängigkeit von Tiefe und Entfernung. ....	45
10.2	Pegelabnahme über die Distanz getrennt nach Oktavbändern bei 33 kn .....	51

## 1 Einleitung

Rigid Hull Inflatable Boat (RHIB) ist die Bezeichnung für ein Festrumpfschlauchboot. Häufig sind diese Boote zwischen 5 und 15 m lang und mit Antrieben ausgestattet, die es erlauben, Geschwindigkeiten von mehr als 20 Knoten (kn) zu fahren. Einige RHIBs können bei geeigneten Wetterbedingungen Geschwindigkeiten über 50 kn erreichen.



**Abbildung 1: Frontansicht eines RHIB der US Navy. Der typische V-förmige Rumpf ist gut zu erkennen. Quelle: US Navy by Photographer's Mate 3rd Class John DeCoursey - This Image was released by the United States Navy with the ID 030922-N-8209D-011.**

Typische Einsatzbereiche von RHIBs in der an Schleswig-Holstein grenzenden Ostsee sind:

- Lebensrettung (Feuerwehr, DLRG, DGzrS)
- Behörden (Landespolizei, Bundespolizei, Zoll, Bundeswehr)
- Regattabegleitung
- Erlebnisausfahrten
- Freizeitgestaltung

Die hohe Leistungsdichte der Motoren und deren meist dünne Schallisolierung erzeugen oftmals hohe Luftschallpegel in der Umgebung, die auch über weite Entfernungen an Land wahrnehmbar sind. Sie unterscheiden sich damit akustisch von einem Großteil der anderen Verkehrsteilnehmer auf dem Wasser. In dieser Studie soll jedoch nicht der Luftschall untersucht werden, sondern der abgestrahlte Unterwasserschall.

Motorbetriebene Wasserfahrzeuge erzeugen Lärm unter Wasser. Dominante Schallquellen sind regelmäßig Propellerkavitation und Maschinengeräusche. Diverse Studien belegen einen prinzipiellen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Pegel der Schallquelle (Quelle [2]). Einfach gesagt: Fährt ein Schiff schneller, so wird es lauter. Die Pegelzunahme kann in den meisten Fällen durch eine Zunahme der Kavitation erklärt werden und zeigt sich vor allem im Bereich oberhalb 1.000 Hz. RHIBs gehören in der Ostsee zu den schnellsten Wasserfahrzeugen. Daher ist die Vermutung, dass diese Fahrzeuge bei hohen Geschwindigkeiten auch einen hohen Unterwasserschallpegel besitzen.

Die Auswirkungen von Schall auf marine Säugetiere können sehr vielfältig sein [6]. Die derzeit bekannten Effekte auf das Verhalten rangieren von der Hörbarkeit des Signales, über erste potentiell aversive Reaktionen wie eine Erhöhung des Herzschlages, der Atemfrequenz und der Schwimmgeschwindigkeit bis zur Meidung oder der aktiven Flucht aus einem Gebiet[6]. Diese Effekte auf das Verhalten stehen rein physiologischen Effekten auf das Hörsystem oder andere Organe gegenüber [7]. Diese physiologischen Effekte rangieren zwischen physiologischem Stress, d.h. der Ausschüttung von Stresshormonen, einem damit erhöhten Metabolismus und Energiebedarf, über Effekte auf das Hörsystem in Form von temporären Hörschwellenverschiebungen (TTS, Temporary Threshold Shift) die bei entsprechend häufiger Wiederholung in kurzen Zeiträumen zu permanenten Hörschäden führen können. Auch durch einzelne Schallereignisse hoher Lautstärke (Explosionen, seismische Untersuchungen, Rammungen usw.) kann direkt eine permanente Hörschwellenverschiebung erfolgen. Bei extrem hohen Lärmpegeln, insbesondere bei impulsiven Signalen, kann es zu Organschädigungen bis zum Tod kommen. In den meisten Fällen sind diese auf Explosionen zurückzuführen. Die Beziehungen zwischen den verschiedenen Effekten sind vielfältig und auch Stressauswirkungen und Verhaltensreaktionen können mittelbar zu ernsthaften Schädigungen des Organismus bis zum Tod speziell für tieftauchende Wale und Delfine führen [8]. Eine Einordnung der Schädigungen durch RHIBs in der Ostsee ist dementsprechend, neben der Gefahr durch Überfahren die hier nicht beurteilt werden kann, abhängig von den Quellschallpegeln, der Wiederholungsintensität und der Einwirkungsdauer, der Anzahl von Schweinswalen im Gebiet und der Schallausbreitung abhängig.

Diese Studie hat das Ziel, die störende oder schädigende Wirkung von RHIBs in Fahrt auf den Schweinswal zu untersuchen. Folgende Fragen werden daher in dieser Studie erörtert und beantwortet:

- Kann der Unterwasserschallpegel eines RHIBs valide prognostiziert werden?
- Wie ändert sich der Quellpegel mit zunehmender Geschwindigkeit?
- Welche schiffbaulichen Parameter haben einen Einfluss auf den Quellpegel?
- Besitzt die Schallquelle „RHIB“ in verschiedenen Fahrtzuständen ein störendes oder schädigendes Potenzial für Schweinswale?
- Wenn ja: in welchem räumlichen Bereich werden die Tiere gestört oder geschädigt? (Erstellung von Schallkarten in vertikaler Ebene)

## **2 Literaturrecherche zu Quellpegeln vergleichbarer Schiffe**

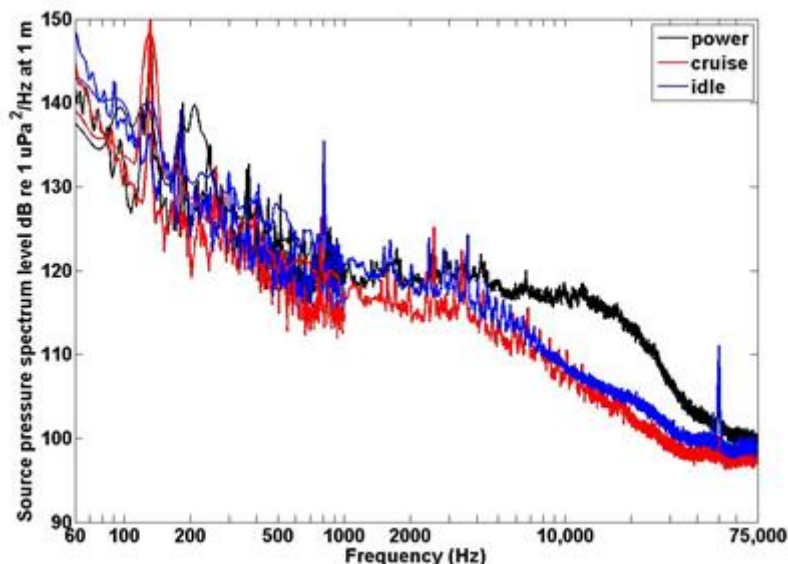
### **2.1 Überblick über die verfügbare Literatur**

Der abgestrahlte Unterwasserschallpegel von kleinen Schiffen und Booten ist in der Literatur relativ spärlich betrachtet. Im Bereich militärischer Wasser- und Unterwasserfahrzeuge gibt es große Mengen an Messdaten, welche jedoch allesamt vertraulich sind. An Kanadas Westküste existieren stationär verankerte Rekorder, welche vorbeifahrende Schiffe vermessen. Dies sind überwiegend Frachtschiffe. Im ECHO Programm ([Enhancing Cetacean Habitat and Observation](#)) der Vancouver Fraser Port Authority (VFPA) werden Statistiken zu den Überfahrten erstellt, so dass man aufgrund der Masse an Messungen einen guten Eindruck von typisch zu erwarteten Quellpegeln bekommt. Kleinere

Wasserfahrzeuge sind aber bislang nicht in der gleichen Fülle untersucht worden. Die einzigen drei Veröffentlichungen, die wir für diese Studie relevant halten, untersuchen Wasserfahrzeuge, die im Bereich der nordamerikanischen Pazifikküste operieren. Diese sind:

- Hildebrand, McDonald, Calambokidis, Balcom, 2006, Whale Watch Vessel Ambient Noise in the Haro Strait, Joint Institute for Marine Observations Report on cooperative agreement NA17RJ1231
- Kipple, Gabriele, 2003, Glacier Bay Watercraft Noise – Noise Characterization for Tour, Charter, Private, and Government Vessels; Prepared for Glacier Bay National Park and Preserve
- Jennifer Wladichuk, David Hannay, Alexander MacGillivray, Zizheng Li, 2019, SYSTEMATIC SOURCE LEVEL MEASUREMENTS OF WHALE WATCHING VESSELS AND OTHER SMALL BOATS, Journal of Ocean Technology Vol 14, No. 3, 2019

Hildebrand untersuchte vier kleine, schnelle Schiffe, welche typischerweise für Whale Watching Zwecke genutzt werden. Keines der Schiffe war ein RHIB, jedoch ähneln Motorisierung und Geschwindigkeit denen der zu betrachteten RHIBs. Von den vier Booten werden zwei mit Außenbordmotoren angetrieben, eines mit einem fest verbauten Propeller und eines mit einem Jetantrieb. Jedes Schiff wurde bei drei Geschwindigkeit vermessen: Leerlauf, Cruise (mittlere Transitgeschwindigkeit) und volle Drehzahl. Diese Studie ist eine gute Grundlage, einen Eindruck von zu erwarteten Spektren und Quellpegeln zu bekommen. Da die Ergebnisse in einer Schmalbandanalyse gezeigt werden, können prinzipielle Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge erkannt werden. Änderungen des Spektrums in Abhängigkeit der Geschwindigkeit werden sehr gut dargestellt.



**Abbildung 2:** Quellpegel der „Annie Mae“ (2 x 90 PS Außenbordmotoren, 9,50 m Länge). Man erkennt, dass bei der Maximalgeschwindigkeit hauptsächlich der hochfrequente Beitrag aufgrund von Kavitation zunimmt.

Quelle [3]

Jedoch muss man sagen, dass nur wenige Boote vermessen wurden, sich unter diesen keine RHIBs befinden und die getroffenen Auswertungen nicht ideal zu der hier diskutierten Fragestellung passen. Eine Lektüre empfiehlt sich, wenn typische Schmalbandspektren verschiedener kleiner Schiffe in



verschiedenen Fahrtzuständen verglichen werden sollen. Eine Gegenüberstellung mit einem großen Frachtschiff ist ebenfalls in der Studie enthalten.

Kipple untersuchte 16 verschiedene Schiffe und Boote, welche im Bereich der der Glacier Bay, Alaska, anzutreffen sind. Es handelt sich dabei aber nur um drei kleine Boote und überwiegend größere Tour-Schiffe von über 40m Länge und einer eher gemäßigten Reisegeschwindigkeit. Erkenntnisse zu Quellpegeln von Booten und deren Vergleich untereinander können durch die Lektüre dieser Studie sicher gewonnen werden. Es mangelt aber an hilfreichen Hinweisen zur Bewertung der Schallabstrahlung kleiner, schneller und hochmotorisierter Boote.

Die für die vorliegende Fragestellung am besten geeignetste Veröffentlichung ist der Report von Wladichuk et. al. (Quelle [1]). Die Veröffentlichung wurde auf Basis eines Berichtes von JASCO Applied Science an die VFPA im Rahmen des ECHO Programms erstellt.

In dieser Studie wurden 20 verschiedene kleine Wasserfahrzeuge zwischen 6 und 18 Meter Länge akustisch vermessen. Vier von den Booten waren RHIBs. Der Hintergrund dieser Messkampagne war es, das akustischen Störpotenzial der Boote auf den Southern Resident Killer Whale (SRKW) abschätzen zu können. Diese Tierart ist in der Region um Vancouver beheimatet und stark gefährdet. Um diese Abschätzung vorzunehmen, sollte der abgestrahlte Unterwasserschall jedes Bootes erfasst werden. Abhängigkeiten des Pegels von Bootstyp und Geschwindigkeit wurden untersucht.

Einzelheiten zu dem genutzten Messsystem:

- Ort: Haro Strait vor der Küste Vancouvers
- Messsystem: JASCO AMAR (Autonomous Multichannel Acoustic Recorders-Generation 3)  
M36 GeoSpectrum Hydrophon  
Bodenverankert  
Hydrophon 3 m über Meeresboden
- Wassertiefe: zwischen 200 und 250 m
- Strömung: unter 1 m/s
- Bodentyp Sand und Schlick
- Sampling rate: 128.000 ksp/s
- Zeitraum 2017

Die vermessenen RHIBs hatten folgende Eigenschaften:

**Tabelle 1: Technische Eigenschaften der in der Jasco-Studie untersuchten RHIBs**

Vessel ID (aus Report)	Länge	Motor	Anzahl Messungen
V06	6,8 m	2 x 350 PS V8 Außenborder 4-Takter Benzinmotor	10
V07	5,2 m	1 x 150 PS Außenborder 4-Takter Benzinmotor	6
V13	8,2 m	2 x 225 PS Außenborder 4-Takter Benzinmotor	5
V16	7,6 m	2 x 200 PS Außenborder 2-Takter Benzinmotor	8

Alle RHIBs wurden mit getauchtem Propeller angetrieben. Es gab also weder Propeller, die die Wasseroberfläche durchschlagen (surface-piercing-propeller), noch Waterjets. Beide Alternativen kommen bei RHIBs ebenfalls vor.

Der Beladungszustand ist bei den Booten nicht angegeben worden. Für diese Studie sind die Boote jedoch freiwillig auf bestimmten Kursen mit vorher abgestimmten Geschwindigkeiten gefahren. Es ist daher denkbar, dass diese Boote nicht voll beladen operierten.

Der wissenschaftliche Ansatz der Untersuchung und der Vermessung ist nicht zu beanstanden. Die Schiffe wurden gemäß des Standards ANSI S12.64 (2009) Grade C vermessen und analysiert. Die genutzten Messgeräte, Messverfahren und Analyseverfahren entsprechen dem wissenschaftlichen Standard. JASCO Applied Science ist im Bereich der Unterwasserschallmessung und -auswertung renommiert. Es gibt daher von unserer Seite keine Zweifel an der Genauigkeit der ermittelten Daten.

## 2.2 Ergebnisse der JASCO Studie

Die Studie gibt den Unterwasserschallquellpegel (Radiated Noise Level (RNL)<sup>1</sup> und Monopole Source Level (MSL)<sup>2</sup>) für bestimmte Geschwindigkeiten der Boote an.

RNL wird berechnet, indem man den empfangenen Schallpegel am Hydrophon nimmt und von dort ausgehend mit der Formel  $20 \times \log(R)$  den Pegel an der Quelle ermittelt. R ist hierbei die Distanz zwischen Hydrophon und bewegter Quelle, die für jede Sekunde einmal bestimmt wird.

Der betrachtete Frequenzbereich lag zwischen 500 Hz und 64 kHz. Der gesamte Bereich wird in der Studie als „Broadband“ bezeichnet. Dieser Bereich wurde für die Analysen zusätzlich in einen unteren Bereich (500 Hz – 15 kHz) und einen oberen Bereich (14 – 64 kHz) unterteilt, um das Kommunikationsband (tiefe Frequenzen) von dem Echolokationsband (hohe Frequenzen) der Tiere zu unterscheiden.

### 2.2.1 Geschwindigkeitsabhängigkeit

Die Zunahme des Quellpegels in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit wird mit einem Koeffizienten  $C_v$  gekennzeichnet. Je höher  $C_v$  ist, desto eher ist mit steigender Geschwindigkeit auch ein Anstieg des Quellpegels zu erwarten.

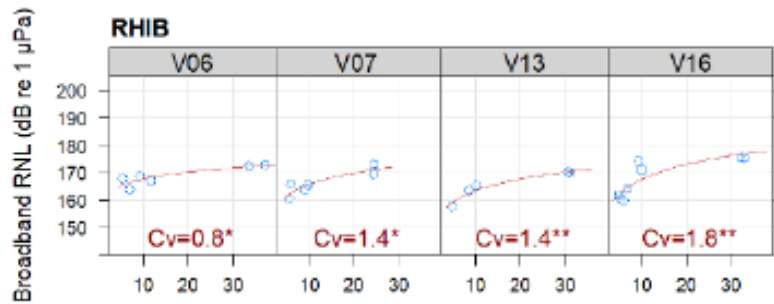
$$SL(v) - SL_{ref} = C_v \times 10 \log_{10} \left( \frac{v}{v_{ref}} \right)$$

**Formel 1: SL ist der Quellpegel bei einer Geschwindigkeit v.  $SL_{ref}$  ist der Quellpegel bei einer Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$ .  $C_v$  gibt damit Auskunft darüber, wie groß die Steigung in einem Diagramm wie in Abbildung 3 ist.**

Dies wird vor allem deutlich, wenn man sich kleinen Wasserfahrzeugen annähert, die bei höheren Geschwindigkeiten in die Gleitfahrt übergehen. So muss es nicht verwundern, dass RHIBs einen vergleichsweise kleinen  $C_v$  zeigen. Eine mögliche Begründung für die geringere Pegelzunahme über die Geschwindigkeit der RHIBs liegt darin, dass diese in Gleitfahrt vergleichsweise weniger Leistung für die Steigerung der Geschwindigkeit benötigen als ein Schiff in Verdrängerfahrt. Motorboote mit konventionellem Rumpf aber vergleichbarer Größe, welche in [1] untersucht wurden, zeigten  $C_v$  Werte in ähnlicher Größenordnung wie bei den RHIBs.

<sup>1</sup> Die Angabe „Radiated Noise Level“ bezeichnet einen Quellpegel, bei dessen Umrechnung vom gemessenen Pegel zu Quellpegel in 1m Entfernung eine Umrechnung ausschließlich die Entfernung berücksichtigt wurde. Die Messgeometrie (Quelltiefe, Hydrophontiefe) und die Eigenschaften des Meeresbodens gehen nicht in die Berechnung ein. Der Radiated Noise Level eignet sich vor allem für den Vergleich unterschiedlicher Messungen, die mit identischen Messgeometrien und ähnlichen Umweltbedingungen aufgezeichnet wurden.

<sup>2</sup> Der Monopol Quellpegel MSL bezeichnet einen Quellpegel, der aus dem gemessenen Signal durch Berücksichtigung der Messgeometrie und der Umweltbedingungen berechnet wurde. Monopol Quellpegel eignen sich vor allem als Eingabe für weitere Modellierungen.



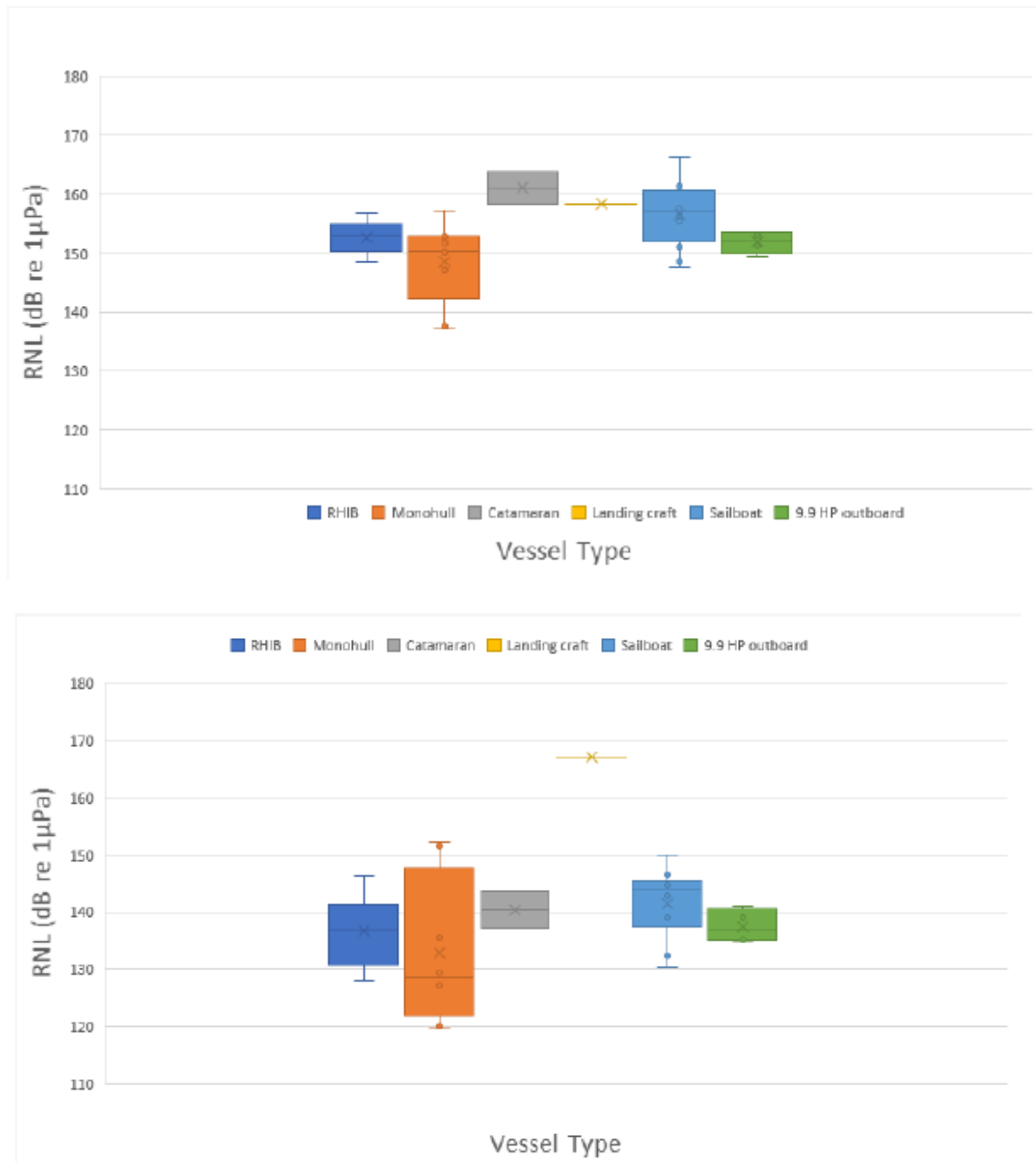
**Abbildung 3: Unterwasserschallquellpegel in dB re 1 µPa über Schiffsgeschwindigkeit in Knoten für alle vier betrachteten RHIBs. Quelle [1]**

Das in Abbildung 3 gezeigte Diagramm dokumentiert die Zunahme des Quellpegels mit steigender Geschwindigkeit. Die einzelnen Datenpunkte sind als blaue Kreise eingezeichnet und mit einer Trendlinie verbunden. Dieses Diagramm ist auch nach den beiden Frequenzbereichen geteilt in der Studie verfügbar. Diese Unterteilung zeigt aber in diesem Zusammenhang keine wesentlichen Unterschiede und wird daher hier nicht aufgeführt.

Die Pegelzunahme über die Geschwindigkeit ist bei den vier Booten etwas unterschiedlich. Eine Abhängigkeit des Kurvenverlaufs von der Motorisierung oder der Länge ist nicht erkenntlich (Vergleiche Tabelle 1). Aus unserer Sicht ist der Unterschied auf die meist recht individuelle hydrodynamische Ausgestaltung des Rumpfes zurückzuführen. Diese Ausgestaltung hat einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf des Widerstandes gegen Geschwindigkeit. Steigt der Widerstand eines Rumpftyps mit zunehmender Geschwindigkeit stärker an als bei dem Rumpf eines Vergleichsschiffes, so steigt auch die Schubkraft, die benötigt wird, um das Schiff auf der Geschwindigkeit zu halten. Üblicherweise ist höherer Schub mit höheren Schallpegeln verknüpft.

Auch der Propeller hat einen maßgeblichen Einfluss auf den Pegelverlauf. Dieser ist auf eine bestimmte Geschwindigkeit hin optimiert. Außerhalb der Auslegegeschwindigkeit hat ein Propeller keinen optimalen Wirkungsgrad. Das Kavitationsverhalten und der damit verbundene Quellpegel ändert sich genauso mit variierender Geschwindigkeit. Jedoch ist ein leiser Zustand meist nicht im optimalen Auslegepunkt des Propellers zu finden, sondern grundsätzlich bei geringeren Geschwindigkeiten.

## 2.2.2 Absoluter Pegel



**Abbildung 4: Box-Whisker-Plots mit Unterwasserschallquellpegeln im Bereich 0,5 – 15 kHz (oben) und 14 – 64 kHz (unten) bei einer Geschwindigkeit von 7 kn. Quelle [1]**

Abbildung 4 zeigt einen Vergleich der Quellpegel der verschiedenen untersuchten Bootsklassen. Das obere Diagramm zeigt nur den Bereich von 500 Hz bis 15 kHz, das untere Diagramm nur den Bereich von 14 – 64 kHz. Ein Diagramm über den gesamten Frequenzbereich liegt nicht vor. Man erkennt, dass der Quellpegel der RHIBs durchaus mit denen anderer Bootstypen vergleichbar ist. Achtet man aber darauf, dass dies die Ergebnisse bei einer einheitlichen Geschwindigkeit von 7 kn sind, verwundert dies nicht. Bei der Betrachtung muss man bedenken, dass die Anzahl der Boote pro Schiffsklasse nicht

überall repräsentativ ist. So wurde nur ein Außenborder 9,9 PS, ein Landungsfahrzeug und je zwei Katamarane und Segelboote vermessen.

Speed		RNL SL (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2$ @ 1m)					
		RHIB	Monohull	Catamaran	Landing Craft	Sailboat	9.9 HP outboard
Slow (<7 kn)	SRKW communication band	152.7	148.6	161.1	158.4	156.6	152.0
	SRKW echolocation band	136.7	132.9	140.3	167.2	141.6	137.5
Medium (7-15 kn)	SRKW communication band	159.6	160.0	161.8	158.1	--*	--
	SRKW echolocation band	143.5	145.2	147.2	167.8	--	--
Fast (>15 kn)	SRKW communication band	170.2	167.6	168.6	167.7	--	--
	SRKW echolocation band	159.5	155.4	157.7	162.0	--	--

\*- no vessel passes at this speed

**Abbildung 5: Gemittelter Quellpegel für jede Bootsklasse unterschieden in den tiefen und hohen Frequenzbereich. Quelle [1]**

Zusätzlich zu dem Box-Whisker-Plot, vergleicht die Tabelle in Abbildung 5 weitere Geschwindigkeiten. Auch hier sticht das RHIB nicht besonders hervor. Etwas höhere Pegel im Vergleich zum Monohull bei Geschwindigkeiten über 15kn sind aber schon erkennbar.

Möchte man den akustischen Einfluss verschiedener Wasserfahrzeuge auf die Meeresumwelt miteinander vergleichen, so wäre es sinnvoll, jedes Fahrzeug mit einer typischen Geschwindigkeit zu versehen und nicht die verschiedenen Fahrzeuge bei gleicher Geschwindigkeit zu vergleichen.

Für unsere Studie können diese Diagramme und Tabellen daher für sich allein gestellt keine hilfreiche Aussage treffen. Sie beschreiben überwiegend Fahrtzustände, die nicht im Fokus der Untersuchungen schneller RHIBs liegen. Die Diagramme geben aber einen Eindruck, welche typischen Quellpegel von kleinen Wasserfahrzeugen zu erwarten sind, die sich mit einer für sie üblichen Geschwindigkeit auf dem Meer fortbewegen. Dies lässt später einen Vergleich mit Quellpegeln der RHIBs bei hohen Geschwindigkeiten zu.

### 2.2.3 Terzauswertung

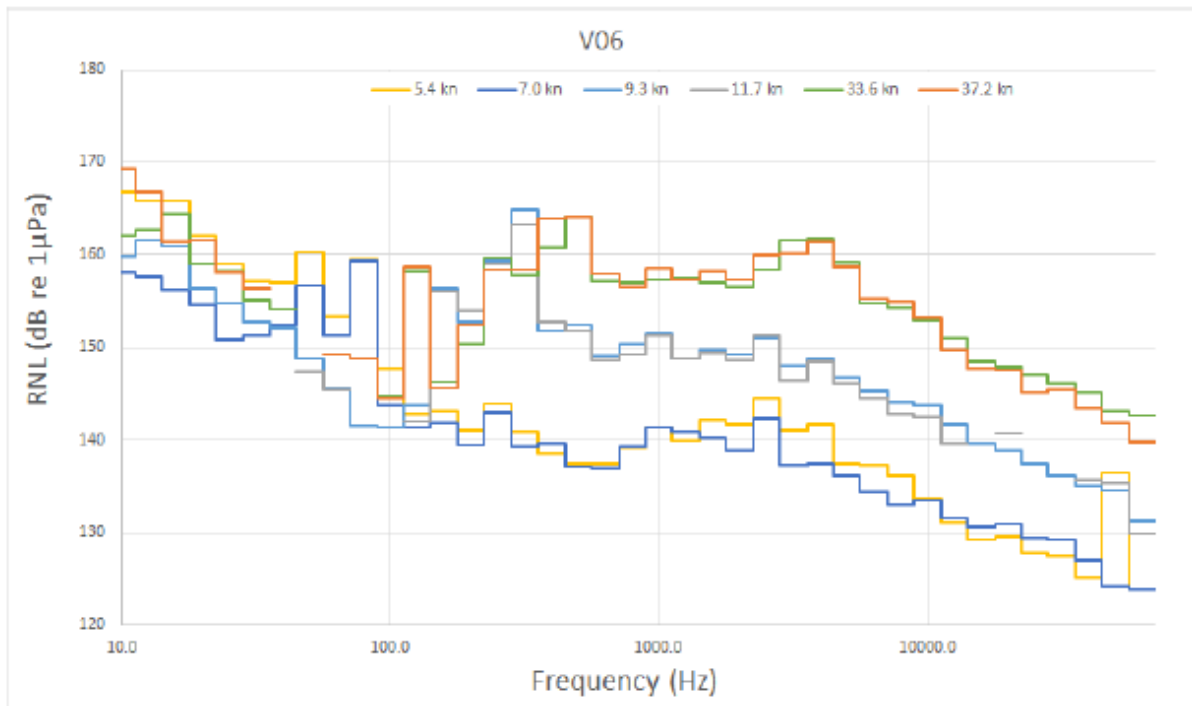


Abbildung 6: Quellpegel eines RHIBs in Terzauswertung. Jede Linie ist ein einzelner gemessener Überlauf bei der angegebenen Geschwindigkeit. V06 ist mit 2 x 350 PS 4-Takt Außenbordmotoren bestückt. Quelle [1]

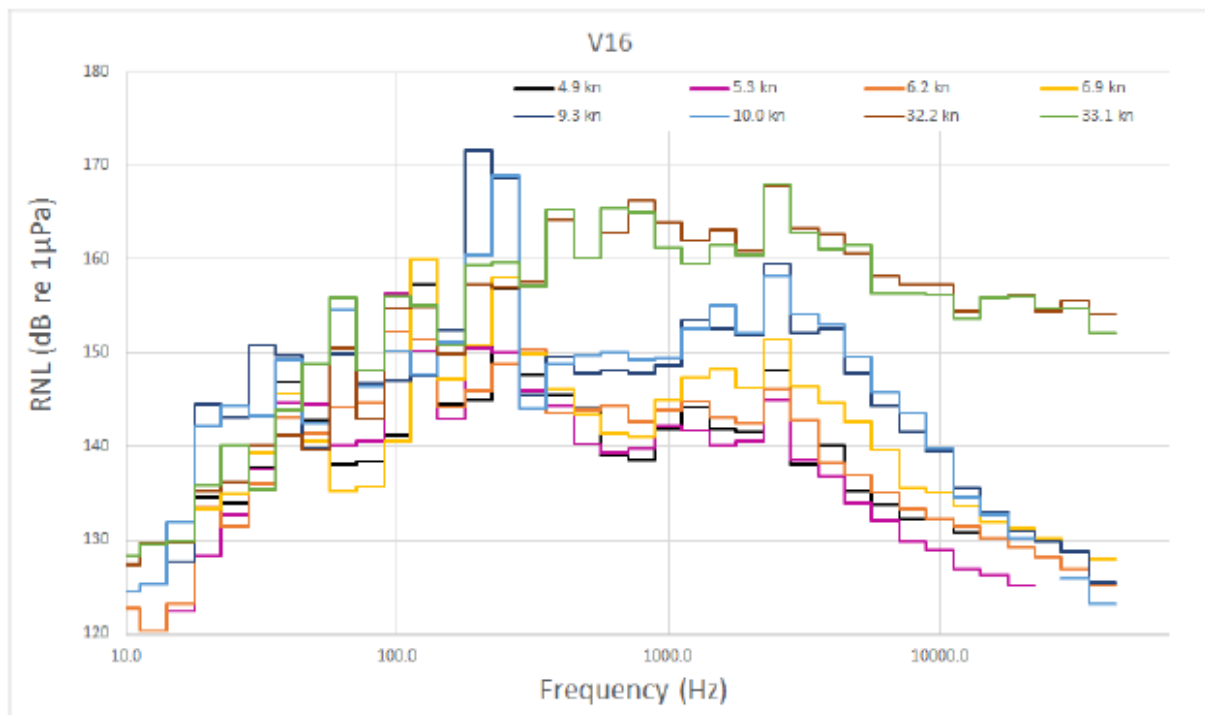


Abbildung 7: Quellpegel eines weiteren RHIBs in Terzauswertung. V16 ist mit 2 x 200 PS 2-Takt Außenbordmotoren bestückt. Quelle [1]

Die JASCO Studie liefert eine Quellpegelauswertung in Terzbändern. Dies erlaubt den Lärmeintrag für jedes Frequenzband zu untersuchen und einen Einfluss auf marine Säuger abzuschätzen. Da diese Auswertungen zusätzlich zu den Radiated Noise Levels in den Abbildungen oben auch als Monopol Quellpegel vorliegen, können die Ergebnisse in der folgenden Modellierung der Quelle und der Ausbreitung sehr gut genutzt werden. Am Beispiel in Abbildung 6 und Abbildung 7 kann man gut erkennen, dass bei steigender Geschwindigkeit vor allem die hohen Frequenzen ansteigen.

### 2.3 Diskussion der Literaturergebnisse

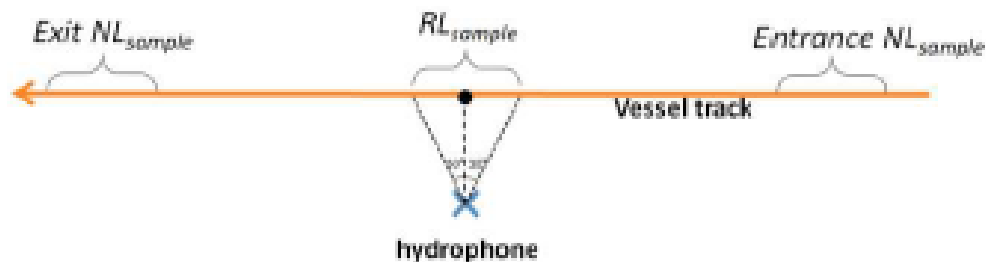
Die von JASCO vorliegende Studie liefert hilfreiche Erkenntnisse:

- Eine Quantifizierung des Quellpegels einzelner Boote bei verschiedenen Geschwindigkeiten
- Ein Vergleich der Bootsklasse "RHIB" mit anderen Booten
- Eine gute Modellierungsgrundlage

Für eine Anwendung der Erkenntnisse auf die vorliegende Fragestellung müssen aber einige Hintergründe bedacht werden.

Die Vermessungen fanden bei Wassertiefen von mehr als 200 m statt. Dies sind Bedingungen, wie sie in der deutschen Ostsee nicht vorkommen. An Schleswig-Holsteins Küsten herrschen Wassertiefen von überwiegend 10 bis 30 m vor. Dieser Unterschied hat keinen Einfluss auf den Quellpegel aber auf die Ausbreitung der verschiedenen Frequenzen.

Der Abstand des Hydrophons zu den vermessenen Booten betrug 110m im CPA (Closest Point of Approach) bei einer Wassertiefe von 206 m bis 251 m. Das entspricht für das bodennahe Hydrophon etwa einem Winkel von  $60^\circ$  zur Wasseroberfläche. Um den Quellpegel zu bestimmen, wurde bei der Überfahrt der Bereich analysiert, in dem das Boot zwischen  $+30^\circ$  und  $-30^\circ$  Aspekt zum Hydrophon war (siehe Abbildung 8).



**Abbildung 8: Datenfenster, welches zur Bestimmung des Quellpegels verwendet wurde. Quelle [1]**

Das bedeutet, dass die gemessenen Daten den Quellpegel beschreiben, wie er unter dem Boot zu finden ist. An dem Verfahren an sich ist nichts zu bemängeln. Es muss aber bedacht werden, dass die Schallquelle „RHIB in Fahrt“ durchaus gerichtet sein kann. Das bedeutet, dass der Schall in Vorausrichtung anders abgestrahlt wird als zur Seite, nach achtern oder nach unten. Bei einem RHIB wäre eine solche Direktionalität durchaus plausibel: Der Hauptlärmverursacher ist mit großer Wahrscheinlichkeit der Propeller. In Gleitfahrt schattet der Rumpf den Propeller nicht wie bei Verdrängerschiffen nach vorne ab. Vor dem Boot ist es sogar lauter, da die Kavitationsblase nach vorne gerichtet ist. Betrachtet man das RHIB von achtern, so befindet sich zwischen Propeller und dem Betrachter die aufgewühlte Hecksee, die mit Luftbläschen vermischt ist. Luftbläschen wirken akustisch wie eine Barriere und reduzieren den empfangenen Schall. Die systematische Vermessung der akustischen Direktionalität einer Schiffsquelle ist in der frei zugänglichen Literatur (nicht militärisch)



nur sehr spärlich behandelt. Eine der wenigen aussagekräftigen Veröffentlichungen ist die von Arverson und Vendittis, Radiated noise characteristics of a modern cargo ship, 2000, Journal of Acoustic Society of America, 107 (1).

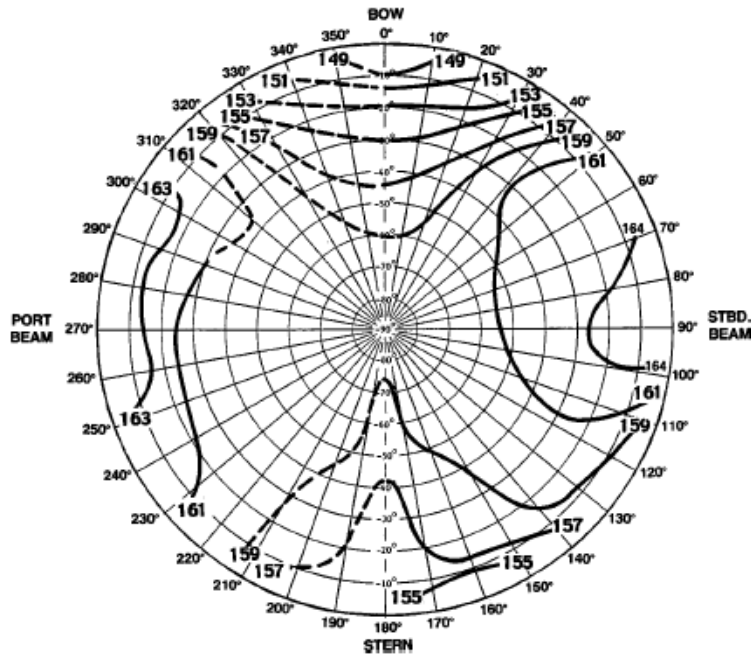


FIG. 9. Directionality of 340–360-Hz noise band from propeller cavitation at 122 rpm (14 knots), 950 samples. Format as described in the text and Fig. 5. (dB re: 1 µPa at 1 m.)

**Abbildung 9: Direktionalitätsplot für den Frequenzbereich 340 – 360 Hz aufgrund von Propellerkavitation.**

Quelle:

In Abbildung 9 ist die Direktionalität eines vermessenen Massengutschiffs dargestellt, dessen Messdaten durch Arveson und Vendittis analysiert wurden. Das Schiff ist ein Handelsschiff mit 25.000 DWT Verdrängung, 172 m Länge und einem Propeller, der durch eine 11.200 PS 2-Takt Maschine angetrieben wird. Die absoluten Pegel spielen für die Fragestellung hier keine Rolle. Das Diagramm zeigt aber die Unterschiede in dem empfangenen Pegel eines durch breitbandigen Propellerlärm dominierten Frequenzbandes<sup>3</sup> über den Aspektwinkel (Winkel im Uhrzeigersinn) und der Tiefe (Abstand zum Mittelpunkt; Mittelpunkt ist unter dem Schiff, Rand ist an der Wasseroberfläche). Es ist erkennbar, dass unter dem Schiff die höchsten Werte auftreten und die Pegel vor dem Schiff am niedrigsten sind. Eine ungefilterte Übertragung dieses Plots auf RHIBs ist nicht möglich, da es durch die Eigenarten des Schiffes bestimmt ist. Die großen Pegelunterschiede von bis zu 10 dB zeigen jedoch die Notwendigkeit, die Direktionalität eines RHIBs zu erfassen. Einerseits bestimmt die Richtwirkung, inwiefern der gemessene Pegel repräsentativ für die Schallbelastung im Meer ist. Andererseits ist das in Fahrtrichtung abgestrahlte Geräusch wahrscheinlich ein Signal, durch das Meeressäuger und Fische das sich nähernde Boot erkennen, sodass sie einer Kollision ausweichen können. Im Falle einer Abschirmung in Fahrtrichtung wäre dieses Warnsignal weniger weit erkennbar, sodass das Risiko einer Kollision steigt.

<sup>3</sup> Hier wurde das Frequenzband von 340 bis 360 Hz untersucht, in dem der empfangene Pegel durch Propellerkavitation dominiert wird. Die Richtwirkung anderer Quellen wie beispielsweise des Motors kann sich erheblich davon unterscheiden.

Letztlich muss man beim Betrachten der JASCO Ergebnisse beachten, dass die analysierten Frequenzbänder auf den SRKW (Southern Resident Killer Whale = Orca) bezogen sind. Für eine gezielte Untersuchung der Auswirkungen in der Ostsee müsste man vor allem die für den Schweinswal relevanten Frequenzbänder betrachten.

### **3 Modellierung des Monopolquellpegels**

#### **3.1 Modelliertes RHIB**

Für die Modellierung des Quellpegels wird im Folgenden das RHIB V16 der Jasco Studie verwendet. RHIB V16 ist mit 2 x 200 PS 2-Takt Außenbordmotoren bestückt und hat eine Länge von 7,6 m. Es stehen acht gemessene Überfahrten zur Verfügung, welche Geschwindigkeiten von 5 bis 33 Knoten abdecken.

RHIB V16 zeigt mit einem  $C_v$  Wert von 1,8 die größte akustische Geschwindigkeitsabhängigkeit der vier RHIBs (siehe Abbildung 3) und einen vergleichsweise hohen Pegel bei hohen Geschwindigkeiten. Somit bildet das RHIB V 16 die geschwindigkeitsabhängige Schallabstrahlung und die Schallbelastung der Umwelt bei hohen Geschwindigkeiten tendenziell konservativ ab.

Das bedeutet: allein auf Basis der hier zur Verfügung stehenden Informationen gehen wir davon aus, dass ein so prognostizierter Stör- oder Schädigungsradius für Schweinswale von der Mehrheit der baugleichen Boote nicht überschritten wird.

Es wird aber darauf hingewiesen, dass der tatsächliche Quellpegel eines jeden RHIBs abhängig von diversen Parametern ist, welche den abgestrahlten Unterwasserschall in einem gewissen Toleranzbereich beeinflussen. Zu diesen Parametern gehören neben der Motorisierung, der Länge und des Leergewichtes auch u.a. Rumpfform, Beladung, Seegang im Messgebiet und Propellergeometrie. Den „Einen“ Quellpegel für alle Boote dieser Art gibt es daher nicht. Wir vermuten aber, dass sich der Summenpegel der meisten baugleichen Boote in einem Bereich von +/- 10 dB zu dem ausgewählten RHIB V 16 bewegen werden.

#### **3.2 Quellpegel**

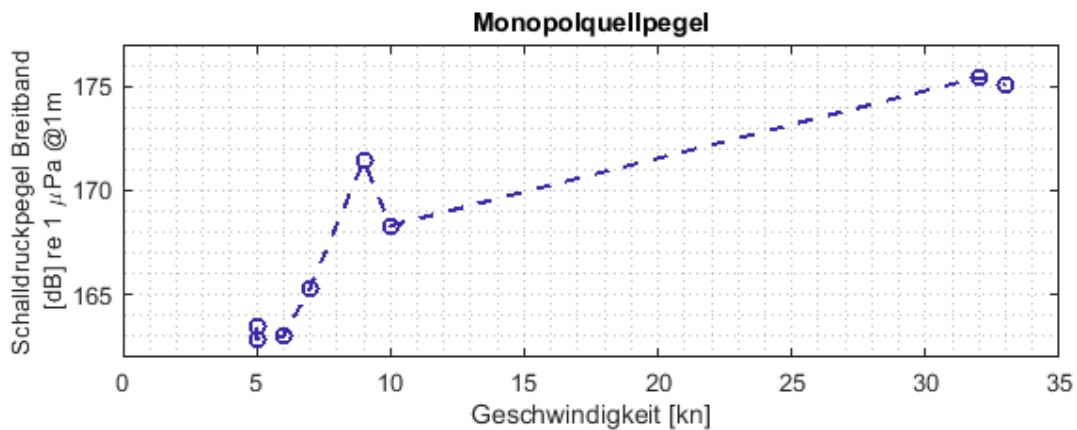
Zur Annahme des Quellpegels wurden die Monopol Quellpegel des RHIB V 16 der JASCO Studie ausgewählt und genutzt. Die Messungen entsprechen dem Stand der Technik und zeigen ein plausibles Ergebnis.

Der Monopol Quellpegel gibt an, wie laut das RHIB als einzelne Punktquelle in einem unbegrenzten Wasserkörper ist (sehr weit von Wasseroberfläche und Meeresboden entfernt). Dieser Pegel würde fiktiv in einem Meter Entfernung des akustischen Zentrums auftreten. Der Monopol Quellpegel an sich hat noch keine Aussagekraft für einen störenden oder schädigenden Einfluss auf marines Leben, da dieser immer im Verbund mit der Schallausbreitung gesehen werden muss. Er dient aber zum Vergleich mit anderen Schallquellen im Meer.

In Abbildung 10 ist der Zusammenhang zwischen dem Monopol Quellpegel der RHIB V16 und der Geschwindigkeit dargestellt. Der Verlauf erscheint in drei Abschnitte gegliedert:

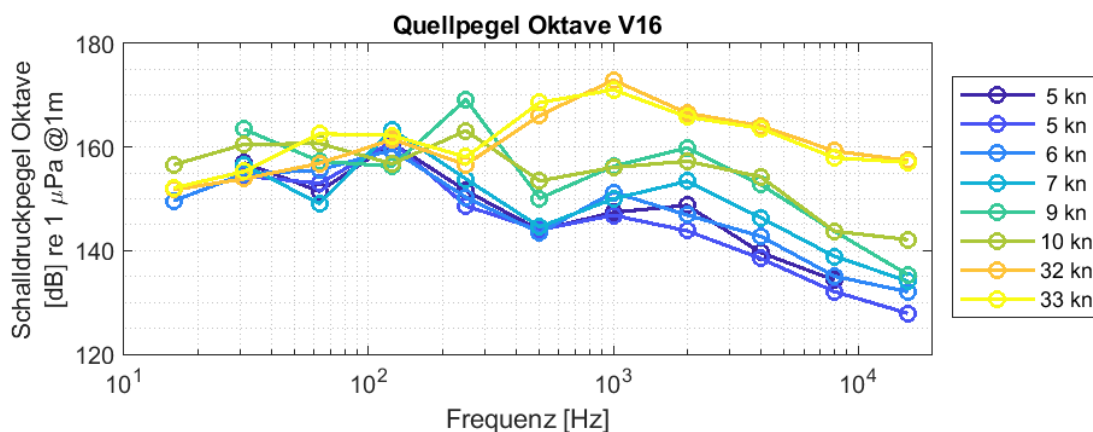
1. 5 bis 6 Knoten bei fast identischem Pegel

2. Ein sprunghafter Anstieg der Pegel zwischen 6 Knoten und 9 Knoten. Der Faktor  $C_v$  zur Beschreibung der Steigung der Kurve beträgt hier ungefähr  $C_v = 5$ , was ein typischer Wert für kavitierende Propeller an Schiffen in Verdrängerfahrt ist (vergleiche Kapitel 2.2.1 Geschwindigkeitsabhängigkeit)
3. Beim Übergang von 9 Knoten zu 10 Knoten nimmt der Pegel ab. Im höheren Geschwindigkeitsbereich steigt der Pegel nur noch mit ungefähr  $C_v = 1,4$ .

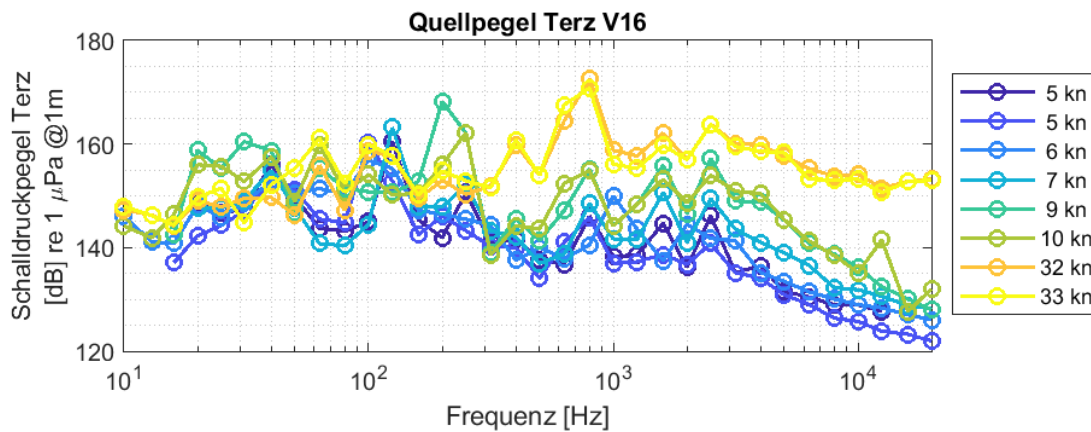


**Abbildung 10** Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Monopolquellpegel im Breitband zwischen 10 Hz und 20 kHz für exemplarische Passagen. Jeder Punkt ist eine gemessene Überfahrt. RHIB V16

In Abbildung 11 ist der Quellpegel in Oktavbändern dargestellt. Diese Darstellung erlaubt Rückschlüsse auf die verschiedenen Frequenzbeiträge und deren Geschwindigkeitsabhängigkeit.

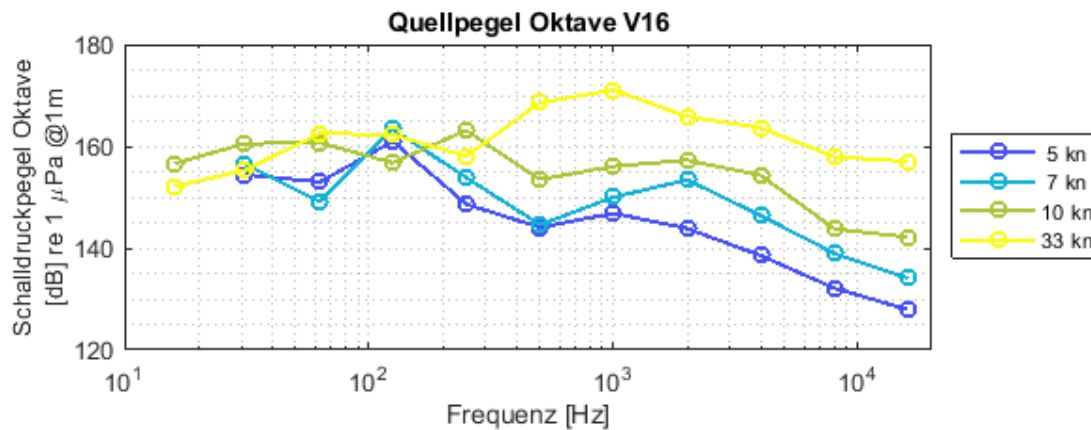


**Abbildung 11:** Quellpegel aller Überfahrten in Oktavauswertung. Jede Linie ist ein einzelner gemessener Überlauf bei der angegebenen Geschwindigkeit. RHIB V16



**Abbildung 12: Quellpegel aller Überfahrten von RHIB V 16 in Terzauswertung**

In Abbildung 11 und Abbildung 12 erkennt man gut, dass die Pegel vor allem im Frequenzbereich oberhalb 300 Hz ansteigen. Um diesen Anstieg über die Geschwindigkeiten etwas klarer darzustellen, sind in Abbildung 13 einige Überfahrten ähnlicher Geschwindigkeit nicht aufgeführt. Die Steigerungen der Geschwindigkeiten unter 9 Knoten zeigen zunächst Zunahmen im Frequenzbereich über 1 kHz. Dieses Verhalten ist für Kavitationseinsatz auf dem Propeller typisch: Das Frequenzspektrum kleiner Kavitationsblasen beginnt im hohen Frequenzbereich. Mit zunehmendem Volumen verschiebt sich das Maximum zu tieferen Frequenzen. Eine Auswertung der Tonhaltigkeit zur Zuordnung von Motor und Getriebe ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich.



**Abbildung 13: Quellpegel in Oktavauswertung. Hier: ausgewählte Überfahrten um die Pegelzunahme im Bereich oberhalb 300 Hz klar darstellen zu können**

Ein wesentlicher Beitrag zum Pegelanstieg zwischen 7 und 9 Knoten kommt aus der 500 Hz Oktave, deren Beitrag bei höheren Geschwindigkeiten abnimmt, sodass ein vollständig hochfrequent dominiertes Spektrum entsteht. Diese Zunahme ist vermutlich auf den Übergang von der Verdrängerfahrt in die Gleitfahrt zurückzuführen.

## 4 Prognose des empfangen Schalldruckpegels

Der empfangen Pegel an einem Ort im Modellierungsgebiet ergibt sich aus dem Quellpegel abzüglich des Ausbreitungsverlustes.

Die Ermittlung des Ausbreitungsverlustes wird unter Zuhilfenahme der quelloffenen Software Underwater acoustic propagation modelling software (AcTUP) durchgeführt. Der Berechnung wird für diskrete Frequenzen in einem Frequenzraster mit einer relativen Bandbreite einer 10tel-Terz durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Ausbreitungsverluste werden in Terzen gemittelt.

Niederfrequente Anteile des Ausbreitungsverlustes von 10Hz bis 1000Hz werden durch ein PE-Model (parabolic equation model, hier RamGEO) ermittelt. Frequenzanteile zwischen 1000Hz und 20000Hz können mit dem Strahlenmodell BELLHOP & Bounce ermittelt werden. Die Schallabsorption des Seewassers wird darin frequenzabhängig berücksichtigt.

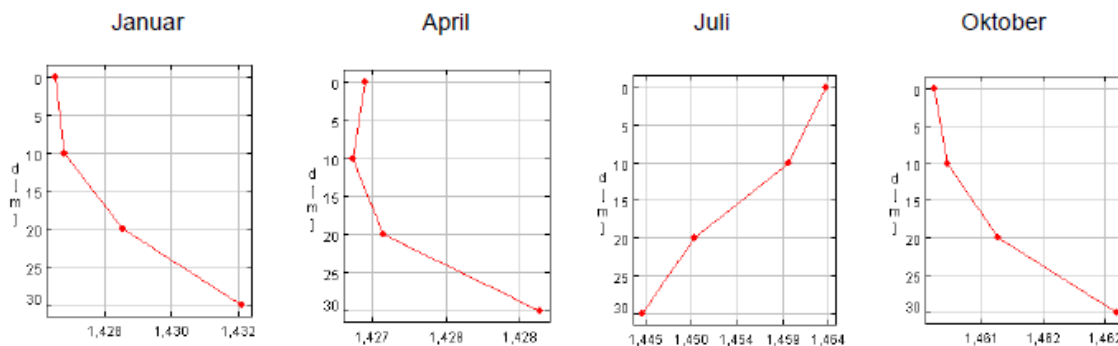
### 4.1 Modellierung des Seegebiets

Für die Prognose des empfangen Pegels in der Ostsee wird der Ausbreitungsverlust im Seegebiet im Querschnitt über Entfernung und Tiefe ermittelt. Der Modellierungsquerschnitt bildet eine Entfernung von 1000m ab. Um die in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern typische Wassertiefen abzubilden, sind für die Ausbreitungsberechnungen zwei Tiefen stellvertretend aufgeführt: 10 m und 20 m.

Als Meeresboden wird in den Berechnungen mitteldichter Sand (Dichte: 1900 kg/m<sup>3</sup>, Kompressionswellengeschwindigkeit: 1650 m/s) angenommen. Dies ist eine konservative Annahme, denn mitteldichter Sand führt zu stärkerer Rückstreuung des Schalldrucks in das Wasser, als dass dies z.B. bei Schlick der Fall ist. Nur sehr harter oder steiniger Boden führt zu Bedingungen, bei denen sich der Schall im Wasser besser ausbreiten kann. Diese Bodenart kommt aber in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern kaum oder gar nicht vor.

Als akustisches Zentrum wird bei dem RHIB eine Position 0,5 m unterhalb der Wasseroberfläche angenommen. Sowohl Rumpf als auch Propeller sind im Vergleich zu größeren und schwereren Schiffen relativ flach getaucht. Damit liegt auch das akustische Zentrum relativ nahe an der Wasseroberfläche. Im Folgenden wird dies als Quelltiefe angegeben.

Die folgende Abbildung zeigt unterschiedliche Schallgeschwindigkeitsprofile in der Ostsee.



**Abbildung 14: Typische Schallgeschwindigkeitsprofile in der Ostsee.**

Für die Modellierung wird das Juli-Profil gewählt, da die meisten Schiffsbewegungen mit RHIBs in den Sommermonaten stattfinden. Durch dieses Schallgeschwindigkeitsprofil wird der Schall in Richtung des Bodens gebeugt.

## 4.2 Empfängener Schalldruckpegel im Querschnitt

Die Abbildungen dieses Kapitels zeigen einen Querschnitt durch die Wassersäule. In diesem Querschnitt werden Isophonen abgebildet, die Punkte gleichen Schallpegels verbinden. Die akustische Quelle, hier: das RHIB, befindet sich auf diesen Abbildungen in der linken, oberen Ecke auf einer Wassertiefe von 0,5 m. Die farbliche Skalierung beschreibt den empfangenen Schallpegel in Abhängigkeit von Empfängertiefe und Entfernung zur Quelle.

An den linken Rändern sieht man stark verdichtete Isophonen, was einerseits auf einen hohen Schallpegel unter dem Boot und andererseits auf eine starke Pegelabnahme in Querrichtung im Nahbereich hinweist. Bei der Bewertung der Zahlenwerte im Bereich unmittelbar unter dem Boot muss beachtet werden, dass das unter 1000 Hz verwendete Berechnungsverfahren RamGEO für Schallabstrahlung in Querrichtung optimiert wurde. Im vorliegenden Fall sind die berechneten Werte ab einer Entfernung von 10 m zuverlässig und werden nicht durch Vereinfachungen des Berechnungsmodells beeinflusst.

Die dargestellten Ergebnisse wurden auf Grundlage der Monopol Quellpegel erzeugt, die in  $\pm 30^\circ$  querab zum RHIB gemessen wurden. Unter der Annahme einer komplett symmetrischen Quelle, kann man die vorliegende Ausbreitungsberechnung auch auf den gesamten Bereich um das RHIB herum übertragen. Damit würden die Abbildungen für alle radialen Richtungen von der Quelle gelten. In der Realität gilt es aber zu beachten, dass die Quelle RHIB nicht komplett symmetrisch ist und dass die Position des RHIB im Seegebiet und die Bathymetrie die tatsächliche Schallausbreitung bestimmen. Zur Abschätzung eines durchschnittlichen Störungs- oder Schädigungsradius sind die getroffenen Symmetrieannahmen aber ausreichend genau.

Als Geschwindigkeit wird in allen Modellierungen des empfangenen Pegels 33 kn angenommen. Bei niedrigen Geschwindigkeiten von 10 kn und weniger scheinen die RHIBs keinen nennenswert höheren Schalleintrag in das Wasser als andere Seefahrzeuge zu besitzen (siehe Abbildung 4). Die RHIBs, welche hier akustisch betrachtet werden sollen, sind für einen Einsatz in dem hohen Geschwindigkeitsbereich konzipiert. Daher erfolgen auch die Schallmodellierungen für die Geschwindigkeit von 33 kn. In der Ostsee können bei geeignetem Wetter durchaus auch noch höhere Geschwindigkeiten erreicht werden. Die Datenlage zu diesen Geschwindigkeiten ist aber dünn. Es wäre zu empfehlen, solche hohen Fahrtzustände akustisch zu untersuchen.

Die folgenden beiden Abbildungen stellen den Summenpegel dar. Bei dem Summenpegel werden die Schalldruckpegel aller Terzbänder energetisch addiert. Der Summenpegel ist damit repräsentativ für die gesamte akustische Energie der Quelle im Wasser. In den Berechnungen wurden die verfügbaren Terzspektren der Monopol Quellpegel verwendet. Die meisten Spektren bilden den Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 20 kHz ab. Bei einigen fehlen Angaben zu einzelnen Terzbändern, da die Messung in diesen Frequenzbändern ungültig war.

Um zu berücksichtigen, dass ein Schweinswal nicht in allen Frequenzbändern gleich gut hören kann, sind im Anhang zusätzlich die empfangenen Pegel verschiedener Oktavbänder exemplarisch abgebildet. Die Schallausbreitung der besonders tiefen Frequenzen bis ca. 70 Hz ist bei den hier betrachteten flachen Wassertiefen unterbunden. Aus diesem Grund und da das Hörvermögen des Schweinswals unter 100 Hz so eingeschränkt ist, dass es in diesem tiefen Frequenzbereich kaum



erforscht wurde, werden daher auch nicht weiter betrachtet. Oberhalb dieser Frequenz kann sich der Schall aber weniger eingeschränkt im Wasser ausbreiten und wird dabei an Wasseroberfläche und Boden jeweils reflektiert.

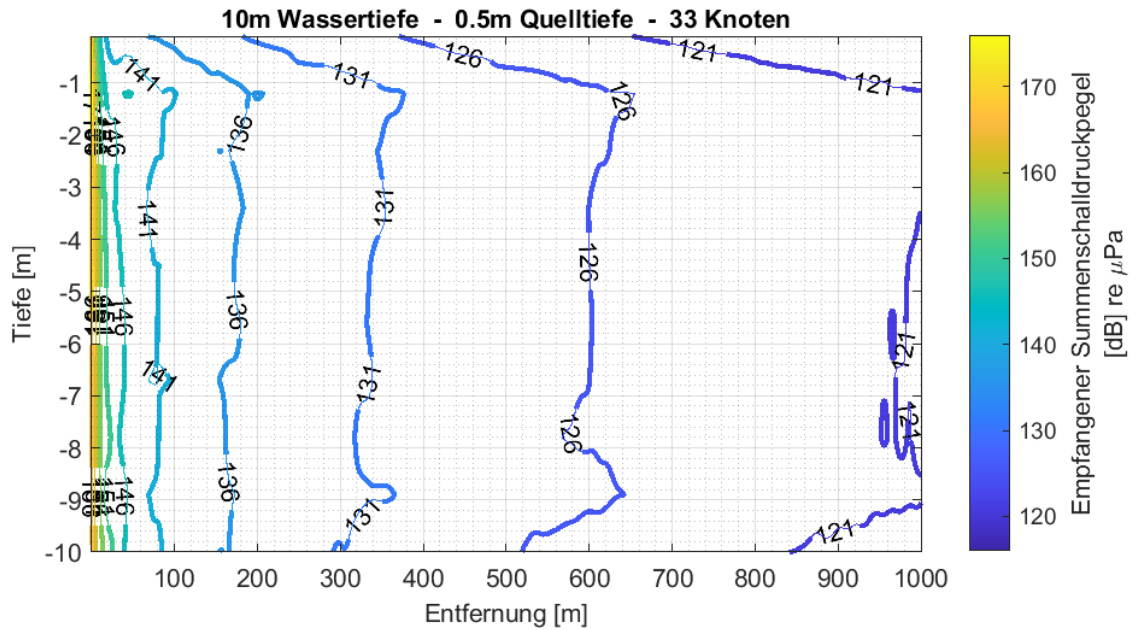


Abbildung 15: Summenschalldruckpegel im Querschnitt bei einer Wassertiefe von 10m und einer Geschwindigkeit 33kn. Abstufung der Isophonen in 5 dB Abstand

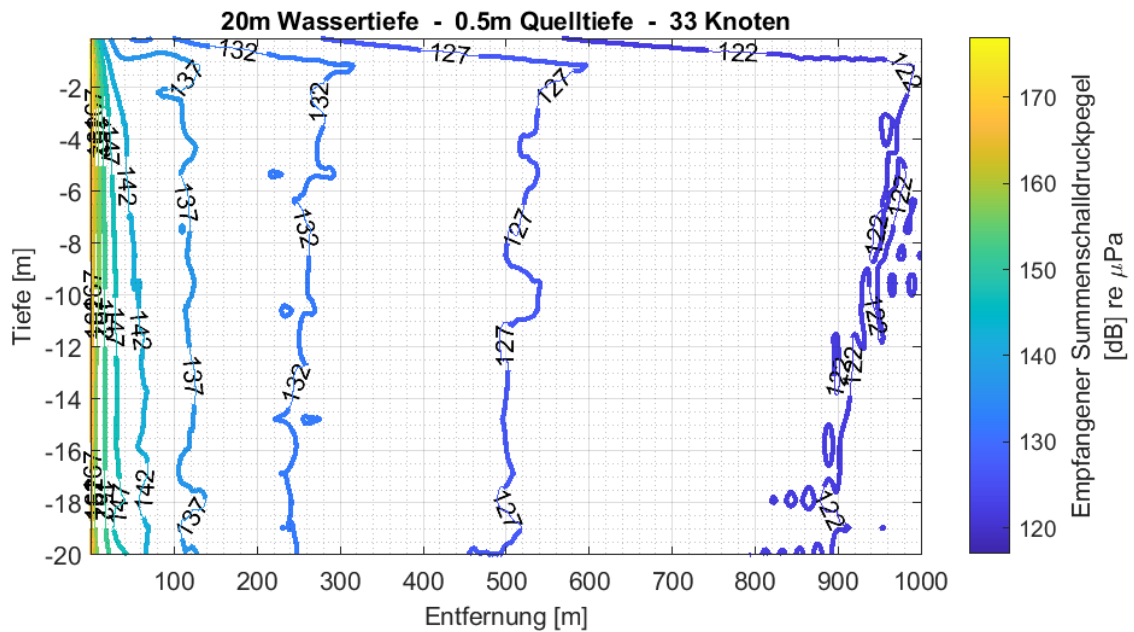
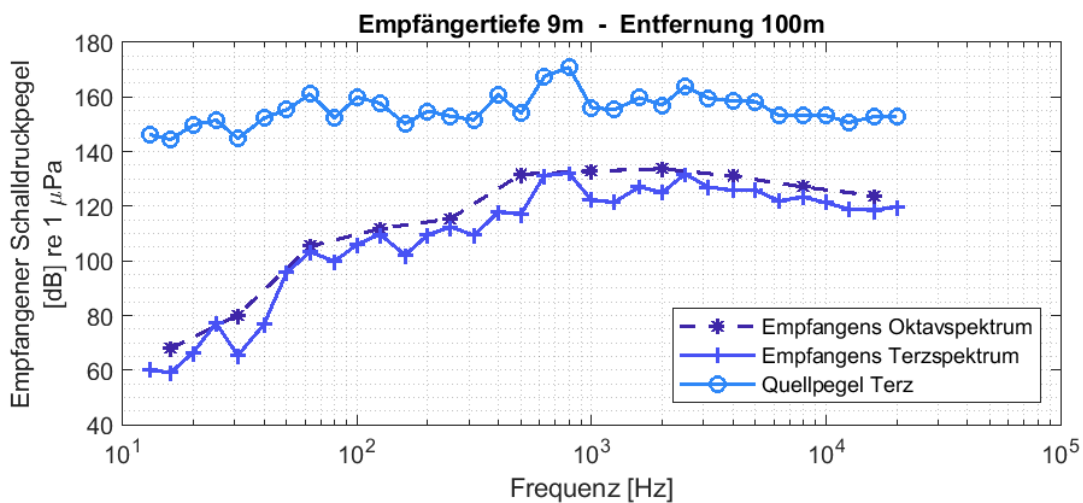


Abbildung 16: Summenpegel im Querschnitt bei einer Wassertiefe von 20m und einer Geschwindigkeit 33kn

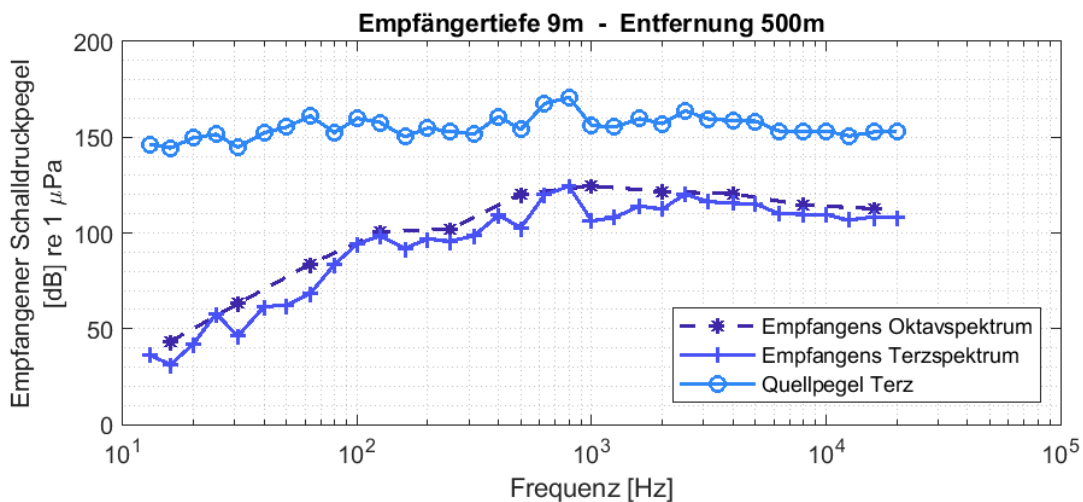
#### 4.2.1 Oktavspektren repräsentativer Empfängerpositionen im Querschnitt bei 10m Wassertiefe

Während die vorangegangenen Abbildungen die Schallausbreitung über die Entfernung zeigen, werden im Folgenden bestimmte Positionen in definierten Entfernungen und Empfängertiefen festgelegt und das Spektrum des empfangenen Schalls dargestellt. Es ist damit das Spektrum des Schalls, welches ein Lebewesen in diesem Abstand von der Schallquelle empfangen würde.

Zur besseren Übersicht ist in jedem Diagramm der Quellpegel des RHIBs mit eingezeichnet. Der Quellpegel dient nur als Referenz, um den Pegelunterschied interpretieren zu können.

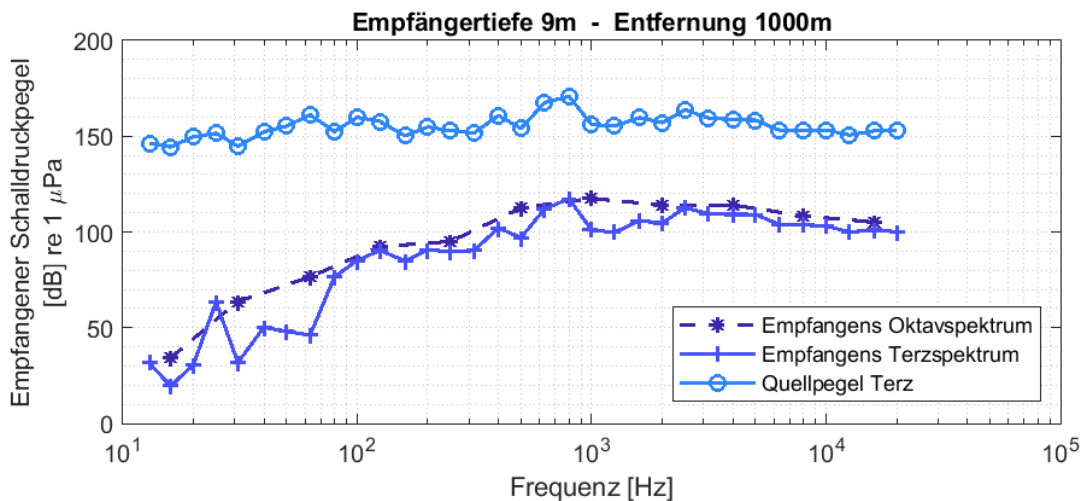


**Abbildung 17: Spektrale Darstellung des Schalldruckpegels bei 10m Wassertiefe auf 9m Empfängertiefe und 100m Entfernung**



**Abbildung 18: Spektrale Darstellung des Schalldruckpegels bei 10m Wassertiefe auf 9m Empfängertiefe und 500 m Entfernung**

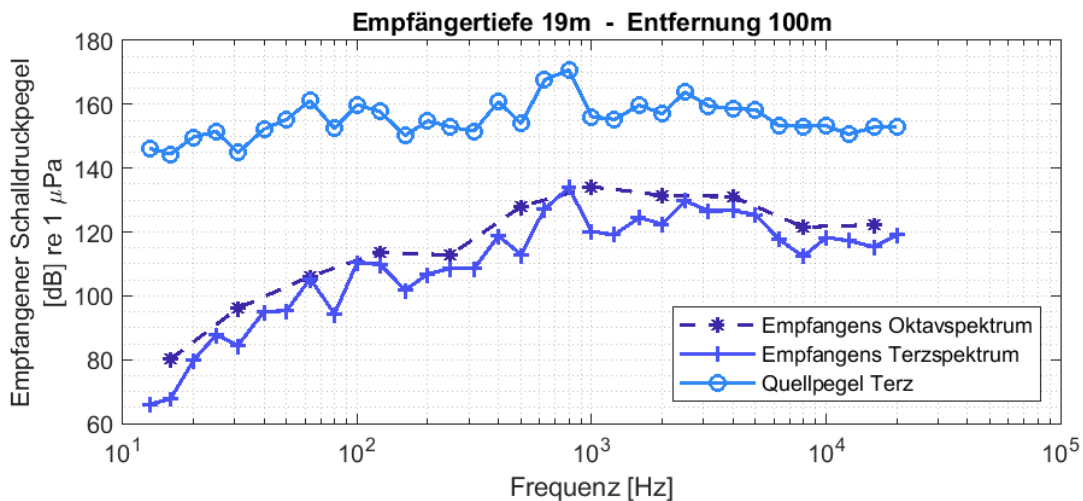




**Abbildung 19: Spektrale Darstellung des Schalldruckpegels bei 10m Wassertiefe auf 9m Empfängertiefe und 1.000m Entfernung**

#### 4.2.2 Oktavspektren repräsentativer Empfängerpositionen im Querschnitt bei 20m Wassertiefe

Die gleichen Auswertungen wie im vorangegangenen Kapitel werden nun für eine angenommene Wassertiefe von 20 m dargestellt.



**Abbildung 20 Spektrale Darstellung des Schalldruckpegels bei 20m Wassertiefe auf 19m Empfängertiefe und 100m Entfernung**

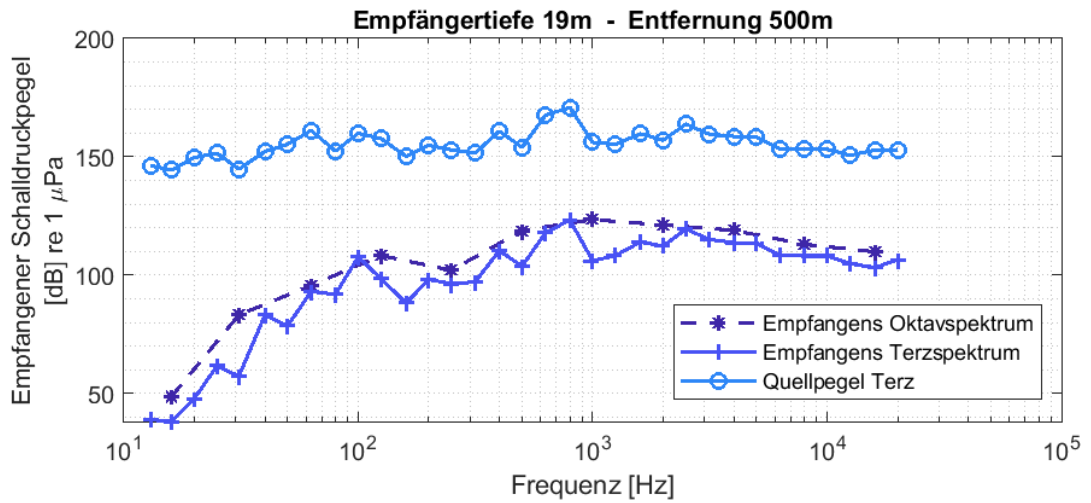


Abbildung 21: Spektrale Darstellung des Schalldruckpegels bei 20m Wassertiefe auf 19m Empfängertiefe und 100m Entfernung

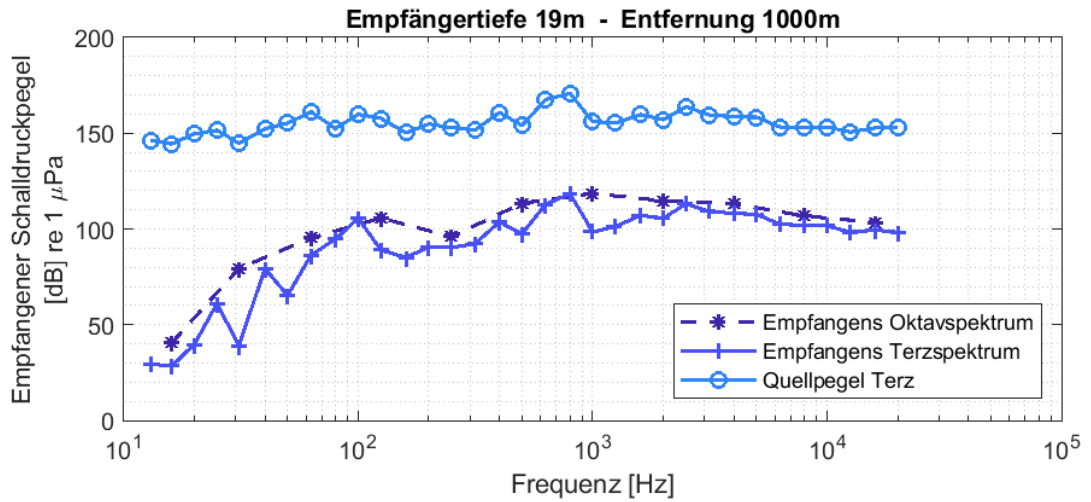
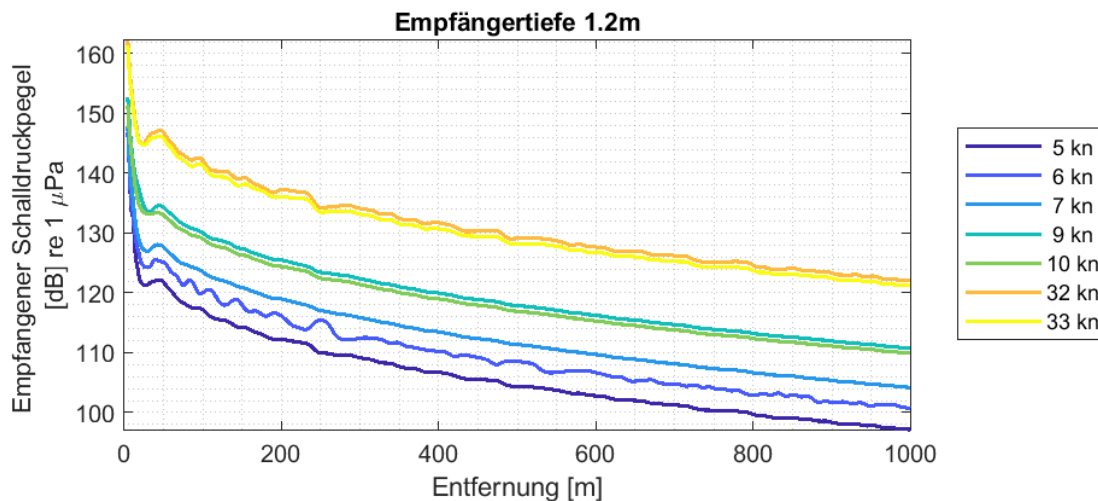


Abbildung 22: Spektrale Darstellung des Schalldruckpegels bei 20m Wassertiefe auf 19m Empfängertiefe und 100m Entfernung

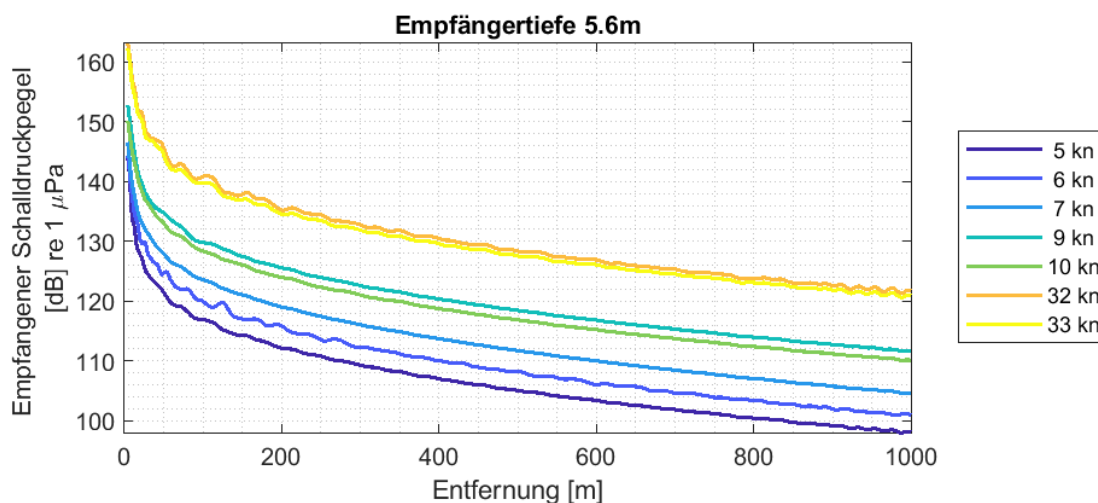
### 4.2.3 Empfangener Schalldruckpegel im Breitband in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 10m Wassertiefe

In den Abbildungen dieses Kapitels werden die Summenpegel dargestellt. Durch die Ausbreitung im Wasser kommt es zu einer Pegelabnahme über die Distanz. Je weiter ein Empfänger von der Quelle entfernt ist, desto leiser ist das empfangene Signal. Da auch die Empfängertiefe in der Wassersäule eine Rolle spielt, werden hier für beide modellierten Wassertiefen (10 m und 20 m) jeweils drei Diagramme gezeigt: Das erste mit einem angenommenen Empfänger, der nahe der Wasseroberfläche schwimmt, das zweite mit einer Position in der Mitte der Wassersäule und das dritte mit einem bodennahen Empfänger.

Weitere Auswertungen dieses Typs stehen im Anhang. Dort wird die Pegelabnahme über die Distanz getrennt nach Frequenzbändern dargestellt.



**Abbildung 23: Empfangener Summenpegel in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 10m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 1,2m**



**Abbildung 24: Empfangener Summenpegel in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 10m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 5,6m**

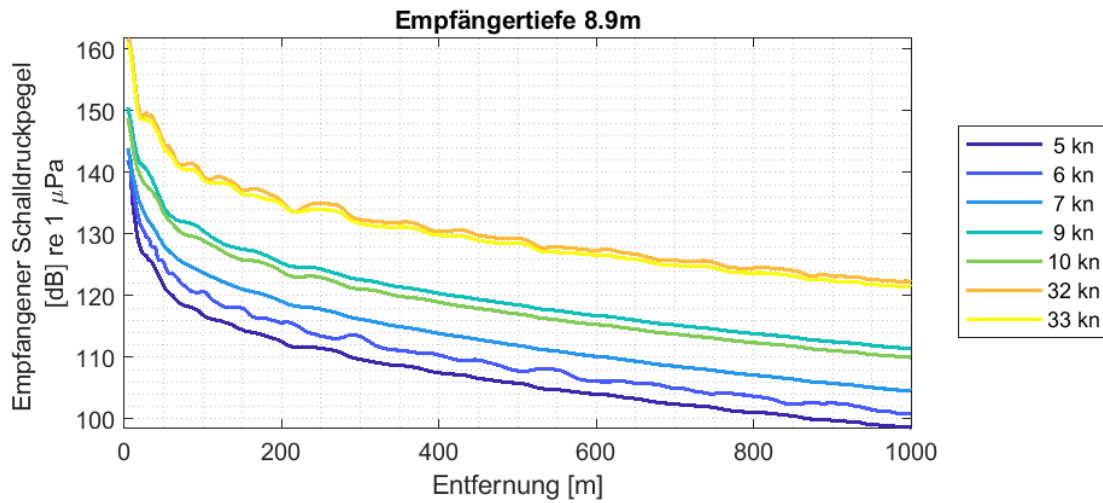


Abbildung 25: Empfangener Summenpegel in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 10m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 8,9m

#### 4.2.4 Empfangener Schalldruckpegel im Breitband in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 20m Wassertiefe

Hier werden die gleichen Auswertungen wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, nur dass die modellierte Wassertiefe hier 20 m beträgt.

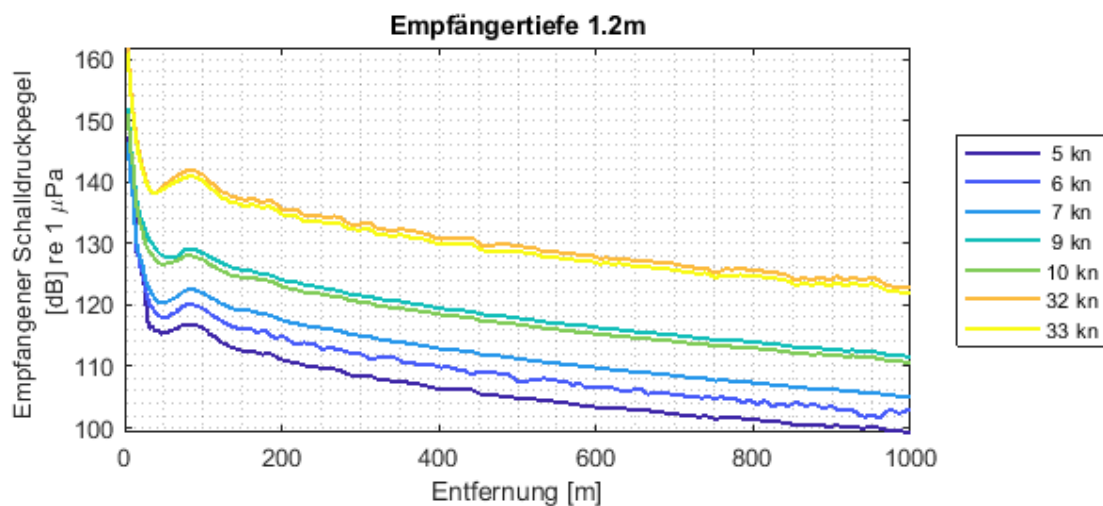
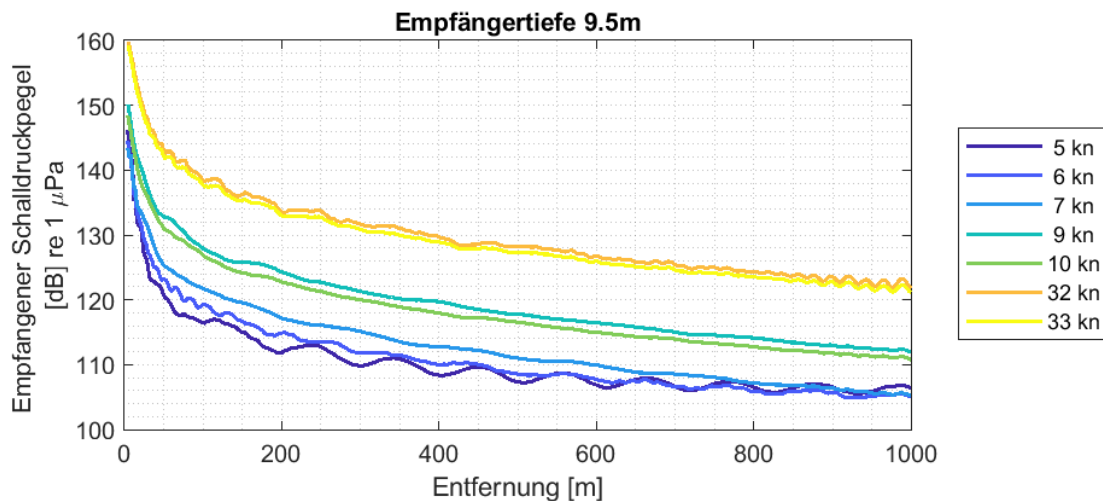
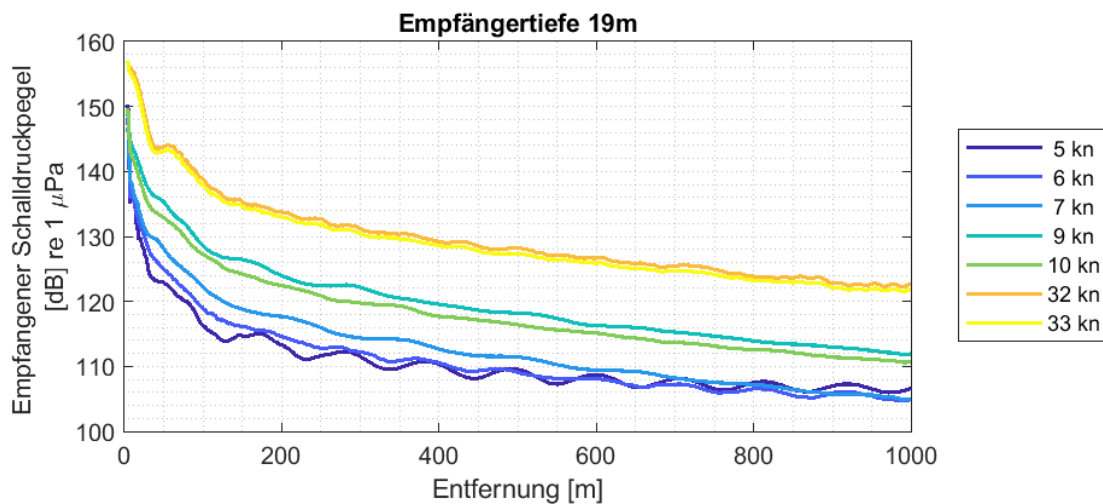


Abbildung 26: Empfangener Summenpegel in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 20m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 1,2m



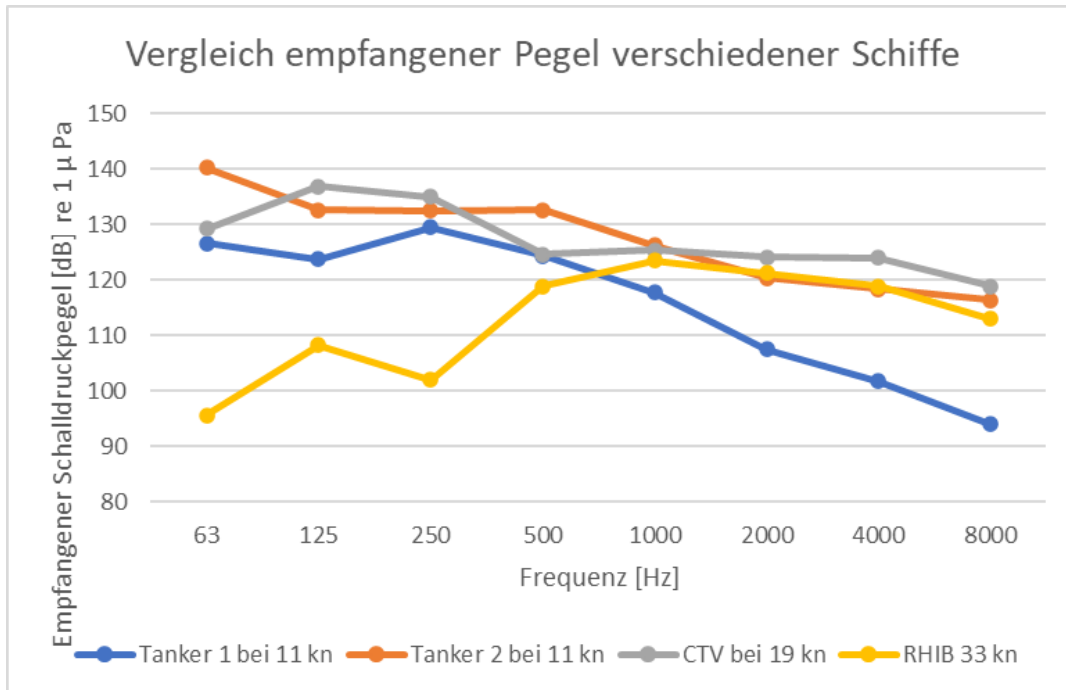
**Abbildung 27: Empfangener Summenpegel in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 20m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 9,5m**



**Abbildung 28: Empfangener Summenpegel in Abhängigkeit der Entfernung und Geschwindigkeit bei 20m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 19m**

## 5 Vergleich des empfangenen Pegels mit dem anderer Seefahrzeuge

Die Abbildung 29 zeigt den empfangenen spektralen Summenpegel des RHIB V 16 bei 33 kn. Dieser Pegel wird in Bezug zu anderen Seefahrzeugen gesetzt, die üblicherweise in der schleswig-holsteinischen Ostsee operieren. Es sind bewusst nicht die gleichen Geschwindigkeiten gewählt worden, da die verschiedenen Fahrzeuge auch verschiedene übliche Betriebsgeschwindigkeiten besitzen. Daher wurde für jedes Fahrzeug eine typische Geschwindigkeit gewählt.



**Abbildung 29: Empfangene spektrale Summenpegel verschiedener Seefahrzeuge in 500 m Entfernung bei 20 m modellierter Wassertiefe**

Abbildung 29 lässt erkennen, dass das RHIB im Vergleich keinen außergewöhnlich hohen Pegel in der entsprechenden Entfernung verursacht. Im Frequenzbereich über 500 Hz liegen die erwarteten empfangenen Pegel auf dem Niveau anderer Fahrzeuge aus der Berufsschifffahrt. Unter 500 Hz ist das RHIB in der Umwelt deutlich leiser als die anderen aufgeführten Schiffe. Das kann durch folgende Zusammenhänge begründet werden:

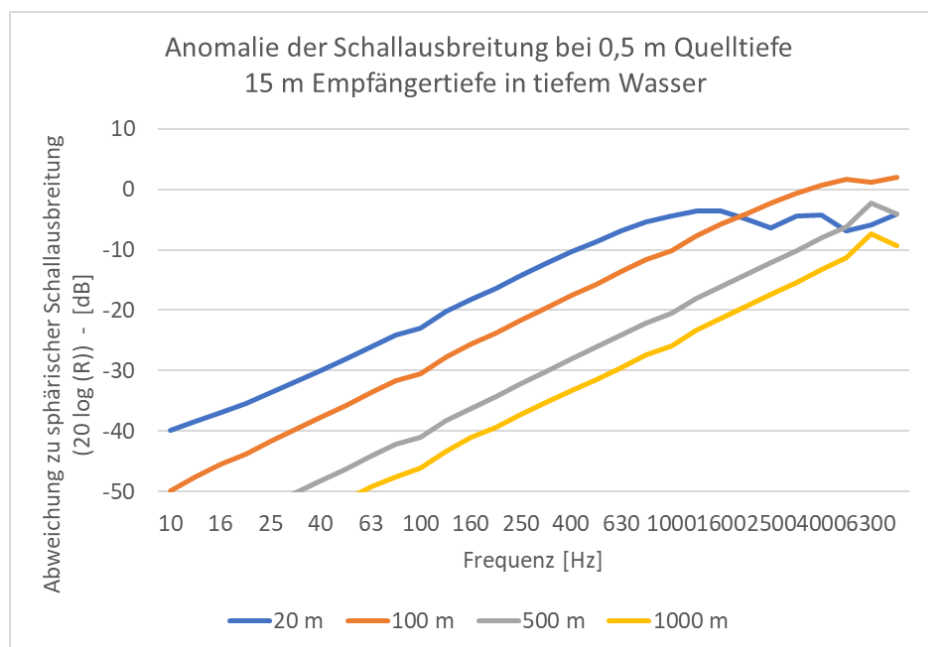
1. Der Propeller ist erheblich kleiner als der von Frachtschiffen. Das Kavitationsvolumen ist damit auch geringer
2. Die Motoren der RHIBs sind Außenbordmotoren. Dadurch sind diese nicht so gut an die Struktur des Boots gekoppelt, wie dies bei Frachtschiffen oder anderen Schiffen mit integrierten Motoren der Fall ist. Für die Abstrahlung des Körperschalls aus den Motoren wirkt daher eine erheblich kleinere Fläche. Weiterhin sind die Motoren bei Frachtschiffen erheblich größer; damit auch die dynamischen Kräfte, die auf die Struktur wirken.
3. Die Schallquelle eines RHIBs ist näher an der Wasseroberfläche als die von anderen Schiffen. Frachtschiffe haben häufig eine Quelltiefe von ungefähr 5 m und mehr. Je näher aber die akustische Quelle an der Wasseroberfläche ist, desto schlechter strahlt diese zur Seite ab. Durch die Reflexionen an der Oberfläche werden tiefe Frequenzen in Richtung des Bodens fokussiert. Der Effekt ist Frequenz- und entfernungsabhängig. Abbildung 30 zeigt beispielhaft, wie die Ausbreitung tiefer Frequenzen mit steigender Entfernung zunehmend erschwert wird.

Bei der Interpretation von Abbildung 29 ist zu beachten, dass die dargestellten Pegel modellierte empfangene Pegel sind, die auf Basis von gemessenen Quellpegeln einzelner Schiffe berechnet wurden. Die Quellpegel von Schiffen lassen sich wegen der technischen Unterschiede einzelner Schiffe nur ausgesprochen schwer im Sinne der Akustik kategorisieren. Scheinbar kleine Unterschiede wie beispielsweise Beschädigungen oder Bewuchs des Propellers können erhebliche Auswirkungen auf den

abgestrahlten Unterwasserschall haben. Das bedeutet, dass die Quellpegel der Frachtschiffe, die in der Ostsee operieren, erheblich von denen der dargestellten Tanker abweichen können. Eine Zuweisung typischer Quellpegel zu einer Schiffskategorie (z.B. „Tanker“ oder „Containerschiff“) ist nicht ohne weitere Parameter möglich.

Das dargestellte RHIB ist auch ein Individuum. Es wurde zwar als ein Repräsentant ausgewählt, könnte aber in Abhängigkeit von Seegang oder Beladungszustand seinen Quellpegel selbst bei gleicher Geschwindigkeit ändern. Andere RHIBs dürften einen anderen Quellpegel zeigen.

Eine Richtcharakteristik ist in keinem der hier dargestellten Quellen erfasst. Dazu liegen nur sehr spärliche Daten für Frachtschiffe und keine Daten für RHIBs vor. Dadurch könnte auch der Quellpegel der verschiedenen dargestellten Schiffe unterschiedlich sein, je nachdem aus welcher Perspektive diese zu hören sind.



**Abbildung 30: Anomalie der Schallausbreitung einer oberflächennahen Quelle, hier dargestellt für tiefes Wasser. Die vier Spektren zeigen Entfernungen querab zur Quelle in 20 m, 100 m, 500 m und 1000 m.**

## 6 Grenzen der Prognosen

Sowohl die Prognose des Monopolquellpegels bei den verschiedenen Geschwindigkeiten als auch die Ausbreitungsberechnung unterliegen gewissen Prognosetoleranzen aufgrund der diversen Einflussfaktoren. Hierbei ist die Schallausbreitungsberechnung als vergleichsweise robust anzusehen, da die physikalischen Einflussfaktoren (z.B. Seegang, Schallgeschwindigkeitsprofil, Sedimenttyp) erfasst und auf ein konkretes Seegebiet hin modelliert werden können.

Die Prognose absoluter Pegel für die Bootsklasse „RHIBs allgemein“ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit ist aber nicht beliebig genau möglich. Abbildung 10 zeigt, dass es einen grundsätzlichen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitszunahme und Quellpegelzunahme gibt: Höhere Geschwindigkeiten gehen wie erwartet mit höheren Quellpegel einher. Dieser ist auch physikalisch plausibel begründbar und bei allen vergleichbaren Booten zu erkennen. Abbildung 3 zeigt aber auch, dass die Intensität der Pegelzunahme über die Geschwindigkeit bei unterschiedlichen RHIBs



unterschiedlich ausgeprägt ist. Die Pegelzunahme wird beschrieben durch Produkt aus individuellem  $C_v$  und dem 10fachen des Logarithmus der Geschwindigkeitszunahme. Bei dem RHIB V16 scheinen in den Geschwindigkeitsbereichen unter 9 Knoten und darüber unterschiedliche Gesetzmäßigkeiten zu gelten, die nur anhand einer feineren Abstufung der Geschwindigkeiten weiter untersucht werden könnten (Stichwort: Übergang von der Verdrängerfahrt in die Gleitfahrt). Der Vergleich der Spektren in Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigt darüber hinaus große Unterschiede der Pegelzunahme im hohen Frequenzbereich: Während bei V06 alle Frequenzen oberhalb ungefähr 500 Hz einer ähnlichen Pegelzunahme unterliegen, tritt ein erheblicher Anstieg der abgestrahlten Pegel bei V16 vor allem im Frequenzbereich über 5 kHz auf. Daran zeigt sich, dass ein hoher absoluter Pegel nicht ausschließlich von der Geschwindigkeit abhängt, sondern von den individuellen Eigenschaften einer RHIBs wie beispielsweise der Propulsion (Bauart des Antriebs) oder dem geschwindigkeitsabhängigen Bedarf an Antriebsleistung. Blickt man auf Tabelle 1: Technische Eigenschaften der in der Jasco-Studie untersuchten RHIBs sieht man, dass auch andere einfach zu ermittelnde Daten wie Motorisierung oder Fahrzeuglänge keinen eindeutigen statistischen Zusammenhang zum abgestrahlten Schall zeigen, mit dem ein absoluter Quellpegel allgemeingültig für alle RHIBs bei 40 kn oder 50 kn prognostiziert werden kann.

Die höchste in der Literaturrecherche gefundene Geschwindigkeit liegt bei 37 kn (RHIB V06) und einem zugeordneten Pegel, der unterhalb dessen liegt, welchen RHIB V16 bei 33 kn erzeugte. Dies ist damit eine noch unzureichende Datenlage für eine Prognose des abgestrahlten Schalls anderer Fahrzeuge bei höheren Geschwindigkeiten bis zu 50 kn. Die Generierung von Messdaten im besonders hohen Geschwindigkeitsbereich sowie eine detaillierte Untersuchung der Geschwindigkeitsabhängigkeit des abgestrahlten Schalls verschiedener anderer RHIBs könnte zu einer zuverlässigeren Grundlage für zukünftige Prognosen führen. Dafür ist es insbesondere notwendig, die relevanten Abhängigkeiten zwischen technischen Eigenschaften und abgestrahltem Schall zu erkennen und quantitativ zu beschreiben. Im Rahmen einer solchen Vermessung sollte unbedingt auch die prinzipielle Richtwirkung der Quelle „RHIB“ untersucht werden. Zumindest eine Grobabschätzung sollte mit vertretbaren Mitteln möglich sein und könnte wichtige Erkenntnisse zur Hörbarkeit von vorne geben.

Möchte man einen negativen akustischen Umwelteinfluss von Schiffen oder Schiffsklassen regulativ einschränken oder ausschließen, so bieten sich Grenzkurven für den abgestrahlten Unterwasserschall an. Derlei Grenzkurven sowie das dazugehörige Messverfahren werden bereits von Klassifikationsgesellschaften in den sogenannten Class Notations definiert. Es wäre daher denkbar, dass Wasserfahrzeuge, die oberhalb einer bestimmten Geschwindigkeit operieren können, einen solchen Nachweis erbringen müssen, um eine Erlaubnis für Fahrt bei hoher Geschwindigkeit zu erhalten. Eine freiwillige Erbringung solcher standardisierten Nachweise ist bereits jetzt bei den Neubauten einiger Kreuzfahrtschiffe und Forschungsschiffe erfolgt. Abbildung 31 zeigt exemplarisch den Vergleich der Spektren zweier Schiffe im Vergleich zu zwei Grenzkurven. Das orange dargestellte Spektrum erfüllt beide Grenzkurven. Das blau dargestellte Spektrum überschreitet die Grenzkurve „SILENT-E quiet cruise“ oberhalb 2 kHz, sodass für diesen Fahrtzustand nur die weniger strenge Grenzkurve „SILENT-E transit“ erfüllt wird.



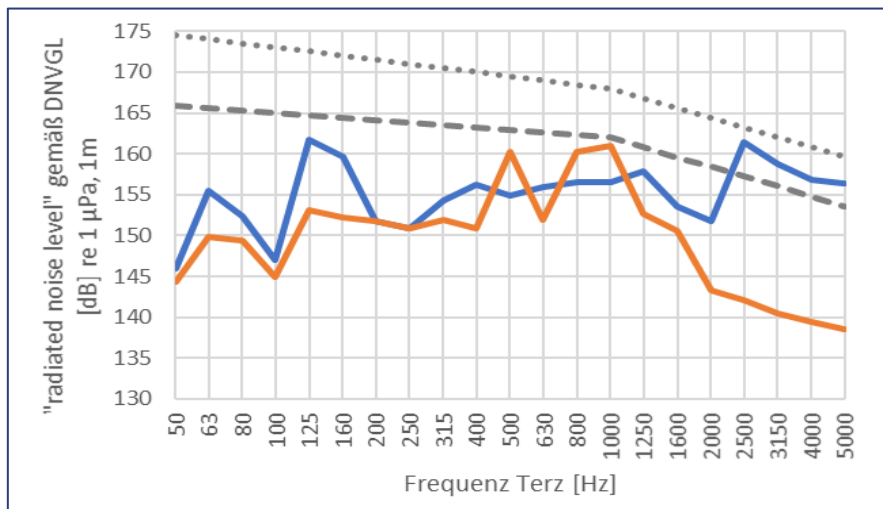


Abbildung 31: Exemplarische Darstellung eines Vergleichs des abgestrahlten Unterwasserschalls zweier Schiffe (orange und blau) mit den DNV GL SILENT-E (Environmental) Grenzkurven: Gestrichelt: „SILENT-E quiet cruise“, gepunktet: „SILENT-E transit“

## 7 Naturschutzrechtliche Grundlagen für Auswirkungen des Schalls auf Schweinswale<sup>4</sup>

Lärm unter Wasser wird in Deutschland außerhalb des vom „Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (Schallschutzkonzept)“ des BMU nicht spezifisch geregelt. Dementsprechend gelten allgemeingültige Regelungen aus anderen Rechtsprechungen.

Lärm kann zu unterschiedlichen Auswirkungen führen (Richardsen et al. 1995):

- Hohe Intensität, nahe der Quelle: Dokumentierte Auswirkungen reichen von erheblichen Störungen und Stress über Verletzungen der Hörorgane bis zu Schädigungen von anderen Organsystemen bis hin zum Tod.
- Mittlere Intensität: Stress setzt bereits bei geringen Lärmpegeln ein. Erstes Anzeichen hierfür ist eine Erhöhung der Herz- und Atemfrequenz die mit einer Ausschüttung von Stresshormonen verknüpft sein kann. Derzeit wird häufig als Ansatz für eine signifikante Störung die Vertreibung oder Meidung eines Gebietes angesehen. Dieser Einfluss geht häufig mit einer reduzierten Beuteaufnahme oder einem erhöhten Energieumsatz, oder beidem einher.
- Geringe Intensität: Das Signal wird gehört.
- Hohe bis geringe Intensität im Vokalisationsbereich oder in Bereichen biologisch signifikanter Signale (Predatoren, Umweltgeräusche etc.): Das Signal kann maskiert werden. Hierdurch werden biologisch signifikante Verhaltensweisen z.T. unterbrochen oder nicht initiiert.

<sup>4</sup> Autor dieses Kapitels: Dr. Michael Dähne

Schweinswale gelten, durch ihre Abhängigkeit vom Sinn der Echoortung, als besonders von Schalleinflüssen abhängig. Sie nutzen Echoortungsklicks für Nahrungssuche [9], Orientierung [10] und Kommunikation [11]. Schweinswale sind durch das Bundesnaturschutzgesetz und die Flora-Fauna-Habitat Richtlinie in Deutschland und Europaweit als Art geschützt, die durch ein Schutzgebietenetzwerk und übergreifend im gesamten Lebensraum geschützt werden müssen. Schweinswale sind eine streng und dadurch auch besonders geschützte Art.

Das BNatSchG besagt in §44 Abs 1:

(1) Es ist verboten,

1. wild lebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
2. wild lebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert,
3. Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören, [...]

Im Rahmen dieser Studie kommt es insofern besonders auf die ersten zwei Punkte an, wobei dies nicht bedeutet, dass Auswirkungen nach (3) ausgeschlossen werden können. Für Schweinswale in Schleswig-Holstein kann nach allen vorliegenden Kenntnissen angenommen werden, dass sie nahezu alle Gebiete der Küste regelmäßig und ganzjährig nutzen. Für eine Wirkungsprognose sind also alle unter (1), (2) und (3) genannten Punkte zu berücksichtigen. (1) wird im Allgemeinen als das Tötungs- und Entnahmeverbot bezeichnet. In Bezug auf die RHIBs sind hier Verletzungen zu berücksichtigen, die das Hörsystem betreffen. Hierfür wird in Deutschland der TTS-Onset genutzt. Dies ist die geringste Intensität bei der es zu einer temporären Verschiebung der Hörschwelle kommt. Zusätzlich muss hier das Risiko durch Verletzung oder Tötung während eine Kollision berücksichtigt werden. Das Störungsverbot (2) bezieht sich auf erhebliche Störungen, die bei Schweinswalen derzeit mit einer Vertreibung gleichgesetzt werden (vgl. Schallschutzkonzept). Die Beeinflussung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten nach (3) kann hier nur insofern berücksichtigt werden, dass sie nicht ausgeschlossen ist und die sensiblen Phasen insbesondere die Monate Mai bis Dezember (Anfang der Kalbung bis Anfang der eigenen Nahrungsaufnahme der Kälber) umfassen. In diesem Zeitraum werden Schweinswale in der gesamten Ostsee in Begleitung von Kälbern beobachtet, so dass jedes Gebiet welches von Schweinswalen zu diesem Zeitpunkt genutzt wird, als Fortpflanzungsgebiet gelten muss. Die Einhaltung von Ruhestätten ist insbesondere für die Schutzgebiet erforderlich.

Zusätzlich muss hier berücksichtigt werden, dass Schweinswale als migrierende Art zu betrachten sind, die durch Ausweisungen von Schutzgebieten und strikten Schutz innerhalb der Schutzgebiete (Listung Anhang II der FFH RL), sowie durch einen generellen Schutz innerhalb des gesamten Lebensraumes zu schützen ist (Listung Anhang IV der FFH RL). Konkret bedeutet dies, dass die FFH-Richtlinie, sowie die nationale Umsetzung durch das BNatSchG für den Schweinswal sowohl einen flächendeckenden Individualschutz als auch den besonderen Schutz von Lebensräumen der Art durch das Netzwerk Natura 2000 begründen. Insofern ist BNatSchG §44 Abs 1(1) innerhalb aller Gebiete des Lebensraumes der Schweinswale zu erfüllen, solange nicht eine Sondergenehmigung vorliegt, oder eine dedizierte Eingriffsprüfung in Form einer Umweltverträglichkeitsprüfung, einer strategischen Umweltprüfung,

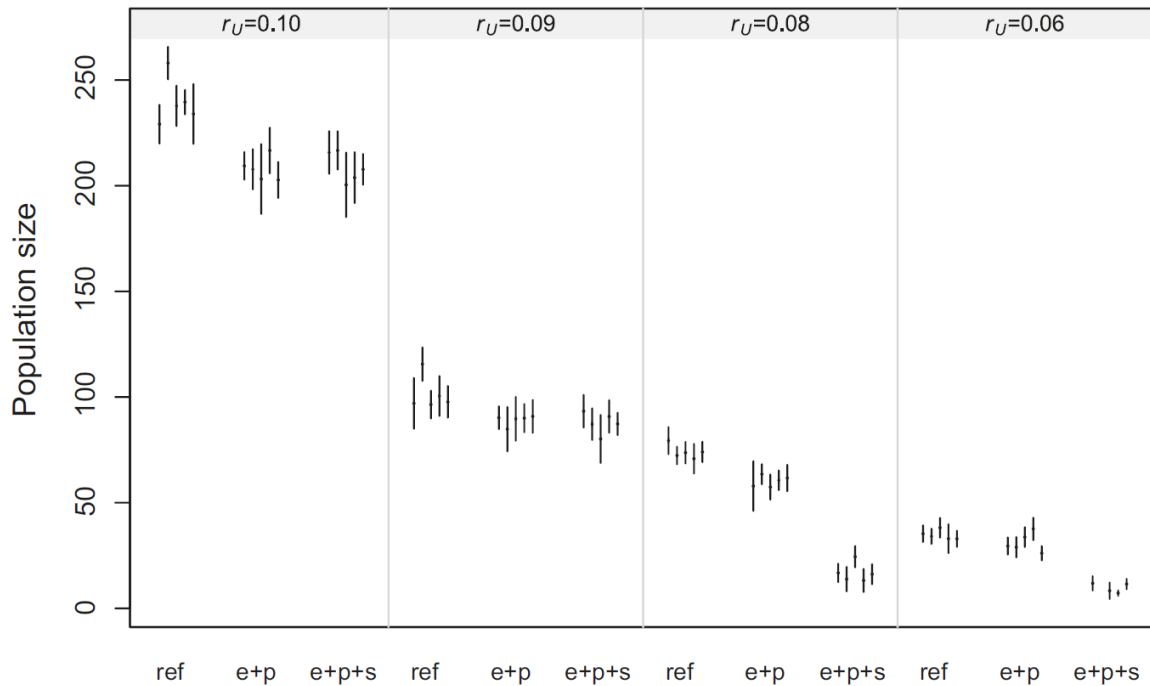
einer FFH-Verträglichkeitsprüfung oder einer Prüfung hinsichtlich des besonderen Artenschutzes erfolgt ist und entweder eine Unbedenklichkeit bescheinigt oder ein überwiegendes öffentliches Interesse an der Maßnahme nachgewiesen werden kann (sinngemäß nach §13,15 BNatSchG).

In Bezug auf den Schutz nach BNatSchG §44 Abs 1(2) muss zu Grunde gelegt werden, dass für die ausgewiesenen Schutzgebiete ein erhöhter Schutz in den Schutzgebieten gewährleistet werden muss. Besonders innerhalb der Schutzgebiete müssen potentielle Eingriffe nach dem Vermeidungsgebot, dem Verursacherprinzip und dem Folgenbewältigungsprinzip bereits vor der Maßnahme abgewogen werden (sinngemäß nach §13,15 BNatSchG). Hierbei kommen Wirkungsprognosen und Kontrollen zur Anwendung.

### **7.1 Stand der Fachliteratur zur Abschätzung von Auswirkungen von anthropogenen Einwirkungen auf Schweinswalpopulationen**

Hierzu werden großskalige Modelle herangezogen, die wichtige Parameter aus der Population berücksichtigen, derzeit aber bisher nur beispielsweise für die Auswirkungen von Rammschall von Offshorewindkraftanlagen [12] und Beifang [13]. Die letztgenannte Quelle beinhaltet ebenfalls eine Abschätzung, die den Schiffsschall als eine wichtige Komponente der Abnahme von Schweinswalen unter der Bedingung einer existierenden Beifangrate und Beeinflussungen durch damals (2014) existierende und geplante Windkraftanlagen einbezieht (Abbildung 32).

Eine Abwägung, ob RHIBs nach BNatSchG §44 Abs 1 (2) eine populationsrelevante (erhebliche) Auswirkung haben, kann an dieser Stelle nicht erfolgen, weil hierzu detaillierte Kenntnisse zur kleinskaligen Habitatnutzung von Schweinswalen und Robben notwendig sind. Zusätzlich muss eine genaue Wirkungsprognose, Reproduktionsraten, Demografie der Schweinswalpopulation usw. vorliegen, die hier nicht bekannt sind. Konkret liegen also wichtige Grundlagendaten zu den einzelnen Eingriffen (Signaturen der RHIBs bei verschiedenen, realistischen Geschwindigkeiten) und zur Abschätzung der Auswirkung (Daten zu Schweinswalen im Gebiet) nicht in ausreichender Qualität vor. Ohne diese Daten können Prognosemodelle, wie hier erläutert, nur zu extrem ungenauen Ergebnissen führen, die dann eine konkrete Eingriffsbewertung nicht ermöglichen.

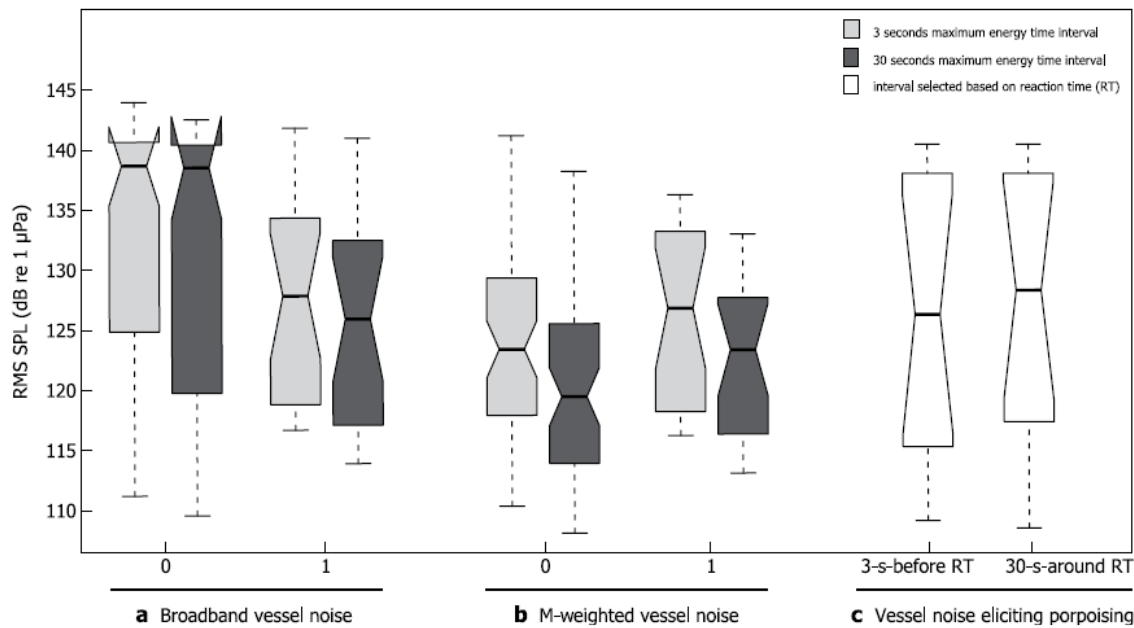


**Abbildung 32: Kummulative Effekte einer individuenbasierten Modellierung der Schweinswalpopulation im Bereich der dänischen Beltsee[13]. Die Effekte variieren abhängig von der Rate der Reetablierung von Nahrungsressourcen ( $r_U$ ). Je niedriger die Reetablierung ist, desto höher fallen die Effekte von existierenden und geplanten Windfarmen (e+p) oder etablierten und geplanten Windkraftanlagen sowie Schiffsschall (e + p + s) gegenüber der Referenzsituation (ref). Diese Ergebnisse präsentieren prädiktive Modelle, die in Bezug auf die Situation mit RHIBs als Einzelquelle nicht abstrahiert werden können.**

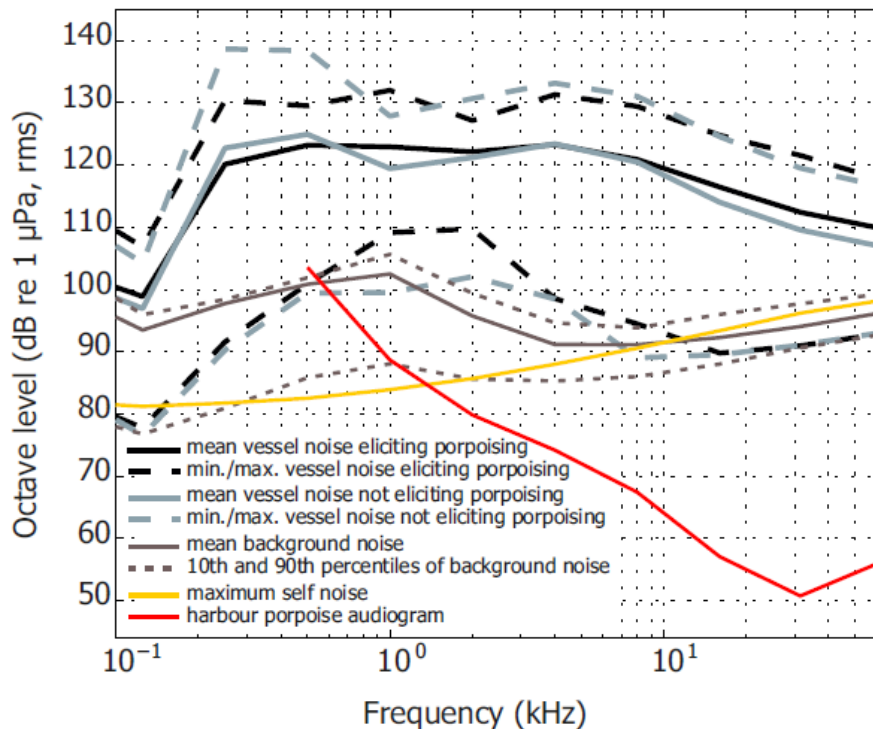
## 7.2 Einordnung von RHIBs in bisherige Studien zu Auswirkungen von Schiffsschall

RHIBs sind im Regelfalle nicht mit einem AIS als Monitoringsystem ausgestattet und fahren sehr schnell mit weit über 35 kn (ca. 60 km/h). Bisher gibt es mehrere Studien, die das Verhalten von Schweinswalen in Bezug auf schnellfahrende und nicht mit AIS ausgestattete Schiffe untersuchen.

In Dyndo et al. 2015 [14] wurden Passagen von Schiffen an Schweinswalen in Gefangenschaft untersucht. Hierbei wurden die Schallsignaturen der Schiffe nahe von Schweinswalen mit einem Hydrophon aufgezeichnet und danach unterschieden, ob Schweinswale ein auffälliges Verhalten zeigten (Schnelles wiederholtes Auftauchen, Abbildung 33). Zusätzlich wurden die frequenzspezifischen Eigenschaften der vorbeifahrenden Schiffe erfasst (Abbildung 34). Die Ergebnisse belegen, dass Schweinswale auf die relativ langsam vorbeifahrenden Schiffe explizit reagierten. Die Studie belegt, dass Schweinswale insbesondere im Frequenzband 250 Hz bis 63 kHz stark auf Schallereignisse reagierten.



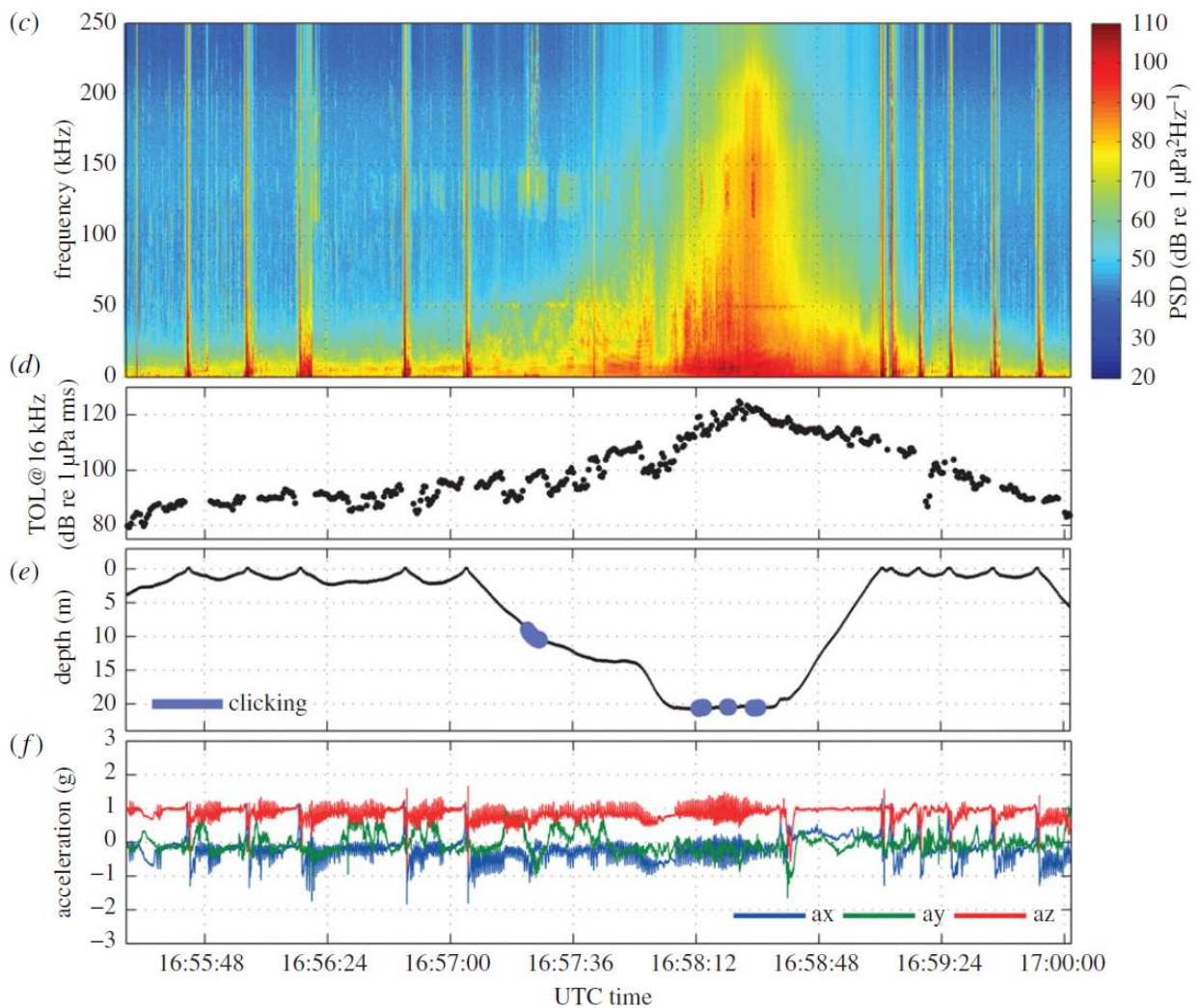
**Abbildung 33: Breitbandige Schalleinwirkung (a) und hieraus die Ereignisse, die Schweinswale zu einem auffälligen Verhalten (Schnelles wiederholtes auftauchen - porpoising) gebracht haben (c). Die Schallpegel variieren sehr stark rangieren aber zwischen 110 bis 140 dB re 1  $\mu$ Pa breitbandigem Empfangspegel [14].**



**Abbildung 34: Auffälliges Verhalten von Schweinswalen in Menschenhand in einem Freilandbecken. Schiffspassagen, die auffälliges „Porpoising“ auslösten sind in Schwarz als Oktavpegel dargestellt. Das Audiogramm eines Schweinswales ist in rot dargestellt. Die gelbe Linie zeigt die Aufnahme­grenze (elektronisches Rauschen des Aufnahmesystems) [14].**

Eine Studie, die Schweinswale im Freiland untersuchte, kam zu ähnlichen Ergebnissen [15]. Hierbei wurden Schweinswale mit einem Tag besendert, dass die dreidimensionalen Bewegungen zeitgleich

mit dem Echoortungsverhalten und Schallereignissen aufgezeichnete (Abbildung 35). Im Resultat der Studie wurde festgestellt, dass die Schweinswale bei einem Terzpegel bei 16 kHz von 96 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  ein deutlich reduziertes Jagdverhalten zeigten. Dies bedeutet im Umkehrschluss nicht, dass bei niedrigeren Frequenzen keine Reaktion erfolgte, sondern nur, dass darunter eine Messung aufgrund des hohen Eigenrauschens durch die Bewegung des Schweinswales selbst, nicht möglich war. Die Schweinswale waren Schiffsgeräuschen (unabhängig von einer Reaktion) in dänischen Gewässern während dieser Experimente zwischen 17-89 % der aufgenommenen Zeitdauer ausgesetzt. In Kombination mit Erkenntnissen, dass Schweinswale nahezu ständig jagen müssen [16], [17] erscheint dieser Schallpegel als sehr gering.



**Abbildung 35: Exemplarische Reaktion eines Schweinswales auf eine Passage einer Schnellfähre. Dargestellt ist das Spektrumgramm (c), Terzpegel bei 16 kHz (d), Tiefe (e), und dreidimensionale Beschleunigung (f). Der Schweinswal taucht mit geringer Schalleinwirkung ab, bleibt für die Schalleinwirkung auf dem Boden, während er sich stark bewegt und taucht anschließend wieder relativ schnell auf. Das reguläre Tauchmuster ist unterbrochen und die Tauchdauer während der Passage extrem erhöht. Die Schallpegel der Fähre sind insbesondere im Frequenzbereich über 10 kHz erhöht.**



### 7.3 Besondere Risiken aufgrund charakteristischer Eigenschaften von RHIBs

Als Besonderheit bei RHIBs müssen die folgenden Gegebenheiten betrachtet werden:

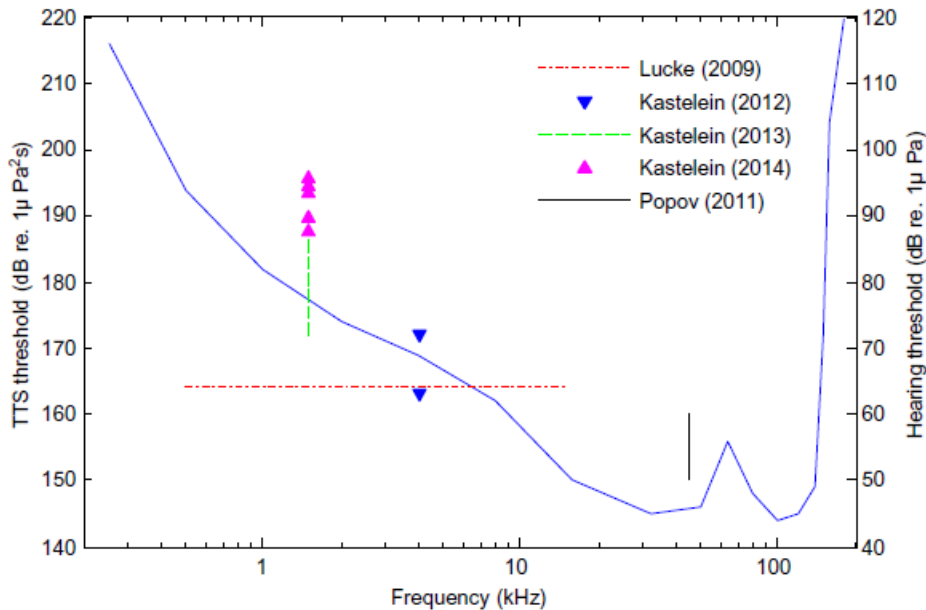
1. Geschwindigkeiten sind gegenüber normalem Schiffsverkehr extrem hoch und die Art der Bewegung wenig vorhersagbar. Nach Art und Intention der angebotenen Fahrten sind häufige Manöver mit extremen Richtungswechseln zu erwarten.
2. Die Nutzung findet sehr küstennah und damit möglicherweise in Flachwasserbereichen statt. Durch die überdurchschnittlich hohen Geschwindigkeiten können jedoch küstenferne Regionen sehr schnell erreicht werden.
3. Die Richtung der Ausfahrt wird hauptsächlich von der Wind- und Strömungsrichtung abhängig sein.
4. Die Ausfahrten finden z.T. mehrmals täglich statt, so dass ein Gewöhnungseffekt eintreten kann.
5. Die Ausfahrten finden zur Touristensaison statt (hauptsächlich April – Oktober).
6. Mit bis zu 60 kn sind RHIBs so schnell, dass ein Ausweichen für Wale und Delfine nahezu nicht möglich ist. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Kollisionen mit Folgen von Tötung oder Verletzung erfolgen.
7. Die Überfahrt (so ein Tier abtauchen kann) ist extrem schnell und sehr hochfrequent.
8. Die Annahmen in der vorliegenden Studie müssen als Mindestannahmen gelten und werden sicherlich von mindestens einigen Fahrzeugen bauartbedingt und intentionsgemäß überschritten.
9. Der hochfrequente Frequenzanteil nimmt mit der Geschwindigkeit eines Fahrzeuges potentiell zu. Dieser hochfrequente Anteil kann zu einer wesentlich höheren Störwirkung führen, als hier auf Grund der vorliegenden wissenschaftlichen Literatur eingeschätzt werden kann.

Aufgrund dieser Charakteristika ist die Wahrscheinlichkeit einer direkten Verletzung des Tieres in Folge eines Zusammenstoßes wesentlich höher, als dies bei anderen Booten der Fall ist.

### 7.4 Abschätzung der Gefährdung nach BNatSchG §44 Abs 1 (1)

Im Rahmen dieser Betrachtung wird angenommen, dass die Belastung des Gehörs bis zur untersten Grenze einer temporären Verschlechterung der Hörschwelle (TTS-Onset) als Ansatz für eine Verletzung des §44 Abs 1 (1) BNatSchG gilt. Dies entspricht der Auffassung der Bundesregierung nach dem für die Nordsee geltenden Schallschutzkonzept für Offshore-Windkraftanlagen [18].

Es gibt derzeit keine Schallexpositionsgrenzen für Schweinswale außer dem Schallschutzkonzept. Es ist sehr fraglich, inwiefern Schallexpositionsgrenzwerte wirklich zur Anwendung gebracht werden können. Im Schallkonzept beziehen sich die Schallexpositionsgrenzwerte auf impulsiven Schall. Sie sind nicht auf Dauerschall übertragbar. Die Einschätzung speziell für kontinuierliche Signale, wie von RHIBs muss deshalb von Literaturwerten abgeleitet werden, die sich auf verschiedene Studien an Schweinswalen und Glattschweinswalen in Menschenhand herleiten. Zusammengefasst wurden die Ergebnisse in Tougaard et al. 2015 [19]. Hier wurde postuliert, dass die Grenze für eine temporäre Hörschwellenverschiebung bei ca. 100 bis 110 dB über der Hörschwelle (dem Audiogramm) liegt. Dies bezieht sich zwar auf die Einschätzung der Schallexpositionspegels (SEL), kann aber auf kontinuierliche Signale als  $L_{eq}$  übertragen werden, die bei 1 Sekunde Lautdauer wertgleich sind. Als Abschätzung kann also gelten, wenn Dritteloktavwerte (Terzpegel) oberhalb oder nahe des Audiogramms + 100 dB liegen, kann potentiell eine TTS erfolgen.



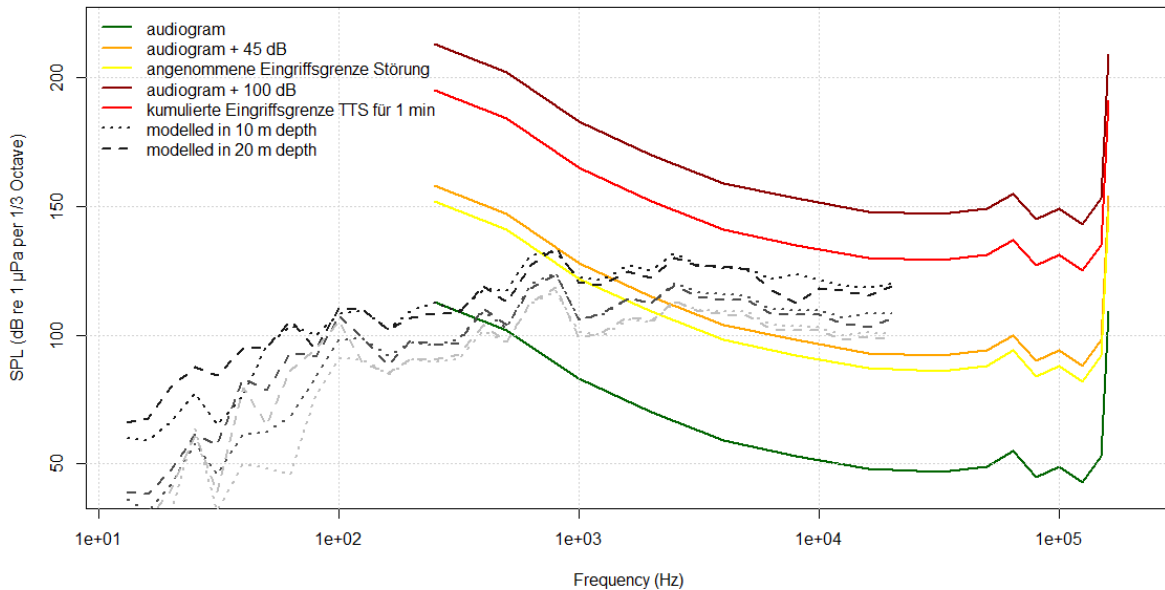
**Abbildung 36: Bisherige Studien zur Feststellung des TTS-Onset. Als Annahme leitet sich ab, dass eine Verschiebung um ca. 100 bis 110 dB geeignet ist, eine Prognose der Verletzung des Hörsystems der Schweinswale abzuleiten [19].**

Die Energie eines kontinuierlichen Signales muss als kumulierter Wert betrachtet werden. Je länger die Einwirkdauer ist, desto niedriger muss die Schwelle angesetzt werden, bei der eine Verletzung erfolgt. Die rein kumulierte Intensität ergibt sich dabei zu  $Leq,t = Leq,1s + 10 \cdot \log_{10}(t)$  und bedeutet, dass für eine Einwirkung von 64 Sekunden (ca. 1 Minute) ca. 18 dB Reduktion des potentiellen Einsatzes der Hörschwellenverschiebung angesetzt werden müssen. Dies kann als potentielles Maß für eine schnelle Vorbeifahrt zum Beispiel an Schutzgebietsgrenzen herangezogen werden. Dieses Maß ist eine Festlegung, die hier erfolgt, um eine minimale Eingriffsgrenze zu definieren, ist jedoch kein anerkanntes Maß innerhalb der Wissenschaftscommunity. Ein solches einheitlich definiertes Eingriffsmaß für das Eintreten einer TTS bei kontinuierlichem Schall ist derzeit nicht existent.

Eine Abschätzung ist in Abbildung 37 vorgenommen worden. Die Ergebnisse zeigen, dass eine TTS sehr wahrscheinlich nur in Entfernungen unter 100 m erfolgen würde. Dies ist extrem abhängig von der Einwirkdauer, belegt aber, dass die Gefahr eines Überfahrens eventuell gleich hoch einzuschätzen ist, wie die gleichzeitige Gefahr einer TTS oder eines permanenten Hörschadens. In Bezug auf den Schutz innerhalb von Schutzgebieten ist zu berücksichtigen, dass die modellierten RHIB-Signale eine Unsicherheit aufweisen. Würde noch berücksichtigt werden, dass RHIBs eventuell doppelt so laut sind, wie die hier modellierten Signale, ist eine TTS bei einer Vorbeifahrt in <100 m bei 30 kn nicht ausgeschlossen.

Für die westliche Ostsee (Kieler Bucht) kann eine Dichte von Schweinswalen mit bis zu einer maximalen Dichte von 1 Tier/km<sup>2</sup> angenommen werden (Scheidat et al. 2008), wobei die Zählungen zwischen 0 und 0,96 Tieren/km<sup>2</sup> schwanken. Bei einer potentiellen Reichweite von 1 km einer Störung oder potentiellen würden bei einem 1/Tier km<sup>2</sup> bei insgesamt einstündiger Fahrt insgesamt ca. 60 Tiere sich in dem Einflussbereich aufhalten. Bei einem Einflussbereich von 100 m würde die Störung/Verletzung sich auf sechs Tiere beziehen. Da die Dichten geringer sind und nicht die gesamte Zeit mit erhöhter Geschwindigkeit gefahren wird, sind diese Zahlen als maximal betroffene Tiere zu betrachten.



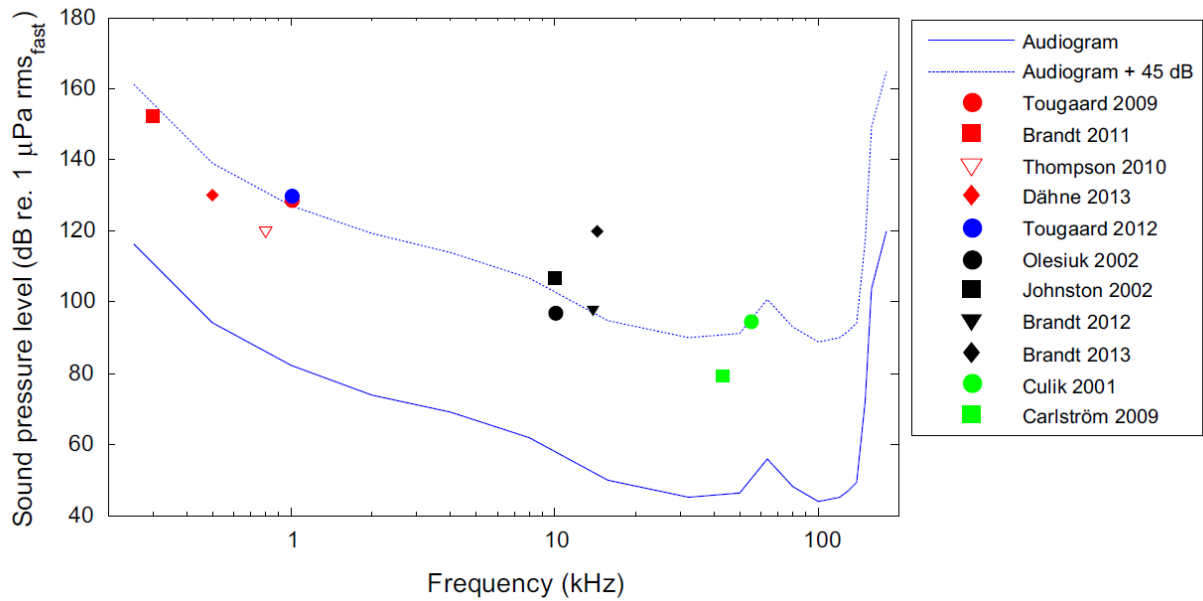


**Abbildung 37: Vergleich der ermittelten Terzpegel des hier untersuchten RHIBs in 10 und 20 m Wassertiefe mit dem Audiogramm des Schweinswales [20] mit Linien für das Audiogramm + 45 dB (Verhaltensschwelle) und +100 dB (TTS Schwelle). Zusätzlich sind Sicherheitswerte einberechnet worden. Für die TTS Schwelle wurde berücksichtigt, dass die Vorbeifahrt eines Schiffes eine gewisse Zeit erfordert (angenommen 1 min) die die Einwirkungsgrenze reduziert. Für die Störungsgrenze wurde eine Sicherheit von 6 dB angenommen. Die ermittelten Spuren liegen deutlich oberhalb der Verhaltensschwelle, aber ebenfalls deutlich unter der TTS-Schwelle. Hellgrau – 1000 m Entfernung, mittelgrau – 500 m, dunkelgrau – 100 m Entfernung).**

## 7.5 Abschätzung der Gefährdung nach BNatSchG §44 Abs 1 (2)

Tougaard et al. 2015 [19] haben bisherige Studien zur Belastung von Schweinswalen durch impulsive und kontinuierliche Schallereignisse zusammengefasst. Im Ergebnis stellen die Autoren fest, dass eine Reaktion von Schweinswalen auf die Schallereignisse bei ca. 45 dB über dem Audiogramm stattfindet (Abbildung 38).

Nach Abbildung 37 zeigt sich, dass eine deutliche Verhaltensreaktion auch in über 1000 m Entfernung höchstwahrscheinlich ist. Ob diese Verhaltensreaktionen nach BNatSchG nachhaltig oder erheblich sind, kann hier nicht eingeschätzt werden, bei häufigen Schalleinwirkungen ist jedoch die Wahrscheinlichkeit dafür hoch. Dies gilt insbesondere in den Zeiträumen der Kalbung, Paarung und Laktation, da Schweinswale laktierend und tragend gleichzeitig sein können und sich dann in den nahen Küstenbereichen aufhalten. Dabei ist unklar, ob Schweinswale jederzeit migrieren, oder saisonale Verschiebungen im Bestand erfolgen.



**Abbildung 38: Herleitung des Grenzwertes des Audiogram + 45 dB Grenzwertes für eine signifikante Verhaltensreaktion nach Tougaard et al. 2015. Zusammengefasst sind verschiedene Studien, die deutliche Verhaltensreaktionen (Vermeidung oder Flucht) auf eine Schallquelle belegen.**

Für die Einschätzung wurde eine Sicherheit von 6 dB angenommen, da die modellierten Pegel der RHIBs auf Grund der höheren reellen Geschwindigkeiten gegenüber den Geschwindigkeiten die bei dem zu Grunde liegenden Signal erreicht wurden als zu niedrig angenommen werden müssen. Diese Sicherheit entspricht mindestens der Verdopplung des Abstandes, abhängig von der Schallausbreitung.

## 8 Zusammenfassende Bewertung

Diese Studie untersucht einen möglicherweise schädigenden Einfluss des Einsatzes von schnell fahrenden RHIBs in der Ostsee auf Schweinswale. Diese Untersuchung erfolgte in drei Schritten:

1. Ermittlung eines repräsentativen Quellpegels für diese Art von Wasserfahrzeugen bei hohen Geschwindigkeiten
2. Prognose des empfangenen Unterwasserschalls in einer definierten Entfernung
3. Abschätzung der störenden oder schädigenden Wirkung derartiger akustischer Pegel auf den Schweinswal

Die Ergebnisse zeigen, dass:

- Die Schallpegel von RHIBs in Fahrt schon bei mäßig schnellen Geschwindigkeiten von ca. 30 kn mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verhaltensänderung bei Schweinswalen in einem Radius von mind. 1.000 m hervorrufen. Unter Berücksichtigung einer Unsicherheit von 6 dB bei der Schallprognose und der angenommenen Grenzen für eine Störwirkung muss ein Sicherheitsabstand von minimal 2.000 m definiert werden.
- Eine Gefährdung nach BNatSchG §44 Abs 1 (1) (temporäre oder permanente Hörschwellenverschiebung) nur im engsten Umfeld erfolgen könnte. Sie kann jedoch für Entfernungen unter 100 m nicht ausgeschlossen werden.
- Schweinswale dem Risiko einer Kollision mit einem RHIB unterliegen

Die Quantifizierung des tatsächlich verursachten Schalls durch ein individuelles RHIB bei einer definierten Geschwindigkeit und in einer definierten Entfernung ist diversen Unsicherheiten ausgesetzt. Ebenso das tatsächliche Ausweichverhalten eines freilebenden Schweinswals. Dennoch können die obenstehenden Erkenntnisse mit großer Zuversicht genannt werden, da die Abstände zwischen prognostiziertem Pegel und Bewertungspegel deutlich größer als die Unsicherheiten sind.

Ausblick für mögliche Regelungen zum Schutz der Schweinswale:

Für die untersuchten RHIBs wird eine positive Korrelation zwischen Geschwindigkeit und abgestrahlten Schall beobachtet: Höhere Geschwindigkeiten gehen mit höheren abgestrahlten Pegeln einher. Zwischen den einzelnen untersuchten Fahrzeugen treten aber große individuelle Unterschiede im abgestrahlten Spektrum und beim quantitativen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Schallpegel auf, sodass aus den vorliegenden Daten keine verallgemeinerte Prognose für andere Fahrzeuge bei noch höheren Geschwindigkeiten abgeleitet werden kann. Als Grundlage für eine Prognose wäre eine detaillierte Untersuchung der Geschwindigkeitsabhängigkeit bei unterschiedlichen Fahrzeugen notwendig. Hierbei sollte man auch zumindest ansatzweise die prinzipielle Richtwirkung untersuchen, da vor allem die Vorausrichtung dafür ausschlaggebend ist, ob der Schweinswal ein herannahendes RHIB rechtzeitig hört, um einer Kollision auszuweichen.

Möchte man einen negativen akustischen Umwelteinfluss von Schiffen oder Schiffsklassen regulativ einschränken oder ausschließen, so bieten sich Grenzkurven für den abgestrahlten Unterwasserschall an. Derlei Grenzkurven sowie das dazugehörige Messverfahren werden bereits von Klassifikationsgesellschaften in den sogenannten Class Notations definiert. Es wäre daher denkbar, dass Wasserfahrzeuge, die oberhalb einer bestimmten Geschwindigkeit operieren können, einen solchen Nachweis erbringen müssen, um diesen Geschwindigkeitsbereich nutzen zu dürfen. Eine freiwillige Erbringung solcher Nachweise ist bereits jetzt bei den Neubauten einiger Kreuzfahrtschiffe und Forschungsschiffe erfolgt.

## 9 Empfehlungen<sup>5</sup>

Aus der vorliegenden Studie ist abzuleiten, dass Schweinswale durch RHIBs einem erheblichen Risiko einer Störung unterliegen. Zusätzlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie während einer Vorbeifahrt eine Hörschwellenverschiebung erleiden. Für eine Risikobewertung in Bezug auf eine potentielle Tötung oder Verletzung durch Überfahren fehlen jegliche Grundlagendaten zur Einschätzung der Situation.

Um Schweinswale vor diesen Einflüssen zu schützen, wird empfohlen:

- Einen Mindestabstand von 2 km Entfernung zu Schutzgebieten einzuhalten. Dies reduziert die potentielle Störwirkung in den Schutzgebieten und entspricht dem Vermeidungsgebot.
- Routen festzulegen, an die die Betreiber sich halten müssen. Dies erlaubt es den Schweinswalen sich an die Belastung zu gewöhnen und Bereiche stärkerer Belastung zu vermeiden. Hierfür sind jedoch Studien erforderlich, um abschätzen zu können, ob eine solche Strategie zu der gewünschten Habituation führt.
- Um eine bessere Beurteilung zu erlauben sind unbedingt Signaturen von Vorbeifahrten reeller RHIBs erforderlich. Erst auf Grundlage solcher Daten kann eine bessere Einordnung des Eingriffes vorgenommen werden.
- Sensible Zeitperioden, in denen Schweinswale Kälber gebären und säugen sind zu meiden. In der Ostsee betrifft dies den touristisch interessanten Zeitraum von Mai bis Dezember. Es werden hierfür keine konkreten Maßnahmen innerhalb dieser Studie vorgeschlagen, da hier abzuschätzen ist, welches öffentliche Interesse (touristische Nutzung gegenüber dem Artenschutz) überwiegt.

Die Studie zeigt darüber hinaus, dass nicht nur RHIBs Schweinswale stark stören und gefährden können, sondern alle freizeithlich genutzten Boote mit hohen Geschwindigkeiten eine erhebliche Störwirkung haben können. Ähnlich den Auflagen, die an Kraftfahrzeuge gestellt werden, empfiehlt es sich zukünftig Zulassungsvoraussetzungen für Schiffe, aber auch kleinere Boote hinsichtlich der Auswirkungen für den Artenschutz zu schaffen.

---

<sup>5</sup> Autor dieses Kapitels: Dr. Michael Dähne

## Quellverzeichnis:

1. Alexander O. MacGillivray, 2019, Slowing deep-sea commercial vessels reduces Jennifer Wladichuk, David Hannay, Alexander MacGillivray, Zizheng Li, 2019, SYSTEMATIC SOURCE LEVEL MEASUREMENTS OF WHALE WATCHING VESSELS AND OTHER SMALL BOATS, Journal of Ocean Technology Vol 14, No. 3, 2019
2. Alexander O. MacGillivray, 2019, Slowing deep-sea commercial vessels reduces underwater radiated noise, The Journal of the Acoustical Society of America · July 2019
3. Hildebrand, McDonald, Calambokidis, Balcom, 2006, Whale Watch Vessel Ambient Noise in the Haro Strait, Joint Institute for Marine Observations Report on cooperative agreement NA17RJ1231
4. Kipple, Gabriele, 2003, Glacier Bay Watercraft Noise – Noise Characterization for Tour, Charter, Private, and Government Vessels; Prepared for Glacier Bay National Park and Preserve
5. Arverson und Vendittis, Radiated noise characteristics of a modern cargo ship, 2000, Journal of Acoustic Society of America, 107 (1)
6. W. J. Richardson and C. I. Malme, “Zones of Noise Influence,” in Marine mammals and Noise, W. Richardson, C. Greene Jr, C. Malme, and D. Thomson, Eds. San Diego: Academic Press, 1995, pp. 325–386.
7. E. B. L. Southall et al., “Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects,” *Aquat. Mamm.*, vol. 45, no. 2, pp. 125–232, 2019.
8. P. D. Jepson et al., “Acute and chronic gas bubble lesions in cetaceans stranded in the United Kingdom,” *Vet. Pathol.*, vol. 42, no. 3, pp. 291–305, May 2005.
9. U. K. Verfuß, L. A. Miller, P. K. D. Pilz, and H.-U. Schnitzler, “Echolocation by two foraging harbour porpoises (*Phocoena phocoena*),” *J. Exp. Biol.*, vol. 212, pp. 823–834, Mar. 2009.
10. U. K. Verfuß, L. A. Miller, and H.-U. Schnitzler, “Spatial orientation in echolocating harbour porpoises (*Phocoena phocoena*),” *J. Exp. Biol.*, vol. 208, pp. 3385–3394, Sep. 2005.
11. K. T. Clausen, M. Wahlberg, K. Beedholm, S. Deruiter, and P. T. Madsen, “Click communication in Harbour Porpoises *Phocoena Phocoena*,” *Int. J. Anim. Sound its Rec.*, vol. 20, pp. 1–28, 2010.
12. J. Nabe-Nielsen, F. M. van Beest, V. Grimm, R. Sibly, J. Teilmann, and P. M. Thompson, “Predicting the impacts of anthropogenic disturbances on marine populations,” *Conserv. Lett.*, no. May, 2018.
13. J. Nabe-Nielsen, R. M. Sibly, J. Tougaard, J. Teilmann, and S. Sveegaard, “Effects of noise and by-catch on a Danish harbour porpoise population,” *Ecol. Modell.*, vol. 272, pp. 242–251, Jan. 2014.
14. M. Dyndo, D. M. Wiśniewska, L. Rojano-Doñate, and P. T. Madsen, “Harbour porpoises react to low levels of high frequency vessel noise,” *Sci. Rep.*, vol. 5, p. 11083, 2015.
15. D. M. Wisniewska et al., “High rates of vessel noise disrupt foraging in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*),” *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 285, no. 1872, p. 20172314, 2018.
16. L. Rojano-Donate et al., “High field metabolic rates of wild harbour porpoises,” *J. Exp. Biol.*, vol. 221, no. 23, 2018.
17. D. M. M. Wisniewska et al., “Ultra-High Foraging Rates of Harbor Porpoises Make Them Vulnerable to Anthropogenic Disturbance,” *Curr. Biol.*, vol. 26, no. 11, pp. 1441–1446, 2016.
18. BMU, *Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (Schallschutzkonzept)*. 2013, p. 33.
19. J. Tougaard, A. J. Wright, and P. T. Madsen, “Cetacean noise criteria revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 90, no. 1–2, pp. 196–208, Jan. 2015.

20. R. A. Kastelein, L. Hoek, C. A. F. de Jong, and P. J. Wensveen, "The effect of signal duration on the underwater detection thresholds of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for single frequency-modulated tonal signals between 0,25 and 160 kHz.," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 128, no. 5, pp. 3211–3222, Nov. 2010.

## 10 Anhänge

### 10.1 Darstellung verschiedener Frequenzen in Abhängigkeit von Tiefe und Entfernung.

#### 10.1.1 Darstellung ausgewählter Frequenzanteile über den Querschnitt bei 10m Wassertiefe

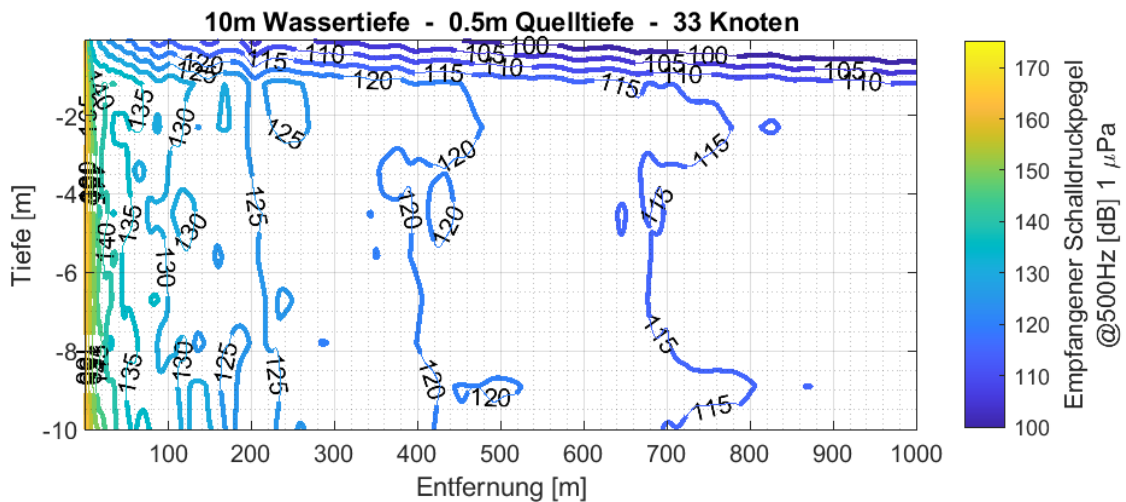


Abbildung 39: 500 Hz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 10m Wassertiefe bei 33 kn

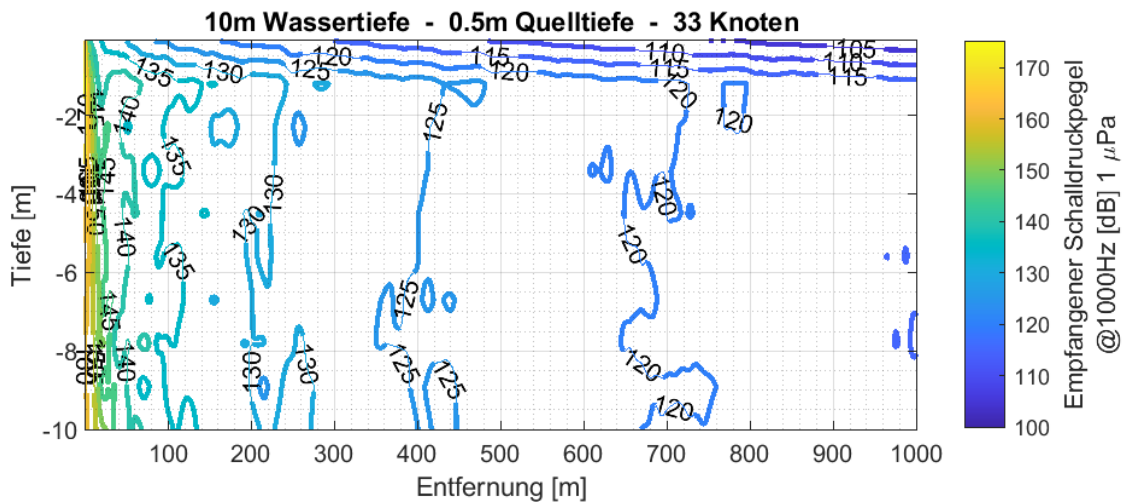


Abbildung 40: 1.000 Hz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 10m Wassertiefe bei 33 kn



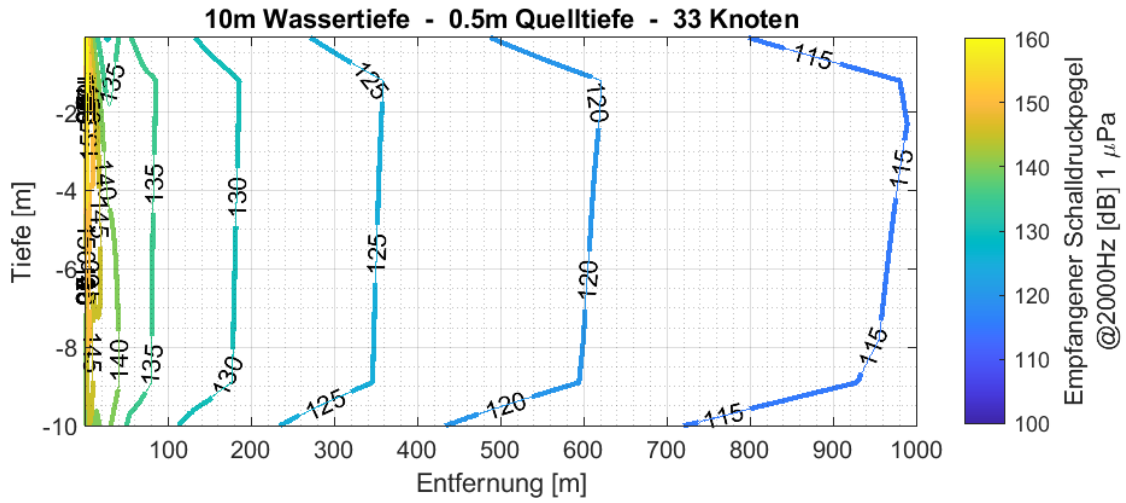


Abbildung 41: 2 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 10m Wassertiefe bei 33 kn

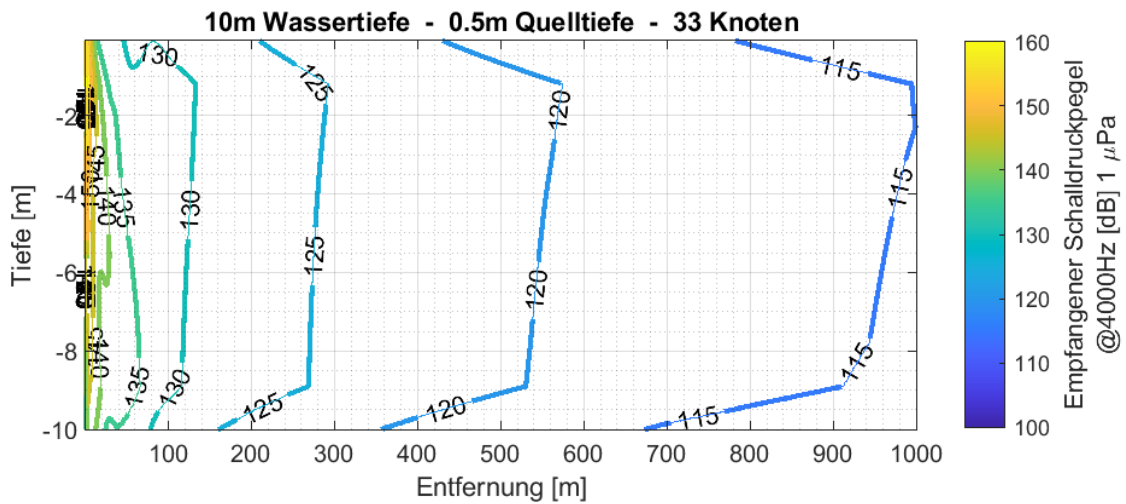


Abbildung 42: 4 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 10m Wassertiefe bei 33 kn

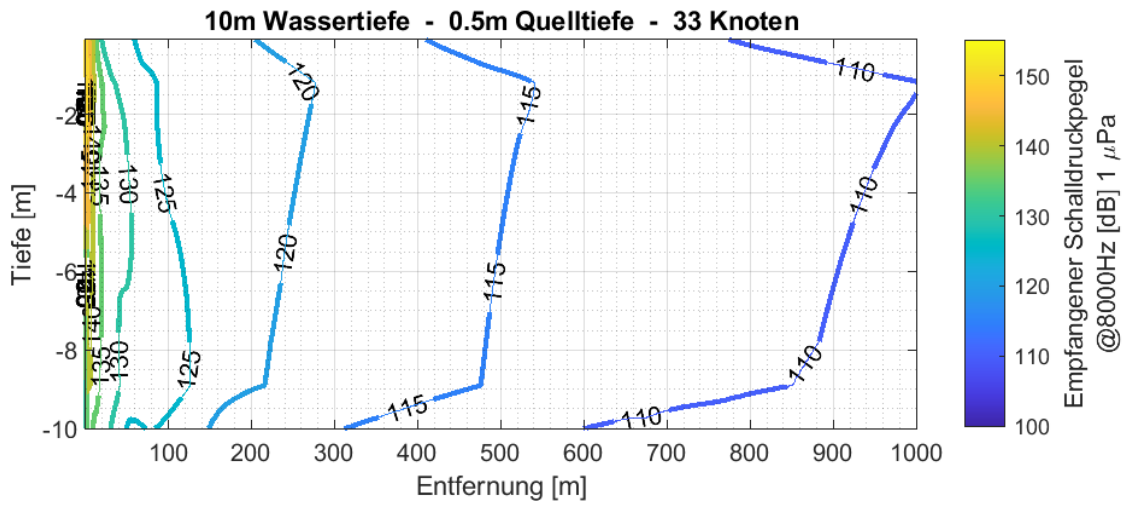


Abbildung 43: 8 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegel im Querschnitt bei 10m Wassertiefe bei 33 kn

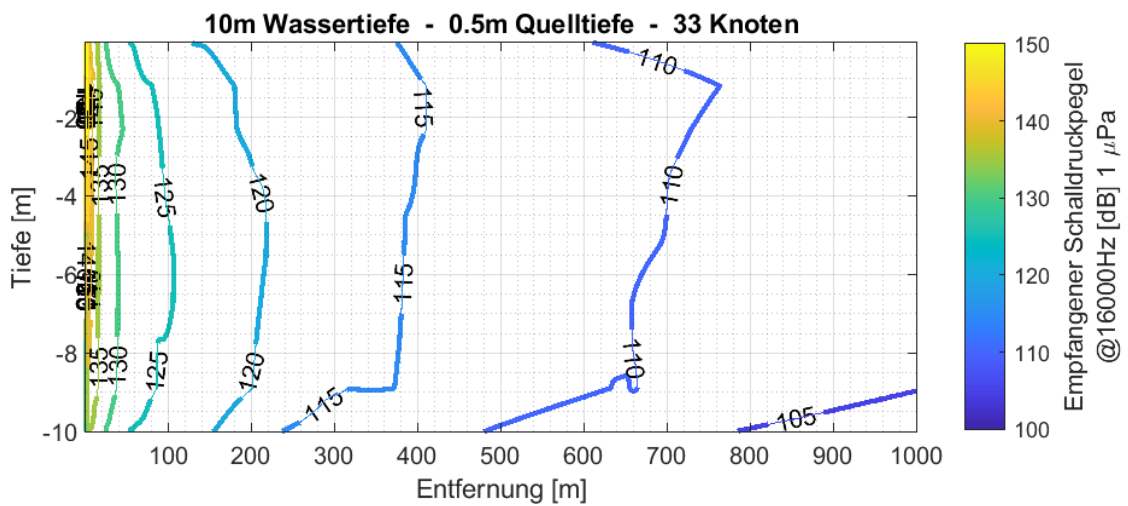
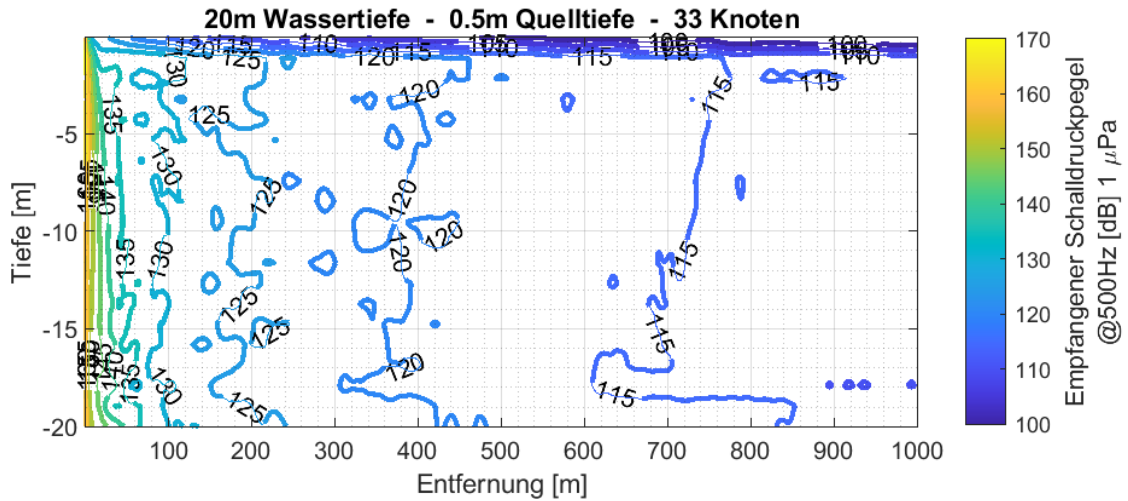


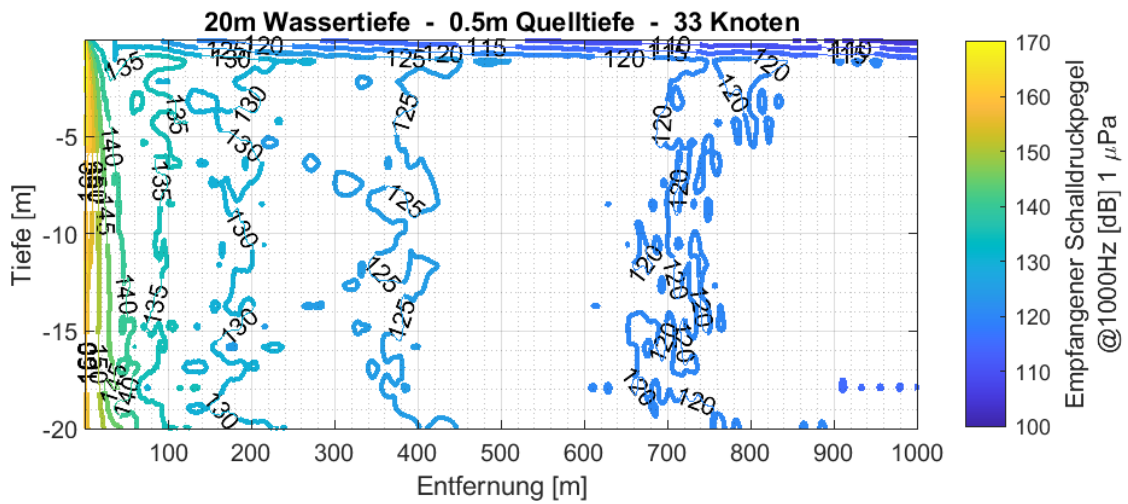
Abbildung 44: 16 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegel im Querschnitt bei 10m Wassertiefe bei 33 kn

### 10.1.2 Darstellung ausgewählter Frequenzanteile über den Querschnitt bei 20m Wassertiefe

Die folgenden Diagramme zeigen die gleiche Schallausbreitung verschiedener Oktavbänder bei einer modellierten Wassertiefe von 20 m.



**Abbildung 45: 500Hz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 20m Wassertiefe bei 33 kn**



**Abbildung 46: 1.000Hz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 20m Wassertiefe bei 33 kn**

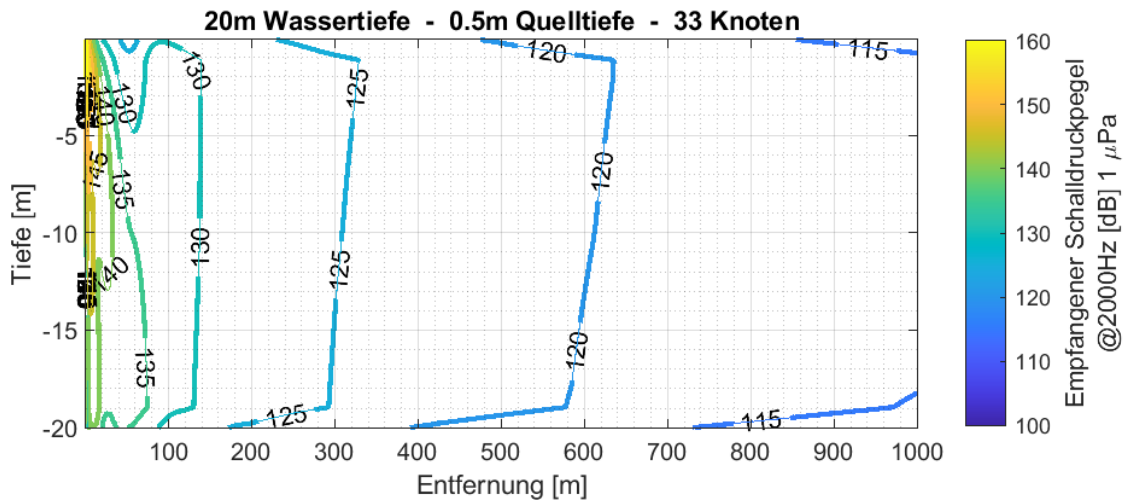


Abbildung 47: 2 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 20m Wassertiefe bei 33 kn

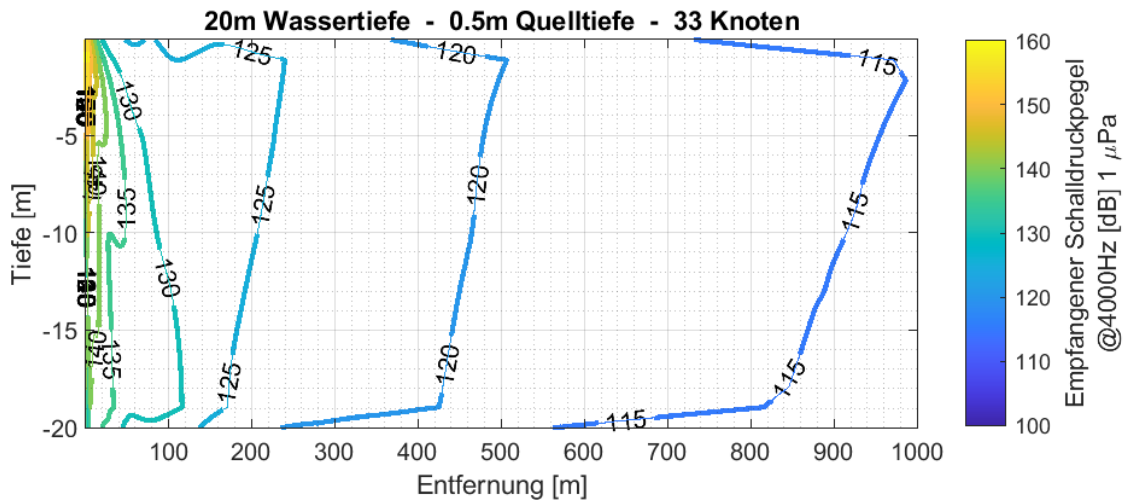


Abbildung 48: 4 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 20m Wassertiefe bei 33 kn

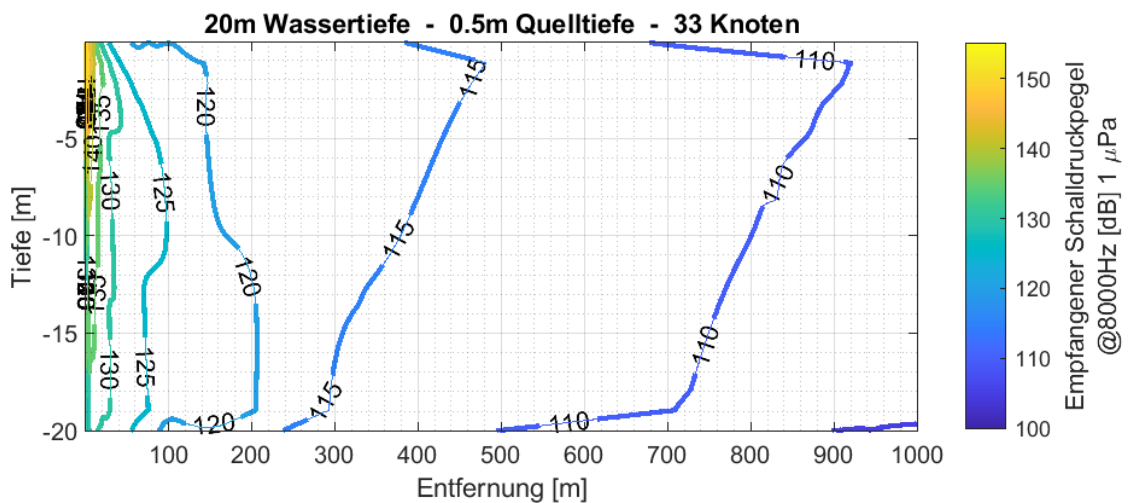


Abbildung 49: 8 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 20m Wassertiefe bei 33 kn

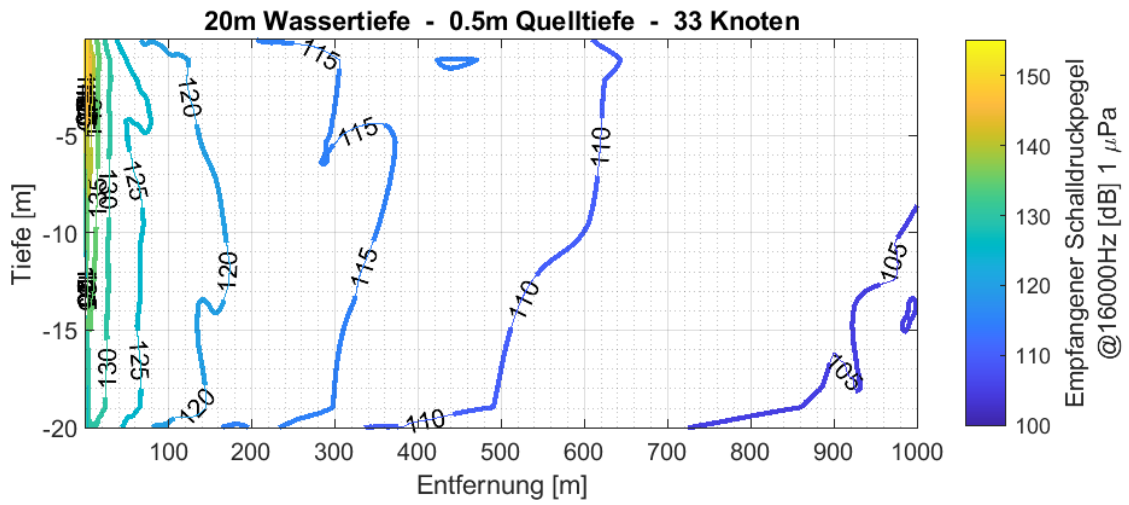


Abbildung 50: 16 kHz Oktavband des empfangenen Schalldruckpegels im Querschnitt bei 20m Wassertiefe bei 33 kn

## 10.2 Pegelabnahme über die Distanz getrennt nach Oktavbändern bei 33 kn

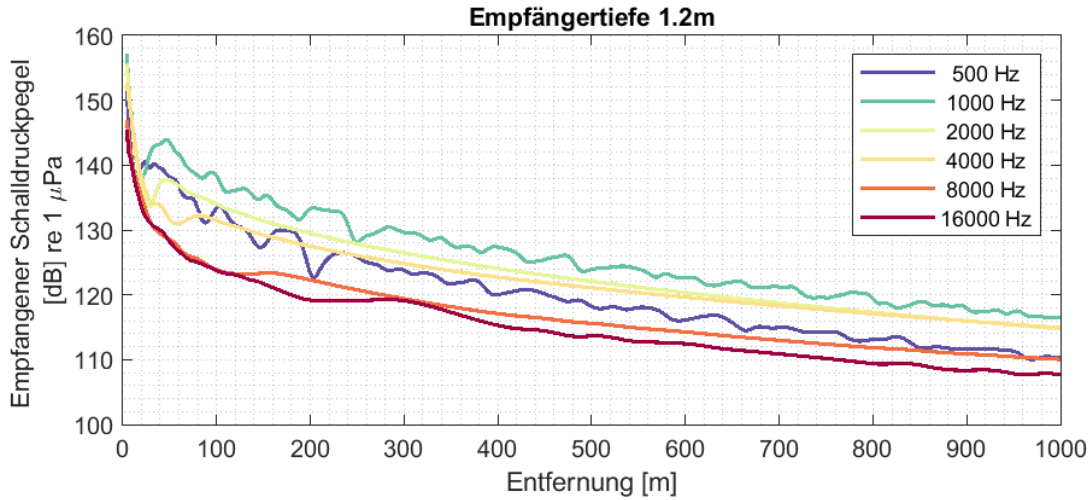


Abbildung 51: Empfangener Schalldruckpegel über die Entfernung in Abhängigkeit des Oktavbandes bei 10m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 1,2m

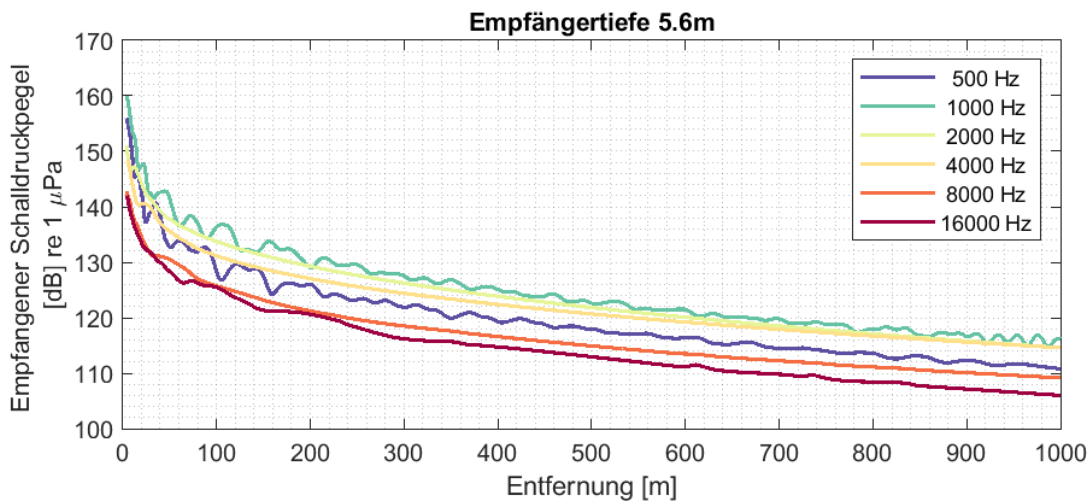
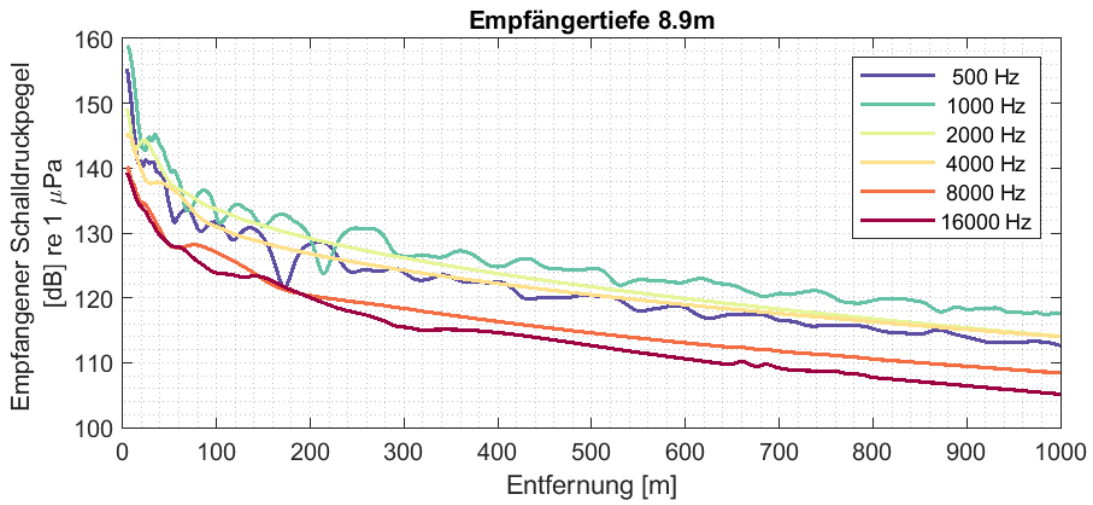
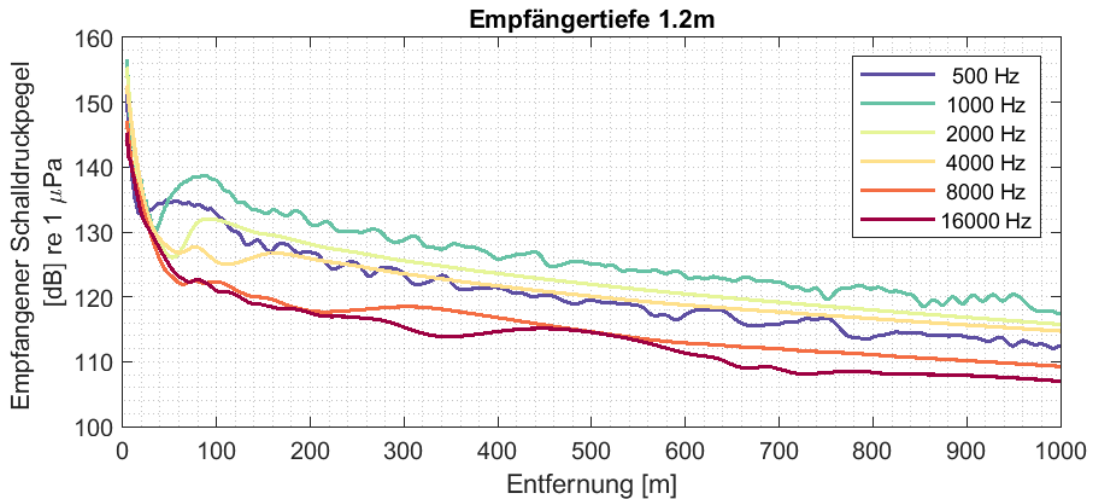


Abbildung 52: Empfangener Schalldruckpegel über die Entfernung in Abhängigkeit des Oktavbandes bei 10m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 5,6m



**Abbildung 53: Empfängener Schalldruckpegel über die Entfernung in Abhängigkeit des Oktavbandes bei 10m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 8,9m**



**Abbildung 54: Empfängener Schalldruckpegel über die Entfernung in Abhängigkeit des Oktavbandes bei 20m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 1,2m**



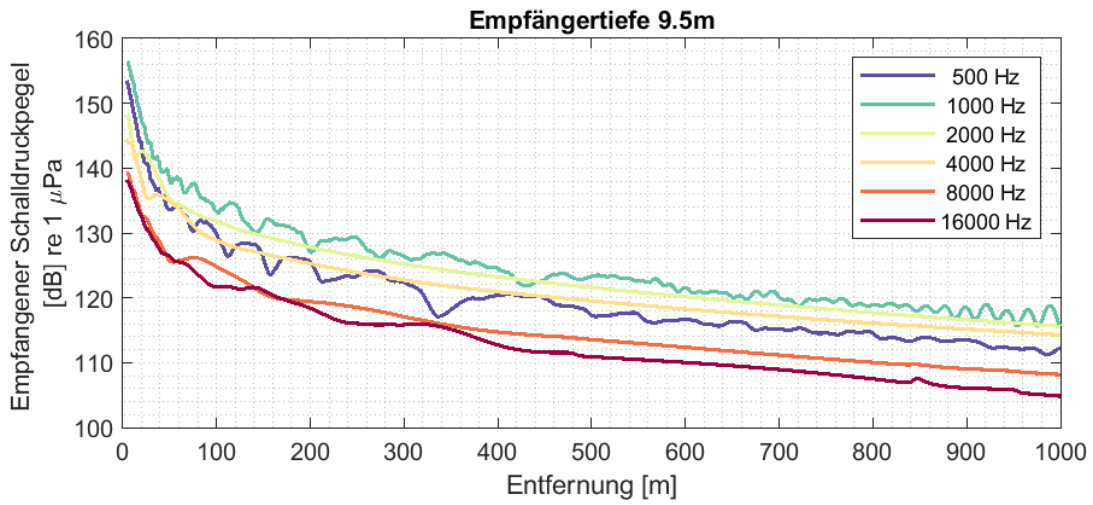


Abbildung 55: Empfangener Schalldruckpegel über die Entfernung in Abhängigkeit des Oktavbandes bei 20m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 9,5m

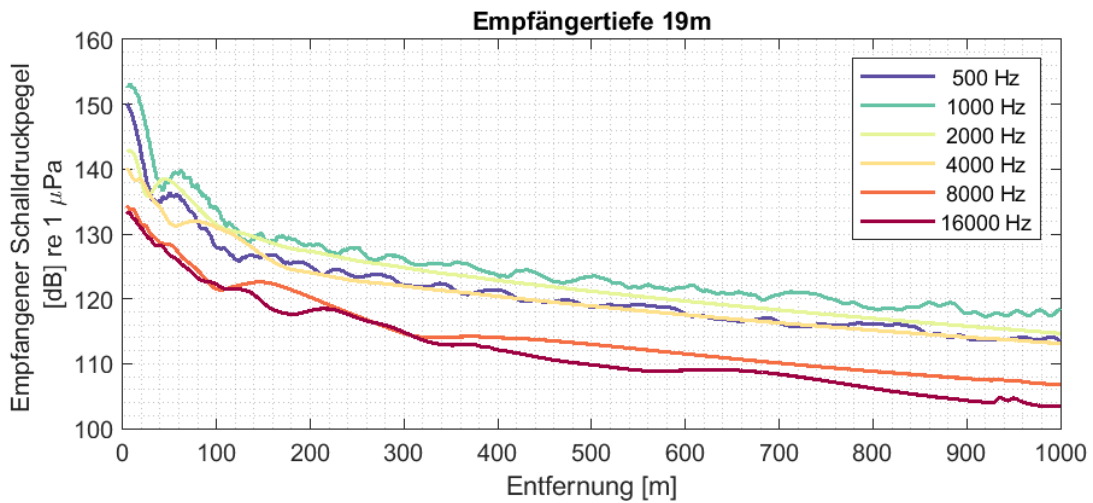


Abbildung 56: Empfangener Schalldruckpegel über die Entfernung in Abhängigkeit des Oktavbandes bei 20m Wassertiefe auf einer Empfängertiefe von 19m