

# Thesepapier ‘Unterwasserlärm‘

Unterwasserlärm – Ursachen, Auswirkungen und Ausblick



---

## **Kontakt**

Universitätsallee 11/13  
28359 Bremen  
Deutschland

Tel.: +49 421 22096 0  
[www.isl.org](http://www.isl.org)

## **Ihre Ansprechpartner**

**Andreas Hübscher**  
E-Mail: [huebscher@isl.org](mailto:huebscher@isl.org)  
Tel.: + 49 421 22096- 26

**Dr. Holger Kramer**  
E-Mail: [kramer@isl.org](mailto:kramer@isl.org)  
Tel.: + 49 421 22096- 48

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Executive Summary</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung zur Problematik von Unterwasserlärm</b>	<b>2</b>
1.1 Ursachen von Unterwasserlärm	2
1.2 Formen und Wirkung des Unterwasserlärms	2
<b>2 Rechtsrahmen</b>	<b>6</b>
<b>3 Normierte Messsysteme</b>	<b>8</b>
<b>4 Technologische Maßnahmen und Entwicklungen</b>	<b>9</b>
<b>5 Finanzielle Anreize und Bonussysteme</b>	<b>11</b>
<b>Quellen und Literatur</b>	<b>12</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>15</b>

## Executive Summary

Eine unterschiedliche Intensität der Wirkungen von Unterwasserlärm auf Unterwasser-Fauna sind durch eine Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen seit mehr als zwei Jahrzehnten bekannt. Nachweislich hat sich der Unterwasserlärm in den letzten 35 Jahren alle zehn Jahre verdoppelt. Mit der Ausweitung des Transportaufkommens und der Befahrung von alternativen Routen wie der Nordostpassage ist mit einem weiteren drastischen Anstieg des Unterwasserlärms auch in bis dato bestehenden „Ruhegebieten“ zu rechnen. Besonders die Gruppe der Meeressäuger sind auf ihre Laute und ihr Gehör angewiesen, um Nahrung und Partner zu finden, um sich zu orientieren, oder um Raubtieren auszuweichen und sich um ihre Jungen zu kümmern. Eine Findung der Partner erfolgt hierbei oftmals über eine Kommunikation über große Distanzen. Der zunehmende Unterwasserlärm hat daher drastische Auswirkungen. Diese reichen dabei vom bloßen Verlassen des gewohnten Lebensraums, einer verringerten Nahrungsaufnahme oder einer verminderten Reproduktionsrate wegen Maskierung, erhöhter Anfälligkeit für Krankheiten zum Teil durch die Bildung Stresshormonen bis zum Tod einzelner Säuger und Fische. Dennoch werden keine hinreichend verpflichtenden Maßnahmen ergriffen, um die Ursachen des Unterwasserlärms genügend einzudämmen oder sogar abzustellen. Internationale Gremien betonen zwar die besondere Bedeutung der Thematik „Unterwasserlärm“ im Allgemeinen, verbleiben jedoch lediglich bei der Nennung des Problems ohne nennenswerte Aktionen.

Weder im Bereich der Seeschifffahrt noch im Bereich der Binnenschifffahrt gibt es mithin hinreichende Rechtsnormen, die regional, national oder gar international ausreichende Verpflichtungen formulieren, um die schädigenden Wirkungen von anthropogenem Unterwasserschall zum Schutz der in den Meeren und Gewässern lebenden Fauna wirksam zu reduzieren. Partielle Ausnahmen stellen hier Einzelregelungen für Meeressäuger z.B. bei der Errichtung von Offshorebauten dar.

Es fehlt ein verbindlich zu nutzender, einheitlicher Standard zur Messung von anthropogenem Unterwasserschall und eine einheitliche Festsetzung von Lärm-Grenzwerten für Unterwasserlärm bei den Klassifikationsgesellschaften.

Derzeit berücksichtigt kein „Award“-System aktiv eine Reduzierung von Unterwasserlärm. Erste Ansätze sind beim ESI zu erkennen, der Maßnahmen gegen Überwasserlärm durch Reduzierung bei den Hafengebühren in teilnehmenden Häfen honorieren soll. Jedoch ist die Zahl der teilnehmenden Häfen, die für diesen Teilaspekt des ESI Boni gewähren, sehr überschaubar.

Die bestehenden maritimen Umwelt-Auszeichnungen („Award“ Systeme) wie Environmental Ship Index (ESI), Blauer Engel, Green Award, Clean Shipping Index (CSI) etc. sollten Maßnahmen zur Reduzierung von Unterwasserlärm honorieren und in ihren Statuten zur Zuerkennung von Auszeichnungsstufen verankern.

Ein buntes Potpourri an Techniken und Maßnahmen zur Reduzierung von Unterwasserlärm steht nach bisherigem Forschungsstand bereits zur Verfügung, jedoch sind die Maßnahmen zum Teil kostenintensiv. Daher besteht weiterer Forschungsbedarf über den Umfang der betroffenen Arten, mögliche Alternativen zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Unterwasserlärm, sowie nach kostengünstigen Entwicklungen nicht nur beim Schiffsneubau, sondern auch für das Retrofitting der Bestandsflotten.

Beim Einsatz von seismischen Technologien bedarf es der Erforschung von Alternativen, um die bis dato enorm hohen Schalldruckpegel vermeiden bzw. deutlich mindern zu können. Ähnliches gilt für den Bereich von Unterwassersprengungen (soweit diese zwingend nötig sind), für die Erforschung und Entwicklung von effizienten Vergrämungsmitteln bzw. -techniken, kostengünstigen Schalldämmungstechniken bzw. Bergungsgerät zur Verholung von Munitionsfunden.

## 1 Einleitung zur Problematik von Unterwasserlärm

Anthropogener Unterwasserlärm gilt heute als eine der Hauptbelastungen der maritimen Fauna. Geräusche werden im Wasser wegen dessen höherer Dichte ca. 4,5-mal schneller übertragen als in der Luft. Dadurch werden die emittierten Schallwellen auch weiter transportiert, weshalb eine Lärmbelastung im Wasser weitreichendere Auswirkungen als an Land hat. Besonders anfällig gegen Unterwasserlärm sind nach bisherigen Erkenntnissen vor allem Meeressäuger, die mit Hilfe des Mediums Schall kommunizieren, sich orientieren und ihre Beute orten. Bei Meeressäugern kann Unterwasserlärm zu Stress und physischen Verletzungen führen, dauerhafte oder zeitlich befristete Hörschwellenverschiebungen oder Verhaltensänderungen (z.B. Flucht, Meidungsverhalten, Unterbrechung der Nahrungsaufnahme) verursachen sowie die Kommunikation der Tiere in Form von Maskierung beeinträchtigen. D.h., durch die entstehende Unfähigkeit ein Signal im Hintergrundschall zu erkennen, können Probleme bei Ortung oder Partnerfindung entstehen, welche oft über große Entfernung erfolgt.

### 1.1 Ursachen von Unterwasserlärm

Von Seeschiffen und auf See stationierten Anlagen verursachte Geräuschemissionen können eine beeinträchtigende und mithin nachteilige Wirkung auf die Umwelt ausüben. Als Lärmquellen mit unterschiedlicher starker Intensität sind hauptsächlich adressierbar: Antriebsmaschinen, insbesondere Dieselmotoren, Propellerwellendynamik, vom Propeller ausgehende Druck- und Lagerkräfte (Festpropeller vs. Verstellpropeller), Manövereinrichtungen (Querstrahlruder), Klimaanlage, Winden, Wirbelablösungen, Luftein- und -auslässe, Wellenstöße. (Charlton et al., 2005) Zudem sind zu benennen: Schiffssonar (Fischerei, Fahrrinnenlotung, hochintensive aktive Sonarsysteme in Flottenübungen, seismische Exploration), Baggeraktivitäten, Unterwassersprengung von Munitionsfunden und Schiffswracks, Erprobung von Wehrtechnik.

Im Jahr 2020 detektierte das BSH über Messstationen des Meeresumweltnetzes MARNET als Folge des Rückgangs des Schiffsverkehrs in der COVID-19 Pandemie in der Ostsee den geringsten Unterwasserlärm seit Beginn der Messungen im Jahr 2013. Dies bestätigt nach Ansicht des BSH, den Zusammengang von Schifffahrt und Unterwasserlärm. (BSH, 2021; Basan, 2021)

### 1.2 Formen und Wirkung des Unterwasserlärms

Es besteht eine große Bandbreite bei motorisierten Schiffen hinsichtlich deren Unterwasser-Lärmintensität. Dabei haben große und leistungsstarke Wasserfahrzeuge wie Fähren, Containerschiffe und Eisbrecher Quellpegel von bis zu 200 dB und mehr (Simard, et al., 2016; Gassmann et al., 2017; Erbe et al., 2000), die sie als Dauerschall emittieren. Die Quellpegel variieren hierbei aber aufgrund von unterschiedlichem Design, Wartung und Betriebsparametern (wie der Geschwindigkeit) um 20 bis 40 dB. (Erbe et al., 2019 m.w.N.) Die stärkste Geräuschquelle von Unterwasserlärm kommt bei Schiffen typischerweise vom Propeller mit dessen Kavitation. Propellerkavitation ist die bekannteste Quelle für Unterwassergeräusche – Luftblasen, die sich infolge von Druckunterschieden um den rotierenden Propeller bilden und dabei schlagartig kollabieren. Das Propellergeräusch ist dabei breitbandig und deckt den gesamten Frequenzbereich ab, wobei jedoch die tieferen Frequenzen überwiegen. Zudem konnte gezeigt werden, dass der kavitationsbedingte Lärm mit der Geschwindigkeit sowie der Schiffsgröße und Tragfähigkeit zunimmt. (Ross, 1976). Der von der Schifffahrt erzeugte Unterwasserlärm stellt mithin einen zunehmenden, stets präsenten „akustischen Nebel“ dar, der über weite Entfernungen reicht und natürliche Geräusche und Laute maskiert. Obgleich sich die Tragfähigkeit der weltweiten Handelsflotte vom Jahr 2000 bis 2020 von 0,76 Mrd. dwt auf 1,97 Mrd. dwt um den Faktor 2,6 erhöht ist, hat sich der Unterwasserlärm während der letzten 35 Jahre pro Jahrzehnt verdoppelt.

Neben dem durch die Schifffahrt erzeugten Dauerschall gibt es weitere Akteure, die durch Unterwasserimpulsschall die Meeresfauna gefährden, bisweilen mit direkt tödlichem Ausgang. Bei der flächendeckenden Suche nach fossilen Bodenschätzen im Meer kommen sogenannte Pulser (Schallkanonen) zum Einsatz.

Dabei zieht das seismisch sondierende Schiff die Pulser in dem Untersuchungsgebiet hinter sich her. In Intervallen von zehn bis 15 Sekunden entladen die Pulser komprimierte Luft in Richtung Meeresboden. Durch in drei bis sechs m unter Wasser entladene Druckluft bildet sich eine oszillierende Blase und es entstehen Schallwellen, die kilometertief in die geologischen Schichtgrenzen des Bodens eindringen. Die von dort reflektierten Echos werden von in einem bis zu 4000 m langem Messkabeln mit einer Vielzahl von darin installierten Hydrophonen, welches hinter dem Forschungsschiff geschleppt wird, aufgezeichnet und analytisch anhand der Schallmuster in dreidimensionale Karte des Meeresbodens übertragen. Diese Karten ermöglichen Aufschlüsse über die geologische Beschaffenheit des sondierten Meeresbodens und liefert Hinweise auf evtl. darin enthaltenen Ölvorkommen. Die seismischen Surveys dauern mitunter mehrere Monate, wobei die Pulser 24 Stunden am Tag im Takt von Zehn bis 15 Sekunden Signale senden. Die Vermessung eines 100 km<sup>2</sup> großen Areals nimmt dabei ca. drei Wochen in Anspruch. (Ehrhardt, o.J.) Typische Volumina der Pulser, die von der Explorationsindustrie verwendet werden variieren von 0,3 bis 13,1 Liter und werden vielfach in einem „Airgun-Array“ bestehend aus drei bis sechs Sub-Arrays (Strings) verwendet, wobei jeder „String“ sechs bis acht einzelne Schallkanonen (Pulser) enthält, so dass im Standardfall zwischen 18 und 48 Schallkanonen zum Einsatz kommen, in Einzelfällen jedoch auch bis zu 100. Kleine Pulser emittieren höhere Frequenzen und größere niedrigere Frequenzen, wodurch den Geophysikern ein breites Frequenzband zur Verfügung steht. Der meiste von der seismischen Industrie verwendete „Geschützdruck“ beträgt 2000 psi (138 bar). (o.V., 2020-1) Untersuchungen legen die Annahme nahe, dass Schallkanonen bei Fischen, Meeressäugern und möglicherweise sogar bei vielen Wirbellosen Verletzungen, Hörverluste, Verhaltensänderungen und Maskierungen verursachen. Zur Bewertung der potenziellen Auswirkungen von Pulsern verursachten Unterwasserlärms werden nach heutigem Stand der Wissenschaft der Spitzendruck und der kumulative Schallleistungspegel verwendet. Die zum Einsatz kommenden Schallkanonen bringen es dabei auf Laustärken bis zu 260 dB. Die Schmerzgrenze des menschlichen Gehörs variiert in den Angaben der Literatur. Bei Werten ab 100 dB(A) liegt die Unbehaglichkeitsschwelle, bei rund 120 dB(A) die Schmerzgrenze. (o.V., 2020-1) Da die Messung des Schalls in dB jedoch auf einer logarithmischen Skala basieren, bedeutet eine Verdoppelung der Werte nicht nur eine Verdoppelung der Stärke, sondern ein Vielfaches hiervon. Bereits im September 2002 wurden der Tod von verschiedene Schnabelwale und einem Delfin an der Küste des Golfs von Kalifornien in der Nähe der Insel San José mit der Erprobung von einem Sonar mit einer Nennleistung von 220 dB auf dem seismischen Forschungsschiff „R/V Maurice Erwing“ in Verbindung gebracht. (Gentry, 2002)

Eine Untersuchung an den drei Fischarten See-Döbel (*Couesius plumbeus*), ausgewachsenem Hecht und dem breiten Weißfisch zeigte, dass keine der sensorischen Epithelien in keinem der otolithischen Endorgane (welche die Schwerkraftwahrnehmung (Perzeption) und das Hören ermöglichen) durch den Einsatz von Pulsern geschädigt wurden. Insbesondere das sackförmige sensorische Epithel, der otolithische Endorgane von Fischen, von dem angenommen wird, dass es am meisten am Hören beteiligt ist, wurde nicht geschädigt. Die untersuchten Gewebeanalysen zeigten keine Unterschiede zu Gewebeproben von Kontrollgruppen. (Popper et al., 2003-1) Jedoch wiesen sowohl ausgewachsene Hechte als auch See-Döbel vorübergehende Hörverschiebungen und Hörverluste auf. (Popper et al., 2005) Anzumerken ist, dass die Fische in den Tests jedoch nur fünf bis 20 Pulser Beschallungen (Popper et al., 2005) ausgesetzt wurden, was nicht dem Langzeiteinsatz bei seismischen Erkundungen entspricht.

Marineschiffe setzen zur Ortung von U-Booten und Torpedos militärische Sonare ein. Die dabei eingesetzten Sonarsysteme sind Mittelfrequenzsonaren (MFAS) und Niedrig-Frequenz-Sonartechnologie (LFAS). Die MFAS operieren mit frequenzmodulierten Tönen von ca. 2 bis 8 kHz und erreichen einen Nenn-Schallpegel von 235 dB. Für Meeressäuger können derartige starke Lärmpegel tödlich sein (Blutungen, akustisches Trauma). Mit Beschluss vom 15. Juli 2002 hat das NMFS (U.S. National Marine Fisheries Service) die Anwendung von LFAS wegen nur vernachlässigbarer Auswirkungen auf alle Spezies für die US-Marine von den Anforderungen des 1972 verabschiedeten „Marine Mammal Protection Act“ ausgenommen. (Dyke,

2003) Zehn Wochen später strandeten Ende September 2002 15 Schnabelwale auf den Kanarischen am Strand von Matas Blancas auf Fuerteventura und Lanzarote, wovon 13 Wale verendeten. (Kahl, 2002) Zum Zeitpunkt der Walstrandung manövrierte in dem Seegebiet der US-Zerstörer „Mahan“ (DDG-72) mit insgesamt 50 Schiffen sowie sechs U-Booten von neun anderen Mitgliedern der NATO im Marinemanöver „NEOTAPON 2002“, wobei Mittelfrequenzsonaren (MFAS) zum Einsatz gekommen sind. Bereits vier Stunden nach dem Einsatz der Sonargeräte erfolgten die ersten Strandungen von Schnabelwalen. (Fernández et al., 2005) Mit belegter Tauchtiefe von gut 2990 m und Tauchzeiten von bis zu vier Stunden sind Schnabelwale Rekordhalter im Tief- und Langzeittauchen aller Säugetiere. (Quick, 2020) Die Verwendung von militärischen Sonaren führt zu panikartigen Fluchtreaktionen bei Schnabelwalen. Dabei perlt wegen dem zu schnellen Aufstieg aus der Tiefe Stickstoff aus dem Blut durch Gas- und Fettembolien mit tödlicher Folge für die Wale. (Fernández et al., 2005) Ein auch bei Berufstauchern bekanntes Phänomen, weshalb die Dekompression beim Auftauchen aus großer Tiefe hier gezielt verlangsamt erfolgt. Die an den verendeten Walen durchgeführten Nekropsien in der Veterinärschule der Universität Las Palmas ergaben Blutungen in den Gehörgängen sowie Hirnschädigungen im Einklang mit einem „akustischen Aufprall“ (akustische Traumata). (Kahl, 2002; Fernández, et. al. 2005) Ein Ereignis, dass sich bereits zwei Jahre später in der gleichen Region am Strand von Fuerteventura im Sept. 2004 mit der Strandung von 27 Walen, von denen 14 verendeten, wiederholen sollte. Die Strandung erfolgte nur vier Stunden nach dem Beginn der NATO-Marineübung „Majestic Eagle 04“, an der 30 Schiffe (darunter vier Flugzeugträger und ein U-Boot, 350 Flugzeugen inkl. Hubschraubern zur U-Boot Jagd) (Globalsecurity, 2004-1) aus zehn Nationen beteiligt waren, und verschiedene Arten von MFAS Sonaren verwendeten wurden. (EU-Parlament, 2004-1)

Bereits 1996 wurde die Strandung von zwölf verendeten Schnabelwalen an den Küsten des Golfs von Kyparissiakos in Griechenland mit der Erprobung von MFAS Sonaren durch das CACLAT-Center nur eine Stunde zuvor in der Region in Verbindung gebracht. (Frantzis, 1998, Alexander, 2006) Eine umfassende Untersuchung über eine ähnliche Strandung von sechs Schnabelwalen und einem Züngeldelphin (*Stenella frontalis*) auf den Bahamas Mitte März 2000 zeigt, dass von einem militärischen Schiffsverband (an dem drei U-Boote und sieben Begleitschiffe beteiligt waren) nach dem intensiven Testbetrieb von taktischen MFAS Sonaren (mit 3,5 kHz und 235 dB Leistung) empfindliche Gewebsteile im Innenohr und Gehirn der Tiere zerrissen, was zu Blutungen, Orientierungslosigkeit und dem Tod der sieben gestrandeten Tiere führte. (Weiss, 2002; Balcom, 2001) Und auch eine tödliche Strandung von 16 Schnabelwalen (*Ziphius cavirostris*, *Mesoplodon densirostris* - und *Mesoplodon europaeus*) Mitte März 2001 auf den Bahamas wurde auf das zur selben Zeit von der US-Navy durchgeführtes Marinemanöver zur U-Boot-Jagd in der Meeresenge zwischen Great Babaco und Eleutherea mit Sonargeräten (in einem Frequenzbereich von 3 bis 7 kHz mit einer Lautstärke von 230 dB) zurückgeführt. (Broeg, 2003) In einem ähnlichen Fall in 2008, gab das Verteidigungsministerium von Großbritannien zu, dass die Royal Navy Trainingsübungen mit einem U-Boot und dem militärischen Forschungsschiff HMS Enterprise (H88) mit einem HF-Hydrographiesonar in der Nähe der Küste Cornwalls durchgeführt hatte, an der zeitgleich in kurzer Entfernung davon entfernt 26 Delfine im Percuil River in der Nähe von Falmouth tödlich strandeten - nachdem zuvor bestritten worden war, Schiffe in der Gegend zu haben. (BBC, 2008) Die Obduktion der Tiere ergab einen guten Ernährungszustand ohne Hinweise auf Infektionskrankheiten oder akute Körperverletzung (Acevedo-Whitehouse, 2009), weshalb ein Zusammenhang mit den Sonarübungen angenommen wird.

Die Erkenntnis, dass Schnabelwale höchst empfindlich auf den Einsatz von Sonargeräten reagieren, bis hin zu deren Tod, führte zu einem vorübergehenden Verbot durch ein Urteil der amerikanischen Bundesrichterin Elizabeth Laporte vom Bezirksgericht San Francisco in ausgewählten Küstenregionen im Jahr 2003 und der einstweiligen Verfügung des Bundesrichters David A. Ezra in Hawaii zu Schutzmaßnahmen der Marine beim Einsatz von Sonaren, weil der Einsatz gegen den „Marine Mammal Protection Act“ (ein Gesetz zum Schutz von Meeressäugern) verstößt (USDC 2003; USDC 2008). Durch Anordnung von US-Präsidenten G. W. Bush (gem. U.S. Code Title 16 Chapter 33 § 1456 C 1 B), wurde die Navy ab Januar 2008 jedoch von

zuvor verfügten Umweltauflagen (auch der Sonareinschränkung) befreit (Kaufman, 2008). Eine Klage der US-Umweltschützer (NRD) und Walschützern (Ocean Futures Society von Jean-Michel Cousteau) gegen die präsidiale Anordnung scheiterte jedoch mit einer knappen 5 zu 4 Entscheidung vom obersten Gerichtshof der USA. (US Supreme Court 07-1239, 2008) Einzig Spanien hat nach einer entsprechenden Empfehlung des Europäischen Parlaments 2004 (EU-Parlament, 2004-2) ein Verbot von Marinemanövern mit dem Einsatz von Sonargeräten für das Meeresgebiet um die Inselgruppe der Kanaren verhängt, seitdem sind keine Massenstrandungen von Schnabelwalen in diesem Gebiet mehr beobachtet worden. (Fernández et al., 2013)

Neben dem Einsatz von seismischem Gerät bewirken auch Unterwassersprengungen durch militärische Übungen, die gezielte Beseitigung von Munitionsrückständen oder die Entsorgung von Wracks zu einer erheblichen Schädigung der Fauna durch Unterwasserlärm. Nach Schätzungen des Alfred-Wegener-Instituts liegen allein im deutschen Gebiet von Nord- und Ostsee 1,6 Mio. t an konventionellen Waffen und 300.000 t chemische Waffen, die Nervengifte wie Senfgas, Tabun, Phosgen, Arsen und Sarin enthalten (BT-Drucksache, 2019; UBA, 2021), die wegen der Korrosion ein zunehmendes Problemfeld darstellen. Neben Sprengungen zur Munitionsräumung erfolgen aber auch zur Erprobung von Wehrtechnik Unterwassersprengungen mit Torpedos und Mienen in Marinemanövern und zur Datengewinnung für Marine-Neubauprogramme - mit entsprechenden Kollateralschäden in der Unterwasserflora und -fauna. (o.V., 2020-2) So führte eine Ende 2019 durchgeführte Sprengung von 42 Seeminen über drei Tage im Naturschutzgebiet Fehmarnbelt durch einen Nato-Verband unter Beteiligung der Deutschen Marine nach einem Untersuchungsbericht des BfN bei mindestens acht obduzierten Schweinswale durch ein Explosionstrauma zu deren Tode. Die Untersuchung erbrachte Spitzenwerte der modellierten „Mindes-SEL“ von 171 dB in mehr als 5,6 km Entfernung zum Explosionsort. Die BfN Untersuchung merkt zudem an, dass es sich dabei um eine konservative Abschätzung handelt „und die tatsächlich aufgetretenen Schallenergien mit großer Sicherheit die“ ...für die Untersuchung ...“modellierten Schallenergien überstiegen“. (Wölfling et al., 2020) Ein von der politischen Leitung des Verteidigungsministerium Ende Sept. 2020 ausgesprochenes vorübergehendes Aussetzen von Unterwassersprengungen zur Stärkung des Naturschutzes wird von führenden Militärs der Bundesmarine hingegen scharf kritisiert. (Gebauer, 2012)

Eine weitere Quelle für Unterwasserlärm stellen die intensiven Offshore Aktivitäten zur Errichtung von nachhaltige erzeugter Energie für Windkraftanlagen oder die Errichtung von Öl- und Gasförderplattformen dar, deren Gründungen küstennah durch Einrammen von Verbindungen (Monopiles, etc.) fest mit dem Meeresboden verbunden werden. Der dabei entstehende Unterwasserlärm wird durch „Basenschleier“, „Hydro-Sound Damper“ oder durch mit Luft befüllten Stahlzylinder, die während der Rammung über den Fundamentpfahl gestülpt werden („Kofferdamm“) nach einem vom BMU entwickelten Schallschutzkonzept zur Vermeidung von Verletzungen und Tötungen von Schweinswale auf ein Maß von 160 dB (auf 750 m von der Schallquelle) für Einzelergebnisse und 190 dB Spitzenschalldruckpegel reduziert. (BfN, 2021, Bellmann et al., 2020).

Als Folge des Dauerschalls zeigen Studien bei atlantischem Heringen (*Clupea harengus*) und der europäischen Sprotte (*Sprattus sprattus*) eine Meidung von Schiffsrouten (Misund et al., 1992), um „leise“ Schiffe ließen sich mehr Pazifische Pollack (*Gadus chalcogrammus*) nachweisen als bei „lauteren“ Schiffen (De Robertis et al., 2010) und etwa Roter Thun (*Thunnus thynnus*) zeigt Änderungen im Schwarmverhalten, der Schulstruktur und möglicherweise auch der Wanderungen in der Gegenwart von Lärm emittierenden Schiffen (Sarà et al., 2007). Bei Fischen wird nachweislich durch Unterwasserlärm die Hörfähigkeit geschädigt (Popper 2003-2, McCauley, 2002) und bei Kabeljau (*Gadus morhua*) und Schellfisch (*Melanogrammus aeglefinus*) sowie Rotbarsch (*Sebastes norvegicus*), Hering (*Clupea harengus*), Blauem Wittling (*Micromesistius poutassou*) und Sandallen (*Ammodytidae*) zeigten sich um 40 - 80% herabgesetzte Fangraten sowie geringere Mengen an Fisch in der Nähe seismischer Untersuchungen (Engås, 1996; Oceancare, 2016). Bei Stichlingen (*Gasterosteus aculeatus*) wird durch Unterwasserlärm die Nahrungsauswahl schädigend beeinträchtigt (Puser, 2011) und bei Zebrafisch Larven konnte aufgezeigt werden, dass höhere Lärmpegel zu einer deutlich erhöhten Sterblichkeit der Larven führten (Lara et al., 2021). Bei der gemeinen Miesmuschel (*Mytilus edulis*)



konnten DNA-Brüche, eine geringere Filtration sowie oxidativer Stress nachgewiesen werden. (Wale et al., 2016)

Aber nicht nur die Gruppe der besonders gut untersuchten Schweinswale sind vom zunehmenden Unterwasserlärm betroffen, sondern auch andere Meeressäuger (CSA, 2021) wie Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*), die durch Unterwasserlärm stark in Ihrer Nahrungssuche beeinträchtigt werden (Blair, et. al., 2016), Beluga Wal (*Delphinapterus leucas*) (Castellote et al., 2018) und Atlantischer Nordkaper (*Eubalaena glacialis*), die vermehrt Stresshormone nach Unterwasserlärm aufweisen (Roland et al., 2021). Bei vier Arten von Kopffüßlern (*Loligo vulgaris*, *Sepia officinalis*, *Octopus vulgaris* sowie *Illex coindetii*) sowie Kalmaren (*Architeuthis dux*) konnte gezeigt werden, dass durch den gestiegenen Unterwasserlärm Traumata entstanden sind. (André, 2011; Sole, 2013) Studien zeigen auch bei Krustentiere, Schlangensterne (*Ophiuroidea*) und der Teppich Muschel (*Philippinarum*) eine für die Spezies zum Teil bedrohliche Verhaltensänderung. (Solan et al., 2016; o.V., 2016) Zudem zeigten Reptilien wie die unechte Karettschildkröte (*Caretta caretta*), Meeresschildkröten (*Cheloniaidea*) (CSA, 2021) als auch Strandkrabben (*Carcinus maenas*) (Wale et al., 2013) erhebliche Beeinträchtigungen in Lebensbereichen mit starkem Unterwasserlärm. Unzureichend ist bisher dagegen die Datenlage für Robben und Meeresvögel wie Pinguine. (o.V. 2021-1, Sørensen, 2021)

**Zusammenfassend ist eine unterschiedliche Intensität der Wirkungen von Unterwasserlärm auf Unterwasser-Fauna durch eine Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen seit mehr als zwei Jahrzehnten bekannt. Nachweislich hat sich der Unterwasserlärm in den letzten 35 Jahren alle zehn Jahre verdoppelt. Mit der Ausdehnung des Transportaufkommens und der Befahrung von alternativen Routen wie der Nordostpassage ist mit einem weiteren drastischen Anstieg des Unterwasserlärms auch in bis dato bestehenden „Ruhegebieten“ zu rechnen. Besonders die Gruppe der Meeressäuger ist auf ihre Laute angewiesen, um Nahrung und Partner zu finden, um zu navigieren, oder den Lauten von Raubtieren auszuweichen und sich um ihre Jungen zu kümmern. Eine Findung der Partner erfolgt hierbei oftmals über eine Kommunikation über große Distanzen. Der zunehmende Unterwasserlärm hat jedoch drastische Auswirkungen, vom bloßen Verlassen des gewohnten Lebensraums, einer verringerten Nahrungsaufnahme oder einer verminderten Reproduktionsrate wegen Maskierung, erhöhter Anfälligkeit für Krankheiten zum Teil durch die Bildung von Stresshormonen bis zum Tod einzelner Säuger und Fische.**

## 2 Rechtsrahmen

Als Regelung zur Eindämmung von Unterwasserschall bildet das internationale See- und Meeresumweltrecht den Rahmen für die Rechtssetzung. Jedoch besteht derzeit kein völkerrechtlicher Vertrag, der exklusiv anthropogen induziertem Unterwasserschall adressiert. Einschlägige Konventionen enthalten allgemeine Bestimmungen zum Schutz der Meeresumwelt, zum Schutz verschiedener Arten, zum Schutz der Biodiversität oder zum Schutz vor Verschmutzung durch stoffliche Einträge. Relevante Konventionen mit Bezug zur Unterwasserlärm sind hier

im engeren Sinne:

- UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) Art. 194 Abs. 1 und 3
- CBD (Convention on Biological Diversity)
- Helsinki Abkommen (mit Rechtsgeltung im Raum der neun Anrainerstaaten der Ostsee (DK, D, EST, FI, LET, LIT, POL, RU, SW) und der EU)
- ASCOBANS (Artenbezogener Rechtsregelung zum Schutz von Kleinwalen im Raum der Nord- und Ostsee, Irischen See sowie dem Nordatlantik)

im weiteren Sinne:

- Abkommen über gebietsübergreifende Fischbestände (Fish Stock Agreement).
- CMS (Bonner Konvention - Übereinkommen zur Erhaltung wandernder wild lebender Tierarten)

Im Dez. 2018 stellte die UN Generalversammlung in der Resolution A/RES/73/124 („Ozean und Seerecht“) fest, „...dass Unterwasserlärm erhebliche Auswirkungen auf lebende Meeresressourcen haben kann“, „...nimmt außerdem Kenntnis von der Erörterungen...“ über die „...Besorgnis über die möglichen sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen des vom Menschen verursachten Unterwasserlärms...“ betonten, „...dass weitere Forschungsarbeiten und internationale Zusammenarbeit dringend erforderlich sind, um die möglichen Auswirkungen des vom Menschen verursachten Unterwasserlärms in allen Ozeangebieten zu bewerten und zu bewältigen...“ und „... fordert die Staaten auf, geeignete kosteneffiziente Maßnahmen und Konzepte zu erwägen, ... und dabei gegebenenfalls den Vorsorgeansatz, Ökosystemansätze und die besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse zu berücksichtigen“. (UN, 2018)

Im Rechtsraum der EU stellen die MSRL (Richtlinie 2008/56/EG), FFH-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG) sowie die UVP-Richtlinie (Richtlinie 2011/92 EU) einen anwendbaren Rechtskodex dar, über den der Eintrag von Unterwasserschall berücksichtigt werden kann.

Im nationalen Recht Deutschlands obliegt der Rechtsrahmen in den Küstengewässern bis zu 12 nm den Bundesländern. Der Bund vertreten durch das BMU und das BfN trägt hingegen die Verantwortung bei der Ausführung von Bundesgesetzen im Territorium der AWZ und des Festlandssockels jenseits der 12-See-meilen-Grenze.

Über das BNatSchG (§ 3 BNatSchG) erfüllen der Bund und die Länder die sich aus der FFH-Richtlinie der EU ergebenden Verpflichtungen (Art. 3 der FFH) zum Aufbau und Schutz des zusammenhängenden europäischen ökologischen Netzes „Natura 2000“. Kapitel 6 des BNatSchG regelt in den §§ 56-58 dabei den Meeresnaturschutz. § 57 BNatSchG trifft Bestimmungen zu geschützten Meeresgebieten im Bereich der deutschen AWZ und des Festlandssockels. Im Fall durch den Bau von Offshore-Windanlagen induzierten anthropogen Impulsschalls bestimmt § 57 Abs. 3 Nr. 5 BNatSchG, dass die Anforderungen an die Unterschutzstellung mariner Natura 2000-Gebiete nicht über den in § 34 BNatSchG normierten Mindestschutz hinausgehen dürfen (§ 57 Abs. 3 Nr. 5 lit. a BNatSchG), wodurch generelle Verbote für die Errichtung von Windenergieanlagen ausgeschlossen sind. Mit dem vom BMU (autorisiert über § 3 BNatSchG) entwickelten „Konzept für den Schutz der Schweinswale (ASCOBANS) vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der Nordsee (Schallschutzkonzept)“ soll bezüglich der naturschutzrechtlichen Anforderungen an die Errichtung von Offshore-Windparks im AWZ zusätzliche Klarheit geschaffen werden. Hinsichtlich anthropogen induziertem Dauerschall sind gem. § 57 Abs. 3 Nr. 1 Hs. 1 BNatSchG Beschränkungen der Schifffahrt jedoch grundsätzlich unzulässig. Zugleich regelt § 57 Abs. 3 Nr. 1 Hs. 2 BNatSchG (als *lex specialis derogat legi generali*), dass Art. 211 Abs. 6 UNCLOS sowie die weiteren die Schifffahrt betreffenden völkerrechtlichen Regelungen davon unberührt bleiben. Gemäß Artikel 211 Abs. 6 lit. a UNCLOS kann ein Küstenstaat mithin unter bestimmten Bedingungen für ein Gebiet zur Verhütung, Verringerung und Überwachung der Verschmutzung durch Schiffe Gesetze und sonstige Vorschriften erlassen. Dabei ist der Küstenstaat jedoch an die Vorgaben der IMO gebunden. Mithin bestimmt also das Regelwerk der IMO, inwieweit weitere Maßnahmen zum Schutz vor Unterwasserlärm rechtsverbindlich Anwendung finden könnten.

Zum Schutz der Besatzung vor Schiffsärm wurde bereits 1975 durch IMOC eine damals vorläufige Richtlinie über den maximal akzeptablen Geräuschpegel für Abhörposten auf Schiffen verabschiedet. (IMO, 1975) Sechs Jahre später wurde in 1981 ein Lärmschutzkodex für Personal an Bord von Schiffen durch die IMOC verabschiedet (Res. A.468 XII) der in den Jahren 2001, 2009 und 2012 (durch MSC/Circ.1014 (IMO, 2001), und MSC.337(91) (IMO, 2012)) detaillierter ausgestaltet und in Kap. II-1 als Regeln „3 bis 12“ in die SOLAS Konvention eingebettet wurde. Hierdurch wurde ein Rechtskodex für die Reduzierung des von Maschinen ausgehenden Lärms zum Schutz der Besatzung für Schiffe ab 1.600 BRZ geschaffen, noch nicht jedoch für den Schutz von Unterwasser-Fauna.

Bereits 1991 wurde durch die IMO die Richtlinie A 720(17) für die Ausweisung von besonderen Gebieten und die Kennzeichnung besonders empfindlicher Meeresgebiete (PSSA) verabschiedet, in der explizit ausgeführt wurde (Kap. 1, Nr. 1.2, Tab. 1) (IMO, 1991), dass der durch den Schiffsbetrieb entstehende Lärm als Umweltgefahr gelistet wurde. Insgesamt hat die IMO auf Basis dieser Richtlinie weltweit 15 Seegebiete (sowie zwei Erweiterungen in Australien) als PSSA unter Schutz gestellt. (IMO, 2021)

In der MEPC Correspondence Group wurden durch Australien (MEPC 58/INF.19) und durch die USA mehrfach (MEPC 57/INF.4; MEPC 58/19, MEPC 59/19 und DE 57/17) in den Jahren 2007 bis 2011 Vorstöße unternommen, die Auswirkungen von durch Schiffen verursachten Unterwasserlärm stärker in den Fokus der IMO zu nehmen. Diese Aktivitäten führten bei der IMO in 2014 letztlich zur Billigung einer Richtlinien zur Reduzierung von Unterwasserlärm aus der gewerblichen Schifffahrt (MEPC 1/Circ. 833) (IMO 2014), an der neben den USA und Australien die Länder Deutschland, Spanien und England unterstützend mitwirkten.

Die Richtlinie erkennt an, dass Schiffslärm kurz- und langfristige Auswirkungen auf das Meeresleben haben kann und fordert Messungen des Schiffslärms nach objektiven Kriterien (ISO Normen), die Entwicklung von Berechnungsmodellen zur Identifizierung von wirksamen Beruhigungsmaßnahmen, Leitlinien für die Konstruktion leiserer Schiffe und für die Reduzierung des Lärms bestehender Schiffe (mit Fokus auf Propelleraktivitäten). Die Richtlinie stellt jedoch nur Empfehlungen dar, da sie für die beteiligten Akteure nicht verpflichtend ist.

Ähnlich wie in den USA hat Kanada durch mehrere Bundesbehörden (DFO, TC) Anstrengungen unternommen, um Unterwasserschall zu bekämpfen. Der Großteil der lebensraumbezogenen Unterwasserschallpolitik in Kanada konzentrierte sich in den letzten Jahren auf die Auswirkungen von Schiffslärm auf Arten, die durch den 2002 verabschiedeten „Species at Risk Act“ (SARA) (o.V., 2002) geschützt sind. So führte die kanadische Regierung 2019 eine Reihe neuer Schutzmaßnahmen (wie Sperrzonen für Schiffe, Geschwindigkeitsbeschränkungen und reduzierte Echolot-Nutzung) ein, die darauf abzielen, den Schallpegel in einem für die Killerwale (*Orcinus orca*; aus der Familie der Delphine) im Süden lebenden Lebensraum (Juan-de-Fuca-Straße, Swiftsure-Bank, Golfinseln und der Kanadischen Pazifik-Gewässer) zu reduzieren. Die Maßnahmen sind jedoch zum Teil nicht verpflichtende, sondern appellierender Maßnahmen. (o.V., 2021-2)

Im Bereich der Binnenschifffahrt sind durch Europäische Normen konstruktionsbedingte Vorgaben getroffen, die jedoch nur den Überwasserlärm regeln. Gemäß der Europäischen Norm für technische Spezifikationen für Binnenschiffe (ES-TRIN) darf der Schalldruckpegel des Fahrgeräusches eines Binnenschiffes im Abstand von 25 m von der Bordwand 75 dB(A) (gem. Art. 8.10 Nr. 2) nicht überschreiten. Bei „stehenden“ Schiffen dürfen bei selber Entfernung 65 dB(A) (gem. Art. 8.10 Nr. 3) nicht überschritten werden. (CESNI, 2021) Ab dem 1. Jan. 2022 erfolgt eine Verschärfung der ES-TRIN Lärmgrenzen um 5 dB(A) für Schiffsneubauten. Für Binnenschiffe, deren Kiellegung bis zum 1. April 1976 erfolgte und die für Fahrten auf dem Rhein zugelassen sind, gelten gem. Art. 32.02 auf Initiative der Niederlande (Garrelmann, 2017) zudem abgeschwächte Grenzwerte.

**Weder im Bereich der Seeschifffahrt noch im Bereich der Binnenschifffahrt gibt es mithin hinreichende Rechtsnormen die regional, national oder gar international ausreichende Verpflichtungen formulieren, um die schädigenden Wirkung von anthropogenem Unterwasserschall zum Schutz der in den Meeren und Gewässern lebenden Fauna wirksam zu reduzieren.**

### 3 Normierte Messsysteme

Energieeinträge ins Meer, insbesondere Unterwasserlärm, sind nach MSRL (Deskriptor 11) (BMU, 2012) so zu gestalten, dass keine Schädigung der Meeresumwelt auftritt. Beiträge von Schiffslärm rücken dabei zunehmend in den Fokus im Hinblick auf mögliche Auswirkungen auf die Meeresfauna. Um die Erfüllung der geplanten Regulierungen zur Begrenzung der Schallabstrahlung valide zu überprüfen, muss die Stärke der

Schallemissionen bestimmt werden. Um eine einheitliche Methode der Messung zu gewährleisten, wurden entsprechende Standards für die Messung von Unterwasserschall unter Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche in den USA (ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1) (ANSI, 2014) sowie durch die Internationale Organisation für Normung entwickelt (ISO 17208-1:2018; ISO 17208-2:2020-11) (DIN ISO, 2018). Neben diesen Normungen wurden von den für die Zertifizierung zuständigen Schiffsklassifizierern (ABS, BV, CCS, DNV, LR, RINA) Messverfahren entwickelt, die im Zertifizierungsverfahren Anwendung finden. (ABS, 2021-1; BV, 2018; CCS, 2018; DNV, 2010; LR, 2017; RINA 2019) Zudem wurde von der ITTC als Expertengremium 2017 für die Bewertung der hydrodynamischen Leistung von Schiffen eine Richtlinie inkl. empfohlenen Verfahren entwickelt (ITTC, 2017). Last but not least wurden in zwei von der EU im Rahmen des "Oceans of Tomorrow" geförderten Projekten („SONIC“ und „AQUO“) unter Mitarbeit der Klassifikationsgesellschaften DNV und BV eine Leitlinie zur Regulierung von Unterwasserlärm der Handelsschifffahrt entwickelt („AQUO 2014“). (Baudin et al., 2015)

Mithin stehen eine Vielzahl von normierten Verfahren zur Messung von Unterwasserschall zur Verfügung. Der Forschungsstand an den Verfahren erfährt zudem kontinuierliche Erweiterungen (u.a. auch für die Arktik (Arctic Council Secretariat (Hrsg.), 2021 m.w.N.)). So wird beispielsweise bei den Messverfahren ein entsprechend tiefes Gewässer vorausgesetzt, welches jedoch an den meisten Küsten nicht gegeben ist. Bei den Messungen wird jedoch immer der gesamte Schall inklusiv der Reflexionen gemessen. Wodurch die Entwicklung von entsprechenden Berechnungswerkzeugen benötigt wird, mit denen auch die Reflexion für flaches Wasser bei den Messergebnissen berücksichtigt werden können. (Göttsche, 2020)

Veröffentlichungen von Unterwasserschallmessungen (z.B. Simard et al, 2016; Veirs et al, 2016; Jansen & de Jong, 2017) folgen keinem gleichen Standard, sodass ein Vergleich der veröffentlichten Werte nicht immer möglich ist. Gleiches gilt für die von den Schiffsklassifikationsgesellschaften veröffentlichten Grenzwerte für Schiffslärm. (de Jong, 2020)

**Es fehlt ein verbindlich zu nutzender einheitlicher Standard zur Messung von anthropogenem Unterwasserschall und eine einheitliche Festsetzung von Lärm-Grenzwerten für Unterwasserlärm bei den Klassifikationsgesellschaften.**

## 4 Technologische Maßnahmen und Entwicklungen

Technische Möglichkeiten zur Reduzierung der Schallabstrahlung von Handelsschiffen werden verstärkt seit 2008 in einer Correspondence Group (CG) des Marine Environment Protection Committee (MEPC) der IMO diskutiert.

Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von Unterwasserlärm bei Seeschiffen liegen u.a. im Propellerdesign und dessen Wartung, dem Einbau spezieller Propellerdüsen, der Reduzierung der Vibration von Schiffsmaschinen, in verringerter Fahrgeschwindigkeit sowie in alternativen Antriebsarten.

Im Propellerdesign steht ein breites Maß an Möglichkeiten zur Auswahl (wie Erhöhung der Schiefe, „Vergrößerung des Propellers“, „Forward-Skem“ Propeller, „CLT“ Propeller, gedrehte Propeller, „Keppler“ Propeller, Waterjets, Verbundpropeller, variable Verstellpropeller, Reduzierung der Umdrehung pro Knoten, „Voith-Schneider“ Propeller etc. (ABS, 2021-2)), das jedoch je Schiffstyp, Größenklasse und Einsatzgeschwindigkeit auf den Einzelfall hin angepasst werden muss. Im Ergebnis sind hier Reduzierungen im Schalldruckpegel von 2 bis maximal 20 dB möglich. Noch im Forschungsstand ist hingegen die Installation eines „Luftblasenvorhangs“ sowohl am Rumpf als auch am Propeller. Hierdurch wird eine Reduzierung des absorbierten Dauerschalls von 3 bis 6 dB für ein Frachtschiff bei 14 kn Fahrgeschwindigkeit erwartet. Der Luftblasenvorhang erzeugt jedoch zusätzlichen Widerstand und verringert die Gesamteffizienz des Schiffsantriebs um ca. 2 bis 3%, was aber durch zusätzliche Installation von Techniken für eine verbesserte Nachlaufsteu-

erung ausgeglichen werden kann. Bei der Nachlaufsteuerung stehen gleichfalls eine Vielzahl von Entwicklungen zur Verfügung, die die Anströmung zum Propeller verbessern (z.B. „Schneeklut-Duct“, „Mewis Duct“, „Grothues Spoiler“, „Stern Flaps“) und zugleich den notwendigen Energieaufwand für den Schiffsantrieb zum Teil reduzieren. (ABS, 2021-2)

Eine weitere bedeutende Quelle für Unterwasserlärm stellt der maschinenbedingte Schall dar, der hauptsächlich durch Körperschall erzeugt wird. Die Eigenvibrationen der Schiffsmaschinen übertragen sich hierbei zuerst auf die Fundamente und breiten sich dann auf die Rumpfstrukturen aus, was zur Abstrahlung von Unterwassergeräuschen führt. Die Reduzierung dieser Vibrationen und die Isolierung der Vibrationsquelle vom Schiffsrumpf sind wirksame Möglichkeiten, um maschinenbedingte Unterwassergeräusche zu mindern. Zum Einsatz kommen hierbei verschiedenste Maßnahmen wie eine zweistufige Isolierung bei kleineren Maschinen und Generatoren (hier ist die Maschine auf einer schweren Zwischenplatte durch elastische Halterungen gefedert, die wiederum in einer zweiten Ebenen ebenfalls durch elastische Halterungen gepuffert mit dem Fundament verbunden ist), Schallschutzgehäuse zur Absorbierung von Motorluftschall sowie die Erzeugung von aktiven Gegenschwingungen (zur Aufhebung der ursprünglichen Schwingung). Durch die zweistufige Isolierung kann der Körperschall im Bereich von 20 bis 40 dB reduziert werden. Zudem zeigen Studien, dass eine entkoppelte Rumpfbeschichtung mit Gummischaum oder viskoelastischen Fliesen den vom Schiffsrumpf abgestrahlten Unterwasserlärm um 20 dB bei hohen Frequenzen reduzieren kann. Die Kosten dieser Methoden sind hingegen hoch. (ABS, 2021-2)

Im Bereich der operativen Maßnahmen sind Propeller-Polierung zur Reduzierung der Oberflächenrauheit und einer damit einhergehenden geringeren Kavitation zu benennen. (ABS, 2021-2) Eine weitere operative Maßnahme zur Verringerung von Unterwasserlärm wird in einer Verringerung der Fahrgeschwindigkeit gesehen. Eine Studie von Wissenschaftlern des IFAW kommt zu dem Ergebnis, dass eine um zehn Prozent langsamer fahrende Handelsflotte den Unterwasserlärm um 40 Prozent reduzieren könnte. (Leaper, et al 2014). Beispielhaft ist hier das Expeditionsschiff „Le Jacques-Cartier“ zu benennen, das von der Klassifikationsgesellschaft Bureau Veritas (BV) nach der Notation „NR614“ für „Underwater Radiated Noise“ (URN) zertifiziert wurde und dessen Fahrgeschwindigkeit auf 10 kn gedrosselt wurde, um die Auswirkungen auf die Unterwasserfauna zu senken. (Oldenburg, 2021)

Im Bereich der Verankerung von Offshore-Konstruktionen sind nach derzeitigem Stand der Technik Blaseschleier (Schmidtke, 2010; Dietrich, 2014) (mit einer Minderungspotenzial von bis zu 18 dB (Vennemann, 2018)) sowie die Anwendung von Schallschutzschalen (bei Rammung von Monopiles (Weyres, 2012) sowie (Koschinski, 2013; Stahlmann, 2015), wodurch eine Reduzierung um 45 dB erreicht werden kann), Stand der Technik. Da mit zunehmender Größe der Offshore-Konstruktionen auch die Pfahldurchmesser steigen, steigt bei der Verankerung mit herkömmlichen Techniken der Rammung auch der Schalldruck, mit einhergehenden stärkeren Anforderungen an zukünftige Schallminderungsmaßnahmen. (WBGU, 2014) Im Anwendungsgebiet von seismischem Gerät (Airguns) erzeugen "Marine Vibroseis Systeme" deutlich niedrigere Spitzenschallpegel und stellen Alternativen zu bisherigen Airguns dar. (Bastolla et al., 2019)

**Ein buntes Potpourri an Techniken und Maßnahmen zur Reduzierung von Unterwasserlärm steht nach bisherigem Forschungsstand bereits zur Verfügung, jedoch sind die Maßnahmen zum Teil kostenintensiv. Daher besteht weiterer Forschungsbedarf über den Umfang der betroffenen Unterwasserfauna, mögliche Alternativen zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Unterwasserlärm sowie nach kostengünstigen Entwicklungen/Technologien/Produkten nicht nur beim Schiffsneubau, sondern auch für das Retrofitting der Bestandsflotten.**

**Beim Einsatz von seismischen Technologien bedarf es der Erforschung von Alternativen, um die bis dato enorm hohen Schalldruckpegel vermeiden bzw. deutlich mindern zu können. Ähnliches gilt für den Be-**

reich von Unterwassersprengungen (soweit diese zwingend nötig sind), für die Erforschung und Entwicklung von effizienten Vergrämungsmitteln bzw. –techniken, kostengünstigen Schalldämmungstechniken bzw. Bergungsgerät zur Verholung von Munitionsfunden.

## 5 Finanzielle Anreize und Bonussysteme

Ein Beispiel für hafenbasierte Initiativen gegen Unterwasserlärm stellt das seit 2017 bestehende „ECHO-Programm“ vom kanadischen Hafen Vancouver dar. Durch dieses auf freiwilligen Maßnahmen basierende Programm werden Reduzierungen der Fahrgeschwindigkeit sowie Abstandsmaßnahmen zu sensiblen Seegebieten umgesetzt, um die Auswirkungen des Lärms von Schifffahrtsaktivitäten auf gefährdete Wale (wie dem Schwertwal) in der Region zu würdigen. Ab Januar 2020 gibt es zudem in den Häfen Vancouver und Hamburg einen Bonus bei den fälligen Hafengebühren, wenn Schiffe lärmreduzierend operieren. Die Reduzierung erfolgt anhand von einer Bepunktung im ESI. Der ESI weist mit 6.874 gelisteten Schiffen (per drittem Quartal 2021) die weltweit größte Teilnehmerzahl auf, die in einem schiffsbezogenen „Environment Award“ gelistet sind, und hat seit Anfang 2020 „Lärm“ als Kriterium im Auszeichnungskatalog. Derzeit sind (mit Stand per drittem Quartal 2021) insgesamt 57 Schiffe unter der Kategorie „Lärm“ gelistet, davon erhielten bisher 16 Schiffe die volle Punktzahl in allen drei Lärm-Kategorien für die Bonusbepunktung des ESI. Die Bepunktung des ESI enthält die Gruppen „Lärm allgemein“, „Lärm unter 160 Hz“ sowie „Berichtswesen zur Lärminderung“, wobei die Punkte für die zweite Gruppe doppelt gewichtet werden. Die Lärmmessung erfolgt nach dem Neptunes-Protokoll als Messung in dB(A) für Überwasserlärm. Die finanzielle Entlastung bei den Hafengebühren in Form von Boni trägt durch den ESI goutiert mithin nur die Reduzierung von Überwasserlärm, da eine Messung des Unterwasserlärms der gelisteten Schiffe derzeit nicht erfolgt und die Lärm emittierenden Objekte oftmals andere sind als beim Unterwasserlärm.

**Derzeit berücksichtigt kein maritimes „Award“-System aktiv eine Reduzierung von Unterwasserlärm. Erste Ansätze sind beim ESI zu erkennen, der Maßnahmen gegen Überwasserlärm durch Reduzierung bei den Hafengebühren in teilnehmenden Häfen honoriert. Jedoch ist die Zahl der teilnehmenden Häfen, die für diesen Teilaspekt des ESI Boni gewähren, überschaubar. Die bestehenden maritimen Umwelt-Auszeichnungen („Award“-Systeme) wie Environmental Ship Index (ESI), Blauer Engel, Green Award, Clean Shipping Index (CSI) sollten Maßnahmen zur Reduzierung von Unterwasserlärm honorieren und in ihren Statuten zur Zuerkennung von Auszeichnungsstufen verankern.**

## Quellen und Literatur

- Acevedo-Whitehouse, K.**, Investigation of the common dolphin mass stranding event in Cornwall, 9th June 2008; CSIP, 2009; [https://www.researchgate.net/publication/344207078\\_Investigation\\_of\\_the\\_common\\_dolphin\\_mass\\_stranding\\_event\\_in\\_Cornwall](https://www.researchgate.net/publication/344207078_Investigation_of_the_common_dolphin_mass_stranding_event_in_Cornwall)
- ABS (2021-1)** (Hrsg.), Guide for the Classification Notation – Underwater Noise and external Airborne noise (2018), <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/295-guide-classification-notation-underwater-noise-and-external-airborne-noise-2021/uwn-airn-guide-may21.pdf>
- ABS (2021-2)** (Hrsg.), Practical Considerations for Underwater Noise Control, Feb. 2021; <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/whitepapers/underwater-noise-control-whitepaper-21011.pdf>
- Alexander, D.**; Tierschützer erzielen Etappensieg gegen US-Marine; in: Die Welt; 05.07.2006; <https://www.welt.de/print-welt/article2272777/Tierschuetzer-erzielen-Etappensieg-gegen-US-Marine.html>
- André, M.** (et al.), Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods; 2011, <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/100124>;
- ANSI** (Hrsg.), Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships - Part 1: General, <https://webstore.ansi.org/standards/asa/ansiasas12642009partr2014>
- Arctic Council Secretariat** (Hrsg.), Underwater Noise Pollution From Shipping In The Arctic; 2021, <https://www.pame.is/projects/arctic-marine-shipment/underwater-noise-in-the-arctic>
- Balcom, K. C.**, A mass stranding of Cetaceans caused by Naval sonar in the Bahamas, S. 2 f.; [http://www.bahamaswhales.org/Stranding\\_Article.pdf](http://www.bahamaswhales.org/Stranding_Article.pdf)
- Basan, F.** (et al.), Soundscapes in the German Baltic Sea Before and During the Covid-19 Pandemic, BSH, 2021, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.689860/full>
- Bastolla, K.** (et al.), Marine Vibroseis: A Safer Alternative to Seismic Airguns for the North Atlantic Right Whale, 2019; <https://blogs.umass.edu/natsci397a-eros/marine-vibroseis-a-safer-alternative-to-seismic-airguns-for-the-north-atlantic-right-whale/>
- Baudin, E.** (et al.), SONIC Deliverable 5.4 ; Nov. 2015; Guideline for Regulation for UW Noise from Commercial Shipping; [http://www.aquo.eu/downloads/AQUO-SONIC%20Guidelines\\_v4.3.pdf](http://www.aquo.eu/downloads/AQUO-SONIC%20Guidelines_v4.3.pdf)
- BBC** (Hrsg.) o.V.; Navy ruled out on dolphin deaths; BBC News- 23. Juni 2008; [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/england/cornwall/7468898.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/cornwall/7468898.stm);
- Bellmann, M.** (et al.), itap, Unterwasserschall während des Impulsrammverfahrens: Einflussfaktoren auf Rammerschall und technische Möglichkeiten zur Einhaltung von Lärmschutzwerten, 2020, [https://www.bsh.de/DE/PUBLIKATIONEN/\\_Anlagen/Downloads/Projekte/Erfahrungsbericht-Rammerschall.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bsh.de/DE/PUBLIKATIONEN/_Anlagen/Downloads/Projekte/Erfahrungsbericht-Rammerschall.pdf?__blob=publicationFile&v=7)
- BfN** (Hrsg.) (2021), Minimierung der Belastungen durch Offshore-Windparks, o.J., <https://www.bfn.de/themen/meeresnaturschutz/belastungen-im-meer/offshore-windkraft/minimierung-der-belastungen-durch-offshore-windparks.html>
- Blair, H. B.**, Evidence for ship noise impacts on humpback whale foraging behaviour; 2016; <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsbl.2016.0005>
- BMU** (Hrsg.), Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie - Beschreibung eines guten Umweltzustands für die deutsche Nordsee, Stand: 13. Juli 2012; S. 43 ff., [https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html?file=files/meeresschutz/berichte/art8910/GES\\_Nordsee\\_120716.pdf](https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html?file=files/meeresschutz/berichte/art8910/GES_Nordsee_120716.pdf)
- Broeg, H.**, Tödlicher Lärm, Mare Nr 40, Okt./Nov. 2003; S. 102 f.; <https://www.mare.de/todlicher-larm-content-2315>
- BSH** (Hrsg.), Weniger Unterwasserlärm in der deutschen Ostsee während COVID-19 Pandemie, BSH – Pressemitteilung: 09.09.2021, [https://www.bsh.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/Text\\_html/html\\_2021/Pressemitteilung-2021-09-09.html;jsessionid=46DAE4130F3316902B92A14B58877A55.live21324?nn=1981326](https://www.bsh.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/Text_html/html_2021/Pressemitteilung-2021-09-09.html;jsessionid=46DAE4130F3316902B92A14B58877A55.live21324?nn=1981326)
- BT-Drucksache (2019)**, 19/15325, Sprengungen von Munitionsaltlasten und Kampfmitteln in Meeresschutz-gebieten, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/153/1915325.pdf>
- BV** (Hrsg.), Rule Note NR 614 DT R02 E (2018), [https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/614-NR\\_2018-07.pdf](https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/614-NR_2018-07.pdf)
- Castellote, M.** (et al.), Anthropogenic Noise and the Endangered Cook Inlet Beluga Whale, *Delphinapterus leucas*: Acoustic Considerations for Management; 2018; [https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/mfr8033\\_0.pdf](https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/mfr8033_0.pdf)
- Carlton, J. S.** (et al.); Vlastic, Ship vibration and noise: Some topical aspects, 1st International Ship Noise and Vibration Conference: London, June 20-21, 2005, S. 5
- CCS** (Hrsg.), CCS (2018), Guideline for ship underwater-radiated noise; <https://www.ccs.org.cn/ccswzen/file/download?fileid=201950000000000684>
- CENIS** (Hrsg.), European Standard laying down Technical Requirements for Inland Navigation vessels; Edition 2021/1; [https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2020/10/ES\\_TRIN\\_2021\\_de.pdf](https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2020/10/ES_TRIN_2021_de.pdf)
- CSA** (Hrsg.), South Fork Wind Farm Construction and Operations Plan ; APPENDIX P1, Assessment of Impacts to Marine Mammals, Sea Turtles, and Sturgeon ; July 2020 Revised February 2021; [https://www.boem.gov/sites/default/files/documents/oil-gas-energy/MarineMammalSeaTurtleSturgeon\\_Report.pdf](https://www.boem.gov/sites/default/files/documents/oil-gas-energy/MarineMammalSeaTurtleSturgeon_Report.pdf)
- De Robertis A.** (et al.); Silent ships sometimes do encounter more fish, 2010; [https://www.researchgate.net/publication/249284554\\_Silent\\_ships\\_sometimes\\_do\\_encounter\\_more\\_fish\\_2\\_Concurrent\\_echosounder\\_observations\\_from\\_a\\_free-drifting\\_buoy\\_and\\_vessels](https://www.researchgate.net/publication/249284554_Silent_ships_sometimes_do_encounter_more_fish_2_Concurrent_echosounder_observations_from_a_free-drifting_buoy_and_vessels)
- Dietrich, A.** (et al.), Entwicklung und Erprobung des Großen Blasenschleiers zur Minderung der Hydroschallemissionen bei Offshore-Rammarbeiten – (HYDROSCHALL-OFF BW II), 2014; <https://bioconsult-sh.de/site/assets/files/1312/1312.pdf>
- DNV** (Hrsg.), “2010 SILENT Class Notation”, <https://rules.dnv.com/docs/pdf/dnvpm/ruleship/2010-01/ts624.pdf>
- DIN ISO** (Hrsg.)
- DIN ISO 17208-1:2018 - Unterwasserakustik - Physikalische Größen und Verfahren zur Beschreibung und Messung des Wasserschalls von Schiffen - Teil 1: Anforderungen an Präzisionsmessungen im Tiefwasser für Vergleichszwecke, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17208:-2:ed-1:v1:en>
  - ISO 17208-2:2020-11 Unterwasserakustik - Physikalische Größen und Verfahren zur Beschreibung und Messung des Wasserschalls von Schiffen - Teil 2: Bestimmung des Quellpegels aus Tiefwasser-Messungen; <https://www.beuth.de/de/norm/din-iso-17208-2/326747126>
- Dyke, Van, J. M. V.**, Whales, Submarines, and Active Sonar; S. 331; The Ocean Yearbook, 2003; <https://www.mmc.gov/wp-content/uploads/vandykeetal.pdf>
- Engas, A.** (et al.), Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*), 1996, [https://www.researchgate.net/publication/235553916\\_Effects\\_of\\_seismic\\_shooting\\_on\\_local\\_abundance\\_and\\_catch\\_rates\\_of\\_cod\\_Gadus\\_morhua\\_and\\_haddock\\_Melanogrammus\\_aeglefinus](https://www.researchgate.net/publication/235553916_Effects_of_seismic_shooting_on_local_abundance_and_catch_rates_of_cod_Gadus_morhua_and_haddock_Melanogrammus_aeglefinus)
- Ehrhardt, A.**, Seismik: Marine 2D- und 3D-Reflexionsseismik, o.J., abgerufen 20.09.2021, [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG\\_Geophysik/Marine\\_Geophysik/Seismik/seismik\\_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Geophysik/Marine_Geophysik/Seismik/seismik_node.html)
- Engås, A.** (et al.); Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*); 1996, [https://www.researchgate.net/publication/235553916\\_Effects\\_of\\_seismic\\_shooting\\_on\\_local\\_abundance\\_and\\_catch\\_rates\\_of\\_cod\\_Gadus\\_morhua\\_and\\_haddock\\_Melanogrammus\\_aeglefinus](https://www.researchgate.net/publication/235553916_Effects_of_seismic_shooting_on_local_abundance_and_catch_rates_of_cod_Gadus_morhua_and_haddock_Melanogrammus_aeglefinus)

- Erbe, C., (et al.) (2000), Zones of impact around icebreakers affecting beluga whales in the Beaufort Sea, 2000, [https://www.researchgate.net/publication/12314447\\_Zones\\_of\\_impact\\_around\\_icebreakers\\_affecting\\_beluga\\_whales\\_in\\_the\\_Beaufort\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/12314447_Zones_of_impact_around_icebreakers_affecting_beluga_whales_in_the_Beaufort_Sea)
- Erbe, C., (et al.) (2019), The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review; 2019; <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00606/full#B212>
- EU-Parlament (2004-1), o.V., Parliamentary questions, Subject: Beaked whale deaths following military manoeuvres in the Atlantic, 15.09.2004; [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/H-6-2004-0290\\_EN.html?redirect](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/H-6-2004-0290_EN.html?redirect)
- EU-Parlament (2004-2), o.V., Entschließung des Europäischen Parlaments zu den Umweltauswirkungen hochleistungsfähiger aktiver Unterwassersonarsysteme, PA TA (2004) 0047, vom 28. Okt. 2004; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52004IP0047&qid=1632210824736&from=DE>
- Fernández, A. (et al.) (2005), “Gas and Fat Embolic Syndrome” Involving a Mass Stranding of Beaked Whales (Family Ziphiidae) Exposed to Anthropogenic Sonar Signals; 2005; <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1354/vp.42-4-446>
- Fernández, A. (et al.) (2013), No mass strandings since sonar ban, 2013, <https://www.nature.com/articles/497317d>
- Frantzis, A., Does acoustic testing strand whales? 1998, <https://www.nature.com/articles/32068>
- Garrelmann, H., Längere Fahrt für ältere Schiffe?; Pressemitteilung 1. Dez. 2017, Binnenschifffahrt; <https://binnenschifffahrt-online.de/2017/12/schifffahrt/1532/>
- Gassmann, M., Deep-water measurements of container ship radiated noisesignatures and directionality, 2017, <http://www.cetus.ucsd.edu/docs/publications/GassmannASA2017.pdf>
- Gebauer, M.; Kein Herz für Schweinswale, Pressemitteilung: Der Spiegel, 21.10.2012; <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/annegret-kramp-karrenbauer-streitet-mit-militaers-um-schweinswale-a-c40a7e7a-d84b-445c-b9d9-f32bdf290b5d>
- Gentry, R. L.; Mass Stranding of Beaked Whales in the Galapagos Islands, April 2000; [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round8/sis-mica\\_R8/Bibliografia/Gentry%202002%20-%20Mass%20Stranding%20of%20Beaked%20Whales%20Galapagos.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round8/sis-mica_R8/Bibliografia/Gentry%202002%20-%20Mass%20Stranding%20of%20Beaked%20Whales%20Galapagos.pdf)
- Globalsecurity.org (Hrsg.) o. J., MEDSHARK / Majestic Eagle; <https://www.globalsecurity.org/military/ops/majestic-eagle.htm>
- Götttsche, U., Entwicklung einer numerischen Methode zur Vorhersage der hydroakustischen Schallabstrahlung von Schiffspropellern; Dissertation, 2020, S. 2; [https://tore.tuhh.de/bitstream/11420/7441/1/phd\\_goettsche\\_final.pdf](https://tore.tuhh.de/bitstream/11420/7441/1/phd_goettsche_final.pdf)
- IMO (1975), IMO Resolution A.343(IX) Recommendation on Methods of Measuring Noise Levels at Listening Posts, Appendix - Provisional Guidelines on Maximum Acceptable Noise Level at Listening Posts <https://www.imo.org/UID-D884F1F9-938A-4845-89F7-B313D7A43849.html>
- IMO (1991), GUIDELINES FOR THE DESIGNATION OF SPECIAL AREAS AND THE IDENTIFICATION OF PARTICULARLY SENSITIVE SEA AREAS; A 17/Res.720; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.720\(17\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.720(17).pdf)
- IMO (2001), GUIDANCE ON FATIGUE MITIGATION AND MANAGEMENT, 12 Juni 2001; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/1014.pdf>
- IMO (2012), CODE ON NOISE LEVELS ON BOARD SHIPS; RESOLUTION MSC.337(91), angenommen am 30. Nov. 2012; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MS-C337\(91\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MS-C337(91).pdf)
- IMO (2014) GUIDELINES FOR THE REDUCTION OF UNDERWATER NOISE FROM COMMERCIAL SHIPPING TO ADDRESS ADVERSE IMPACTS ON MARINE LIFE; MEPC 1/Circ. 833; 7. Apr. 2014; <https://cetsound.noaa.gov/Assets/cetsound/documents/MEPC.1-Circ%20883%20Noise%20Guidelines%20April%202014.pdf>
- IMO (2021) PSSA (Particularly Sensitive Sea Areas), Stand 01. Sept. 2021; <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/PSSAs.aspx>
- ITTC (Hrsg.), Recommended Procedures and Guidelines – Underwater Noise from Ships, Full Scale Measurements, 7.5-04 04-01, 2017, <https://www.ittc.info/media/8183/75-04-04-01.pdf>
- Jansen, H. W. (et al.), Experimental assessment of underwater acoustic source levels of different ship types, 2017, <https://repository.tno.nl//islandora/object/uuid:0948cf6a-d811-40c1-ac83-b69785123af9>
- Kahl, H., Wal-Sterben in Manövergebiet vor Kanaren; Handelsblatt 25.09.2002, <https://www.handelsblatt.com/archiv/vorwuerfe-gegen-nato-kriegsschiffe-wal-sterben-in-manoevergebiet-vor-kanaren/2199418.html?ticket=ST-604381-L4I4QlynWrV0gt2K77ny-ap2>
- Kaufman, M., Navy Wins Exemption From Bush to Continue Sonar Exercises in Calif., Pressemitteilung – Washington Post – 17. Jan. 2008; <https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/01/16/AR20080116011601536.html>
- Landro, M., Marine Seismic Sources - part: air-guns for non-experts, S. 32; in Geo ExPro, Vol 7 Nr. 1, 2010; [https://assets.geoexpro.com/uploads/696e7ae7-cb6c-46bd-b10b-2a3277b67447/GEO\\_ExPro\\_v711\\_Full.pdf](https://assets.geoexpro.com/uploads/696e7ae7-cb6c-46bd-b10b-2a3277b67447/GEO_ExPro_v711_Full.pdf)
- Lara, R. A. (et al.), Impact of noise on development, physiological stress and behavioural patterns in larval zebrafish, 2021, <https://www.nature.com/articles/s41598-021-85296-1.pdf?origin=ppub>
- Leaper, R. (et al.), Reducing underwater noise from large commercial ships: Current status and future directions, 2014, [https://www.researchgate.net/publication/261002250\\_Reducing\\_underwater\\_noise\\_from\\_large\\_commercial\\_ships\\_Current\\_status\\_and\\_future\\_directions](https://www.researchgate.net/publication/261002250_Reducing_underwater_noise_from_large_commercial_ships_Current_status_and_future_directions)
- LR (Hrsg.), Guidance Notes – Ship Vibration and Noise, <https://www.cdinfo.lr.org/information/Documents/LRGuidance/Vibration%20&%20Noise%20Guidance%20Notes%20.pdf>
- McCaughey, R. D. (et al.), High intensity anthropogenic sound damages fish ears, 2002, <https://www.awionline.org/sites/default/files/uploads/documents/McCauley-1238105863-10165.pdf>
- Misund, O. A., (et al.), Swimming behaviour of fish schools in the North Sea during acoustic surveying and; 1992; [https://imr.braze.unit.no/imr-xmllui/bitstream/handle/11250/104701/CM\\_1990\\_B\\_38\\_Session\\_R.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://imr.braze.unit.no/imr-xmllui/bitstream/handle/11250/104701/CM_1990_B_38_Session_R.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Oceancare (Hrsg.), o.V., Im Lärm ertrinken, 2016, [https://oceancare.org/wp-content/uploads/2016/07/Report\\_L%3C%A4rm\\_Im-L%3C%A4rm-ertrinken\\_DE\\_.pdf](https://oceancare.org/wp-content/uploads/2016/07/Report_L%3C%A4rm_Im-L%3C%A4rm-ertrinken_DE_.pdf)
- Oldenburg, B., Ponant reduziert Unterwasserlärm, THB, 12. Jan. 2021, <https://www.thb.info/rubriken/umwelt/detail/news/ponant-reduziert-unterwasserlaerm.html>
- o.V., (2002), Government of Canada - Justice Laws Website, Species at Risk Act (S.C. 2002, c. 29), <https://laws.justice.gc.ca/eng/acts/S-15.3/>
- o.V., (2004-1), MEDSHARK-Majestic Eagle 2004; [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:MEDSHARK-Majestic\\_Eagle\\_2004](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:MEDSHARK-Majestic_Eagle_2004)
- o.V., (2004-2), Entschließung des Europäischen Parlaments zu den Umweltauswirkungen hochleistungsfähiger aktiver Unterwassersonarsysteme, PA TA (2004) 0047, vom 28. Okt. 2004; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52004IP0047&qid=1632210824736&from=DE>
- o.V., (2014), Sea turtle hearing and sensitivity to acoustic impacts, Appendix I, Nr. 5, S 1-4 f.; 2014; <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/mcbem-2014-01/other/mcbem-2014-01-submission-boem-03-en.pdf>
- o.V., (2016), Unterwasser-Lärm gefährdet auch Seesterne und Muscheln, Deutschlandfunk – Forschung aktuell – 08.02.2016, [https://www.deutschlandfunk.de/neue-studie-unterwasser-laerm-gefaehrdet-auch-seesterne-und.676.de.html?dram:article\\_id=345000](https://www.deutschlandfunk.de/neue-studie-unterwasser-laerm-gefaehrdet-auch-seesterne-und.676.de.html?dram:article_id=345000)
- o.V., (2020-1), Umweltzustandsbericht NRW 2020; Stand Mai 2021; <https://www.umweltportal.nrw.de/web/umweltbericht-2020/zu-viel-verkehrsl%3C%A4rm-f%3C%BCr-1-5-millionen-landsleute>
- o.V., (2020-2), Tote Ostsee-Schweinswale nach Minensprengung, Pressemitteilung: Nature – 20.10.2020, <https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/tote-ostsee-schweinswale-nach-minensprengung/>
- o.V., (2021-1), Gestörte Klangkulisse - Wie der Lärm des Menschen die Meere verändert; 2021; <https://www.geo.de/natur/oekologie/23948-rtkl-gestoerte-klangkulisse-wie-der-laerm-des-menschen-die-meere-veraendert>



- o.V., (2021-2)**, Government of Canada, 2021 management measures to protect Southern Resident killer whales; <https://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/mammals-mammiferes/whales-baleines/srkw-measures-mesures-ers-eng.html>
- Pang, Y.** (et al.), Ship noise source level measurement in shallow water based on experimental propagation loss, 2020, [https://www.researchgate.net/publication/343583637\\_Ship\\_noise\\_source\\_level\\_measurement\\_in\\_shallow\\_water\\_based\\_on\\_experimental\\_propagation\\_loss](https://www.researchgate.net/publication/343583637_Ship_noise_source_level_measurement_in_shallow_water_based_on_experimental_propagation_loss)
- Popper, A. N.** (et al.), (2003-1), Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes, in *Sensory Processing in Aquatic Environments*, edited by S. P. Collin and N. J. Marshall Springer-Verlag, New York, pp. 3–38; 2003,
- Popper, A. N., (2003-2)** The effects of anthropogenic sounds on fishes. 2003, [https://www.researchgate.net/publication/246022804\\_Effects\\_of\\_Anthropogenic\\_Sounds\\_on\\_Fishes](https://www.researchgate.net/publication/246022804_Effects_of_Anthropogenic_Sounds_on_Fishes)
- Popper, A. N.** (et al.) (2005), Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species; 2005; <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1904386>
- Puser, J.**; Acoustic Noise Induces Attention Shifts and Reduces Foraging Performance in Three-Spined Sticklebacks; 2011; <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0017478>
- Quick, N. J.** (et al.); Extreme diving in mammals: first estimates of behavioural aerobic dive limits in Cuvier's beaked whales; 2020, <https://journals.biologists.com/jeb/article/223/18/jeb222109/225819/Extreme-diving-in-mammals-first-estimates-of>
- RINA** (Hrsg.), "DOLPHIN QUIET SHIP" und "DOLPHIN TRANSIT SHIP", <https://www.rina.org/en/media/news/2019/05/16/rina-dolphin>
- Rolland, R. M.** (et al.), Evidence that ship noise increases stress in right whales; 2012, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3350670/pdf/rspp20112429.pdf>
- Ross, D.**, *Mechanics of Underwater Noise*, 1976, [http://ocr.org/ocr/pdfs/marine\\_protection/Ross\\_Prediction\\_Mech\\_of\\_Underwater\\_Noise\\_Execrpt.pdf](http://ocr.org/ocr/pdfs/marine_protection/Ross_Prediction_Mech_of_Underwater_Noise_Execrpt.pdf)
- Samuel, Y.** (et al.), Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat; 2005; [https://www.researchgate.net/publication/7929208\\_Underwater\\_low-frequency\\_noise\\_in\\_a\\_coastal\\_sea\\_turtle\\_habitat](https://www.researchgate.net/publication/7929208_Underwater_low-frequency_noise_in_a_coastal_sea_turtle_habitat)
- Sará, G.** (et al.), Effect of boat noise on the behaviour of bluefin tuna *Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea; 2007; [https://www.researchgate.net/publication/233934282\\_Effect\\_of\\_boat\\_noise\\_on\\_the\\_behaviour\\_of\\_bluefin\\_tuna\\_Thunnus\\_thynnus\\_in\\_the\\_Mediterranean\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/233934282_Effect_of_boat_noise_on_the_behaviour_of_bluefin_tuna_Thunnus_thynnus_in_the_Mediterranean_Sea)
- Schmidtke, E.**, Schockwellendämpfung mit einem Luftblasenschleier zum Schutz der Meeressäuger, WTD 71 – DAGA 2010 – Berlin; [http://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_2010/data/articles/000140.pdf](http://pub.dega-akustik.de/DAGA_2010/data/articles/000140.pdf)
- Schwab, K.**; Ein kritischer Vergleich von Messgrößen zur Beurteilung der Schallbelastung in Sinfonieorchestern anhand systematischer Literatur-recherche und Messungen; S. 14 f., 2020; <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1577645/1577645.pdf>
- Simard, Y.** (et al.), Analysis and modeling of 255 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along St. Lawrence Seaway, 2016, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27914442/>
- Sørensen, K.**, (et al.), Hearing in Penguins (Hörfähigkeit von Pinguinen); Projektlaufzeit 2018-2021; <https://www.deutsches-meeresmuseum.de/hearing-in-penguins>
- Solan, M.** (et al.), Anthropogenic sources of underwater sound can modify how sediment-dwelling invertebrates mediate ecosystem properties, 2016, [https://www.researchgate.net/publication/292994494\\_Anthropogenic\\_sources\\_of\\_underwater\\_sound\\_can\\_modify\\_how\\_sediment-dwelling\\_invertebrates\\_mediate\\_ecosystem\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/292994494_Anthropogenic_sources_of_underwater_sound_can_modify_how_sediment-dwelling_invertebrates_mediate_ecosystem_properties)
- Sole, M.**, Ultrastructural Damage of *Loligo vulgaris* and *Illexcoindetii* statocysts after Low Frequency Sound Exposure; 2013; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3797068/pdf/pone.0078825.pdf>
- Song, J.**, The inner ears of Northern Canadian freshwater fishes following exposure to seismic air gun sounds, 2008, S. 1364, [https://www.researchgate.net/publication/23150668\\_The\\_inner\\_ears\\_of\\_Northern\\_Canadian\\_freshwater\\_fishes\\_following\\_exposure\\_to\\_seismic\\_air\\_gun\\_sounds](https://www.researchgate.net/publication/23150668_The_inner_ears_of_Northern_Canadian_freshwater_fishes_following_exposure_to_seismic_air_gun_sounds)
- Stahlmann, J.** (et al.), Untersuchung und Erprobung von Hydro-Schall-Dämpfern (HSD) zur Minderung von Unterwasserschall bei Rammarbeiten für Gründungen von OWEA, 2015, [https://ssl.loggpro.net/rainer/wp-content/uploads/2015/10/abschlussbericht\\_hsd\\_fkz0325365.pdf](https://ssl.loggpro.net/rainer/wp-content/uploads/2015/10/abschlussbericht_hsd_fkz0325365.pdf)
- UBA** (Hrsg.) (2014), Lärm im Wasser - ein menschengemachtes Problem, Pressemitteilung: 9.5.2014, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/antarktis/das-umweltbundesamt-die-antarktis/unterwasserlaerm#alarm-im-wasser-ein-menschengemachtes-problem>
- UBA** (Hrsg.) (2021), Munition im Meer, Themen (Meldung vom 25.01.2021), <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/meere/nutzung-belastungen/munition-im-meer#schadstoffbelastung-durch-konventionelle-munition>
- UN**, Resolution der Generalversammlung, A/RES/73/124 Ozean und Seerecht; 2018; <https://www.un.org/depts/german/gv-73/band1/ar73124.pdf>
- USDC (2003)** N.D. California (Hrsg.), *Natural Resources Defense Council v. Evans*. 232 F. Supp. 2d 1003 (N.D. Cal., 2002), 232 F. Supp. 2d 1129 (N.D. Cal., 2003). 364 F. Supp. 2d 1083 (N.D. Cal., 2003)., <https://casetext.com/case/natural-resources-defense-council-v-evans-2>
- USDC (2008)** D. Hawaii (Hrsg.), *Ocean Mammal Institute v. Gates*, 546 F. Supp. 2d 960 (D. Hawaii, 2008), <https://casetext.com/case/ocean-mammal-institute-v-gates-2>
- US-Supreme Court**, Entscheidung 07-1239; Entscheidung vom 12. Nov. 2008, <https://www.supremecourt.gov/opinions/08pdf/07-1239.pdf>
- Veires, S.** (et al.), Ship noise extends to frequencies used for echolocation by endangered killer whales, 2016, <https://peerj.com/articles/1657/>
- Vennemann, J.**, Continental entwickelt Schallschutz für Meeresbewohner, 2018; <https://www.fluid.de/faszination-fluid/continental-entwickelt-schallschutz-fuer-meeresbewohner-125.html>
- Wale, M. A.** (2013) (et al.), Noise negatively affects foraging and antipredator behaviour in shore crabs, 2013, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003347213001991?via%3Dihub>
- Wale, M. A.** (2016) (et. al.), The Effects of Anthropogenic Noise Playbacks on the Blue Mussel, 2016, <https://www.masts.ac.uk/media/36069/2016-abstracts-gen-sci-session-3.pdf>
- Weiss, K.**, Sonar Tests a Likely Link to Whale Deaths; in: Los Angeles Times, 01. Okt. 2002; <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-2002-oct-01-fg-whale1-story.html>
- Weyres, B.**, Die BEKA Schale als Schallminderungsverfahren für Impulsrammung im Vergleich zu Blasenschleiern, 2012; <http://www.veyres-offshore.de/root/img/pool/docs/beka-schale.pdf>
- WGBU** (Hrsg.), Hauptgutachten – Welt im Wandel, Menschheitserbe Meer, 2014, [https://www.bundestag.de/resource/blob/343752/067511dca1326578500be4e57c2f92ac/ausschussdrucksache\\_hauptgutachten\\_wbgu\\_meer\\_18\\_16\\_133-data.pdf](https://www.bundestag.de/resource/blob/343752/067511dca1326578500be4e57c2f92ac/ausschussdrucksache_hauptgutachten_wbgu_meer_18_16_133-data.pdf)
- Wölfing, B.** (et al.); BfN; Auswirkungen der Sprengungen von Seeminen im Naturschutzgebiet „Fehmarnbelt“ Ende August 2019; [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/meeresundkuestenschutz/Dokumente/Minensprengungen\\_im\\_Fehmarnbelt/Gesamtbewertung\\_Fehmarnbelt\\_Minensprengungen.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/meeresundkuestenschutz/Dokumente/Minensprengungen_im_Fehmarnbelt/Gesamtbewertung_Fehmarnbelt_Minensprengungen.pdf)

## Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz	SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
ABS	American Bureau of Shipping ( <i>Klassifikationsgesellschaft</i> )	SONIC	Suppression Of Underwater Noise Induced by Cavitation
AQUO	Achieve QUIeter Oceans by shipping noise footprint reduction	SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
Art.	Artikel	TC	Transport Canada ( <i>Transportministerium</i> )
ASCOBANS	Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas	UN	United Nations (Vereinte Nationen)
AWZ	ausschließliche Wirtschaftszone	USDC	United States District Court
BfN	Bundesamt für Naturschutz	UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit		
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz		
BRZ	Bruttoraumzahl		
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie		
BV	Bureau Veritas ( <i>Klassifikationsgesellschaft</i> )		
CBD	Convention on Biological Diversity		
CCS	China Classification Society ( <i>Klassifikationsgesellschaft</i> )		
CENIS	European Committee for drawing up Standards in the field of Inland Navigation		
CG	Correspondence Group		
CMS	Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals		
dB	Dezibel		
CSI	Clean Shipping Index		
DFO	Department of Fisheries and Oceans ( <i>Kanada</i> )		
Diss	Dissertation		
DNV	Det Norske Veritas ( <i>Klassifikationsgesellschaft</i> )		
dwt	deadweight tonne ( <i>Tragfähigkeit in Tonnen</i> )		
et al.	Et alia ( <i>Lat.</i> ) ( <i>und andere</i> )		
EU	Europäische Gemeinschaft		
FFH	Fauna-Flora-Habitat		
Hrsg.	Herausgeber		
Hs	Halbsatz		
IFAW	International Fund for Animal Welfare		
IMO	International Maritime Organization		
IMOC	Inter-Governmental Maritime Consultative Organization ( <i>Vorgänger von IMO</i> )		
Lat.	Lateinisch		
LFAS	Low Frequency Active Sonar ( <i>Niedrig-Frequenz-Sonar</i> )		
lit	Littera		
LR	Lloyd's Register ( <i>Klassifikationsgesellschaft</i> )		
m	Meter		
MEPC	Marine Environment Protection Committee		
MFAS	Mid-Frequency Active Sonar ( <i>Mittelfrequenz Aktiv Sonar</i> )		
Mio.	Million(en)		
Mrd.	Milliarde(n)		
MSC	Maritime Safety Committee		
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie		
m.w.N.	mit weiteren Nachweisen		
nm	Nautischen Meilen		
NMFS	National Marine Fisheries Service		
NRDC	Natural Resources Defense Council		
o.J.	Ohne Jahr		
o.V.	Ohne Verfasser		
PSSA	Particularly Sensitive Sea Areas		
RINA	Registro Italiano Navale ( <i>Klassifikationsgesellschaft</i> )		
SDC	Ship Design and Construction		



Institut für  
Seeverkehrswirtschaft  
und Logistik

