

TEXTE

100/2024

Abschlussbericht

Hearing in Penguins

Hörfähigkeiten von Pinguinen

von:

Michaël Beaulieu, Ulrike Buschewski, Dorit Liebers-Helbig, Anne May, Helen Rößler, Michael Dähne

Deutsches Meeresmuseum, Stralsund

Magnus Wahlberg, Kenneth Sørensen

Süddänische Universität, Odense

Guido Dehnhardt, Jenny Ann Byl, Tabea Lange, Lars Miersch

Marine Science Center, Rostock

Jana Hoffmann, Cora Albrecht, Sylke Frahnert, Denise Jäckel, Alvaro Ortiz Troncoso

Museum für Naturkunde, Berlin

Herausgeber:

Herausgeber: Umweltbundesamt

TEXTE 100/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 18 244 0

FB001301

Abschlussbericht

Hearing in Penguins

Hörfähigkeiten von Pinguinen

von

Michaël Beaulieu, Ulrike Buschewski, Dorit Liebers-
Helbig, Anne May, Helen Rößler, Michael Dähne
Deutsches Meeresmuseum, Stralsund

Magnus Wahlberg, Kenneth Sørensen
Süddänische Universität, Odense

Guido Dehnhardt, Jenny Ann Byl, Tabea Lange, Lars
Miersch
Marine Science Center, Rostock

Jana Hoffmann, Cora Albrecht, Sylke Frahnert, Denise Jäckel,
Alvaro Ortiz Troncoso
Museum für Naturkunde, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Deutsches Meeresmuseum
Katharinenberg 14-20
18439 Stralsund

Abschlussdatum:

Juni 2022

Redaktion:

Fachgebiet II 2.2 Schutz der Polargebiete
Mirjam Müller

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juli 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Hearing in Penguins

Das Hauptziel des Projekts "Hearing in Penguins" war es, Audiogramme bei Pinguinen sowohl in der Luft als auch unter Wasser zu messen. Innerhalb der vier Jahre des Projekts konnten wir Humboldt-Pinguine für die Messung von Audiogrammen trainieren. Die Ergebnisse dieses psychoakustischen Ansatzes zeigen, dass Pinguine in der Luft zwischen 1 und 4 kHz am besten hören. Wir haben außerdem eine nicht-invasive Methode entwickelt, die auf der Verwendung von externen Elektroden basiert, um die akustisch evozierten Potenziale in der Luft bei Pinguinen zu messen. Darüber hinaus hat die Entwicklung einer Tieraudiogramm-Datenbank, die wir im Laufe des Projekts online gestellt haben, den Vergleich zwischen den bei Pinguinen und anderen Wassertieren gemessenen Audiogrammen erleichtert. Aufgrund einer Reihe unerwarteter Schwierigkeiten war es uns jedoch nicht möglich, Unterwasser-Audiogramme bei Pinguinen zu messen. Die Anpassungen des Gehörs bei Pinguinen wurden außerdem untersucht, indem ihr Innen- und Mittelohr mit CT-Scans sichtbar gemacht wurde, was darauf hindeutet, dass das Hörvermögen von Pinguinen beim Tauchen wahrscheinlich erhalten bleibt. Entsprechend fanden wir während Unterwasser-Playback-Experimente heraus, dass Pinguine mit einer erstaunlich niedrigen Reaktionsschwelle Geräuschimpulsen unter Wasser ausweichen können und auf Unterwassergeräusche konditioniert werden können. Es wurden auch erhebliche Maßnahmen ergriffen, um über das Projekt und die Lärmbelastigung unter Wasser zu kommunizieren. Mit einer Vielzahl von Ansätzen wurde die Öffentlichkeit, in den Medien und online, z.B. durch Präsentationen erreicht. Insgesamt war das Projekt "Hearing in Penguins" sehr erfolgreich, da die überwiegende Mehrheit der ursprünglichen Ziele erreicht wurde. Am bedeutendsten ist jedoch, dass unser Projekt den Grundstein für zukünftige Studien über das Hörvermögen von tauchenden Vögeln gelegt hat und so zu einem größeren Verständnis beiträgt, inwiefern Meeresvögel von Unterwasserlärm betroffen sind.

Abstract: Hearing in Penguins

The main aim of the project "Hearing in Penguins" was to measure audiograms in penguins both in the air and under water. Within the four years of the project, we were able to train Humboldt penguins to ultimately measure in-air audiograms. The results of this psychoacoustic approach indicate that penguins hear best between 1 and 4 kHz in air. We also developed a non-invasive method based on the use of external electrodes to measure in-air auditory evoked potentials in penguins. Moreover, the creation of an animal audiogram databank that we launched online during the course of the project has facilitated the comparison between audiograms measured in penguins and those measured in other aquatic animals. Because of a variety of unexpected difficulties, we were, however, unable to measure underwater audiograms in penguins. Hearing adaptations in penguins were also investigated by visualizing their inner and middle ear with CT-scans, which suggested that the hearing capacity of penguins is likely preserved during diving. In line with this finding, we found through playback experiments that penguins could avoid noise pulses underwater with a surprisingly low reaction threshold and could be conditioned to underwater sounds. A great effort was also made to communicate about the project and underwater noise pollution, using a variety of approaches by presentations to the general public, in media and online. Overall, the project "Hearing in Penguins" was successful, as the vast majority of the original objectives were reached. Most importantly, our project laid the foundation for future studies on the hearing capacity of diving birds and has large applications to understand how seabirds are affected by underwater noise.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	11
Summary.....	16
1 Hintergrund.....	21
1.1 Ziele.....	21
1.2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	21
2 Psychoakustische Messungen, die im Rahmen von “Hearing in Penguins” durchgeführt wurden.....	26
2.1 Psychoakustische Methoden.....	26
2.1.1 Allgemeines.....	26
2.1.2 In-Luft Psychoakustik.....	26
2.1.2.1 Königspinguine (SDU).....	28
2.1.2.2 Tristanpinguine (SDU).....	28
2.1.3 Unterwasser Psychoakustik.....	29
2.2 Ergebnisse der verhaltensbasierten akustischen Messungen.....	31
3.1 AEP Methoden.....	34
3.2 AEP Ergebnisse.....	35
5 Weitere wissenschaftliche Aktivitäten, die im Rahmen von “Hearing in Penguins” durchgeführt wurden.....	40
5.1 CT-Bilder der knöchernen Strukturen von Ohren (MfN/DMM).....	40
5.2 Unterwasser-Playback Experiment bei Eselspinguinen (SDU).....	42
5.3 Unterwasser-Schallkonditionierung bei Eselspinguinen (SDU).....	42
5.4 Tonaufnahmen in der Antarktis (DMM).....	44
6 Umweltpädagogik und Kommunikation, von “Hearing in Penguins” durchgeführt.....	46
6.1 Kommunikation mit Medien.....	46
6.2 Öffentliche Veranstaltungen.....	47
6.3 Podiumsdiskussion.....	48
6.4 Wissenschaftliche Abschlusskonferenz.....	48
6.5 Digitale Medien.....	49
6.5.1 Social Media.....	49
6.5.2 Informationsplattform.....	49

6.5.3	Sonic Chair	51
6.5.3.1	Zeitlicher Ablauf.....	51
6.5.3.2	Inhalt	51
6.5.4	Making-of Video.....	52
6.5.5	Online Talks & Podcasts.....	52
6.5.6	Musik-Hackathon.....	53
6.5.7	Tagungen, Konferenzen und Veröffentlichungen.....	53
7	Akademische Ergebnisse	54
8	Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse des Projekts „Hearing in Penguins"	56
9	Schwierigkeiten während des Projekts	57
9.1	Widerwillen der Pinguine gegen Training.....	57
9.2	Notwendigkeit an neuen Infrastrukturen.....	58
9.3	Arbeitseinschränkungen durch den Corona Lockdown.....	58
9.4	Ornithose Ausbruch	60
9.5	Konsequenzen.....	61
10	Fazit	62
11	Quellenverzeichnis	63
A	Anhang	65
A.1	Sørensen et al. (2020) R. Soc. Open Sci.	65
A.2	Frahnert et al. (2020) Proc. Meet. Acoust.	66
A.3	Beaulieu et al. (2021) Animal Behaviour.....	67
A.4	Jäckel et al. (2022) J. Acoust. Soc. Am.	68
A.5	Rößler et al. (2022) Ornithology (The Auk).....	69
A.6	Rasmussen et al. (2022) Biol. Open	70
A.7	Rößler et al. (2022) Appl. Anim. Behav. Sci.....	71
B	Appendix: clipping number	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufzeichnungen von Audiogrammen in der Luft bei drei Brillenpinguinen	22
Abbildung 2:	Luftschallaudiogramme von verschiedenen Vogelarten.....	23
Abbildung 3:	Vergleich zwischen AEP-Schwellenwerten und Schwellenwerten, die mit Verhaltensmethoden bei Kormoranen ermittelt wurden.	23
Abbildung 4:	Audiogramme bei Alkenvögeln	24
Abbildung 5:	Vergleich der durchschnittlichen AEP-Schwellenwerte in der Luft und unter Wasser, die aus einem ANOVA-Modell mit wiederholten Messungen vorhergesagt wurden	25
Abbildung 6:	Training der Humboldt-Pinguine beim DMM	26
Abbildung 7:	Training von Königspinguinen im Zoo Odense	28
Abbildung 8:	Training von Tristanpinguinen im Zoo Odense.....	29
Abbildung 9:	Konzeptzeichnung des Versuchsaufbaus	30
Abbildung 10:	Technische Zeichnung der neuen Pinguingehege am MSC.....	31
Abbildung 11:	Receiver operating characteristics (ROC) und Ergebnisse der verhaltensbasierten psychoakustischen Methoden	32
Abbildung 12:	Psychometrische Funktionen des Hörens eines Tristanpinguins	33
Abbildung 13:	Entwicklung und Einsatz der AEP-Haube.....	34
Abbildung 14:	Entwicklung und Einsatz der AEP-Elektroden.....	35
Abbildung 15:	Web-Frontend der Animal Audiogram Database.....	38
Abbildung 16:	Columella von verschiedenen Pinguinarten und anderen Wasservogelarten.....	40
Abbildung 17:	Restvolumen und Fläche des runden Fensters bei verschiedenen Pinguinarten.....	41
Abbildung 18:	Hauptergebnisse des Unterwasser-Playback-Experiments.....	42
Abbildung 19:	Visualisierung des Unterwasser-Schallkonditionierung-Experiment	44
Abbildung 20:	Frequenz der Vokalisationen von Eselspinguinen	45
Abbildung 21:	Kommunikationsverteilung auf Mediengattungen	46
Abbildung 22:	Zeitliche Variation der Kommunikation	47
Abbildung 23:	Startseite der Online-Informationsplattform zur Unterwasserlärmbelastung	50
Abbildung 24:	Visualisierung des Sonic Chairs.....	52
Abbildung 25:	Zeitskala der wichtigsten Ergebnisse des Projekts „Hearing in Penguins“	56
Abbildung 26:	Zeitliche Schwankungen der Konzentration von vier einzelnen Humboldt-Pinguinen, die am DMM trainiert wurden.....	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abschlussarbeiten im Rahmen des Projekts „Hearing in Penguins“	54
Tabelle 2:	Wissenschaftliche Artikel, die im Rahmen des Projekts „Hearing in Penguins“ geschrieben wurden.....	54
Tabelle 3:	Schwierigkeiten, die während des Projekts „Hearing in Penguins“ aufgetreten sind	57
Tabelle 4:	Ursprünglich vorgesehene Kommunikationsformate	59

Abkürzungsverzeichnis

AAD	Animal Audiogram Database
AEP	Akustisch Evoziertes Potential
AP	Arbeitspaket
DMM	Deutsches Meeresmuseum (Stralsund)
DOG	Deutsche Ornithologische Gesellschaft
HIP	Hearing in Penguins
IPC	International Penguin Conference
MfN	Museum für Naturkunde (Berlin)
MSC	Marine Science Center (Rostock)
PI	Principal Investigator
POMA	Proceedings of Meetings on Acoustics
RSOS	Royal Society Open Science
SDU	Süddänische Universität
UBA	Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Obwohl Pinguine (Ordnung: Spheniciformes) aufgrund ihrer amphibischen Lebensweise wahrscheinlich spezifische Anpassungen des Gehörs aufweisen, war vor dem Start des Projekts "Hearing in Penguins" im Januar 2018 fast nichts über ihr Hörvermögen sowohl in der Luft als auch unter Wasser bekannt. Hörphysiologische Daten von Pinguinen werden benötigt, da diese Vögel in ihrer natürlichen Umgebung zunehmend Geräuschen anthropogenen Ursprungs ausgesetzt sind. Ob die höheren Schallbelastungen eine Bedrohung für Pinguine darstellen, ist derzeit jedoch nicht bekannt. Erkenntnisse über das Hörvermögen von Pinguinen sind daher von wesentlicher Bedeutung, um Richtlinien für die Regulierung der menschlichen Geräuschproduktion im Habitat der Vögel aufzustellen. Die Motivation von "Hearing in Penguins" war es, zu untersuchen, was Pinguine akustisch wahrnehmen und worauf sie reagieren, wenn sie verschiedenen Lärmquellen ausgesetzt sind. Eine frühe Studie über das Gehör von Afrikanischen Pinguinen (*Spheniscus demersus*) hatte gezeigt, dass sie am besten zwischen 0,2 und 6,0 kHz in der Luft hören. Diese Studie verwendete einen invasiven Ansatz, der heute aus ethischen Gründen nicht mehr angewendet werden kann. Außerdem blieb abzuklären, ob die Ergebnisse dieser Studie auf andere Pinguinarten übertragbar waren. Bis zu diesem Projekt wurde bisher keine Untersuchung über das Hörvermögen von Pinguinen unter Wasser durchgeführt, obwohl diese tauchenden Vögel die größten Tiefen unter allen existierenden Vogelarten erreichen können.

In diesem Zusammenhang bildeten das Deutsche Meeresmuseum (DMM, Stralsund), das Marine Science Center (MSC, Rostock), die Süddänische Universität (SDU, Odense) und das Museum für Naturkunde (MfN, Berlin) ein Konsortium und arbeiteten von Januar 2018 bis Juni 2022 gemeinsam im Rahmen des Projekts „Hearing in Penguins“. Die Hauptziele des Projekts „Hearing in Penguins“ waren: (1) zum einen die Untersuchung des Hörvermögens von Pinguinen in der Luft und unter Wasser und (2) zum anderen die Wissenschaftskommunikation über die derzeitige Schallverschmutzung unter Wasser.

Während des Projekts „Hearing in Penguins“ basierte die Untersuchung des Hörvermögens von Pinguinen hauptsächlich auf psychoakustischen Methoden, die an drei verschiedenen Pinguinarten durchgeführt wurden, die im DMM (Humboldtpinguine; *Spheniscus humboldti*), im MSC (Humboldtpinguine) und im Odense Zoo/SDU (Königspinguine; *Aptenodytes patagonicus*, und Tristanpinguine; *Eudyptes moseleyi*) in Menschenhand gehalten wurden. Pinguine, die an dem Projekt beteiligt waren, waren entweder Jungtiere, die kürzlich im DMM oder im Odense Zoo in Gefangenschaft geschlüpft waren (Humboldt- und Königspinguine) oder Erwachsenen (Eselspinguine). Die verwendeten psychoakustischen Methoden bestanden darin, die Pinguine darauf zu trainieren, anzugeben, ob sie einen durch eine bestimmte Frequenz und Intensität charakterisierten Ton hörten. Dieser Ansatz sollte letztendlich Audiogramme (d. h. die Frequenz- und Intensitätsschwelle, ab der Pinguine hören können) sowohl für Luftschall als auch für Unterwasserschall erzeugen. Da zuvor keine Pinguine für bioakustische Untersuchungen trainiert worden waren, war es schwer vorherzusehen, wie lange der Trainingsprozess zur Messung von Audiogrammen bei diesen Vögeln dauern würde. Da die Datenerfassung länger dauerte als erwartet, wurde der wissenschaftliche Teil des Projekts, der ursprünglich bis April 2021 geplant war, bis September 2022 verlängert.

In allen Einrichtungen begann das Training der Pinguine mit grundlegenden Befehlen, damit sie sich mit ihrer Trainingsumgebung vertraut machen und an der Stelle stillstehen, an der bei zukünftigen Messungen Schallsignale abgespielt werden sollten. Bei dem im DMM und im Zoo Odense durchgeführten Lufttraining wurden die Pinguine außerdem schrittweise darauf trainiert, auf Kommandos zu reagieren, während sie in einer schalldichten Kammer immer mehr

vom Trainer isoliert wurden. Die Pinguine wurden dann darauf trainiert, ein einfaches Tonsignal (z. B. einen 2-kHz-Ton) mit einer Verhaltensreaktion zu assoziieren, indem sie ein Ziel berührten, wenn ein Ton in der Kammer abgespielt wurde. Nach fast zwei Jahren intensiven Trainings konnte mit der eigentlichen Audiogramm-Messung an den vier am DMM trainierten Humboldt-Pinguinen begonnen werden. Diese Messungen dauerten zwei Jahre, bis alle notwendigen Rohdaten zur Erstellung der Audiogramme gesammelt waren. Die Messungen zeigen, dass Humboldtpinguine am besten zwischen 1 und 4 kHz hören können. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit einem anderen Audiogramm, das kürzlich bei großen Kormoranen (*Phalacrocorax carbo*) mit psychoakustischen Methoden gemessen wurde. Die Ähnlichkeit der Frequenzabhängigkeit der Sensitivität des Gehörs bei tief tauchenden Pinguinen und flacher tauchenden Kormoranen lässt vermuten, dass das Hörvermögen von Seevögeln ähnlich ist, unabhängig davon, welche Tauchtiefe sie erreichen können. Ein Artikel über den Trainingsprozess der Humboldt-Pinguine bei der DMM wurde bei Applied Animal Behaviour Science 2022 veröffentlicht, und ein weiterer Artikel über die Ergebnisse der Messungen ist in Vorbereitung.

In den vier Jahren des Projekts „Hearing in Penguins“ waren wir nicht in der Lage, Audiogramme durch psychoakustische Messungen bei Königspinguinen zu messen, da ihre Trainingsfortschritte in der Luft zu langsam waren. Schließlich wurde beschlossen, sie nicht mehr zu trainieren und stattdessen Felsenpinguine für die Aufgabe zu trainieren, da sie auf die Trainingsaktivitäten besser zu reagieren schienen. Die ersten Daten von zwei Felsenpinguinen deuten darauf hin, dass sie in der Luft alle getesteten Frequenzen (1, 2 und 4 kHz) bei Lautstärken von mehr als 50 dB re 20 µPa hören können, ihr Hörvermögen nimmt jedoch bei niedrigeren Lautstärken ab.

Abgesehen davon, dass die Königspinguine nur langsam in der Luft trainiert werden können, wollten die Königspinguine für die Trainingsaktivitäten nicht von selbst in ihr Wasserbecken tauchen, so dass sie nicht, wie ursprünglich im Projekt geplant, unter Wasser trainiert werden konnten. Im Gegensatz zu den Königspinguinen gelang es uns, die Humboldt-Pinguine im MSC unter Wasser zu einem gewissen Grad zu trainieren. Aufgrund einer Reihe von unerwarteten Schwierigkeiten, konnten wir jedoch auch bei dieser Art keine Unterwasser-Audiogramme messen. Zu diesen Schwierigkeiten gehörte, dass wir mitten im Projekt die gesamte Trainingsinfrastruktur im MSC umbauen mussten, um die Pinguine unter Wasser zu trainieren. Diese baulichen Anpassungen waren notwendig, um zu verhindern, dass die Humboldt-Pinguine während der Trainingseinheiten gemeinschaftlich im Wasser verblieben, anstatt individuell trainiert zu werden. Außerdem konnten die Pinguine während der Mauser im Sommer wegen ihres hohen Energiebedarfs und wegen der dann fehlenden Gefiederabdichtung im Wasser in allen Einrichtungen kaum trainiert werden. All diese Schwierigkeiten führten zu langen Verzögerungen bei den Trainingsaktivitäten und Fortschritten. Zusätzlich zu diesen Schwierigkeiten bestand die größte Herausforderung darin, die Pinguine während der Arbeitseinschränkungen, die durch die Coronavirus-Pandemie während eines großen Teils der Jahre 2020 und 2021 eintraten, weiter zu trainieren. Diese Einschränkungen reduzierten entweder die Trainingsaktivitäten (DMM, SDU) oder verhinderten sie ganz (MSC). Ein Ornithose-Ausbruch, der im MSC in der Mitte des dritten Projektjahres auftrat, führte zur vollständigen Beendigung aller Trainingsaktivitäten in dieser Einrichtung.

Audiogramme können nicht nur durch psychoakustische Methoden gemessen werden, sondern auch durch neurophysiologische Methoden wie die Messung der Akustisch Evozierten Potentiale (AEP). Diese Methode basiert auf der Verwendung von Elektroden, die unter der Haut angebracht werden und die Aktivität des Hirnstamms von Tieren messen, denen verschiedenen Töne mit bestimmten Frequenz- und Intensitätsmerkmalen vorgespielt werden. Diese Methode

wurde bereits erfolgreich bei verschiedenen Vogelarten, einschließlich Wasservögeln (z. B. Enten, Seetaucher, Basstölpel, Kormorane, Alkenvögel), eingesetzt. AEP-Messungen sind einfacher umzusetzen als psychoakustische Methoden, da die überwachten Tiere nicht trainiert werden müssen. Allerdings erfordern AEP-Messungen die Sedierung der überwachten Tiere, was ihre Praktikabilität und ihre allgemeine ethische Akzeptanz einschränken kann. Um diese Einschränkungen zu umgehen, wurde an der SDU und am DMM im Rahmen unseres Projekts eine innovative Methode entwickelt, die AEP-Messungen ohne Sedierung der Vögel ermöglicht. Einerseits wurden an der SDU spezielle Elektroden entwickelt, um AEPs zu messen, indem sie direkt auf die Kopfhaut der Pinguine geklebt wurden und andererseits wurden Humboldt-Pinguine am DMM darauf trainiert, Kontaktelektroden auf ihrer Schädelhaut zu tolerieren. Zum ersten Mal konnten mit dieser Methode nutzbare AEPs bei wachen Pinguinen als Reaktion auf breitbandige Klickreize gemessen werden. AEP-Reaktionen wurden bei Reizpegeln zwischen 50 und 100 dB beobachtet, was zu einer geschätzten Hörschwelle von 48 dB re 20 μ Pa für den Klickreiz führte. Diese schnelle und zuverlässige Methode zur Messung des AEP bietet daher einen vielversprechenden Ansatz für künftige Studien zur Untersuchung des Hörvermögens von Pinguinen.

Um eine Referenz für die bei Pinguinen gemessenen Audiogramme zu setzen, wurde eine Audiogramm-Datenbank ([Animal Audiogram Database](#)) erstellt und im Jahr 2020 online gestellt. Diese Datenbank sammelt Audiogramme, die bisher bei aquatischen Wirbeltieren (hauptsächlich Wale und Robben) gemessen wurden und in der wissenschaftlichen Literatur verfügbar sind. Die Datenbank ist frei zugänglich und ist als Repositorium für Studien vorgesehen, die Audiogramme bei beliebigen Tierarten messen und veröffentlichen. Zu diesem Zweck wurde Anfang 2021 ein Workshop mit Audiogramm-Experten aus der ganzen Welt organisiert, um mögliche Verbesserungen zu diskutieren, die der Datenbank hinzugefügt werden können. Schließlich wurde ein Artikel über die Tieraudiogramm-Datenbank beim Journal of the Acoustical Society of America Anfang 2022 veröffentlicht.

Ziel des Projekts „Hearing in Penguins“ war es, nicht nur das Hörvermögen der Pinguine durch die Messung von Audiogrammen zu untersuchen, sondern auch andere Methoden zur Beurteilung ihrer Höranpassungen einzusetzen. So wurde die knöchernen Struktur des Ohres von neun Pinguinarten (die bis auf eine alle Pinguinarten abdecken) mit CT-Scans analysiert und mit tauchenden Wasservögeln aus drei verschiedenen Ordnungen (Suliformes, Charadriiformes, Anseriformes) im MfN verglichen. Es wurden Pinguinexemplare aus den Vogelsammlungen des MfN und des DMM ausgewählt. Zusätzlich wurden Exemplare von drei verschiedenen Pinguinarten (Brillenpinguin; Eselspinguin, *Pygoscelis papua*; Kaiserpinguin, *Aptenodytes forsteri*) gefärbt, um ihre Weichteile zu visualisieren. Diese Scans wurden verwendet, um die inneren Gehörorgane der Pinguine mit einer speziellen Software zu rekonstruieren. [Videos der 3D-Modelle](#), die die Hörorgane zeigen, wurden aus den Scans erstellt und online als frei verfügbare Datenpublikationen veröffentlicht. Die Ergebnisse dieser anatomischen Untersuchungen zeigten ein kleineres Verhältnis des Trommelfells zur Columella-Fußplatte bei Pinguinen im Vergleich zu anderen Wasservögeln. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die relative geringe Größe des Trommelfells bei Pinguinen einen Schutzmechanismus darstellen könnte, möglicherweise als Anpassung an das Unterwasserhören. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass das Restvolumen des Ohres, gemessen anhand von CT-Scans, proportional zur Oberfläche des runden Fensters ist, was darauf hindeutet, dass die Hörfähigkeit von Pinguinen beim Tauchen wahrscheinlich erhalten bleibt.

Möglicherweise ist dies der Grund dafür, dass Eselspinguine bei einem im Zoo von Odense durchgeführten Playback-Experiment Geräuschquellen unter Wasser mieden. Die Tatsache, dass Eselspinguine auf Geräuschquellen unter Wasser mit einer überraschend niedrigen

Reaktionsschwelle reagieren, deutet außerdem darauf hin, dass akustische Hinweise für diese tauchenden Vögel von großer Bedeutung sein könnten. Durch akustische Konditionierung von Eselspinguinen auf einen Ton, gefolgt von der Präsentation eines Fisches in der Nähe des Lautsprechers durch ein "Fish Flush"-System, wurde im Zoo von Odense dementsprechend festgestellt, dass Pinguine Unterwassergeräusche mit Nahrung assoziieren können, was ihnen helfen könnte, in ihrem natürlichen Lebensraum Nahrung unter Wasser zu finden. Die Ergebnisse der anatomischen Untersuchung des Gehörs von Pinguinen wurden 2020 in der Fachzeitschrift *Proceedings of Meetings on Acoustics* veröffentlicht und die Ergebnisse des Unterwasser-Playback-Experiments bei Eselspinguinen wurden 2020 in der Fachzeitschrift *Royal Society Open Science* veröffentlicht. Die Ergebnisse des Konditionierungsexperiments wurden in der Zeitschrift *Biology Open* 2022 veröffentlicht.

Parallel zu den wissenschaftlichen Ansätzen, die im Projekt „Hearing in Penguins“ verwendet wurden, wurde eine Kommunikationsstrategie entwickelt, um über das Projekt selbst und über das Thema Unterwasserlärm im Allgemeinen zu kommunizieren. Zu diesem Zweck wurde sowohl vom MfN als auch vom DMM eine große Vielfalt an Ansätzen genutzt, die das Projekt und das Thema „Unterwasserlärm“ sowohl in der wissenschaftlichen Gemeinschaft als auch in der Öffentlichkeit sehr sichtbar machten.

Das Projekt wurde zunächst auf verschiedenen wissenschaftlichen Konferenzen vorgestellt (z. B. „International Penguin Conference“, „The Effect of Aquatic Noise“, „International Conference on Acoustics“, „African Bioacoustic Conference“) und dem Projekt wurde sogar ein ganzes Symposium während der Jahrestagung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft im Jahr 2020 gewidmet. Informell wurde es auch bei einem Pinguin-Workshop der Berufsgenossenschaft der Tierpfleger im Opel-Zoo Kronberg, bei einem Seeelefanten-Treffen am Chizé Center for Biological Studies (CNRS, Frankreich) und bei der von der SDU organisierten Summer School on Acoustic Communication vorgestellt. Insgesamt wurde das Projekt „Hearing in Penguins“ gut aufgenommen und allgemein als neuartig, zeitgemäß und gut mit aktuellen wissenschaftlichen Fragestellungen verknüpft angesehen.

Um über das Projekt zu kommunizieren, nahmen wir auch an großen Veranstaltungen für die Öffentlichkeit wie der „Langen Nacht der Museen“ im MfN und im DMM teil, bei denen die Ergebnisse der 3D-Modelle und die entsprechenden Pinguin-Vokalisationen vorgestellt wurden. Auch im Rahmen des „Familiensommers“ und des „Weltpinguintages“ 2019 wurden kommentierte Trainingseinheiten im DMM durchgeführt. Eine Podiumsdiskussion mit Experten zum Thema Unterwasserlärm (z. B. Politiker, NGO-Vertreter, Wissenschaftler) wurde am Ende des Projekts auch online organisiert, mit dem Ziel das Bewusstsein für diese meist übersehene, aber wachsende Umweltstörung zu schärfen. Zum ursprünglich geplanten Ende des Projekts (April 2021) wurde außerdem ein Abschlusstreffen organisiert, um die Fortschritte und Ergebnisse des Projekts zusammenzufassen. Wir erweiterten auch den Rahmen unseres Projekts, indem wir Forscher, die in verwandten Bereichen arbeiten (z. B. Luftmessungen von AEP-Audiogrammen bei Alken, Vermeidung von seismischen Untersuchungsaktivitäten durch Pinguine) einluden, ihre Forschung zu präsentieren. Alle diese Veranstaltungen waren mit dem Jahresthema „Kein Lärm Meer“ des DMM gekoppelt.

Um das Projekt online sichtbarer zu machen, erstellten wir einen Instagram-Kanal, auf dem Nachrichten über das Projekt regelmäßig gepostet wurden. Außerdem wurde eine Informationsplattform über Unterwasserlärm (Lautes Meer – Meereslaute) entwickelt und anlässlich des „International Noise Awareness Day“ (2020) online gestellt. Die Plattform enthält informative Hintergrundinformationen über Unterwasserlärm, einen Link zu einem Video über Unterwasserlärmverschmutzung, das für das Projekt erstellt wurde und Informationen über das Projekt „Hearing in Penguins“ einschließlich eines Projekt-Blogs mit 20 Artikeln und interaktive

Inhalte (ein Audio-Quiz über Unterwassergeräusche, einen Unterwasser-Soundmixer, mit dem Menschen begreifen können, wie Tiere ihre akustische Umgebung unter Wasser wahrnehmen, insbesondere wenn sie Lärm anthropogenen Ursprungs ausgesetzt sind). Um die neue Webplattform zu bewerben, haben wir zwei Online-Vorträge anlässlich des „Weltpinguintages“ (2020) und des „Tages gegen Lärm“ (2020) veranstaltet und eine Online-Kampagne auf den Social-Media-Kanälen des MfN organisiert. Ein Making-of-Video, das sich auf die im MfN angefertigten CT-Scans konzentriert und einen kurzen Überblick über das Projekt beim DMM gibt, wurde fertiggestellt und 2019 online gestellt. Ein Erklärvideo über die Lärmbelastung unter Wasser wurde ebenfalls erstellt und 2020 veröffentlicht, und es wurde ein Sonic Chair entwickelt, mit dem die Nutzer Unterwassergeräusche auf eine noch nie dagewesene Weise erleben und sich gleichzeitig über Unterwassergeräusche informieren können.

Schließlich haben wir während des gesamten Projekts aktiv mit wichtigen Medien interagiert (z. B. Focus, Die Zeit, die Welt), die zwischen Januar 2018 und April 2021 (als unsere Kommunikationsstrategie endete) etwa 450 mal über das Projekt kommuniziert haben.

Insgesamt war das Projekt „Hearing in Penguins“ erfolgreich, da die überwiegende Mehrheit der ursprünglich geplanten Ziele erreicht wurde. Aufgrund unseres mangelnden Vorwissens über die Dauer des Trainings von Pinguinen für wissenschaftliche Zwecke und vor allem aufgrund der oben erwähnten unerwarteten Schwierigkeiten konnten jedoch nicht alle unsere ursprünglichen Ziele erreicht werden (z. B. Unterwasseraudiogramme), und der wissenschaftliche Teil des Projekts musste verlängert werden. Dank der bereits veröffentlichten Ergebnisse des Projekts „Hearing in Penguins“ sowie der von uns geleisteten Kommunikationsarbeit über das Projekt und die Unterwasserlärmbelastung hoffen wir, dass das Projekt „Hearing in Penguins“ eine Inspirationsquelle für andere Forschungsteams sein wird, die an tauchenden Vögeln im Allgemeinen und an Pinguinen im Besonderen arbeiten.

Summary

Although penguins (order: Spheniciformes) probably show specific hearing adaptations as a result of their amphibious lifestyle, almost nothing was known about their hearing capacity both in-air and under water before the project "Hearing in Penguins" was launched in January 2018. Hearing data on penguins are needed, as these birds are increasingly exposed to sounds of anthropogenic origin in their natural environment. However, whether higher sound exposure levels represent a threat for penguins is currently unknown. Knowledge on the hearing capacity of penguins is therefore necessary for stakeholders to formulate guidelines regarding the regulation of human sound production in the birds' environment. The motivation of "Hearing in Penguins" was to learn what penguins acoustically perceive and how they react when being exposed to different sources of noise. One early study on the hearing of African penguins (*Spheniscus demersus*) had shown that they hear best between 0.2 and 4.0 kHz in air. This study used an invasive approach which could no longer be used today because of ethical concerns. Moreover, whether the results of this study applied to other penguin species remained unknown. Finally, no investigation at all had been conducted on the hearing capacity of penguins under water, despite the ability of these diving birds to reach the greatest depths among all existing bird species.

In this context, the Deutsches Meeresmuseum (DMM, Stralsund), the Marine Science Center (MSC, Rostock), the University of Southern Denmark (SDU, Odense) and the Museum für Naturkunde (MfN, Berlin) formed a consortium and worked together within the project "Hearing in Penguins" between January 2018 and September 2022. The main aim of the project "Hearing in Penguins" was twofold: (1) investigating the hearing capacity of penguins in the air and under water, and (2) science communication about the ongoing underwater sound pollution.

During the project "Hearing in penguins", the investigation of the hearing capacity of penguins was mostly based on psychoacoustic methods conducted on three penguin species held in captivity at the DMM (Humboldt penguins; *Spheniscus humboldti*), MSC (Humboldt penguins) and Odense Zoo/SDU (king penguins; *Aptenodytes patagonicus*, and Northern rockhopper penguins; *Eudyptes moseleyi*). Penguins involved in the project were either juveniles recently hatched in captivity at the DMM or at the Odense Zoo (Humboldt and king penguins) or adults (rockhopper penguins). The psychoacoustic methods used consisted in training penguins to indicate if they heard a tone characterized by a certain frequency and intensity. This approach was expected to ultimately produce audiograms (i.e., the frequency and intensity threshold above which penguins can hear), both for in-air and underwater sounds. No training had been previously performed on penguins for bioacoustics investigations. It was therefore challenging to anticipate how long the training process would take to measure audiograms in these birds. Because data collection took longer than expected, the scientific part of the project, which was originally planned to end in April 2021, was extended until September 2022.

In all institutions, the training of penguins started with basic commands for them to get familiar with their training environment and to stay still at the place where sound signals were to be played during future measurements. For the in-air training conducted at the DMM and the Odense Zoo, penguins were also progressively trained to respond to commands while being more and more isolated from the trainer and enclosed in a sound-proof chamber. Penguins were then trained to associate a simple sound signal (e.g., 2 kHz tone) with a behavioral response by touching a target when a tone was played in the chamber. After almost two years of intensive training, it was possible to start the actual in-air audiogram measurement on the four Humboldt penguins trained at the DMM. These measurements lasted two years before all the raw data necessary to generate audiograms were collected. These audiograms show that Humboldt

penguins hear best between 1 and 4 kHz in-air. This result is comparable to the other audiograms recently measured in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) through psychoacoustic methods. The similarity in frequency range of hearing in deep-diving penguins and more shallow-diving cormorants suggest that the hearing capacity of sea birds is similar, irrespective of the diving depth they can reach. An article about the training process of the Humboldt penguins at the DMM was published 2022 in *Applied Animal Behaviour Science*, and another article about the results is in preparation.

Within the four years of the project “Hearing in Penguins”, we were not able to measure in-air audiograms through psychoacoustics in king penguins as their training progress was too slow. Eventually, it was decided to stop training them and to instead train Northern rockhopper penguins for this task, as they appeared more responsive to training activities. The first data on two rockhopper penguins suggested that they could hear in the air all tested frequencies (1, 2 and 4 kHz) for intensities higher than 50 dB re 20 μ Pa, but their hearing capacity decreased for lower intensities.

In addition to their slowness to be trained in the air, king penguins were reluctant to dive into their water tank for training activities, so that they could not be trained underwater as originally planned in the project. In contrast to king penguins, we managed to train Humboldt penguins under water to some extent at the MSC. However, because of a variety of unexpected difficulties, we were not able either to measure underwater audiograms in this species. Among these difficulties, we had to redesign the entire training infrastructure at the MSC to train penguins underwater in the middle of the project. These structural adjustments were necessary to prevent Humboldt penguins from staying all together in water during training sessions instead of being individually trained. Moreover, in all institutions, penguins could hardly be trained when moulting in summer because of their high energetic demand and because of a lack of plumage waterproofing. All these difficulties resulted in long delays in training activities and progress. On top of these difficulties, the most important challenge that we faced was to keep training penguins during the work restrictions imposed by the coronavirus lockdown during a large part of 2020 and 2021. These restrictions either reduced training activities (DMM, SDU) or entirely prevented them (MSC). Finally, an ornithosis outbreak that occurred at the MSC in the middle of the third year of the project resulted in the complete termination of all training activities at this institution.

Besides using psychoacoustic methods, audiograms can also be measured through neurophysiological measurements of Auditory Evoked Potentials (AEP). This method is based on the use of electrodes placed under the skin and measuring the activity of the brainstem of birds exposed to different tones with certain frequency and intensity characteristics. This method had already been successfully used in different bird species including waterbirds (e.g., ducks, loons, gannets, cormorants, auks). AEP measurements are more straightforward than psychoacoustic methods, as the monitored animals do not need to be trained. However, AEP measurements require the sedation of the monitored animals, which may limit their practicability and their general ethical acceptance. To circumvent these limitations, an innovative method allowing AEP measurements without sedating birds was developed at the SDU and the DMM during the course of our project. On the one side, custom electrode leads were developed at the SDU to measure AEP by directly sticking them on the skin of the head of penguins, while on the other sides, Humboldt penguins were trained at the DMM to wear electrodes in contact with their skull skin. For the first time, viable AEPs could be measured with this method on awake penguins in response to broadband click stimuli. AEP responses were observed at stimulus levels between 50 and 100 dB, resulting in an estimated auditory threshold of 48 dB re 20 μ Pa to the click

stimulus. This rapid and reliable method to measure AEP therefore provides a promising approach for future studies examining the hearing capacity of penguins.

In order to set a reference for the audiograms measured in penguins, an audiogram database (Animal Audiogram Database; <https://www.animalaudiograms.org/>) was created and launched online in 2020. This database gathers audiograms that have been measured in aquatic vertebrates (mostly cetaceans and pinnipeds) so far and are available in the scientific literature. The database is freely accessible and is designed to be used as a repository for studies measuring and publishing audiograms in any animal species. To optimize the database for its users, a workshop gathering audiogram experts from all over the World was organized in early 2021 to discuss potential improvements to add to the database. An article describing the Animal Audiogram Database was published in the Journal of the Acoustical Society of America in early 2022.

The aim of the project “Hearing of penguins” was not only to examine the hearing capacity of penguins through the measurement of audiograms but also to use other methods to assess their hearing adaptations. For instance, the bony structure of the ear of nine penguin species (covering all penguin genera except one) was analyzed with CT-scans and compared with that of diving waterbirds from three different orders (Suliformes, Charadriiformes, Anseriformes) at the MfN. Penguin specimens were selected from the bird collections of the MfN and the DMM. In addition, specimens from three different penguin species (African penguin; gentoo penguin, *Pygoscelis papua*; emperor penguin, *Aptenodytes forsteri*) were stained to visualize their soft tissues. These scans were used to reconstruct the internal auditory organs of penguins using specialized software. Videos of the 3D models (<https://doi.naturkundemuseum.berlin/data/10.7479/c5qd-xd79>) showing the auditory organs were created from the scans and were published online as freely available data publications. The results of these anatomical investigations showed a smaller ratio of the eardrum to the columella footplate in penguins compared to other waterbirds. This result suggests that the relatively small size of the eardrum of penguins may represent a protection mechanism, possibly as an adaptation of underwater hearing. Moreover, the residual volume of the ear, as measured from CT scans, was found to be proportional to the surface area of the round window, thereby suggesting that the hearing capacity of penguins is likely preserved during diving.

In line with this finding, gentoo penguins were found to avoid noise sources underwater during a playback experiment conducted at the Odense Zoo. Moreover, the fact that gentoo penguins avoided noise sources underwater with a surprisingly low reaction threshold suggests that acoustic cues may be of great importance for these diving birds. Accordingly, by acoustically conditioning gentoo penguins to a sound followed by the presentation of a fish close to the loudspeaker through a ‘fish flush’ system, it was also found at the Odense Zoo that penguins could associate underwater sounds with food, which may help them to locate food under water in their natural habitat. The results of the anatomical investigation of the ear of penguins were published in the journal Proceedings of Meetings on Acoustics and the results of the underwater playback experiment in gentoo penguins were published in the journal Royal Society Open Science, both in 2020. The results of the conditioning experiment were published in Biology Open in 2022.

In parallel to the scientific approaches used in the project “Hearing in Penguins”, a great effort was made to communicate about the project itself and about underwater noise pollution more generally. Towards this end, a great variety of approaches was used by both the MfN and the DMM, which made the project and the topic “underwater noise” highly visible to both the scientific community and the general public.

The project was presented during different scientific conferences (e.g., “International Penguin Conference”, “The Effect of Aquatic Noise”, “International Conference on Acoustics”, “African Bioacoustic Conference”) and an entire symposium was even devoted to the project during the annual meeting of the German Ornithological Society in 2020. It was also presented less formally during a penguin workshop organized by the professional association of animal keepers at the Opel Zoo in Kronberg, during an elephant seal meeting at the Chizé Center for Biological Studies (CNRS, France), and during the Summer School on Acoustic Communication organized by the SDU. Overall, the project “Hearing in Penguins” was well received by the scientific community and generally considered as novel, timely and well-integrated with current scientific questions.

To communicate about the project, we also participated in major events for the general public such as the “Long Night of Museums” at the MfN and the DMM, during which the results of the 3D models and the corresponding penguin vocalizations were presented. Moreover, commented training sessions were conducted at the DMM during the “Family Summer” and “World Penguin Day” 2019. A podium discussion gathering experts on underwater noise (e.g., politicians, NGO representatives, scientists) was also organized online at the end of the project to raise awareness on this mostly-overlooked but growing environmental disturbance. Finally, a closing meeting was organized at the originally-planned end of the project (April 2021) to summarize the progress made and the results obtained during the project. On this occasion, we also broadened the scope of our project by inviting researchers working in related fields (e.g., in-air measurements of AEP audiograms in Alcids, avoidance of seismic survey activities by penguins) to present their research. All these communication events were coupled with the annual topic “Kein Lärm Meer – No Noisy Sea” at the DMM.

To make the project more visible online, we created an Instagram account where news about the project were regularly posted. An information platform about underwater noise (Lautes Meer – Meereslaute) was also developed and launched online on the occasion of the “International Noise Awareness Day” (2020). The platform includes informative background on underwater noise, a link to a video on underwater noise pollution that we created and published online in 2020, information about the project “Hearing in Penguins” including a blog with 20 articles, and interactive content (an audio quiz on underwater sounds, an underwater sound mixer for people to grasp how animals perceive their acoustical environment under water, especially when being exposed to noise of anthropogenic origin). To promote the new web platform, we hosted two online lectures on the occasion of the “World Penguin Day” (2020) and the “Day Against Noise” (2020) and organized an online campaign on MfN’s social media channels. A making-of video focusing on the CT scans made at the MfN and providing a brief overview of the project at the DMM was completed and launched online in 2019. An explanatory video on underwater noise pollution was also created and published in 2020, and a Sonic Chair was developed for users to experience underwater soundscapes in an unprecedented way while getting informed about underwater sounds.

Finally, throughout the project, we actively interacted with major media (e.g., Focus, Die Zeit, die Welt, NDR, BR), which communicated approximately 450 times about the project between January 2018 and April 2021 (when our communication strategy ended).

Overall, the project “Hearing in Penguins” was successful, as the vast majority of the originally planned objectives were reached. However, because of our lack of pre-knowledge about the duration of the training of penguins for scientific purposes and most importantly because of the unexpected difficulties mentioned above, not all our original goals could be achieved (e.g., underwater audiograms), and the scientific part of the project had to be extended. Thanks to the results already published by the project “Hearing in Penguins” as well as the communication work we made about the project and underwater noise pollution, we hope that the project

“Hearing in Penguins” will be a source of inspiration for other research teams working on diving birds in general and in penguins in particular.

1 Hintergrund

1.1 Ziele

Obwohl Pinguine (Ordnung: Spheniciformes) vermutlich aufgrund ihrer amphibischen Lebensweise spezifische Anpassungen des Gehörs aufweisen, war vor dem Start des Projekts „Hearing in Penguins“ im Januar 2018 fast nichts über ihr Hörvermögen bekannt. Dies war problematisch, da Pinguine in ihrer natürlichen Umgebung zunehmend Geräuschen anthropogenen Ursprungs ausgesetzt sind. Ob diese höhere Lärmbelastung eine Bedrohung für Pinguine darstellt, ist derzeit noch unbekannt. Es bestand daher ein großer Bedarf zu wissen, was Pinguine akustisch wahrnehmen und wie sie reagieren, wenn sie verschiedenen Geräuschquellen ausgesetzt sind. Dieses Wissen über das Hörvermögen von Pinguinen ist für Behörden unerlässlich, um mögliche Richtlinien bezüglich der Regulierung der Schallerzeugung in der Umgebung von Pinguinen abzuleiten.

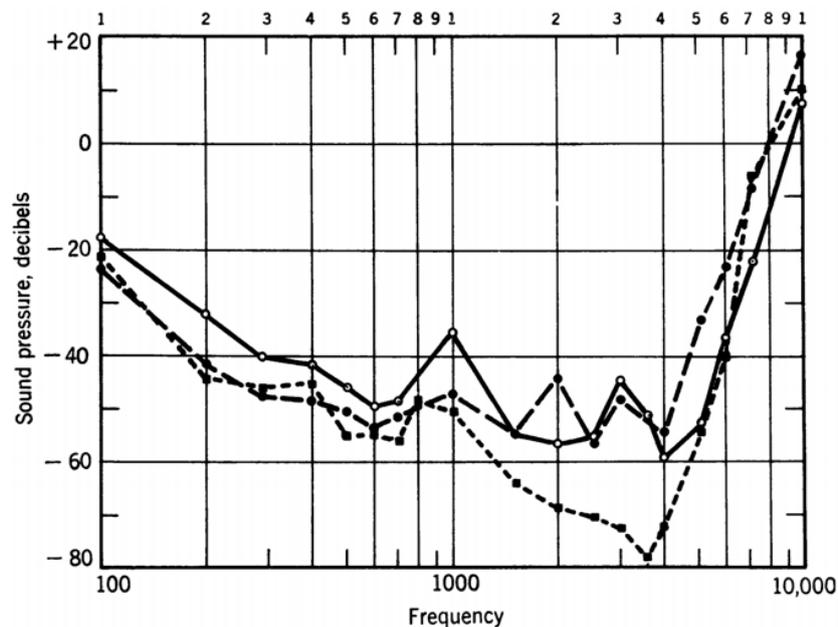
In diesem Zusammenhang war das Hauptziel des Projekts „Hearing in Penguins“, unser Wissen über das Hörvermögen von Pinguinen zu verbessern, um die Auswirkungen von Umweltgeräuschen sowohl in der Luft als auch unter Wasser bewerten zu können. Zu diesem Zweck wollten wir:

- ▶ das Hörvermögen von Pinguinen mit Hilfe von psychoakustischen Methoden und durch die Entwicklung einer nicht-invasiven neurophysiologischen Methode (Auditiv Evozierte Potentiale, AEP) an Luft und unter Wasser untersuchen,
- ▶ das öffentliche Bewusstsein für Unterwasserlärm durch innovative Kommunikationsmethoden schärfen.

1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Das Hörvermögen von Tieren wird typischerweise durch Audiogramme dargestellt (d. h. die Frequenz- und Intensitätsschwelle, ab der Tiere hören können; **Abbildung 1**). Obwohl viele Wasservogelarten tauchen, um ihre Nahrung zu erbeuten (was wahrscheinlich zu Anpassungen ihres Hörvermögens geführt hat), sind Audiogramme bei dieser Tiergruppe bisher kaum gemessen worden. Dennoch fanden Wever et al. (1969) mit Hilfe einer invasiven Methode heraus, dass Brillenpinguine (*Spheniscus demersus*) in der Luft zwischen 0,2 und 6,0 kHz am besten hören, trotz erheblicher Unterschiede zwischen den untersuchten Individuen (**Abbildung 1**). Ob diese Ergebnisse auch für andere Pinguinarten gelten, war nicht bekannt. Darüber hinaus war überhaupt keine Untersuchung über das Hörvermögen von Pinguinen unter Wasser durchgeführt worden, obwohl diese tauchenden Vögel die größten Tiefen unter allen existierenden Vogelarten erreichen können.

Abbildung 1: Aufzeichnungen von Audiogrammen in der Luft bei drei Brillenpinguinen

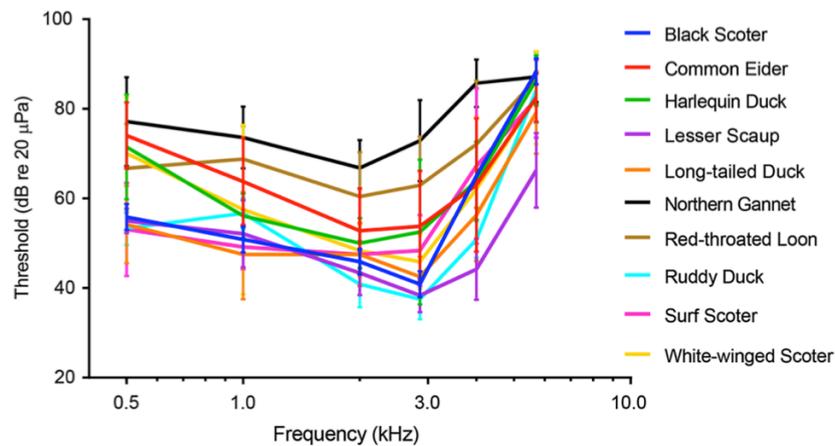


Quelle: Daten nach Wever et al. 1969.

Solche invasiven Ansätze, wie sie in der Vergangenheit zur Messung von Audiogrammen verwendet wurden, können heute aus ethischen Gründen nicht mehr eingesetzt werden. Diese Methoden müssen daher durch weiterentwickelte Ansätze ersetzt werden. Zum Beispiel kann das Hörvermögen von Tieren mit psychoakustischen Methoden untersucht werden (Okanoya and Dooling 1987). Bei der Aufnahme solcher Audiogramme müssen die Tiere darauf trainiert werden, z. B. durch Drücken eines Knopfes anzuzeigen, ob ein akustisches Signal wahrgenommen wird oder nicht. Dabei kann eine „Stair Case“ Prozedur verwendet werden, bei der nach einer Aufwärmphase die Signale von einem deutlich hörbaren Pegel reduziert werden, bis das Tier das Signal nicht mehr wahrnimmt. Anschließend wird die Lautstärke erhöht, bis das Tier wieder anzeigt, dass es das Signal wahrnimmt. Dieser Vorgang wird ein- oder zweimal wiederholt, um die Hörschwelle als Mittelwert der Umkehrpunkte zu beschreiben. Alternativ kann die Methode der konstanten Reize verwendet werden, die darin besteht, einen festen Satz von Reizen (in der Nähe der Schwelle) wiederholt in einer zufälligen Reihenfolge zu präsentieren. In diesem Fall wird der Intensitätswert, der in 50 % der Zeit eine Erkennungsreaktion hervorruft, als Schwellenwert gewählt.

Zusätzlich zu den psychoakustischen Methoden kann das Hörvermögen von Tieren auch durch die Messung der auditorisch evozierten Potenziale (AEP) beurteilt werden, wobei Elektroden auf oder unter der Haut angebracht werden und die Aktivität des Hirnstamms von sedierten Tieren gemessen wird, die mit verschiedenen Tönen bestimmter Frequenz- und Intensitätsmerkmale beschallt werden (Ruser et al., 2014, 2016). Bei Vögeln wurde die Methode erfolgreich zuerst bei Spechten (Lohr *et al.* 2013) und Wellensittichen (*Melopsittacus undulatus*; Brittan-Powell et al., 2011; Brittan-Powell and Dooling, 2004; Noirot et al., 2011) eingesetzt, bevor sie bei tauchenden Wasservögeln verwendet wurde (Crowell et al., 2015, 2016; Mooney et al. 2019). Insbesondere die Arbeiten an tauchenden Enten und Seetauchern von Crowell et al. (2015, 2016) zeigen deutlich, dass die AEP-Methode sicher auf Wasservogel angewendet werden kann. Die in dieser Studie gemessenen Luft-Audiogramme zeigen eine deutliche Variabilität zwischen den Vogelarten und das beste Hörvermögen zwischen 2 und 4 kHz (**Abbildung 2**).

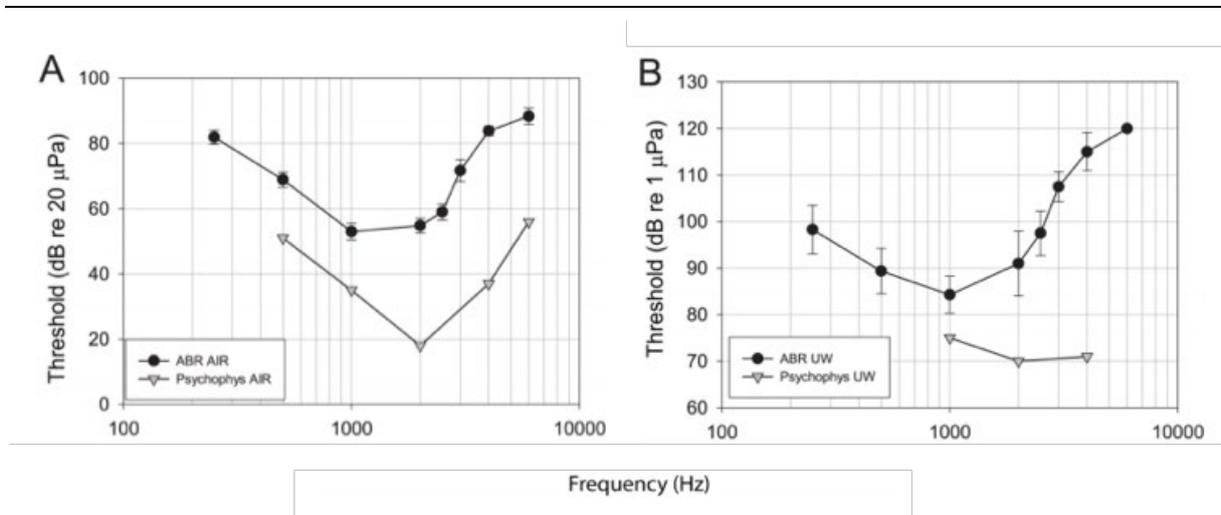
Abbildung 2: Luftschallaudiogramme von verschiedenen Vogelarten



Alle Audiogramme wurden mit der AEP-Methode aufgenommen. Quelle: Daten nach Crowell et al., 2015

Obwohl sowohl psycho- als auch neuroakustische Methoden zuverlässige Ergebnisse liefern können, zeigen frühere Vergleiche bei marinen Säugetieren, dass AEP-Audiogramme immer mit höheren Schwellenwerten verbunden sind, als psychoakustische Methoden, und direkte Vergleiche zwischen beiden Methoden bleiben daher schwierig (Wolski et al., 2003; Schlundt et al., 2007; Kastelein et al., 2010; Lucke et al., 2009; Ruser et al., 2016). Auch für die ersten Messungen von psychoakustischen und AEP Audiogrammen von Kormoranen (*Phalacrocorax carbo sinensis*) konnte dies vor kurzem ebenfalls bei Vögeln in der Luft und unter Wasser bestätigt werden (Abbildung 3; Larsen et al., 2020).

Abbildung 3: Vergleich zwischen AEP-Schwellenwerten und Schwellenwerten, die mit Verhaltensmethoden bei Kormoranen ermittelt wurden.

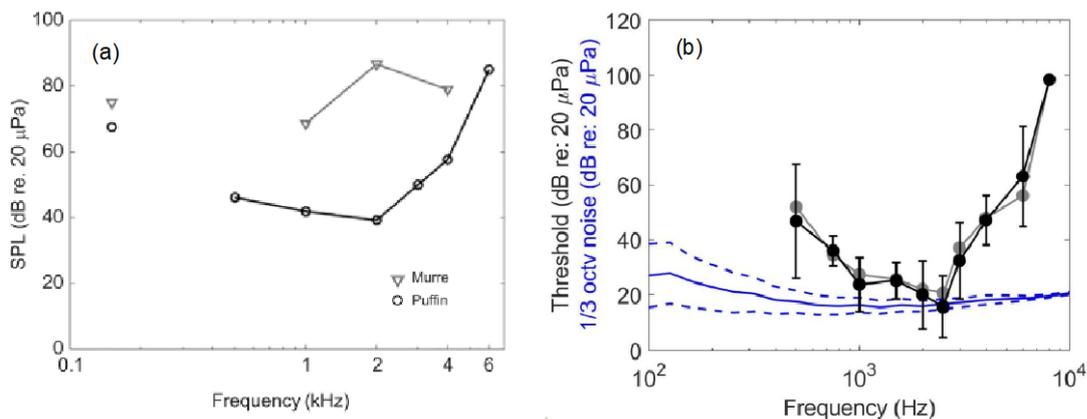


(A) Durchschnittliche AEP-Schwellenwertkurve in Luft von 12 Kormoranflüglings im Vergleich zur psychophysischen Schwellenwertkurve eines einzelnen erwachsenen Kormorans in Luft. (B) Durchschnittliche AEP-Schwellenwertkurve unter Wasser von 8 der 12 Kormoranflüglings im Vergleich zur psychophysischen Schwellenwertkurve eines einzelnen Kormorans unter Wasser. Quelle: Diagramme aus Larsen et al., 2020.

Die Forschung zum Hörvermögen von Meeresvögeln war während der Förderperiode des Projekts „Hearing in Penguins“ sehr aktiv. Dies zeigt, dass das Projekt wissenschaftlich zeitgemäß und gut in aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen eingebunden war. Zum Beispiel, bei einem Papageientaucher (*Fratercula arctica*) wurden vor kurzem bei 1-2 kHz die niedrigsten gemessenen Schwellenwerte in der Luft gefunden, mit einem allmählichen Anstieg

der AEP-Schwellenwerte bei tieferen Frequenzen und einem steileren Anstieg bei höheren Frequenzen (**Abbildung 4**; Mooney et al., 2019). Diese Ergebnisse wurden durch eine weitere AEP Studie bestätigt, die 2020 veröffentlicht wurde und neun Papageientaucher umfasste (auch wenn die Intensitätsschwellen niedriger waren; Mooney et al., 2020). Bei einer Trottellumme (*Uria aalge*) waren die Reizantworten höher und der Frequenzbereich schmaler (1-4 kHz mit keinen erkennbaren Reizantworten bei 3 kHz; **Abbildung 4**; Mooney et al. 2019, 2020).

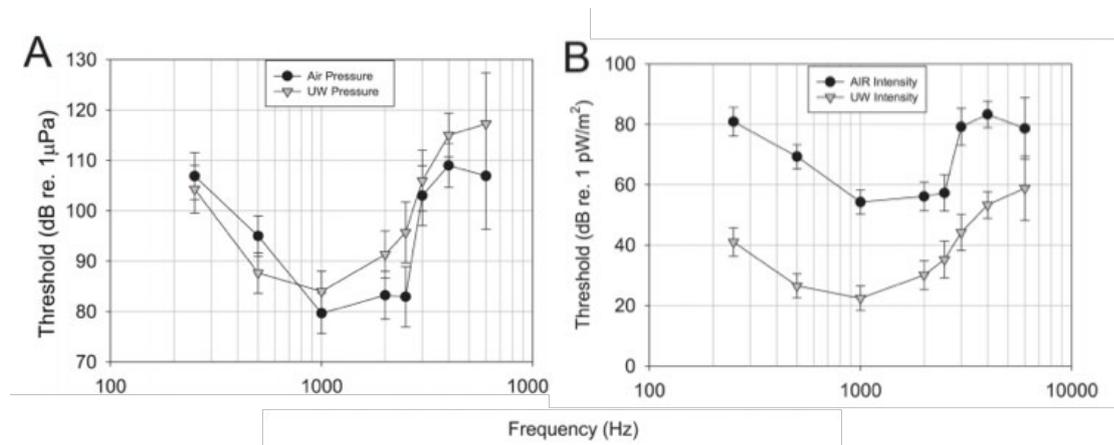
Abbildung 4: Audiogramme bei Alkenvögeln



(a) Berechnete AEP Schwellenwerte bei einem Papageientaucher und einer Trottellumme (die isolierten Punkte auf der linken Seite sind durch Klicken evozierte Ansprechschwellen; SPL: Schalldruckpegel in rms), (b) Mittlere und mediane Papageientaucher-Audiogramme. Mittelwert \pm s.d. (schwarz) und Median (grau) aller Papageientaucher. Umgebungsgeräuschprofil (blau; Mittelwert \pm s.d.) der Schallkammer. Quelle: Diagramme aus Mooney et al., 2019 und Mooney et al., 2020.

Bei Kormorannestlingen wurde auch vor kurzem die beste durchschnittliche Schalldruckempfindlichkeit bei 1 kHz gemessen, sowohl in Luft als auch unter Wasser (mit Kopf und Ohren 10 cm unter der Wasseroberfläche). Wenn die Schwellenwerte jedoch in Intensitätseinheiten verglichen werden, ist die Empfindlichkeit unter Wasser höher als in Luft (**Abbildung 5**; Larsen et al., 2020).

Abbildung 5: Vergleich der durchschnittlichen AEP-Schwellenwerte in der Luft und unter Wasser, die aus einem ANOVA-Modell mit wiederholten Messungen vorhergesagt wurden



(A) Das Modell sagte mittlere Schalldruckkurven in Luft und unter Wasser (dB relativ zu 1 µPa) voraus, die sich nicht signifikant unterschieden. (B) Gemessen als durchschnittliche Intensitätsschwellenwerte (dB relativ zu 1 pW/m²) sagte das Modell statistisch unterschiedliche Kurven in Luft und unter Wasser voraus. Quelle: Diagramme aus Larsen et al., 2020.

In all diesen rezenten Studien mussten die Vögel für die AEP-Messungen betäubt werden. Eines der Ziele des Projekts "Hearing in Penguins" war es, diese Einschränkung durch den Einsatz psychoakustischer Methoden zu umgehen und eine Technik zu entwickeln, die AEP-Messungen ohne Sedierung der Vögel ermöglicht.

Kürzlich wurden Aufnahmen von freilebenden Königs-, Makkaroni- (*Eudyptes chrysolophus*) und Eselspinguinen gemacht, die beim Fressen unter Wasser kurze Vokalisationen (ca. 0,05 s) mit einer Grundfrequenz zwischen 500 und 700 Hz und einer maximalen Frequenz zwischen 700 und 1100 Hz produzieren (Thiebault *et al.* 2019). Wenn diese Unterwasser-Vokalisationen zur Kommunikation zwischen tauchenden Pinguinen verwendet werden (die tatsächliche Funktion dieser Vokalisationen muss noch untersucht werden), deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass Pinguine unter Wasser in diesem Frequenzbereich hören können (was dem Unterwasser-Hörvermögen von Kormoranen entsprechen würde, wie in **Abbildung 5**).

2 Psychoakustische Messungen, die im Rahmen von “Hearing in Penguins” durchgeführt wurden

2.1 Psychoakustische Methoden

2.1.1 Allgemeines

Das Training für psychoakustische Messungen in der Luft wurde bei drei verschiedenen Pinguinarten durchgeführt: Humboldt-Pinguine (*Spheniscus humboldti*), Königspinguine (*Aptenodytes patagonicus*) und Tristanpinguine (Nördliche Felsenpinguine, *Eudyptes moseleyi*). Das Training für psychoakustische Unterwassermessungen wurde nur bei Humboldtpinguinen durchgeführt. In allen Fällen basierte das Training auf operanter Konditionierung mit positiver Verstärkung, wobei Fisch als primärer Verstärker verwendet wurde. Gleichzeitig wurden die Pinguine auf einen sekundären Verstärker (eine Pfeife) konditioniert, der die Möglichkeit bot, direkter auf das Verhalten des Tieres zu reagieren.

2.1.2 In-Luft Psychoakustik

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Doktorarbeit von Helen Rößler an der Universität Greifswald durchgeführt. Alle am DMM-trainierten Humboldt-Pinguine stammen von Paaren, die 2017 oder 2018 erfolgreich Küken beim DMM aufgezogen haben. Das Training der Pinguine begann im April 2018 mit vier 2017 geschlüpften männlichen Pinguinen (im Juli 2018 wurden zwei dieser Männchen zum Unterwassertraining zum MSC abgegeben). Vier weitere Pinguine, die 2018 geschlüpft sind (zwei Männchen, zwei Weibchen), wurden später ebenfalls trainiert, wobei die Männchen Ende 2018 ebenfalls zum MSC umzogen. Ab November 2018 wurden die Trainingseinheiten (**Abbildung 6**) der vier Pinguine im DMM (zwei Männchen, zwei Weibchen) ein- bis dreimal täglich (außer an Wochenenden) durchgeführt.

Abbildung 6: Training der Humboldt-Pinguine beim DMM



Von links nach rechts: Zieltraining mit individuellen Markierungen und mit immer weiterem Abstand der Pinguine zum Trainer. Schließlich wurde das Training in einer schalldichten Box durchgeführt, die komplett verschlossen war (d. h. die Pinguine konnten den Trainer nicht sehen) Quelle: eigene Darstellung, DMM

Der allererste Schritt bestand darin, den Pinguinen ihre jeweiligen Namen beizubringen, um mit ihnen einzeln arbeiten zu können. Dann wurde das Training auf mehrere Aufgaben erweitert: stationieren (den Kopf in einer konstanten Position auf eine Oberfläche legen), stillstehen,

verfolgen eines Ziels (um die Pinguine an die richtige Position zu führen). Ab Dezember 2018 wurde das Training sukzessive erweitert, um weitere Funktionen zu integrieren, u. a. das Training, ein Tonsignal (Stimulus) mit einer Antwort (Berührung eines anderen Targets) zu verknüpfen. Ein Artikel über den Trainingsprozess der Humboldt-Pinguine am DMM wurde geschrieben und 2022 in *Applied Animal Behaviour Science* publiziert (Rößler et al. 2022, Appendix A.7).

Im Frühjahr 2019 wurde eine schalldichte Box entworfen und aufgebaut. Schaumstoff, vier Lautsprecher und zwei Videokameras wurden angebracht und verbunden, um Töne in einer leisen Umgebung zu spielen und das Verhalten der Pinguine zu beobachten. Die Pinguine zeigten keine Schwierigkeiten, die Box zu betreten. Sobald der Pinguin die Box betrat und mit dem Schnabel auf einer Stütze blieb, wurde die Tür der Box leise geschlossen. Dann wurde ein 2 kHz Trainingston (1-3 s) aus einem Lautsprecher abgespielt und der Pinguin musste mit seinem Schnabel anzeigen, dass er den Ton gehört hatte (**Abbildung 6**). Alle vier Pinguine haben dieses Training erfolgreich absolviert und nach fast zwei Jahren intensivem Training konnte mit der Audiogrammmessung am DMM begonnen werden. Zu diesem Zweck wurde ein Labview-Skript für eine automatisierte, randomisierte, doppelblinde Konstantenmethode geschrieben. Dieses Skript wurde von einem Laptop mit angeschlossener Signalgebung (National Instruments, DAQ6366USB) aus ausgeführt, und der Ausgang war mit einem Verstärker verbunden, der zu einem Lautsprecher ging. Die Versuche wurden mit einem Schalter aktiviert. Eine Versuchsleuchte in der Box vor dem Pinguin wurde aktiviert und zeigte dem Tier den Beginn eines Versuchs an. Ein „Go“- oder „No Go“-Versuch wurde dem Trainer über eine grüne oder rote LED angezeigt. Die Reaktion des Tieres konnte dann über einen Kippschalter markiert werden, und ein unklarer Versuch konnte über einen separaten Knopf ungültig gemacht werden. Nachdem das Labview-Skript einen Monat lang getestet und angepasst wurde, konnten die ersten Hörtests Ende März 2020 planmäßig beginnen.

Die akustischen Testsitzungen begannen mit einem 2-kHz-Ton, der 600 ms lang gespielt wurde und für den Pinguin deutlich hörbar war. Nach einer Woche wurde die Schallintensität bei 2 kHz in 6-dB-Schritten von -6 bis -36 dB reduziert. In weiteren Versuchen wurde die Frequenz auf 1, 4 und 0,5 kHz geändert. Für jede Frequenz wurden Signale in -6-dB-Schallintensitätsschritten dargeboten, bis die Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Reaktion des Pinguins nahe bei 50 % lag (Gellermann 1933). Bei dieser konstanten Methode sank die Trefferquote der Pinguine und die Falschalarmrate stieg schnell an, wenn die Stimulusintensität verringert wurde. Um diese Einschränkung zu umgehen, wurde im Februar 2021 ein verbessertes Skript geschrieben und die Methode der konstanten Reize (eine Frequenz mit wechselnden Intensitäten in einer Sitzung) wurde für alle weiteren Testsitzungen verwendet. Wie empfohlen von (Green & Swets 1966), wendeten wir die Methode der konstanten Stimuli mit einer eingestellten mittleren Intensität um die erwartete Schwelle und zwei Intensitäten oberhalb und zwei unterhalb der Schwelle an, alle in 6-dB-Schritten. Nach jeder Hörtesteinheit wurden die Stimuli und das Hintergrundgeräusch zusätzlich am Kopf der Pinguine mit einem Schallpegelmesser gemessen, der mit einem Vorverstärker und einem Mikrofon verbunden war. Spektrale Geräuschpegel (etwa 5 dB rms re 20 μ Pa/Hz im Bereich 2-4 kHz) wurden mit einer geeigneten Software berechnet. Das Eigenrauschen des Schallpegelmessers betrug ebenfalls 2 - 4 kHz bei 5dB rms re 20 μ Pa/Hz, so dass der tatsächliche akustische Geräuschpegel sogar niedriger als diese Messungen gewesen sein kann.

Daten wurden für weitere Analysen berücksichtigt, wenn sie den folgenden Kriterien entsprachen: Pinguin-Aufmerksamkeit-Score ≥ 2 (drei Aufmerksamkeits-Scores; 1: nicht aufmerksam, 2: mäßig aufmerksam, 3: hoch aufmerksam), Fehllalarmrate $< 30\%$, Trefferquote $>$

50 %. Die Datenerfassung dauerte dank einer Verlängerung des wissenschaftlichen Teils des Projekts bis Dezember 2021.

2.1.2.1 Königspinguine (SDU)

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Doktorarbeit von Kenneth Sørensen an der SDU durchgeführt. Im April 2018 begann das psychoakustische Training an einem im Herbst 2017 geschlüpften weiblichen Königspinguin im Zoo Odense (Dänemark) und folgten den gleichen Schritten, die für Humboldt-Pinguine am DMM beschrieben wurden. Nach den ersten Monaten des Zieltrainings (Herbst 2018) wurde der Pinguin belohnt, wenn er anzeigte, dass er ein Geräusch hörte. Gleichzeitig wurde der Pinguin darauf trainiert, eine 1,0 x 2,0 x 1,4 m große schalldichte Box zu betreten, in der Messungen geplant waren. Im Jahr 2019 schloss sich ein zweiter weiblicher Königspinguin, der 2018 geschlüpft war, den Trainingsaktivitäten an. Im September 2019 waren die beiden Königspinguine bereit für die psychophysischen Tests in der schalldichten Box (**Abbildung 7**). Aufgrund der Langsamkeit der zu trainierenden Königspinguine sowie weiterer Schwierigkeiten (s. 9. unten) konnte jedoch während des Förderzeitraums des Projekts kein Audiogramm bei Königspinguinen gemessen werden. Dementsprechend wurde das Training der Königspinguine im Oktober 2020 endgültig abgebrochen. Stattdessen wurde beschlossen, zwei Tristanpinguine für psychophysische In-Luft-Audiogramme zu trainieren.

Abbildung 7: Training von Königspinguinen im Zoo Odense

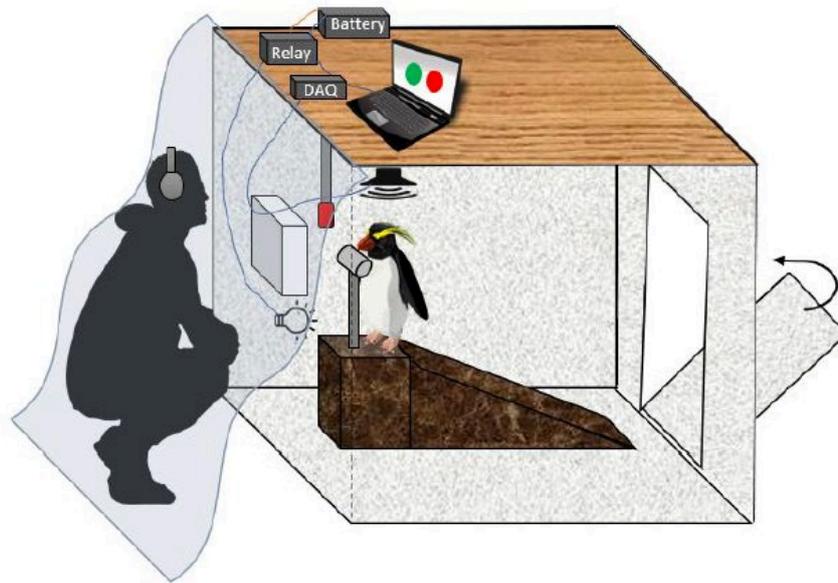


Links: Schalldichte Box mit offener Rückwand für die Audiometrie von Pinguinen. Rechts: Training eines Königspinguins in der Schallkammer im Zoo Odense. Quelle: eigene Darstellung, SDU

2.1.2.2 Tristanpinguine (SDU)

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Masterarbeit von Malou Friis Vittrup an der SDU durchgeführt (Friis Vittrup 2021). Mit der gleichen Methode wie bei den Humboldt- und Königspinguinen wurden zwei 2018 geschlüpfte Tristanpinguine von September 2020 bis Juli 2021 im Zoo Odense trainiert (**Abbildung 8**), da sie offenbar schneller trainiert werden konnten als Königspinguine. Die Datenerfassung begann Anfang Januar 2020 mit einer konstanten Algorithmusmethode. Drei Frequenzen (1, 2 und 4 kHz) und sechs Intensitätsstärken wurden in 83 Sitzungen (mit maximal 26 Versuchen pro Sitzung) getestet. Bei den Frequenzen 1 und 4 kHz betrug die Stimulusschrittweite 6 oder 12 dB. Bei 2 kHz betrug die Schrittweite 6 oder 16 dB.

Abbildung 8: Training von Tristanpinguinen im Zoo Odense



Versuchsaufbau für das Training von Tristanpinguinen in einer schalltoten Kammer. Während der Trainingseinheiten war die Tür geschlossen. Quelle: eigene Darstellung, SDU

2.1.3 Unterwasser Psychoakustik

Ursprünglich war geplant, Unterwasser-Audiogramme bei Königspinguinen im Zoo Odense und der SDU und bei Humboldt-Pinguinen im MSC zu messen. Die Königspinguine waren jedoch nicht bereit, zum Training in ihren Wassertank zu tauchen. Daher wurde beschlossen, das Training für psychoakustische Unterwassermessungen ausschließlich an Humboldt-Pinguinen im MSC durchzuführen. Diese Arbeiten wurden im Rahmen der Doktorarbeit von Tabea Lange (Universität Rostock) durchgeführt.

Im Mai 2018 wurde beim MSC ein Gehege gebaut, das den Bedürfnissen der Humboldt-Pinguine entspricht. Alle trainierten Pinguine stammen von Paaren, die 2017 oder 2018 erfolgreich Küken im DMM aufgezogen haben. Im Juli 2018 wurden die ersten beiden Männchen vom DMM zum MSC transportiert. Zwei weitere männliche Pinguine folgten im Dezember 2018 (s. 2.1.2.1).

Nach einer dreiwöchigen Eingewöhnungsphase an die neuen Bedingungen begann im August 2018 das Training der Pinguine mit einem Zeitplan von vier Trainingseinheiten pro Tag. Ähnlich wie bei den anderen Pinguinen bestand der erste Schritt darin, den Pinguinen ihre jeweiligen Namen beizubringen, um individuell mit ihnen arbeiten zu können. In den nächsten vier Monaten (September-Dezember 2018) wurden allgemeine Befehle für den täglichen Umgang und für die während des Trainings notwendige Kommunikation eingeführt:

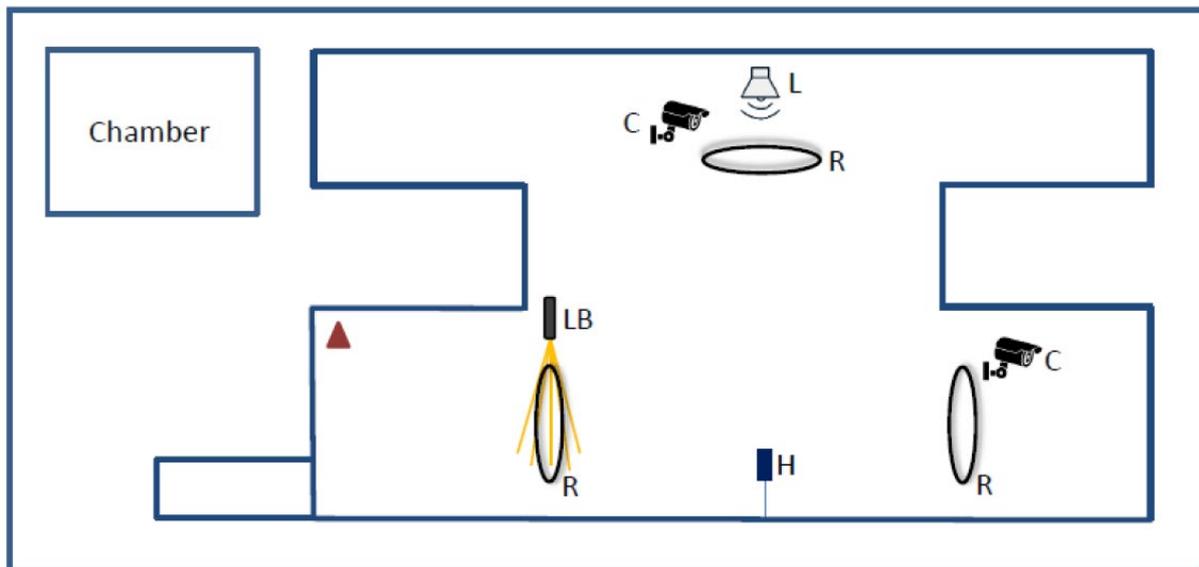
- ▶ „Komm“, in Kombination mit dem Namen des ausgewählten Tieres, wurde verwendet, um das Tier zu Beginn sowie während einer Trainingseinheit zu rufen.
- ▶ „Ziel“ forderte das Tier auf, mit dem Schnabel ein „Target“ zu berühren (d. h. ein Instrument, das es dem Trainer ermöglichte, ein Tier in einer bestimmten Position zu stationieren, es in eine neue Position zu lenken oder eine Reaktion auf einen Stimulus).
- ▶ „Warten“ wurde verwendet, um das Tier aufzufordern, eine unbestimmte Zeit zu warten, die erfolgreich durch den verstärkenden Pfiff oder ein neues Kommando beendet wurde. Bei korrekter Ausführung hielt das Tier in seinen Bewegungen inne und schaute den Trainer an. Dieses Kommando konnte z. B. bei der Bearbeitung einer Aufgabe während der laufenden

Sitzung oder zu Beginn eines jeden Versuchs während eines Experiments verwendet werden.

- „Folgen“ wurde mit einer nach-unten-zeigenden offenen Handfläche begleitet, der das Tier dann folgte. Dies konnte sowohl an Land als auch im Wasser erfolgen und ermöglichte es dem Trainer, das Tier während einer Trainingseinheit an einen neuen Ort zu bringen.

Aufgrund der Unfähigkeit von Pinguinen, unter Wasser in einer Position zu verharren, wurde das Experiment als „Go-/No-Go“-Experiment konzipiert, wobei erwartet wurde, dass das Tier gerade durch zwei Reifen tauchte, wenn kein Reiz wahrgenommen wurde, oder seine Schwimmrichtung um 90° in Richtung eines alternativen Reifens und damit der Schallquelle änderte, wenn ein Reiz wahrgenommen wurde. Zu diesem Zweck wurden die Pinguine darauf trainiert, dem allgemeinen Kommando „Folgen“ im Wasser, Schwimmen und Tauchen durch einen Reifen von 0,7 m Durchmesser zu befolgen. Letzteres war der grundlegende Schritt für das Experiment, bei dem die Tiere aufgefordert wurden, durch Reifen unter Wasser zu tauchen, um sie an die Position zu führen, an der der Stimulus präsentiert wurde (**Abbildung 9**).

Abbildung 9: Konzeptzeichnung des Versuchsaufbaus



Die äußeren blauen Linien zeigen die Abmessungen des Geheges, die inneren blauen Linien die des Wassers. Das rote Dreieck markiert die Ausgangsposition des Tieres. Die Aufgabe während eines Versuchs war es, durch den ersten Ring mit der Lichtschranke zu schwimmen, wodurch der Reiz ausgelöst wird. Wenn der Stimulus vorhanden war, musste das Tier eine 90°-Drehung nach links machen und durch den Ring an der Position des Lautsprechers schwimmen (Go-Response). Wenn der Stimulus nicht vorhanden war, musste das Tier geradeaus weitergehen (No-Go-Response). R = Ring mit 0,7 m Durchmesser, LB = Lichtbarriere, H = Hydrophon, C = Kamera, L = Lautsprecher. Quelle: eigene Darstellung, MSC

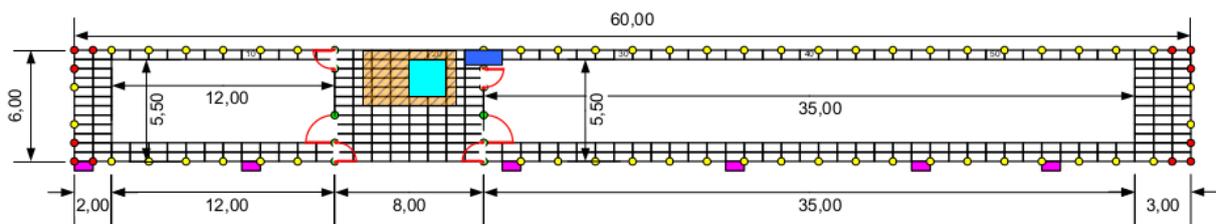
Zusätzliche technische Ausrüstung, die für die letzten Trainingsschritte notwendig war, wie das Hinzufügen von optischen Hinweisen, wurde im Sommer 2019 installiert. So wurden beispielsweise wasserdichte LEDs mit Fernsteuerung unter Wasser installiert, um das richtige Ziel, das die Pinguine erreichen sollten, zu beleuchten. Diese LEDs sollten den Pinguinen helfen, zu lernen, ihre Schwimmrichtung zu ändern und sich auf den Schallkopf zuzubewegen, wenn ein Reiz wahrgenommen wurde.

Da zwei der Pinguine zu langsam Fortschritte machten, wurden sie Anfang 2019 vom Training ausgeschlossen. Die anderen beiden Pinguine wurden weiter trainiert, um die grundlegende Tauchaufgabe auszuführen, die für die „Go-/No-Go“-Prozedur des Experiments notwendig war. Sie erreichten beide etwa die Hälfte der geforderten Tauchaufgabe, indem sie erfolgreich

lernten, im Wasser vor dem Experimentator zu warten, bevor sie zu einem Ziel tauchen, wenn sie das Kommando „Ziel“ erhielten. Darüber hinaus lernten beide Individuen auch erfolgreich, zu ihrer Startposition zurückzukehren, nachdem der Experimentator die Beendigung der Aufgabe signalisierte, um ihren Belohnungsfisch zu erhalten und die Prozedur neu zu starten. Beide Pinguine erreichten zuverlässig die Position des ersten Rings (der die Lichtschranke zur Auslösung des akustischen Reizes in der späteren Datenerfassungsphase enthielt). Aufgrund der Mauser im Sommer 2019 wurde das Training für mehrere Wochen unterbrochen, da die Pinguine in dieser Zeit aufgrund fehlender Wasserdichtigkeit des Gefieders nicht im und unter Wasser aufhalten konnten.

Im Herbst 2019 wurde das Training wieder aufgenommen. Für dieses Training wurden die Pinguine getrennt, indem der trainierende Pinguin im Wasser blieb und die anderen drei Tiere an Land separiert wurden. Die drei getrennten Pinguine zeigten jedoch eine starke Abneigung dagegen, aus dem Wasser ausgesperrt zu werden (vermutlich, weil sie im Falle einer Gefahr nicht mehr ins Wasser entkommen konnten). Dies führte dazu, dass es völlig unmöglich war, sie freiwillig aus dem Wasser zu bewegen. Zudem störten sich die Pinguine während der Trainingseinheiten gegenseitig. Daher wurde ein zweites Gehege mit zwei Wasserzugängen entworfen und Ende 2019 mit dem Bau begonnen. Dieses neue Gehege sollte es ermöglichen, dass ein Pinguin in einem Wasserabteil trainiert werden konnte, während die anderen Pinguine Zugang zum zweiten Wasserabteil hatten (**Abbildung 10**).

Abbildung 10: Technische Zeichnung der neuen Pinguingehege am MSC



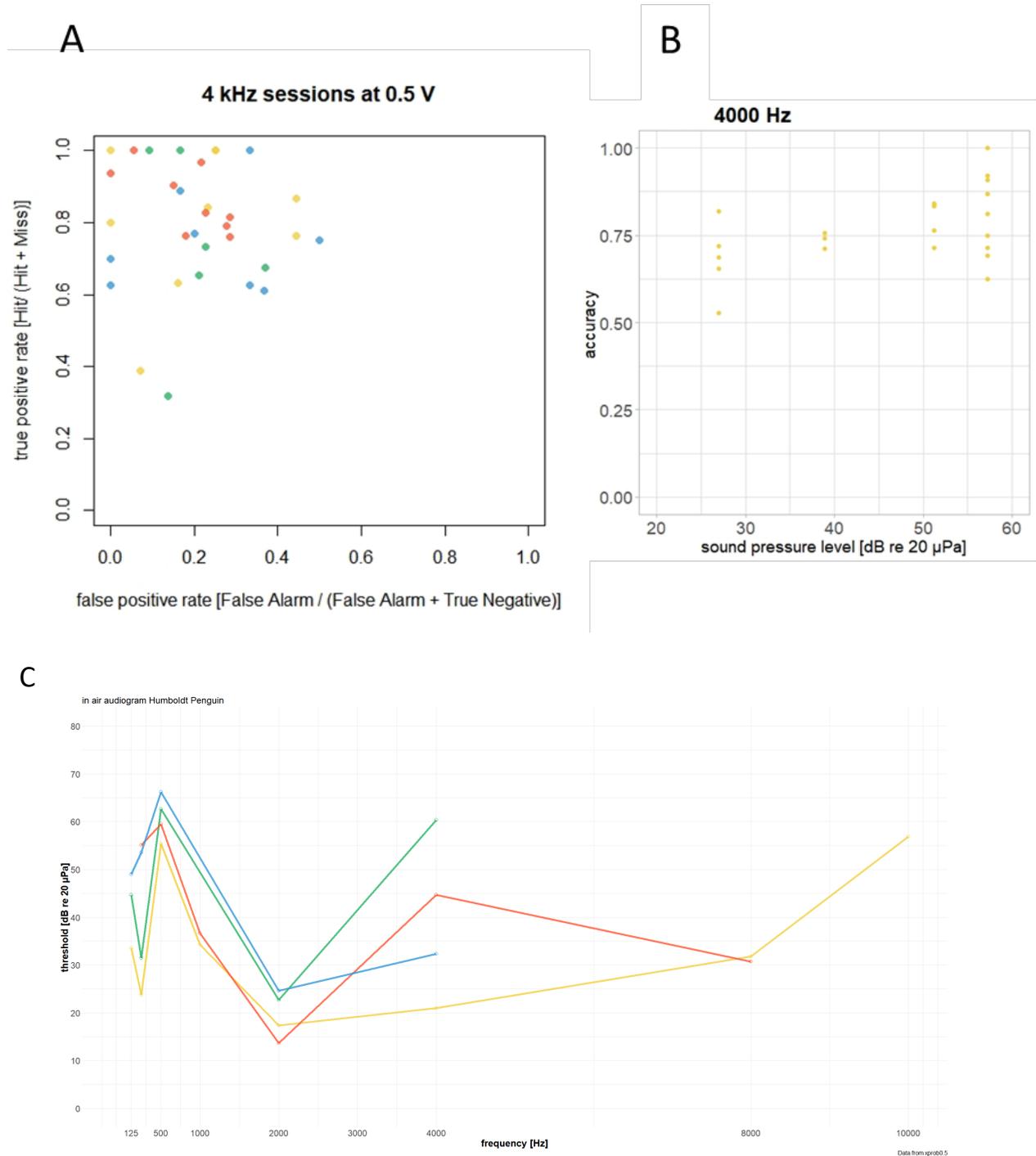
Links ist die Toreinfassung, rechts die Versuchseinfassung. Dazwischen befindet sich ein Landteil mit einem geschlossenen Unterstand (orange), der ein abgeschlossenes Quarantänebecken (hellblau) enthält. Rechtecke (pink) stellen Schwimmer dar, Freiflächen das Wasser. Quelle: eigene Darstellung, MSC

Aufgrund von gravierenden Schwierigkeiten, zum Ende des Projekts am MSC führten (s. 9. unten), musste das ganze Training am MSC endgültig eingestellt werden. Es konnte dementsprechend kein Unterwasser-Audiogramm während des Förderzeitraums durch psychoakustische Methoden gemessen werden.

2.2 Ergebnisse der verhaltensbasierten akustischen Messungen

Die Trainingsmessungen dauerten zwei Jahre am DMM, bevor alle notwendigen Rohdaten zur Erstellung von Audiogrammen gesammelt wurden. Diese Audiogramme zeigen, dass Humboldt-Pinguine am besten zwischen 1 und 4 kHz in Luft hören (**Abbildung 11**). Die Hörkurve zeigte hin zu 500 Hz verringerte Sensitivität, aber nahm bei noch geringeren Intensitäten unerwartet nochmal zu. Dies stimmt mit Studien von Wever et al. 1969 überein, aber wurde durch die Studien zur Ohrmorphologie der Pinguine nicht erhärtet. Dementsprechend besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

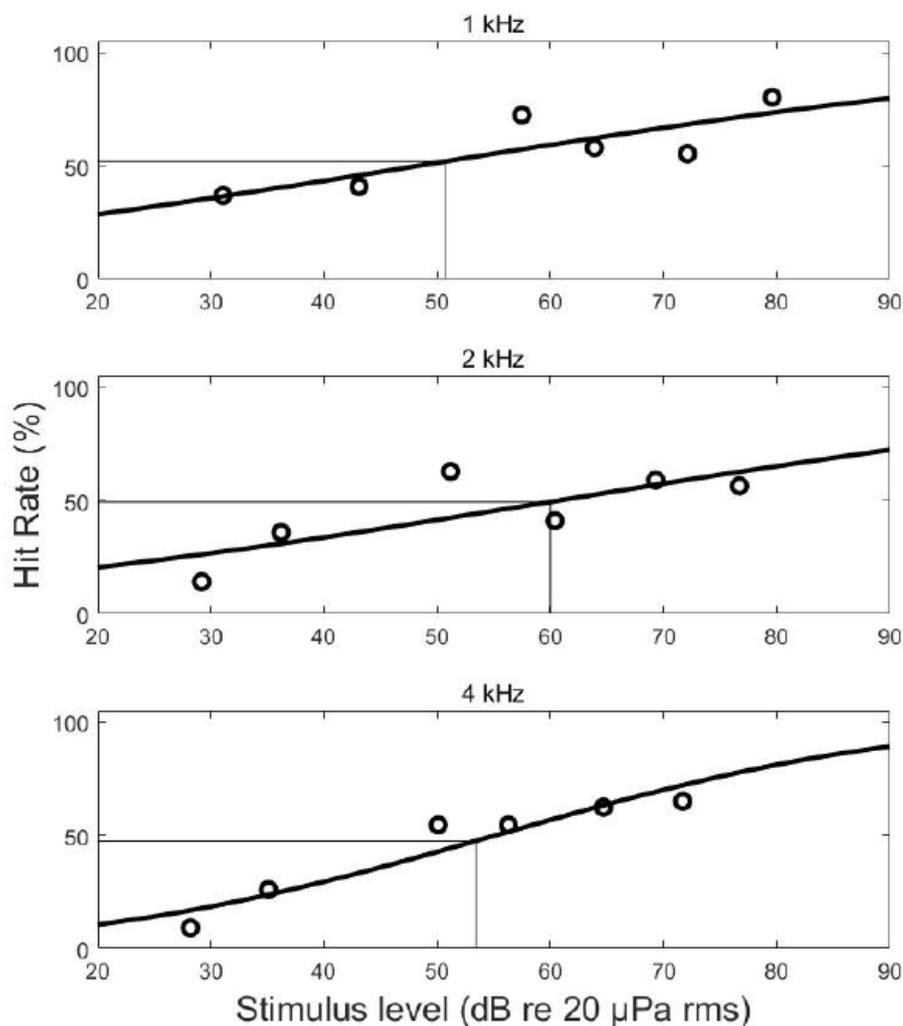
Abbildung 11: Receiver operating characteristics (ROC) und Ergebnisse der verhaltensbasierten psychoakustischen Methoden



(A) Receiver Operating Characteristic (ROC) für jeden Pinguin bei einer Intensität von 0,5 V. Jede Farbe stellt ein Individuum dar und jeder Punkt ist eine Session mit der Rate korrekter positiver Ergebnisse (= Treffer / (Treffer + falsche Negative)), gegenüber der Rate falsch positiver Ergebnisse (= Fehlalarm / (Fehlalarm + echte Negative)) bei 4 kHz mit 57 dB re 20 μPa (die Sessions wurden auch bei 2 kHz mit 59 dB re 20 μPa, 1 kHz mit 47 dB re 20 μPa, 0,5 kHz mit 59 dB re 20 μPa durchgeführt). (B) Genauigkeit (= (Treffer + korrekt Negative) / ((Treffer + falsch Negative) + (korrekt Negative + Fehlalarm))) für einen Pinguin bei 4 kHz und reduzierenden Schalldruckpegeln (2, 1 und 0,5 kHz wurden ebenfalls getestet). Jeder Punkt entspricht einer Session mit 20 - 80 Versuchen. (C) Vorläufiges In-Air Audiogramm für vier Humboldt-Pinguine. Die Hörschwellen wurden mit Hilfe der Signal-Entdeckungstheorie berechnet. Jede farbige Linie wurde an jeweils einem Pinguin gemessen (Gelb – Frieda (weiblich), rot – Jakob (männlich), grün – Gustel (weiblich), blau – Lemmy (männlich)). Es konnten nicht alle Frequenzen für alle Tiere ermittelt werden. Quelle: eigene Darstellung, DMM

Bei Tristanpinguinen wurde die durchschnittliche Erfolgsrate für jede der getesteten Frequenzen entsprechend der Stimulusintensität vom schwächsten zum lautesten Signal berechnet. Generell gilt: Je lauter die Signalreize, desto höher die durchschnittliche Erfolgsrate. Für einen der beiden trainierten Pinguine konnten Schwellenwerte zwischen dem Höchstwert der Erfolgsrate und dem Fehlalarm gemessen werden: 51,8 % bei 1 kHz, 49,3 % bei 2 kHz und 47,3 % bei 4 kHz. Die resultierenden Schwellenwerte sind 50,7, 60,0 und 53,4 dB re 20 μ Pa für 1, 2 bzw. 4 kHz. Die psychometrische Kurve für jede der drei Frequenzen ist für diesen Pinguine in **Abbildung 12** dargestellt. Der andere trainierte Pinguin wurde aufgrund extrem hoher Fehlalarmraten nicht in diese psychometrischen Analysen einbezogen, was darauf hindeutet, dass dieser Pinguin vor den eigentlichen akustischen Messungen mehr Trainingszeit benötigt haben könnte.

Abbildung 12: Psychometrische Funktionen des Hörens eines Tristanpinguins



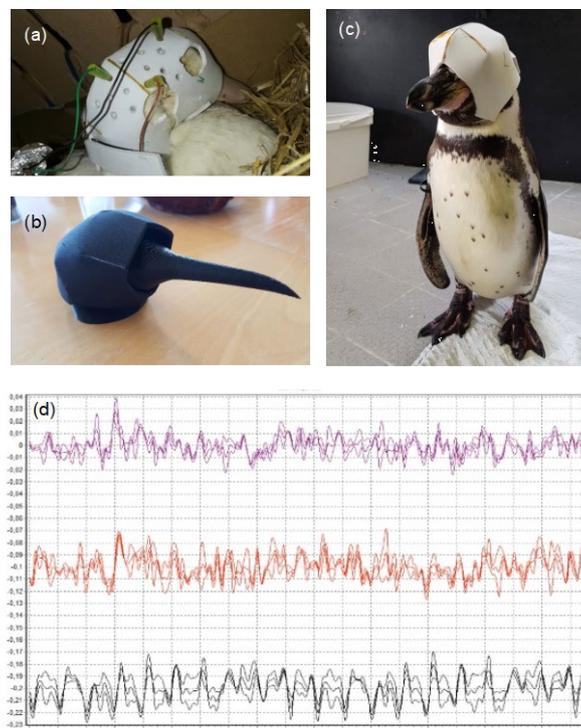
Source: eigene Darstellung, SDU

3 AEP Messungen, die in Rahmen von “Hearing in Penguins” durchgeführt wurden

3.1 AEP Methoden

AEP-Messungen sind direkter durchführbar als psychoakustische Methoden, da die überwachten Tiere nicht trainiert werden müssen. Allerdings erfordern AEP-Messungen die Sedierung der Tiere, die während der Messungen mit unter die Haut implantierten Elektroden stillhalten müssen. Dieser Schritt schränkt die Praktikabilität und die allgemeine ethische Akzeptanz von AEP-Messungen ein. Um diese Einschränkung entgegenzuwirken, wurde an der SDU im Rahmen unseres Projektes eine innovative Methode entwickelt, die ohne Sedierung der Vögel möglich ist. Diese neuartige Methode beruhte zunächst auf der Verwendung einer mit Elektroden ausgestatteten Haube, der von wachen Tieren während der Schallexposition getragen wird. Die Verwendung einer Haube, die den Kopf von Pinguinen bedeckt, ist eine Standardmethode, um Stress zu begrenzen und sie für mehrere Minuten ruhig zu halten, während sie behandelt werden (Cockrem *et al.* 2008). Nach der technischen Entwicklung an der SDU wurde der AEP-Helm, der mit einem 16-Kanal-AEP-System ausgestattet ist, im Herbst 2019 erfolgreich zunächst an Schildkröten und dann an Enten an der SDU getestet (**Abbildung 13**). Erste Messungen an Enten, bei denen der etablierte Ansatz der subdermalen Anästhesie mit Messungen mit der AEP-Haube verglichen wurde, sahen sehr vielversprechend aus, da sich die Messungen mit der Haube als besser erwiesen als die Messungen mit den subdermalen Elektroden.

Abbildung 13: Entwicklung und Einsatz der AEP-Haube



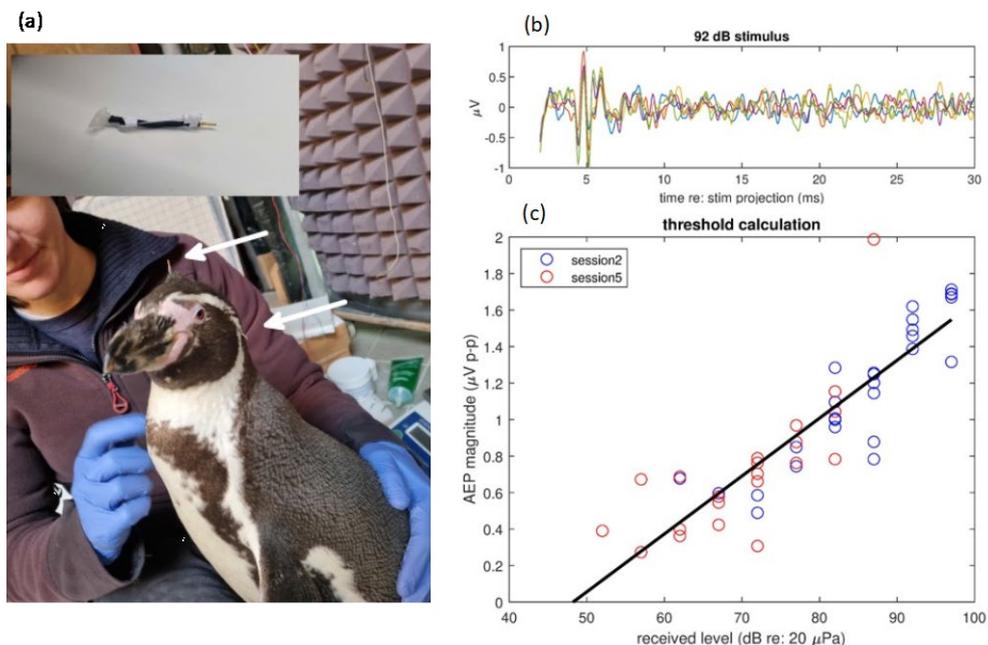
(a) Eine wache Ente trägt die AEP-Haube während AEP-Messungen an der SDU, (b) Tatsächliche Pinguinhaube, befestigt an einem 3-D-gedruckten Kopf eines Königspinguins, (c) Ein Humboldt-Pinguin trägt eine Trainingshaube am DMM, (d) AEP-Messungen an einer Ente mit der AEP-Haube bei drei verschiedenen Expositionsniveaus von 2000 kurzen 2 kHz-Ton-'Pips' (untere schwarze Linie: tief, Mittlere orange Linie: mittel, obere lila Linie: hoch). Das AEP ist nach ca. 3 ms nach der Exposition in der mittleren und oberen Spur sichtbar. Quelle: eigene Darstellung, SDU

Zeitgleich mit der Entwicklung und dem Einsatz der AEP-Haube an der SDU wurden Königspinguine im Zoo Odense und Humboldt-Pinguine beim DMM trainiert, eine Trainingshaube bis zu drei Minuten lang zu tragen (zusätzlich zu ihrem üblichen psychoakustischen Training; **Abbildung 13**), um sie auf die eigentlichen AEP-Messungen vorzubereiten. Bei den Königspinguinen waren die Trainingsfortschritte jedoch unzureichend, so dass wir uns für weitere Messungen auf Humboldt-Pinguine konzentrierten. Auch bei dieser Art gestalteten sich die Messungen schwierig, da die Pinguine unruhig wurden, wenn die Haube mit Kabeln versehen war, und die Haube nicht robust genug war, um die Elektroden sicher auf der Haut der Pinguine zu halten. Daher wurde beschlossen, die Haube durch eine neuartige Methode zu ersetzen, die auf der Verwendung von einfachen 1,5-2 cm langen Elektrodenkabeln basiert, die direkt mit Klebstoff auf die Kopfhaut der Pinguine geklebt werden. Die Spitzen dieser Elektroden lagen oberhalb der Federn frei und konnten so über Kabel mit der Hauptversuchsausrüstung verbunden und von ihr getrennt werden, wobei der kontinuierliche Elektrodenkontakt zur Hautoberfläche trotz der Kopfbewegungen des Tieres erhalten blieb (**Abbildung 14**). Die Elektroden wurden mit ungiftigem, schnell trocknendem VetBond-Kleber aufgeklebt und konnten am Ende einer Versuchssitzung leicht wieder entfernt werden. Mit dieser Methode wurde im März 2022 am DMM der erste Versuch unternommen, AEP bei Humboldt-Pinguinen zu messen. Zwei Versuchssitzungen waren erfolgreich und lieferten brauchbare AEP-Daten als Reaktion auf Breitband-Klickstimuli (die einzige Stimulus-Art, die getestet wurde).

3.2 AEP Ergebnisse

AEP-Reaktionen wurden bei Reizpegeln zwischen 50 und 100 dB beobachtet, was zu einer geschätzten Hörschwelle von 48 dB für den Klickreiz führte (**Abbildung 14**).

Abbildung 14: Entwicklung und Einsatz der AEP-Elektroden



(a) Ein wacher Humboldt-Pinguin trägt die AEP-Elektroden (durch Pfeile dargestellt) am DMM, (b) Beispiel für AEP-Wellenformen, die durch 92-dB-Klickreize ausgelöst und über nicht-invasive Elektroden aufgezeichnet wurden, die zeitweise auf den nicht betäubten Pinguin geklebt wurden (c) Diagramm der AEP-Magnituden der Pinguine in Abhängigkeit von der Stärke des empfangenen Reizes, aufgezeichnet mit den aufgeklebten Elektroden. Die Daten wurden aus Versuchen in zwei separaten Versuchssitzungen kombiniert. Die durchgezogene schwarze Linie stellt die lineare Regression aller

Punkte dar, die zur Schätzung einer Hörschwelle von 48 dB führt (Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit Null). Quelle: eigene Darstellung, DMM/SDU

Diese vielversprechenden Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, AEP bei wachen Pinguinen mit direkt auf die Kopfhaut geklebten Elektroden zu messen. Aus Zeitgründen war es uns jedoch nicht möglich, im Laufe des Projekts verschiedene Frequenzen zu testen (was die Messung eines vollständigen Audiogramms verhinderte). In Anbetracht der Zuverlässigkeit dieser Methode und ihrer Schnelligkeit sollten sich künftige Studien, die das Hörvermögen von Pinguinen untersuchen, auf diese neue Methode konzentrieren.

4 Animal Audiogram Database, die im Rahmen von “Hearing in Penguins” erstellt wurde

Um eine Referenz für die bei Pinguinen gemessenen Audiogramme zu schaffen, wurde im Rahmen des Projekts "Hearing in Penguins" eine Audiogramm-Datenbank ([Animal Audiogram Database](https://animalaudiograms.museumfuernaturkunde.berlin/); <https://animalaudiograms.museumfuernaturkunde.berlin/>) erstellt. Zu diesem Zweck wurde zunächst ein Expertenworkshop im Rahmen des Projekttreffens beim MSC im Mai 2019 organisiert, um zu erfahren, welche Informationen von den projektinternen Experten als essentiell erachtet wurden, ein gesichertes Vokabular zu etablieren und Möglichkeiten zur Standardisierung der visuellen Darstellung von Audiogrammen für die audiophysiologische Datenbank zu diskutieren. Für jede Studie, die in die Animal Audiogram-Datenbank (AAD) aufgenommen wurde, werden folgende Parameter in die Datenbank eingegeben:

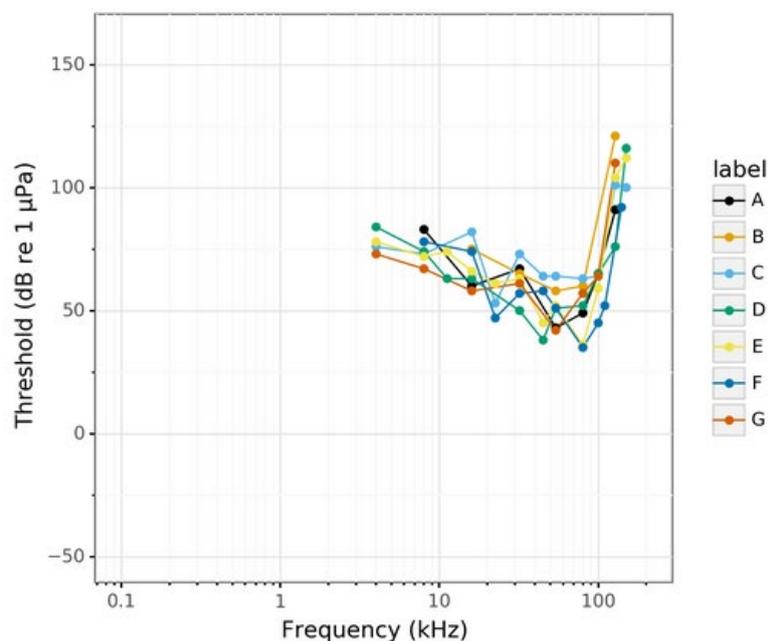
- ▶ Artname (in Latein, Deutsch und Englisch),
- ▶ phylogenetische Daten (Ordnung, Familie),
- ▶ Referenz der Studie (mit DOI, falls vorhanden),
- ▶ Anzahl der Versuchstiere,
- ▶ Anzahl der Messungen,
- ▶ individuelle Daten (Geschlecht, Name, ID, Lebensstadium, Alter),
- ▶ Lebensbedingungen (Gefangenschaft, Wildnis),
- ▶ Jahreszeit,
- ▶ Jahr, in dem die Messungen durchgeführt wurden,
- ▶ Name der Institution, die die Messungen durchgeführt hat,
- ▶ Koordinaten des Ortes, an dem die Messungen durchgeführt wurden,
- ▶ Position des Tieres während der Messungen (z. B. unterhalb der Wasseroberfläche),
- ▶ Umgebung, in der die Messungen durchgeführt wurden (z. B. in einem Becken),
- ▶ Sedierung der Versuchstiere,
- ▶ Position der Elektroden,
- ▶ Hintergrundgeräusche,
- ▶ Kalibrierung der Geräte,
- ▶ Schwellenwertbestimmung,
- ▶ Tonspezifikation (Dauer, Frequenz, Intensität, Form, Einheit, Referenzwerte),
- ▶ Verfahren (Staircase-Prozedur, Methode der Konstanten).

Audiogramm-Darstellungen wurden mithilfe von Jupyter-Notebooks prototypisiert, damit Domänenexperten das Produkt während der Entwicklung überprüfen können. Diese Softwareentwicklungsmethode besteht darin, ein Endprodukt (hier die AAD) durch eine Reihe

von Teilleistungen zu erstellen, wobei jede eine Teilfunktionalität hinzufügt, bis das Endprodukt mit der vollen Funktionalität geliefert wird. Die validierten Prototypen wurden mit wissenschaftlichen Bibliotheken in R und Python implementiert, um höchste Präzision und Korrektheit zu gewährleisten. Der Quelltext der Audiogrammendatenbank (Datenbankschema, Frontend-Modul, REST-Datendienst) wurde unter Open Source Lizenz (GPL) im GitHub-Konto des MfN freigegeben. Verbesserungsvorschläge werden über dieses Konto dokumentiert.

Die AAD ermöglicht sowohl die Visualisierung einzelner Audiogramme als auch die Überlagerung mehrerer Audiogramme von verschiedenen Individuen, um den Vergleich zu erleichtern (**Abbildung 15**). Für jede Studie können auch die oben aufgeführten Spezifikationen abgerufen werden. Schließlich ermöglicht ein Datendienst das Herunterladen der Daten zur weiteren Analyse.

Abbildung 15: Web-Frontend der Animal Audiogram Database



#	Species (English name)	Species (Latin name)	Method	Publication
A	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014
B	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014
C	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014
D	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014
E	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014
F	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014
G	Beluga whale	<i>Delphinapterus leucas</i>	Electrophysiological: auditory evoked potentials (AEP)	Castellote et al., 2014

Das Web-Frontend der Animal Audiogram Database zeigt den Hörbereich mehrerer Audiogramme eines Belugawals und die bibliographischen Details der zugehörigen Publikation. Quelle: eigene Darstellung, MfN

Die AAD ging im September 2020 online, zeitgleich mit einem dem Projekt gewidmeten Symposium während der Jahrestagung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft. Die Datenbank beinhaltet 235 Audiogramme, die bisher bei 34 aquatischen Wirbeltieren (meist Wale und Robben) vermessen wurden und in der wissenschaftlichen Literatur verfügbar sind. Die Datenbank ist als Repositorium für Studien konzipiert, die Audiogramme bei beliebigen Tierarten messen und veröffentlichen. Zu diesem Zweck wurde Anfang 2021 ein Online-Workshop mit Audiogramm-Experten aus aller Welt organisiert, um mögliche Verbesserungsvorschläge und Wünsche bezüglich der Datenbank zu diskutieren. Dieser Workshop stieß auf ein breites Interesse der Expertengemeinschaft, die ihre Hilfe für die zukünftige Bearbeitung der AAD anbot. Siebenundzwanzig Umfrageteilnehmer hatten überwiegend einen positiven Eindruck von der AAD, schlugen aber dennoch vor, dass sie mehr Audiogramme enthalten und nicht auf marine Wirbeltiere beschränkt sein sollte (was zeigt, dass das Interesse an einer solchen Datenbank über die marine Umwelt hinausgeht).

Um die Sichtbarkeit der AAD zu erhöhen, wurde sie im Dezember 2020 auf der ASA (Acoustic Society of America)-Konferenz "Acoustics Virtually Everywhere" vorgestellt, und Anfang 2022 wurde ein Artikel über die AAD beim *Journal of the Acoustical Society of America* publiziert (Jäckel et al. 2022, Appendix A).

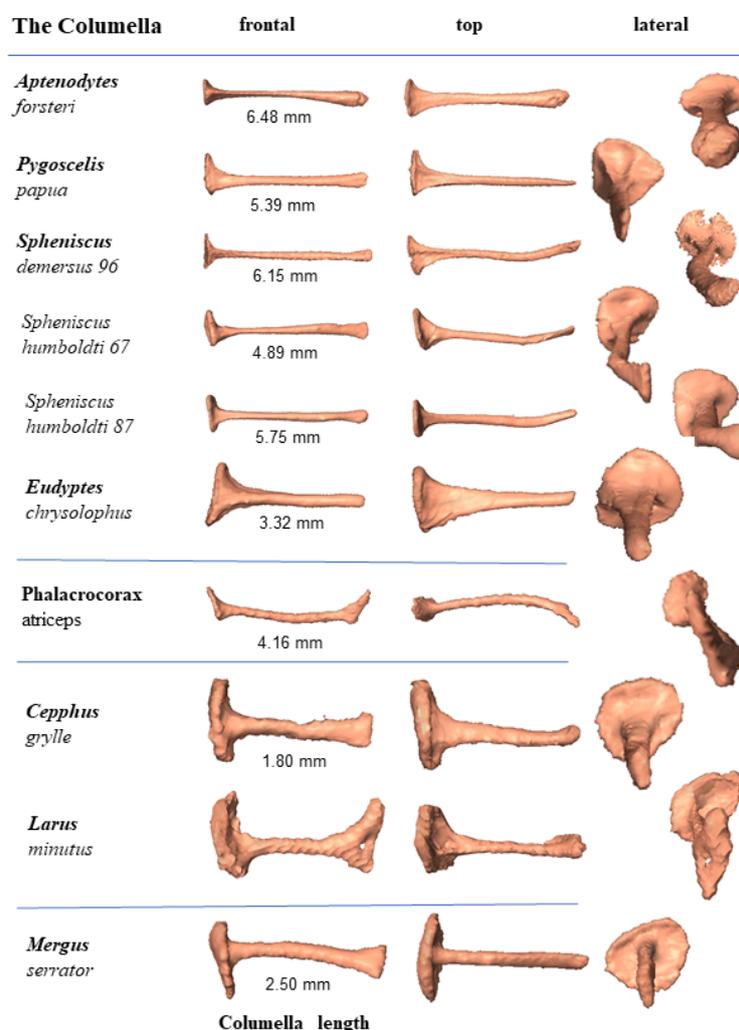
Nach dem Ende der Beteiligung des MfN an dem Projekt im April 2021 (wie ursprünglich geplant) wurde beschlossen, dass das DMM die AAD in Zukunft betreuen wird.

5 Weitere wissenschaftliche Aktivitäten, die im Rahmen von “Hearing in Penguins” durchgeführt wurden

5.1 CT-Bilder der knöchernen Strukturen von Ohren (MfN/DMM)

Im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Rostock (Lindner 2018) wurden die knöchernen Strukturen des Innen- und Mittelohrs von Pinguinen mit den am MfN vorhandenen CT-Geräten analysiert. Es wurden Museumsexemplare von neun verschiedenen Pinguinarten sowie von Wasservogelarten aus drei verschiedenen Ordnungen (Suliformes: Kaiserscharbe; *Phalacrocorax atriceps*, Charadriiformes: Gryllteiste; *Cephus grylle*, Anseriformes: Mittelsäger; *Mergus serrator*) untersucht. Die Schädel stammten aus der im MfN vorhandenen Vogelsammlung und zu einem geringeren Teil vom DMM.

Abbildung 16: Columella von verschiedenen Pinguinarten und anderen Wasservogelarten.



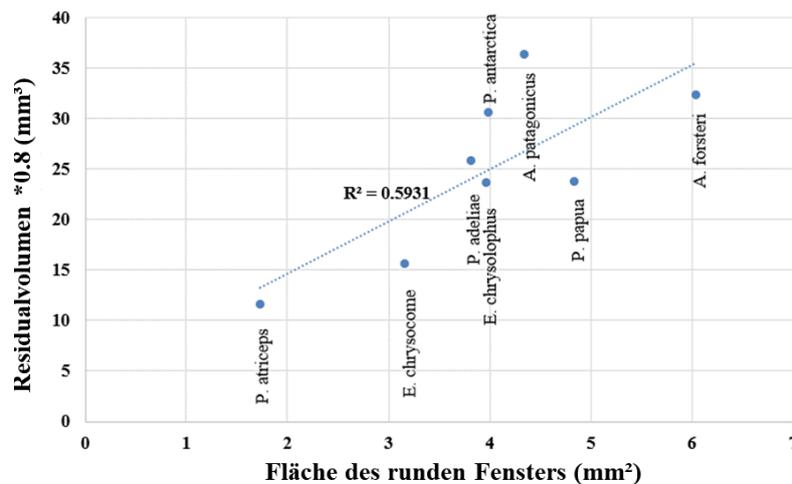
Quelle: eigene Darstellung, DMM (Lindner et al. 2018)

Bei Vögeln leitet die Columella den Schall vom Trommelfell über die Fußplatte der Columella und das ovale Fenster zum Innenohr und verstärkt so das Signal **Abbildung 16**). Das Trommelfell von tauchenden Arten wie z. B. Kormoranen ist verdickt, vermutlich um seine Integrität beim Tauchen zu erhalten. Während das typische Verhältnis bei Vögeln 15-40:1 beträgt, lag das Verhältnis bei den untersuchten Pinguinen bei 13:1, was darauf schließen lässt,

dass die geringe Größe des Trommelfells von Pinguinen einen Schutzmechanismus gegen hohen Druck beim Tauchen darstellen könnte. Diese Ergebnisse wurden durch eine kürzlich durchgeführte Studie bestätigt, in der das Mittelohr von 127 Vogelarten verglichen wurde. Dabei wurde festgestellt, dass bei Wasservögeln eine größere Tauchtiefe mit einem geringeren Verhältnis von Trommelfell- zu Fußplattenfläche, aber auch mit kleineren Trommelfellflächen, Fußplattenflächen, Trommelfellversätzen und größeren Cochlea-Aquäduktflächen verbunden war (Zeyl *et al.* 2022). Darüber hinaus ergab diese Studie, dass Wasservögel im Vergleich zu terrestrischen Vögeln eine kleinere Trommelfellfläche, einen geringeren Columella-Versatz, einen kleineren Trommelfellwinkel und eine größere runde Fensterfläche aufweisen (Zeyl *et al.* 2022).

Pinguine haben möglicherweise einen ähnlichen Druckausgleichsmechanismus wie bei Robben. In der Tat wird bei Robben beim Tauchen ein Gewebe mit hohem Hohlraumanteil mit Blut gefüllt, so dass sich der luftgefüllte Hohlraum des Mittelohrs unter Wasser verkleinert. Damit das Ohr richtig funktioniert, muss jedoch eine Luftblase am runden Fenster verbleiben, die dann die Druckschwankungen aus dem Innenohr ableiten kann. Die Größe dieser Luftblase, das sogenannte Restvolumen, wurde für Pinguine anhand von CT-Scans berechnet. Es zeigte sich, dass das Restvolumen proportional zur Oberfläche des runden Fensters ist (**Abbildung 17**). Obwohl diese Beziehung möglicherweise nur eine allometrische Beziehung zwischen der Größe der Ohrstrukturen widerspiegelt (Peacock *et al.* 2020; Zeyl *et al.* 2022), deutet sie auch darauf hin, dass die Hörfähigkeit der Pinguine beim Tauchen erhalten bleiben kann.

Abbildung 17: Restvolumen und Fläche des runden Fensters bei verschiedenen Pinguinarten



Quelle: eigene Darstellung, MfN

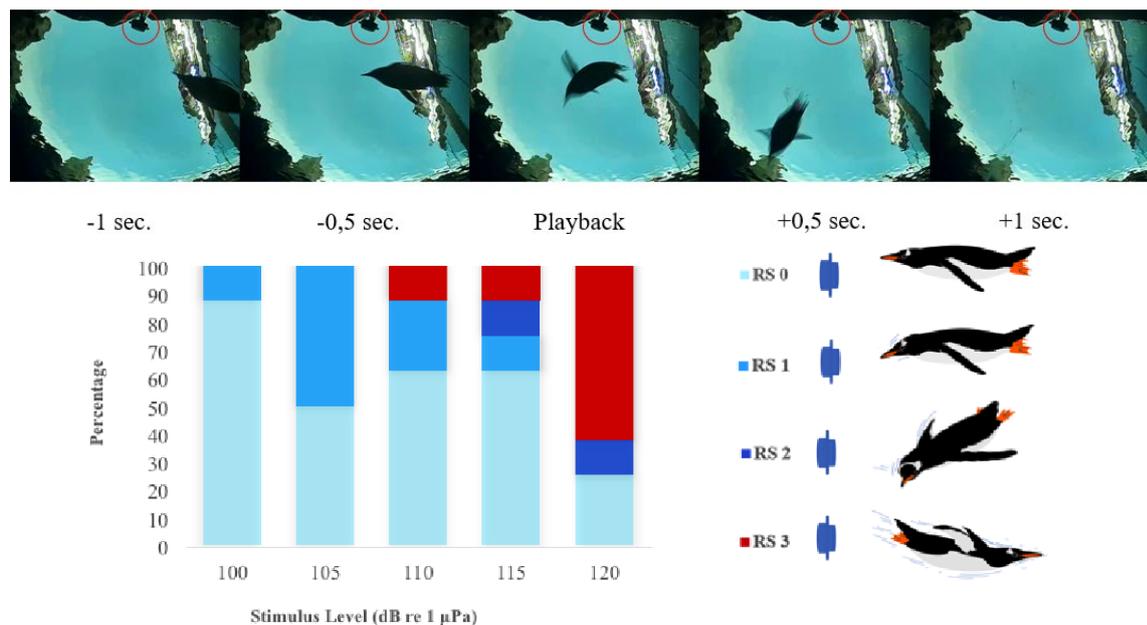
Zusätzlich zur Untersuchung der knöchernen Strukturen des Innenohrs von Pinguinen wurden drei Pinguinköpfe (*Aptenodytes forsteri*, *Spheniscus demersus*, *Pygoscelis papua*) angefärbt, um Weichteile sichtbar zu machen. Die Scans von *A. forsteri* und *S. demersus* wurden verwendet, um die inneren Gehörorgane mit einer speziellen Software zu rekonstruieren. Videos der 3D-Modelle, die die Hörorgane zeigen, wurden aus den Scans erstellt und online als frei verfügbare Datenpublikationen unter einer freien Lizenz zur wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Weiterverwendung veröffentlicht ([Visualisierung des auditorischen Systems von *Spheniscus demersus*](https://doi.naturkundemuseum.berlin/data/10.7479/qaj0-1a29_and_Visualisierung_des_auditorischen_Systems_von_Spheniscus_demersus); [https://doi.naturkundemuseum.berlin/data/10.7479/qaj0-1a29_and_Visualisierung des auditorischen Systems von *Aptenodytes forsteri*](https://doi.naturkundemuseum.berlin/data/10.7479/qaj0-1a29_and_Visualisierung_des_auditorischen_Systems_von_Aptenodytes_forsteri); <https://doi.naturkundemuseum.berlin/data/10.7479/c5qd-xd79>). Die einzelnen Scans wurden am Ende des Projekts als Datenpublikationen veröffentlicht. Zusätzliche Erklärungen zu den Innenohrstrukturen wurden mit einer Audiospur hinzugefügt.

Ein Artikel über die Ergebnisse der CT-Scans wurde in der Open-Access-Zeitschrift *Proceedings of Meetings on Acoustics* im August 2020 veröffentlicht (Frahner *et al.* 2020). Der Artikel ist am Ende dieses Berichts in Anhang A enthalten.

5.2 Unterwasser-Playback Experiment bei Eselspinguinen (SDU)

Im Herbst 2018 wurde an der SDU ein Unterwasser-Playback-Experiment mit Eselspinguinen durchgeführt, das Teil der Doktorarbeit von Kenneth Sørensen war. Zu diesem Zweck wurden Sequenzen von weißem Rauschen (0,2-6 kHz; 500 ms; Empfangspegel variierend zwischen 100 und 120 dB re 1 μ Pa in 5-dB-Schritten) abgespielt, wenn sich Pinguine unter Wasser in der Nähe des Lautsprechers aufhielten. Es wurde keine Verhaltensreaktion auf die Töne mit geringerer Intensität beobachtet, während bei den höchsten Schallpegeln starke Schreckreaktionen beobachtet wurden. Dies zeigt deutlich, dass Eselspinguine Geräusche unter Wasser hören können und legt nahe, dass sie auch deren Richtung wahrnehmen können (**Abbildung 18**). Dies war der erste Nachweis, dass Pinguine tatsächlich Geräusche unter Wasser wahrnehmen. Ein Artikel über diese Ergebnisse wurde in der Open Access Zeitschrift *Royal Society Open Science* im Februar 2020 veröffentlicht (Sørensen *et al.* 2020). Der Artikel ist am Ende dieses Berichts in Anhang A enthalten.

Abbildung 18: Hauptergebnisse des Unterwasser-Playback-Experiments



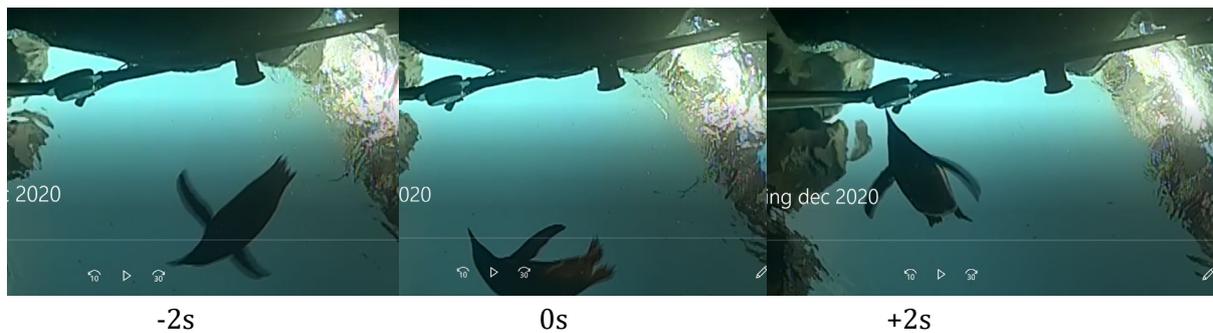
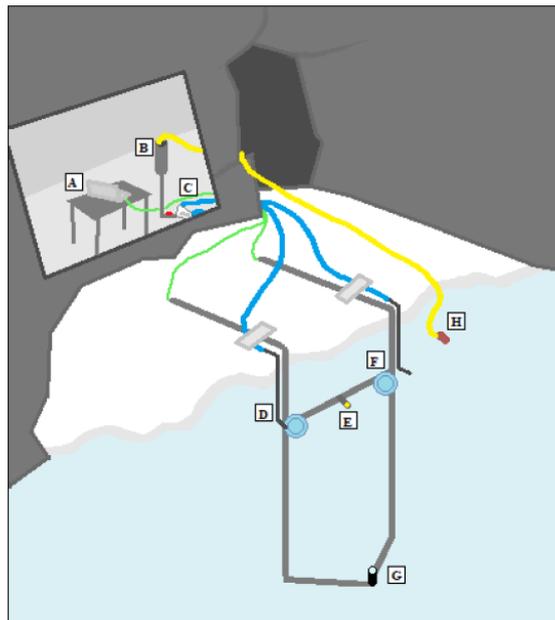
Oben: Fotosequenz mit Fotos im Abstand von 0,5 s, aufgenommen vom Boden des Beckens mit einer nach-oben gerichteten Kamera. Die Schallquelle ist mit einem roten Ring gekennzeichnet. Ein Eselspinguin passiert den Lautsprecher und reagiert direkt nach dem Abspielen, indem er von der Quelle wegschwimmt. Unten: Prozentsatz der Playbacks verschiedener Stimuluslevel, die verschiedene Reaktionen bei vorbeischwimmenden Eselspinguinen auslösen, von RS0 (keine Reaktion) bis RS3 (starke aversive Reaktion, wie die oben gezeigte). Quelle: eigene Darstellung, SDU

5.3 Unterwasser-Schallkonditionierung bei Eselspinguinen (SDU)

Diese Arbeiten wurden im Rahmen der Masterarbeit von Maria Skov Rasmussen an der SDU durchgeführt. Im Februar 2019 begann ein Versuch um Unterwassertöne mit einer Belohnung bei Eselspinguinen im Zoo Odense zu verbinden. Ziel war es, zu untersuchen, ob Pinguine darauf konditioniert werden können, zu einem Ort zu schwimmen, an dem sie eine Belohnung erhalten, wenn sie ein Geräusch hören. Der Versuchsaufbau (**Abbildung 19**) bestand aus einem PVC-

Gestell mit einem Unterwasser-Versuchslicht, einer Spülvorrichtung für Fische, einem Lautsprecher und einer Unterwasserkamera, die nach oben auf den Lautsprecher und die Spülung gerichtet war. Ein mit LabView ausgestatteter Laptop war über einen Verstärker mit dem Lautsprecher verbunden, um den Tonstimulus zu generieren. Der Laptop war außerdem über ein Videoaufzeichnungsgerät mit einer Unterwasserkamera verbunden. Die Fischspülung bestand aus einem Wasserreservoir, einem Ventil, einem Kunststoffschlauch und einem PVC-Rohr, das direkt über dem Lautsprecher endete (**Abbildung 19**). Zwischen den Versuchen wurde das Wasserreservoir mit einer Lenzpumpe aufgefüllt, die über einen weiteren Schlauch mit dem Reservoir verbunden war. Der Beobachter befand sich hinter einer Wand, außer Sichtweite der Pinguine, und verwendete ein speziell entwickeltes LabVIEW-Programm und eine Videosoftware auf einem Laptop, um die Schallemissionen, die Spülvorrichtung und das Auffüllen des Wasserreservoirs zu verwalten. Das Versuchslicht wurde zu Beginn jeder Sitzung eingeschaltet und nach Beendigung der Sitzung wieder ausgeschaltet, um den Pinguinen zu signalisieren, dass ein Experiment durchgeführt wurde. Während einer Sitzung (25-60 Minuten) beobachtete der Experimentator die Pinguine im Wasser mit Hilfe der Unterwasser-Videokamera, um den richtigen Zeitpunkt für das Abspielen des Tonreizes zu bestimmen. Wenn zwei Sekunden nach dem Abspielen eines akustischen Stimulus verstrichen waren, leuchtete auf dem Computerbildschirm eine Anzeigelampe auf, die dem Versuchsleiter anzeigte, den Fisch zu spülen. Nach jedem Versuch wurde das Ventil geschlossen, das Reservoir aufgefüllt und das System mit einem Fisch für den nächsten Versuch beladen. Auf diese Weise wurden die Pinguine vor der Datenerhebung zwischen Dezember 2020 und März 2021 auf den Schallreiz konditioniert (d. h. 1000 Versuche verteilt auf > 50 Sitzungen). Während der Datenerhebung bestand jede Sitzung aus 35 Geräuschversuchen und 3-7 Kontrollversuchen, die zufällig in jede Sitzung gemischt wurden, wobei die Reaktion der Pinguine nach dem Abspielen des Geräusches (bzw. bei den Kontrollversuchen nicht) untersucht wurde. Von den 230 Geräuschversuchen und 43 Kontrollversuchen, die für die Analyse ausgewählt wurden, wurde festgestellt, dass der Anteil der Pinguine, die während der Geräuschversuche reagierten (d. h. sich dem Lautsprecher näherten; 78 %), deutlich höher war als bei den Kontrollversuchen (0 %), was darauf hindeutet, dass Pinguine Geräusche unter Wasser wahrnehmen und mit Nahrungsressourcen in Verbindung bringen können. Dies eröffnet die Möglichkeit, dass tauchende Pinguine ihre Beute unter Wasser anhand der von ihnen wahrgenommenen Geräusche lokalisieren können. Diese Arbeit wurde im Rahmen der Masterarbeit von Maria Skov Rasmussen an der SDU durchgeführt (Skov Rasmussen 2021) und in der Open Access Zeitschrift *Biology Open* 2022 (Appendix A, Skov Rasmussen et al. 2022) veröffentlicht.

Abbildung 19: Visualisierung des Unterwasser-Schallkonditionierung-Experiment



Oben: A: Laptop, B: PVC-Rohrkanister für die Wasserspülung, C: Handventil, D: Schlauch und PVC-Rohr für die Fischspülung, E: Versuchslampe, F: Lautsprecher, G: Unterwasserkamera, G: Bilgenpumpe. Nur der linke Lautsprecher und der Fischspülschlauch wurden verwendet. Unten: Pinguin vor, während und nach dem Abspielen eines Signals aus dem Lautsprecher, der in der linken Ecke der Bilder zu sehen ist. Der Auslass der Fischspülung ist über dem Lautsprecher kaum sichtbar. Die Lampe, die dem Pinguin anzeigt, dass ein Versuch durchgeführt wird, ist ebenfalls sichtbar. Quelle: eigene Darstellung, SDU

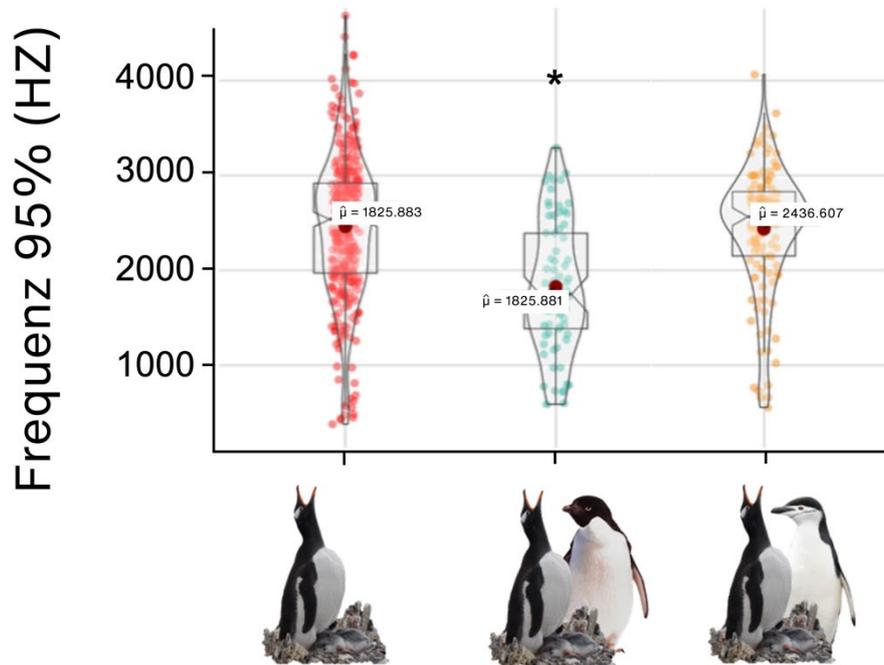
5.4 Tonaufnahmen in der Antarktis (DMM)

In Zusammenarbeit mit dem Projekt "Hearing in Penguins" wurden in der Antarktis zwei Feldstudien über die akustischen Ausprägungen der Vokalisationen von Pygoscelis-Pinguinen durchgeführt.

Im südlichen Sommer 2018-19 und 2019-2020 reisten Teilnehmer des Projekts als Gastwissenschaftler während zweier touristischer Reisen an Bord des Segelschiffs „Ocean Tramp“ von Quixote Expeditions entlang der Antarktischen Halbinsel. Während dieser beiden Expeditionen wurden die Vokalisationen von Eselspinguinen in verschiedenen Kolonien aufgenommen und anschließend beim DMM analysiert. Das wichtigste Ergebnis dieser Analysen ist, dass Eselspinguine die akustischen Eigenschaften ihrer Vokalisationen anzupassen scheinen, indem sie ihre Frequenz als Reaktion auf die Anwesenheit von Adéliepinguinen (*P. adeliae*), die in denselben Kolonien sympatrisch brüten, reduzieren (**Abbildung 20**). Diese Strategie reduziert wahrscheinlich die vokale Überlappung zwischen beiden Arten und ermöglicht dadurch eine bessere intraspezifische Lauterkennung. Ein Artikel über diese Ergebnisse wurde

bei *Ornithology* 2022 veröffentlicht (Appendix A, Rößler et al. 2022). Ein weiteres Ziel dieser Reisen war es, Unterwassergeräusche aufzunehmen, die anschließend für den Unterwasser Sound-Mixer verwendet wurden (s. u.).

Abbildung 20: Frequenz der Vokalisationen von Eselspinguinen



Frequenz der Vokalisationen von Eselspinguinen beim Brüten allein (links), mit Adéliepinguinen (Mitte) oder mit Zügelpinguinen (rechts). Quelle: eigene Darstellung, DMM

Während des südlichen Sommers 2019-2020 wurde die Feldarbeit auch an der Polarstation Dumont d'Urville (Adélie-Land) durchgeführt, um Tonaufnahmen dank einer Zusammenarbeit mit dem Chizé-Zentrum für Biologische Studien (CNRS, Frankreich) und dem französischen Polarinstitut Paul Emile Victor durchzuführen. Das Hauptziel war die Untersuchung des Zusammenspiels zwischen Nestvokalisationen (aufgezeichnet mit Tonaufzeichnungsgeräten, die während der gesamten Brutsaison in der Nähe der Pinguinnester platziert wurden) und den Futtersuchstrategien im Meer (ermittelt durch die Verwendung von GPS-Geräten, die die Flugbahnen der Pinguine während mehrerer aufeinanderfolgender Futtersuchfahrten aufzeichneten) bei Adélie-Pinguinen. Diese Studie zeigte signifikante Zusammenhänge zwischen einigen akustischen Merkmalen der Vokalisationen, die von Pinguinen auf ihrem Nest produziert werden, und einigen Merkmalen ihrer Suchtrajektorien im Meer, was darauf hindeutet, dass Nestvokalisationen die Suchstrategien dieser Art beeinflussen können. Zum Beispiel wurde festgestellt, dass die Frequenz der Vokalisationen, die von den Partnern auf dem Nest produziert werden, bevor die Männchen zur Futtersuche aufbrechen, signifikant mit der Gewundenheit der Futtersuchreise zusammenhängt, die die Männchen anschließend im Meer unternehmen. Diese Beziehung wurde bei den Weibchen nicht gefunden, was darauf hindeutet, dass die Männchen möglicherweise empfindlicher auf Nestvokalisationen reagieren als die Weibchen. Ein Teil dieser Ergebnisse wurde für die Bachelorarbeit von Jane Köpp an der Universität Greifswald verwendet, und ein Artikel über diese Ergebnisse wurde bei *Animal Behaviour* 2021 veröffentlicht (Beaulieu et al. 2021). Ein weiteres Ziel dieser Feldarbeit war es, die Machbarkeit der Durchführung von AEP-Messungen an frei-lebenden Adélie-Pinguinen in Dumont d'Urville in der Zukunft zu prüfen.

6 Umweltpädagogik und Kommunikation, von “Hearing in Penguins” durchgeführt

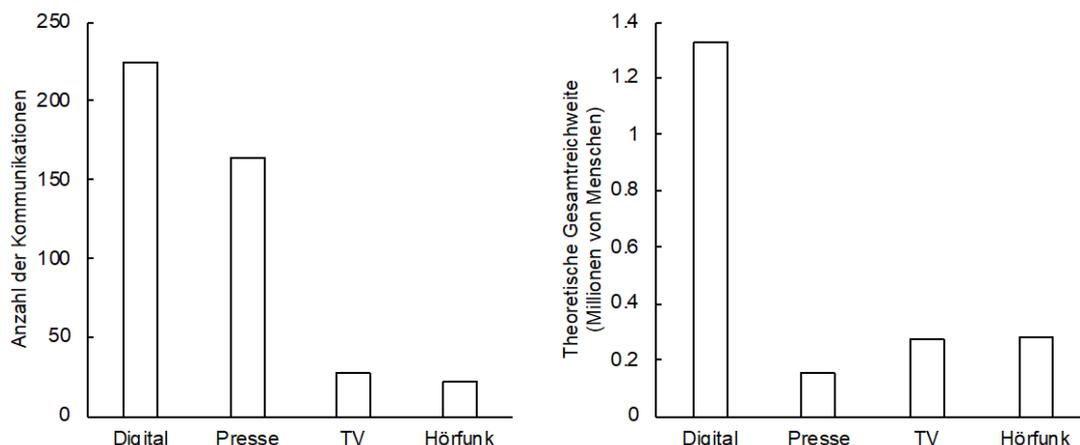
Parallel zu den wissenschaftlichen Ansätzen des Projekts "Hearing in Penguins" wurden zahlreiche Maßnahmen ergriffen, um über das Projekt selbst und über die Lärmbelastigung unter Wasser im Allgemeinen zu informieren. Zu diesem Zweck wurden sowohl vom MfN als auch vom DMM zwischen Mai 2018 und April 2021 eine Vielzahl von Ansätzen genutzt. Mit dieser Kommunikationsstrategie wurden das Projekt und das Thema "Unterwasserlärm" sowohl in der wissenschaftlichen Gemeinschaft als auch in der breiten Öffentlichkeit sehr sichtbar gemacht. Ziel war es, das Bewusstsein für die folgenden Themen zu schärfen:

- ▶ Vielfalt der natürlichen Unterwassergeräusche
- ▶ Biologische Funktionen von Geräuschen für Unterwasserorganismen.
- ▶ Wahrnehmung von Geräuschen durch Unterwasserorganismen.
- ▶ Vielfalt der Unterwassergeräusche anthropogenen Ursprungs
- ▶ Auswirkung von anthropogenen Geräuschen auf biologische Prozesse
- ▶ Politische, technische und individuelle Ansätze zur Minderung von künstlichem Unterwasserlärm.

6.1 Kommunikation mit Medien

In enger Abstimmung mit der Abteilung für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des DMM wurden potenzielle Medienpartner identifiziert und kontaktiert. Zwischen Januar 2018 und April 2021 (d. h. Ende der Kommunikationsstrategie des Projekts) kommunizierten die Medien ca. 450 Mal über das Projekt und erreichten damit eine theoretische Gesamtreichweite von mehr als 150 Millionen Menschen. Das Projekt wurde hauptsächlich online kommuniziert, aber auch in der Presse (z. B. die Zeit, die Welt), im Fernsehen (z. B. NDR, Arte) und im Radio (z. B. Deutschlandfunk Kultur, WDR; **Abbildung 21**). In Dänemark wurde das Projekt auch im nationalen Radio und Fernsehen sowie auf der Facebook-Seite des Odense Zoos bekannt gemacht.

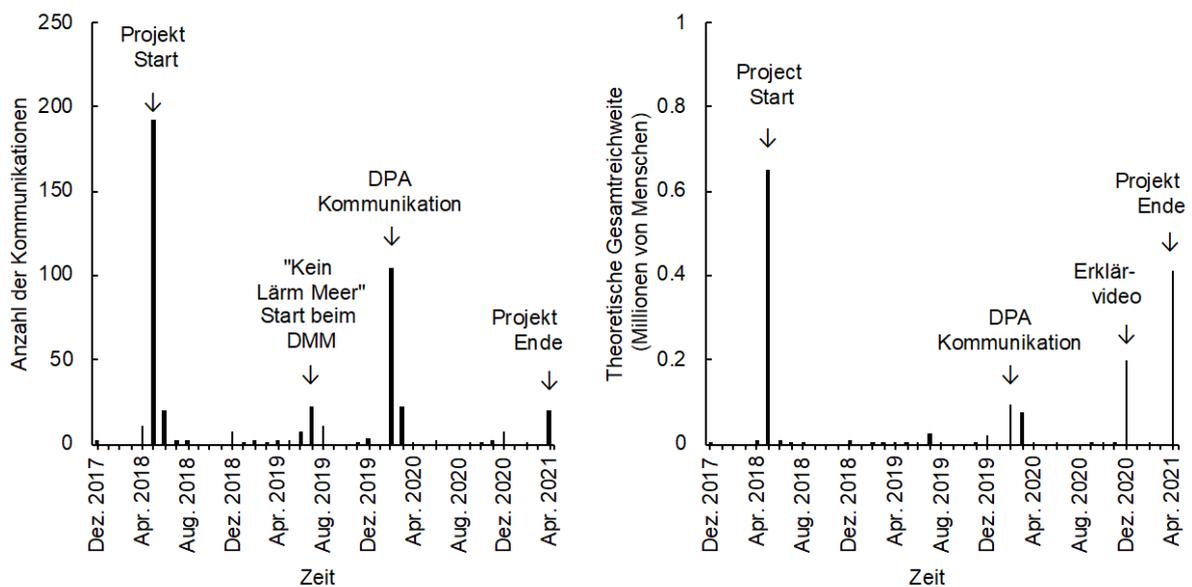
Abbildung 21: Kommunikationsverteilung auf Mediengattungen



Linkes Feld: Darstellung der Anzahl der Kommunikationen pro Medienkategorie. Rechtes Feld: Darstellung der gesamten theoretischen Reichweite pro Mediengattung. Quelle: eigene Darstellung, DMM

Die Medien kommunizierten am häufigsten über das Projekt, als es im Mai 2018 offiziell startete, nach einer Mitteilung der Deutschen Presse Agentur (DPA), nach dem Start des Kommunikationsthemas "Kein Lärm Meer" beim DMM und zum Ende der Kommunikationsstrategie des Projekts im April 2021, als verschiedene Veranstaltungen organisiert wurden (s. u. 6.2, 6.3, 6.4). Auch die Veröffentlichung des Erklärvideos im Internet (s. u.) war mit einer deutlich erhöhten theoretischen Reichweite verbunden (**Abbildung 22**).

Abbildung 22: Zeitliche Variation der Kommunikation



Linkes Feld: Zeitliche Variation in der Anzahl der monatlichen Kommunikationen. Rechtes Feld: Zeitliche Variation der monatlichen theoretischen Reichweite. Das Projektende bezieht sich auf das ursprünglich geplante Ende des Projekts (April 2021). Quelle: eigene Darstellung, DMM

6.2 Öffentliche Veranstaltungen

Zum Weltpinguintag 2019 (25. April) informierte auf der Pinguinerrasse des Ozeaneums des Ozeaneums (DMM) ein Aktionsstand über das Projekt, Unterwasserlärm und Pinguine allgemein. Am 31. August 2019 fand die „Lange Nacht der Museen“ beim MfN statt, wo ein Stand installiert wurde, um das Projekt und die Ergebnisse der CT-Scans zu präsentieren. Außerdem wurden die 3D-Modelle und die Pinguin-Vokalisationen aus dem Tierstimmenarchiv präsentiert. Insgesamt kamen 10500 Besucher ins MfN, was es zum meistbesuchten Ort in Berlin während dieser Veranstaltung machte. Der Stand war die gesamte Öffnungszeit besetzt und wurde von ca. 500 Personen besucht, die sich für das Projekt und die Lärmbelastigung unter Wasser interessierten. Ebenfalls war ein Infostand am Ozeaneum für die „Lange Museumsnacht“ im September 2019 installiert, welche insgesamt 2800 Besucher anlockte.

Beim DMM wurden während des „Familiensommers“ 2019 kommentierte Schulungen für 228 Besucher durchgeführt. Seit Juli 2019 ist im Ausstellungsraum „Weltmeere“ des Ozeaneums eine Vitrine zum Projekt installiert, die ein bearbeitetes Video des Weichteilschans des Ohres von Kaiserpinguinen zeigt.

Im Rahmen der regelmäßigen Abendvorträge im Chor der Katharinenhalle des DMM wurde ein populärwissenschaftlicher Vortrag über die Antarktis-Expeditionen gehalten, die im Rahmen

des Projekts "Hearing in Penguins" durchgeführt wurden (s. 4.4 oben). Mit über 100 Gästen war dies nicht nur einer der besucherstärksten Vorträge, sondern wurde auch journalistisch vom Fernsehen am Strelasund (FaS) begleitet.

6.3 Podiumsdiskussion

Ursprünglich wurde eine Podiumsdiskussion im April 2020 als Teil der „Woche gegen Lärm im Meer“ geplant. Aufgrund der Corona-Pandemie konnte die Veranstaltung nicht stattfinden und die Aktionswoche wurde um ein Jahr verschoben und hat im April 2021 als digitales Format stattgefunden. Für die Diskussionsrunde am 27.04.2021 waren eingeladen:

- ▶ Dr. Lilian Busse (Umweltbundesamt, UBA),
- ▶ Nadja Ziebarth (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, BUND),
- ▶ Dr. Dietrich Wittekind (DW-ShipConsult),
- ▶ Steffi Lemke MdB (Bündnis 90/Die Grünen),
- ▶ Prof. Antje Boetius (Alfred-Wegener-Institut, AWI).

Das Podium diskutierte Fragen und Lösungsansätze zur Thematik Unterwasserlärm. Die Diskussion wurde digital übertragen und war für die breite Öffentlichkeit zugänglich. Zweiunddreißig Teilnehmer nahmen an dieser Online-Veranstaltung teil.

6.4 Wissenschaftliche Abschlusskonferenz

Aufgrund der Pandemiesituation Anfang 2021 wurde beschlossen, das Abschlusstreffen des Projekts "Hearing in Penguins" online statt wie ursprünglich geplant in Anwesenheit durchzuführen. Das Abschlusstreffen war Teil der "Woche gegen Lärm im Meer" und wurde über zwei Tage abgehalten. Der erste Tag war der allgemeinen Vorstellung des Projekts und dem Begriff des Audiogramms gewidmet. In diesem Zusammenhang stellten wir die Arbeit vor, die wir durchgeführt haben, um bereits veröffentlichte Audiogramme zu sammeln und um neue Daten während und nach dem Projekt zu erheben. Unsere Präsentationen zu Audiogrammen wurden durch einen Vortrag von Dr. Aran Mooney (Woods Hole Oceanographic Institution, USA) ergänzt, der sich mit dem Hörvermögen von Alkenvögeln beschäftigt. Am zweiten Tag erweiterten wir den Rahmen unseres Treffens durch die Betrachtung von Unterwasserlärm in der Antarktis (Vortrag von Prof. Christine Erbe, Curtin University, Australien) und durch die Vorstellung ergänzender Ansätze zur Untersuchung des Hörvermögens von Pinguinen (Untersuchung der Ohrmorphologie von Pinguinen und ihrer Verhaltensreaktion als Reaktion auf Schalleinwirkung). Ergänzt wurden unsere Vorträge zum Verhalten von Pinguinen durch einen Vortrag von Dr. Andrea Thiebault (Université Paris-Saclay, France), die die Auswirkungen seismischer Aktivitäten auf das Futterverhalten freilebender afrikanischer Pinguine vorstellte, und durch einen Vortrag von Prof. Boris Culik (Christian-Albrechts Universität Kiel) über den möglichen Einsatz akustischer Methoden zur Reduzierung des Beifangs von Pinguinen. Alle Vorträge der externen Referenten bereicherten den Inhalt des Treffens sehr. Die Durchführung der Abschlusstagung wurde über verschiedene Mailinglisten (Deutsche Ornithologische Gesellschaft, International Penguin Conference) kommuniziert und war somit auch für externe Teilnehmer offen. Etwa 35 Teilnehmer (schwankend zwischen 32 und 37) besuchten das Treffen.

6.5 Digitale Medien

6.5.1 Social Media

Im Mai 2019 wurde ein Instagram-Account über das Projekt (@hearing_in_penguins) eingerichtet, auf dem regelmäßig Neuigkeiten über das Projekt gepostet wurden. Ebenso erstellte Kenneth Sørensen (SDU) seinen eigenen Instagram-Account über sein PhD-Projekt (@hearing_in_penguins_sdu). Auf beiden Instagram-Accounts wurden fünfzig bzw. 84 Beiträge gepostet. Seit der Erstellung der beiden Instagram-Konten stieg die Anzahl der Follower stetig an (Apr. 2021, N = 312 bzw. 305). Aufgrund der Beendigung der Kommunikationsmaßnahmen für das Projekt im April 2021 wurde das zugehörige Projekt Instagram-Konto Ende Juli 2021 gelöscht.

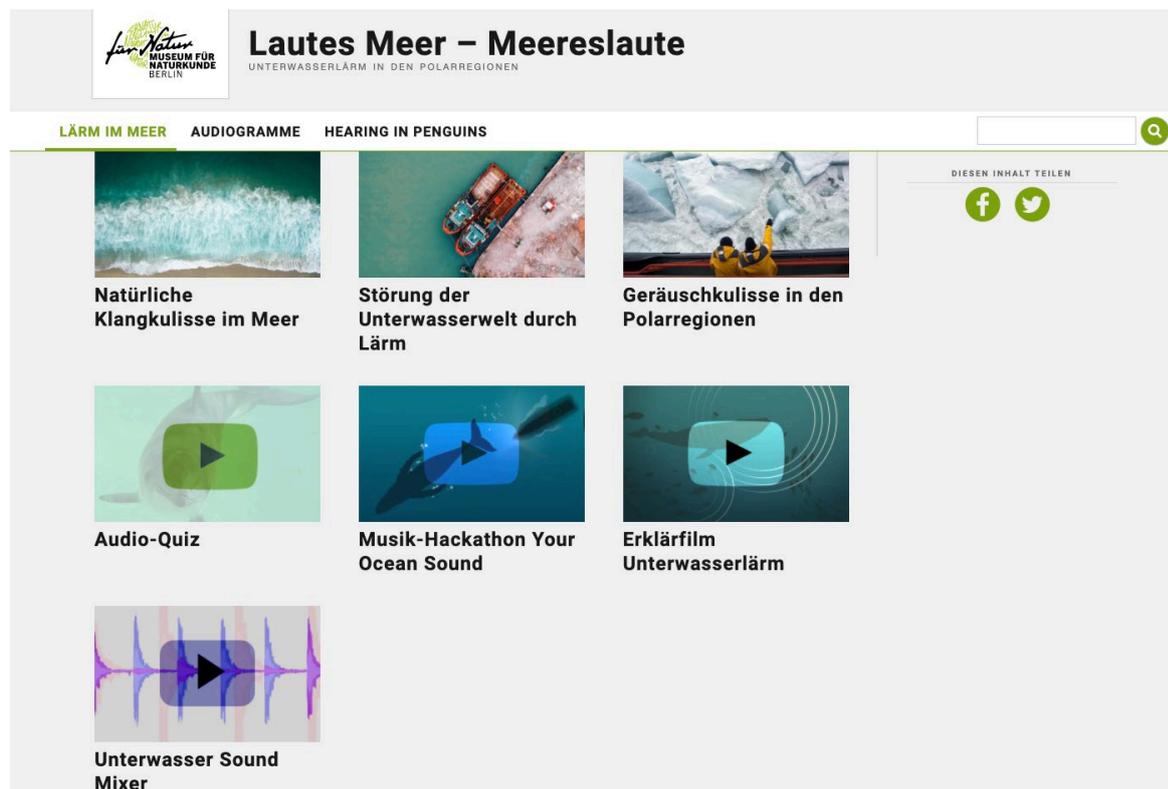
Darüber hinaus wurden vor allem die Social-Media-Kanäle (Instagram, Twitter, Facebook) des MfN mit insgesamt 50000 Followern und des DMM mit rund 14000 Followern genutzt, um über das Projekt zu informieren und Inhalte zu verbreiten. Zu diversen Anlässen wurden Social-Media-Kampagnen durchgeführt: Weltpinguintag (April 2019, 2020, 2021), World Oceans Day (Juni 2019), Veröffentlichung des Making-of-Videos (September 2019), Jubiläum Antarktis-Vertrag (Dezember 2019), Weltpinguintag (April 2020), Veröffentlichung der Audiogramm-Datenbank (September 2020), Veröffentlichung des Erklärvideos (Dezember 2020), Veröffentlichung eines Podcasts (März 2021), Woche gegen Lärm im Meer (April 2021).

6.5.2 Informationsplattform

Wegen eines Cyberangriffs am 20.02.2024 auf die Webseiten des MfN ist zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Zugriff auf die Projektseiten nicht möglich. Die Seiten werden sukzessive wieder in Betrieb genommen.

Das MfN entwickelte das Konzept für eine Informationsplattform zur Vermittlung der Unterwasserlärmbelastung (s. Tabelle 4 unten). Der generelle Aufbau und auch inhaltliche Vorstellungen wurden in Abstimmung mit dem DMM festgelegt. Die technische sowie inhaltliche Umsetzung erfolgte am MfN. Die Informationsplattform wurde im April 2020 anlässlich des „International Noise Awareness Day“ online gestellt (s. Lautes Meer-Meereslaute; <https://unterwasserlaerm.museumfuernaturkunde.berlin/>; **Abbildung 23**). Die Plattform umfasst informativen Hintergründe zum Thema Unterwasserlärm, ein Audio-Quiz mit Unterwassergeräuschen, ein Unterwasser Sound Mixer (s. u.) einen Link zum Video über Unterwasserlärm (s. u.) sowie Informationen über das Projekt einschließlich eines Blogs mit 20 Artikeln. Die Online-Version des Audio-Quiz wurde am 28. April 2020 veröffentlicht. Eine eigenständige (offline) Version des Quiz wurde in August 2020 vom DMM bereitgestellt und erfolgreich installiert.

Abbildung 23: Startseite der Online-Informationsplattform zur Unterwasserlärmbelastung



Quelle: eigene Darstellung, MfN (<https://unterwasserlaerm.museumfuernaturkunde.berlin/>)

Für die Erstellung eines Erklärvideos

(https://www.youtube.com/watch?v=8DTh96yaHL0&list=PLeTIYFAGADkPC3_OaaYlpOgM1jr3tREIC) über die Lärmbelastung unter Wasser wurde die Filmfirma "Panda Pictures" im Angebotsverfahren ausgewählt und beauftragt. Das dreiminütige Video wurde in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht. Es wurde auf den Social-Media-Kanälen des UBA und DMM beworben. Zwischen Dezember 2020 und April 2021 wurde das Video 788 Mal auf Deutsch und 578 Mal auf Englisch aufgerufen.

Für die visuelle und akustische Darstellung der Geräusche von Meerestieren wurde der "Unterwasser-Soundmixer" (<https://unterwasserlaerm.museumfuernaturkunde.berlin/mixer>) entwickelt, der es der Öffentlichkeit ermöglicht, die Geräuschkulisse unter Wasser und die Lärmbelastung aus der Perspektive der Meerestiere zu erleben. Der Mixer enthält die Unterwasser-Vokalisationen von 10 ausgewählten marinen Arten (Wale und antarktische Robben) und überlagert sie mit 11 anthropogenen Lärmquellen (z. B. Motorboote in unterschiedlichen Entfernungen, Rammarbeiten, Airguns). Die akustischen Ergebnisse sind dann in der Art und Weise zu hören, wie Menschen oder Meerestiere die Geräusche hören. Die Geräusche wurden unter 130 Aufnahmen auf der Grundlage ihrer Qualität und Lizenzvereinbarung ausgewählt. Auch die entsprechenden Metadaten waren in unterschiedlichem Detaillierungsgrad vorhanden, wobei die genaue Entfernung zur Schallquelle selten bekannt war. Ein weiteres Auswahlkriterium war die Vorkenntnis der Hörkurve der Tiere, so dass die Hörfähigkeit der Spezies durch hörphysiologische Modellierung angenähert werden konnte.

6.5.3 Sonic Chair

6.5.3.1 Zeitlicher Ablauf

Der Sonic Chair wurde unter der Leitung des DMM ausgearbeitet und realisiert. Auch das MfN und das UBA waren an der Entstehung und Realisierung beteiligt. In den ersten 8 Monaten (April - Dezember 2020) fand die Planung, Ausschreibung und Beauftragung einer Agentur statt. Die Firma "wir machen bunt" (<https://wirmachenbunt.de/>) wurde ausgewählt und beauftragt, neue Konzepte und Designs zu entwickeln. In den folgenden 8 Monaten (Januar - August 2021) wurde dann das Grobkonzept erstellt und die Hauptinhalte, die für alle Nutzer des Sonic Chair über einen interaktiven Touchscreen zugänglich sind, entwickelt und programmiert. Zusätzliche Inhalte mit detaillierteren Informationen wurden auch für Experten (Expert Level) konzipiert und innerhalb von drei Monaten (September - November 2021) umgesetzt. Außerdem wurde eine interaktive Bedieneroberfläche entwickelt, die über einen Touchscreen zugänglich ist, wenn man im Sonic Chair sitzt (**Abb. 24**), damit die Nutzer zwischen verschiedenen Inhalten wechseln können. Die endgültige Fertigstellung fand von Oktober bis Dezember 2021 statt. Für die Einführung des Sonic Chair im Frühjahr 2022 wurde ein Teaser (<https://www.youtube.com/watch?v=zS5phfPq4CE>) erstellt, der den Standort im DMM sowie im UBA in Dessau vorstellt. Seit seiner Fertigstellung wurde der Sonic Chair bereits auf mehreren nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt (z.B. museum4punkt0 Konferenz, Stralsund (April 2022); 44. Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM), Berlin (April-Mai 2022); Ocean Future Day, Stralsund (Mai 2022); Baltic Sea Day, Rostock (Juni 2022)) und erhielt viel Anerkennung und Lob.

6.5.3.2 Inhalt

Im Sonic Chair kann man die Geräuschkulisse des Meeres auf eine noch nie dagewesene Weise hören, sehen und fühlen. Um dieses ganzheitliche Erlebnis für die Benutzer zu schaffen, überträgt die Klangmembran im Rücken die Schwingungen direkt auf die Besucher. Der Hauptinhalt umfasst 9 Ebenen (1 – Klangwelten im Ozean sind ebenso vielfältig wie an Land; 2 - Im Wasser breitet sich Schall schneller aus als in Luft; 3 - Meerestiere erzeugen und empfangen verschiedene Geräusche; 4 - Menschen verursachen immer mehr Lärm in allen Ozeanen; 5 - Überlagerungen von Geräuschen beeinträchtigen Tiere; 6 - In den letzten zehn Jahren verdoppelte sich der Lärm im Meer; 7 - Die Ozeane benötigen politische Maßnahmen und technische Lösungen; 8 - "Your Ocean Sound" Klanglandschaften neu gemixt; 9 - Impressum), zwischen denen die Benutzer über den interaktiven Touchscreen wechseln können. So lassen sich im Sonic Chair nicht nur die tiefen Gesänge von Blauwalen oder die pulsierten Geräusche von Krebsen und Fischen erleben, sondern auch künstliche Geräusche, während die Besucher am Ende ihrer Klangreise entspannt den Siegerbeiträgen des internationalen Kunstwettbewerbs "Your Ocean Sound" lauschen können (siehe 6.5.6). Schließlich können die Nutzer auf sieben Ebenen des Hauptinhalts auf Experteninformationen zugreifen (1 – Korallenriff Blues; 2 – Langstrecken-Kommunikation; 3 - Lieder reisen um die Welt; 4: Ruhe da oben!; 5 - Kakophonie im Meer; 6 - Lärmstufe rot; 7 - Lärmschutz für die Meere). Der Sonic Chair bietet somit eine reichhaltige und abwechslungsreiche akustische Erfahrung für alle Arten von Nutzern (von denen, die sich einfach nur entspannen wollen, bis hin zu anspruchsvollen Nutzern, die ihr Wissen erweitern wollen).

Abbildung 24: Visualisierung des Sonic Chairs



Quelle: eigene Darstellung, DMM/wirmachenbunt

6.5.4 Making-of Video

Ein making-of Video (<https://www.youtube.com/watch?v=ecRbS0KLi3o>) über das Projekt mit Fokus auf die CT-Scans wurde im August 2019 fertiggestellt. Dieses Begleitvideo beleuchtet den wissenschaftlichen Prozess am MfN und gibt einen kurzen Überblick über das Projekt und die pädagogischen Aspekte des Trainings der Pinguine beim DMM. Kurze Sequenzen der 3D-Modelle und Bilder aus dem Begleitvideo wurden für Social-Media-Kampagnen zum Weltpinguintag (April 2019) und zum Welttag der Ozeane (Juni 2019) verwendet und erreichten insgesamt mehr als 17000 Menschen über die Social-Media-Kanäle des MfN (Twitter, Instagram, Facebook). Um das Video zu bewerben, wurde im September 2019 eine Social-Media-Kampagne durchgeführt, um die ersten Ergebnisse des Projekts (3D-Modelle) und die Sonderausstellung "Kein Lärm Meer" im DMM zu bewerben. Insgesamt hat dieses Video bisher 40.000 Menschen über die Social-Media-Kanäle des MfN erreicht (20.000 über Twitter, 12.000 über Facebook, 8.000 über Instagram) und fast 4.000 Menschen haben dieses Video angesehen (Social-Media-Kanäle des MfN zusammengenommen, Stand: Februar 2021). Das UBA bewarb die 3D-Modelle und das dazugehörige Video auf seinem Twitter-Kanal und erreichte damit mehr als 14000 zusätzliche Personen (Stand: 26. September 2019).

6.5.5 Online Talks & Podcasts

Zur Bewerbung der neuen Informationsplattform organisierten wir zwei Online-Vorträge von M. Dähne (DMM) und S. Frahnert (MfN) anlässlich des Weltpinguintages (25. April 2020) und des Tages gegen Lärm (29. April 2020) sowie eine Online-Kampagne auf den Social-Media-Kanälen des MfN (Gesamtreichweite: 75000 Personen). Weitere Präsentationen (Podiumsdiskussion, Abschlusskonferenz) wurden für die "Woche gegen Lärm im Meer" Ende April 2021 ebenfalls online präsentiert.

Cora Albrecht (Projekt-Umweltpädagogin) nahm einen Podcast in der Reihe "Beats & Bones" auf, der vom MfN produziert wird und im Februar 2021 veröffentlicht wurde. Außerdem nahm sie zwei Episoden des Podcasts "Süßes oder Saurier" auf, der sich an Kinder richtet.

6.5.6 Musik-Hackathon

Ein Musik-Hackathon mit dem Titel "Your Ocean Sound" wurde organisiert und im März 2021 gestartet. Audioaufnahmen von Unterwassergeräuschen (biotisch, abiotisch und anthropogen), die im Laufe des Projekts am MfN gesammelt wurden, wurden über das Datenportal des MfN zur Verfügung gestellt (soweit es die Lizenzen der Aufnahmen erlauben). Die Teilnehmer des Hackathons wurden gebeten, diese Aufnahmen zu nutzen, um ihre eigenen Samples zu erstellen, die Unterwassergeräusche enthalten. Insgesamt wurden 28 Musikkompositionen eingereicht. Die Jury setzte sich aus renommierten Musikern und Bioakustikern zusammen. Die besten drei Einreichungen wurden im Rahmen eines Online-Events zu Beginn der "Woche gegen Lärm im Meer" im April 2021 prämiert. Dieses Event versammelte online 61 Teilnehmer. Der erste Gewinner erhielt 500 € für die Komposition "Penguin Dive", der zweite 300 € für die Komposition "Under Water" und der dritte 200 € für die Komposition "Singing Ice". Diese Kompositionen können [hier](https://unterwasserlaerm.museumfuernaturkunde.berlin/projekt-hearing-in-penguins/blog/gewinner-des-musik-hackathons-your-ocean-sound) (<https://unterwasserlaerm.museumfuernaturkunde.berlin/projekt-hearing-in-penguins/blog/gewinner-des-musik-hackathons-your-ocean-sound>) gehört werden und sind Teil der Klänge, die das Publikum im Sonic Chair hören kann.

6.5.7 Tagungen, Konferenzen und Veröffentlichungen

Das Projekt wurde auf den folgenden wissenschaftlichen Konferenzen vorgestellt:

- ▶ "The Effect of Aquatic Noise" Den Haag, Niederlande, Juli 2019 (zwei mündliche Präsentationen),
- ▶ "10th International Penguin Conference" Dunedin, Neuseeland, August 2019 (ein mündlicher Vortrag, ein Poster),
- ▶ "International Conference on Acoustics", Aachen, Deutschland, September 2019 (ein mündlicher Vortrag),
- ▶ "Meeting of the German Ornithological Society", online September 2020 (ein ganzes Symposium, mit sechs mündlichen Präsentationen, wurde dem Projekt bei dieser Gelegenheit gewidmet).
- ▶ "African Bioacoustic Conference", online November 2020 (Hauptvortragsredner)

Darüber hinaus wurde das Projekt dem Berufsverband der Tierpfleger im Opel-Zoo Kronberg im Rahmen eines Pinguin-Workshops im September 2019, während eines Seeelefanten-Treffens am Chizé-Zentrum für biologische Studien (CNRS, Frankreich) im Oktober 2019 und während der von der SDU organisierten Summer School on Acoustic Communication im August 2019 vorgestellt.

7 Akademische Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts "Hearing in Penguins" konnten sechs Studenten ihre Bachelor-, Master- oder Doktorarbeiten in Deutschland und Dänemark abschließen (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Abschlussarbeiten im Rahmen des Projekts „Hearing in Penguins“

Autor	Titel der Arbeit	Jahr	Universität	Abschluss
Lindner M.	Comparative morphology of the middle and inner ear in extant Penguins (Spheniscidae) and other diving birds	2018	Universität Rostock	MSc
Köpp J.	Verhaltensorganisationen von nest relief ceremonies über die gesamte Brutzeit von Adeliepinguin (Pygoscelis adeliae)	2020	Universität Greifswald	BSc
Friis Vittrup M.	In-air hearing of the Northern Rockhopper Penguin (Eudyptes moseleyi)	2021	SDU	MSc
Skov Rasmussen M.	Penguin hearing under water	2021	SDU	MSc
Sørensen K.	Hearing in penguins	2021	SDU	PhD
Rößler H.	Acoustic communication and hearing in penguins	In progress	University of Greifswald	PhD

Im Rahmen des Projekts wurden außerdem sieben begutachtete Artikel veröffentlicht und ein weiterer Artikel bei einer Fachzeitschrift eingereicht (**Tabelle 2**).

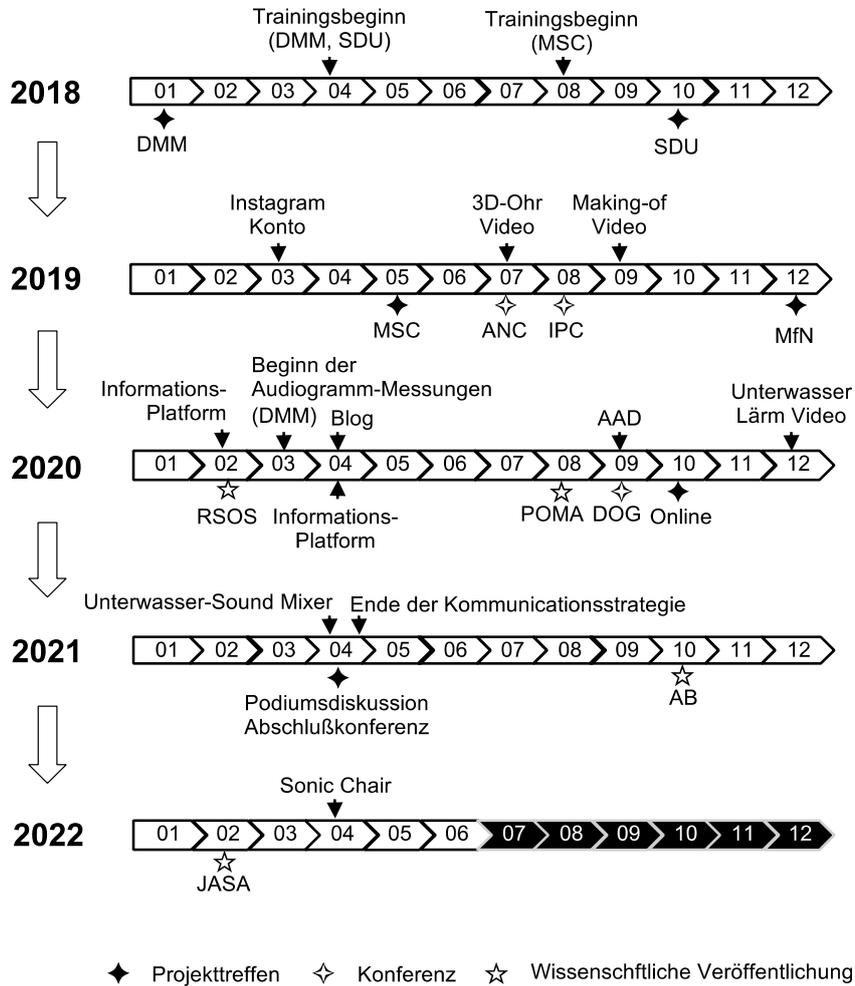
Tabelle 2: Wissenschaftliche Artikel, die im Rahmen des Projekts „Hearing in Penguins“ geschrieben wurden

Autoren	Titel des Artikels	Jahr	Zeitschrift	Band: Seiten
Frahnert S., Lindner M., Bendel E.M., Frahnert K.H., Westphal N., Dähne M.	3D-visualization of the ear morphology of penguins (Spheniscidae): implications for hearing abilities in air and underwater	2020	Proc. Meet. Acoust.	37: 10018
Sørensen K., Neumann C., Dähne M., Hansen K.A., Wahlberg M.	Gentoo penguins (Pygoscelis papua) react to underwater sounds	2020	R. Soc. Open Sci	7: 191988
Beaulieu M., Dähne M., Köpp J., Marciau C., Kato A., Ropert-Coudert Y., Raclot T.	Exploring the interplay between nest vocalizations and foraging behaviour in breeding birds	2021	Anim. Behav.	180: 375-391

Jäckel D., Ortiz Troncoso A., Dähne M., Bölling C.	The Animal Audiogram Database: A community-based resource for consolidated audiogram data and metadata	2022	J. Acoust. Soc. Am.	151: 1125-1132
Rößler H., Lynch M., Ortiz S.T., Larsen O.N., Beaulieu M.	Neighbors matter: vocal variation in colonies shared by sympatric <i>Pygoscelis</i> penguin species	2022	Ornithology	139 (4):
Rasmussen M.S., Sørensen K., Vittrup M.F., Wahlberg M.	Pavlovian conditioning of gentoo penguins (<i>Pygoscelis papua</i>) to underwater sound	2022	Biol. Open	11 (11)
Rößler H., May A., Dähne M., Beaulieu M.	Long and winding road: Training progress and trainability variation across a psychoacoustic experiment in penguins	2022	Appl. Anim. Behav. Sc.	256(2): 105764
Rößler H., May A., Wahlberg M., Dähne M.	In-air audiograms of penguins measured through psycho-acoustic methods	In prep.	J. Acoust. Soc. Am.	-

8 Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse des Projekts „Hearing in Penguins“

Abbildung 25: Zeitskala der wichtigsten Ergebnisse des Projekts „Hearing in Penguins“



AB: Artikel Veröffentlichung in Animal Behaviour (Zeitschrift), ANC: Vorträge bei der Acoustic Noise Conference, DOG: Vorträge bei der Deutsche Ornithologische Gesellschaft, IPC: Vortrag und Poster bei der International Penguin Conference, JASA: Artikel Veröffentlichung in Journal of the Acoustical Society of America, POMA: Artikel Veröffentlichung in Proceedings of Meetings on Acoustics (Zeitschrift), RSOS: Artikel Veröffentlichung in Royal Society Open Science (Zeitschrift). Quelle: eigene Darstellung, DMM

9 Schwierigkeiten während des Projekts

Bevor das Projekt „Hearing in Penguins“ begann, wurden Pinguine nie für wissenschaftliche Zwecke trainiert. Es war daher schwierig, die Problemstellen vorausszusehen, die mit dem Training von Pinguinen zur Messung von Audiogrammen verbunden sind. Darüber hinaus war dieses Training für den Zeitraum von 2018 bis 2021 geplant, d. h. teilweise zu dem Zeitpunkt, als die Coronavirus-Krise sich zuspitzte. Eine Liste der Schwierigkeiten im Zusammenhang mit dem Training von Pinguinen im Rahmen des Projekts „Hearing in Penguins“ ist in **Tabelle 3** aufgeführt.

Tabelle 3: Schwierigkeiten, die während des Projekts „Hearing in Penguins“ aufgetreten sind

Beschreibung	DMM	SDU	MSC	MfN
Widerwillen der Pinguine gegen Training	x	xx	xx	
Notwendigkeit von neuen Infrastrukturen		xx	xx	
Arbeitseinschränkungen durch Coronavirus	x	xx	xxx	xx
Ornithose Ausbruch		xx	xxx	

Die Anzahl der "x" gibt an, wie stark Institutionen betroffen waren (Je mehr desto stärker war die Institution betroffen)

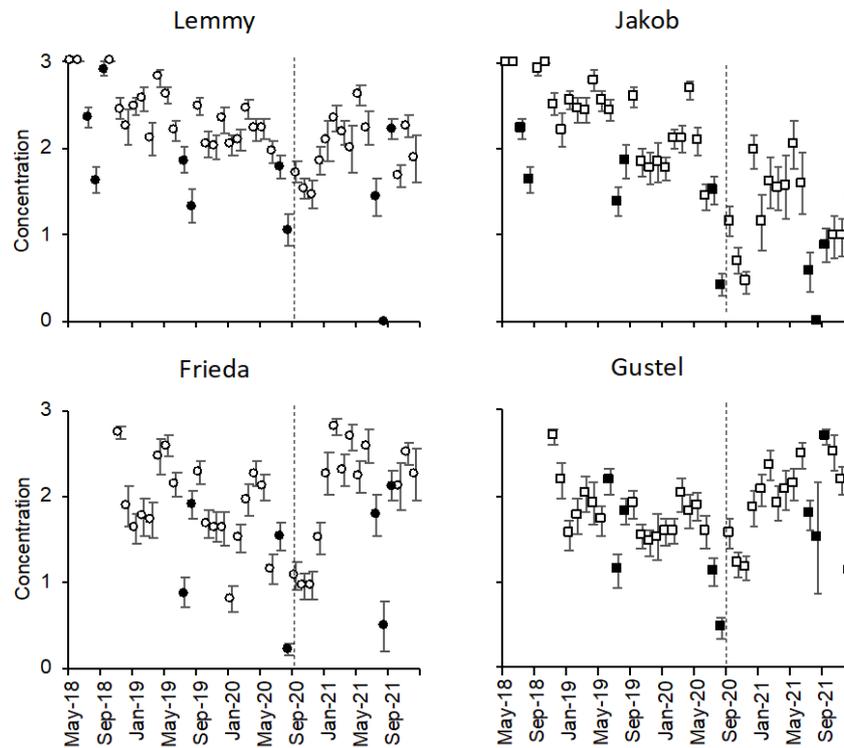
9.1 Widerwillen der Pinguine gegen Training

Ursprünglich war im Zoo Odense geplant, die Audiogramme von Königspinguinen unter Wasser zu messen. Königspinguine tauchten jedoch nur sehr ungern zum Training in das Wasserbecken. Es wurde daher beschlossen, das Training der Königspinguine ausschließlich in der Luft durchzuführen, um schließlich Luftaudiogramme zu messen. Doch auch in der Luft waren die Fortschritte der Königspinguine so langsam, dass man sich entschloss, ihr Training nach mehr als zwei Jahren intensiven Bemühens einzustellen.

Im Gegensatz zu den Königspinguinen an der SDU wollten die Humboldt-Pinguine am MSC am liebsten alle im Wasser bleiben. Während des Trainings sollten die Pinguine getrennt werden, indem der trainierende Pinguin im Wasser blieb und die anderen drei Tiere auf das Ponton gebracht wurden. Die drei getrennten Pinguine zeigten jedoch eine starke Abneigung dagegen, vom Wasser ferngehalten zu werden (vermutlich, weil sie im Falle einer Gefahr nicht mehr ins Wasser entkommen können). Dies führte dazu, dass es völlig unmöglich war, sie aus dem Wasser zu drängen. Zudem störten sich die Pinguine während der Trainingseinheiten gegenseitig.

Pinguine zeigten deutliche saisonale Unterschiede in ihrer Motivation, trainiert zu werden. Zum Beispiel reduzierte die Anwesenheit von natürlich vorkommenden Fischen im Sommer am MSC ihre Motivation, am Training teilzunehmen, stark. Außerdem waren die Pinguine während der Mauser im Sommer sehr schwer zu trainieren (**Abbildung 26**), vermutlich wegen des hohen Energieaufwands für die Produktion neuer Federn und weil die Federn der Pinguine nicht mehr wasserdicht waren (was ein Unterwassertraining verhinderte).

Abbildung 26: Zeitliche Schwankungen der Konzentration von vier einzelnen Humboldt-Pinguinen, die am DMM trainiert wurden



Die schwarzen Punkte stellen die Monate dar, in denen die Pinguine in der Mauser waren, und die vertikale gestrichelte Linie stellt den Monat dar, in dem die Pinguine zum ersten Mal Interesse an einer Paarung zeigten. Dargestellt sind monatliche Mittelwerte (\pm SF). Source: own illustration, DMM

9.2 Notwendigkeit an neuen Infrastrukturen

Im März 2020 wurden die Pinguine des Zoos Odense aufgrund einer vollständigen Restaurierung ihres Geheges in einen Quarantänebereich verlegt. Wegen des ersten Coronavirus Lockdowns aufgrund der Corona-Pandemie (s. u.) wurde die Wiederherstellung des Pinguingeheges um einen Monat verschoben, bevor die Pinguine wieder in das Gehege zurückgebracht und trainiert werden konnten.

Aufgrund von Trainingsproblemen, die Ende 2019 entstanden, wurde am MSC ein neues Pinguingehege notwendig (s. 2.1.3). Dieses neue Gehege sollte es einem Pinguin ermöglichen, in einem Wasserabteil trainiert zu werden während die anderen Pinguine Zugang zum zweiten Wasserabteil hatten. Wegen der Einschränkungen aufgrund des ersten Coronavirus-Lockdowns wurde die Fertigstellung des neuen Geheges verschoben.

9.3 Arbeitseinschränkungen durch den Corona Lockdown

Obwohl das DMM während der Coronavirus-Krise für Besucher geschlossen war, wurden die Trainingseinheiten modifiziert, um die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination zwischen Pinguintrainern und anderen Tierpflegern zu verringern. Die Anzahl der täglichen Trainingseinheiten wurde daher von drei auf zwei reduziert.

In Dänemark wurde das Training an der SDU für mehrere Wochen unterbrochen (wegen der Einschränkungen durch das Coronavirus und der Restaurierung des Pinguingeheges). Als das Training schließlich nach dem ersten Lockdown wiederaufgenommen wurde, waren die

Pinguine stark gestresst und es fehlte ihnen an Motivation. Dies mag auf die lange Zeit ohne Training und auf die Tatsache zurückzuführen sein, dass Kenneth Sørensen während der Trainingseinheiten Gesichtsschutz tragen musste (da Königspinguine bei neuartigen Objekten sehr vorsichtig reagieren).

Während des ersten Lockdowns hat die Universität Rostock auch eine Schließung all ihrer Institute (darunter das MSC) durchgeführt. In den ersten sechs Wochen des Lockdowns war am MSC nur eine Notversorgung der Tiere erlaubt. Das MSC musste zusätzliche Maßnahmen ergreifen, um die weitere Versorgung seiner Tiere (Robben und Pinguine) sicherzustellen, und nur ein Pflergeteam konnte sich in zwei Schichten pro Tag um die Tiere kümmern. Der große Arbeitsaufwand für die Pflege der Tiere bei einer minimalen Personenanzahl erlaubte es nicht, Pinguine zu trainieren.

Es ist wichtig zu beachten, dass alle Pausen im Training der Pinguine zu einer "Erholungszeit" (von mehreren Wochen bis zu Monaten) führen, damit die Pinguine wieder in das experimentelle Training eintreten können. Die Pinguinarten sind dabei sehr unterschiedlich, während die Königspinguine drastisch auf jede Unterbrechung reagierten, reagierten die Humboldtpinguine eher unproblematisch. Darüber hinaus fiel das Ende des ersten Lockdowns mit dem Beginn der Mauserzeit der Pinguine zusammen, in der die Pinguine nur schwer (in der Luft) oder gar nicht (unter Wasser) trainiert werden können. Diese Ereigniskombination hat die Wiederaufnahme des Pinguintrainings (insbesondere beim MSC) noch weiter hinausgeschoben.

Die Versuche mit den AEP-Elektroden mussten auch aufgrund von Mobilitätseinschränkungen (Reiseverbote) während des Lockdowns verschoben werden.

Beim MfN und DMM musste die Anzahl der ursprünglich geplanten Kommunikationsformate aufgrund der Pandemie reduziert werden. Alle Kommunikationsformate, die online stattfanden, wurden beibehalten. Einige Formate, die als Präsenz- oder Messeformate geplant waren, konnten entweder teilweise realisiert werden, weil sie bereits vor der Pandemie begonnen hatten (z. B. kommentierte Schulungen), oder vollständig realisiert werden, weil sie verschoben und online verlegt werden konnten (z. B. Podiumsdiskussion). Die meisten der Präsenzformate mussten jedoch abgesagt werden (**Tabelle 4**).

Tabelle 4: Ursprünglich vorgesehene Kommunikationsformate

Format	Beschreibung	Erreicht	Teilweise erreicht	Abgesagt
Sociale Medien	Artikel und Nachrichten über das Projekt, die auf Instagram, Twitter, den DMM- und MfN-Kanälen und im Projektblog veröffentlicht werden	x		
Informationsplattform	Webseite, die über Unterwasserlärm informiert und mit sozialen Medien verlinkt ist, Projektblog, Musik-Hackaton, Mixer und Videos	x		
Unterwasser Sound Mixer	Online-Programm, mit dem die Öffentlichkeit erfahren kann, wie Meerestiere Unterwasserlärm wahrnehmen	x		
Sound quiz	Online-Quiz über Unterwassergeräusche	x		
Musik Hackathon	Wettbewerb zwischen Musikern, die Unterwassergeräusche für Musikkompositionen verwenden	x		

Format	Beschreibung	Erreicht	Teilweise erreicht	Abgesagt
Darstellung der Ohrenscons	Online-Veröffentlichung von CT-Scans, 3D-Modellen und Making-of-Video	x		
Erklärvideo	Online-Veröffentlichung eines Videos über Lärmbelastung unter Wasser	x		
Podiumsdiskussion	Debatte über die Lärmbelastung unter Wasser mit Fokus auf die Polarregionen	x		
Sonic Chair	Mobile Einheit (Chair) für die Öffentlichkeit zum Erleben von Unterwassergeräuschen	x		
Kommentiertes Training	Öffentliche Erläuterung des Trainings von Pinguinen während aktueller Trainingseinheiten beim DMM		x	
“Lange Nacht der Museen”	Erklärungsstand zum Projekt beim DMM und MfN während der "Langen Nacht der Museen"		x	
Parlamentarischer Abend	Öffentlicher Abend, der Wissenschaftler und Politiker zusammenbringt, um über Unterwasserlärm zu diskutieren			x
Science Slam	Kurze mündliche Präsentationen zur Akustikforschung von jungen Forschern			x
“Meet a Scientist”	Diskussion mit dem Publikum im öffentlichen Raum über Unterwasserlärm			x
Wettbewerb an Musikhochschulen	Wettbewerb zwischen Musikhochschulen zur Erstellung musikalischer Kompositionen			x
“Lange Nacht der Wissenschaften”	Erklärungsstand zum Projekt beim DMM und MfN während der "Langen Nacht der Wissenschaften"			x
Teilnahme an “Re:publica”	Treffen zwischen Bloggern, Influencern, Wissenschaftlern, Politikern und Künstlern zur Diskussion über digitale Themen			x
Acoustic Box	Mobile Einheit (Raum) für die Öffentlichkeit zum Erleben von Unterwassergeräuschen			x

9.4 Ornithose Ausbruch

Als Teil seiner Doktorarbeit an der SDU musste Kenneth Sørensen einen Teil seiner Zeit an einer ausländischen Forschungseinrichtung verbringen. Er entschied sich, diese Zeit am MSC zu verbringen und begann im Oktober 2020. Anfang November 2020 zeigte er schwere Grippe-symptome, für die er zunächst in Rostock behandelt wurde, nach Dänemark zurückkehrte und anschließend für mehrere Wochen in einem dänischen Krankenhaus behandelt wurde. Die Ergebnisse der medizinischen Untersuchungen ergaben eine Infektion mit *Chlamydia psittaci*, dem Erreger der Ornithose. Die Untersuchung des Krankheitsverlaufs wurde durch den gleichzeitigen Ausbruch des Coronavirus (mit ähnlichen Symptomen) und der Geflügelpest erschwert. Ein später Beginn der Behandlung mit Antibiotika erschwerte den Krankheitsverlauf erheblich. Kenneth Sørensen war daher nicht in der Lage, seine Promotion innerhalb des Förderzeitraums des Projekts abzuschließen.

Zwei weitere Mitarbeiter des MSC wurden ebenfalls in Rostock hospitalisiert, und ein weiterer wurde in häuslicher Quarantäne behandelt, nachdem er ähnliche (wenn auch weniger schwere)

Symptome gezeigt hatten. Das MSC wurde daher sofort unter Quarantäne gestellt, und die Tiere wurden auf verschiedene Krankheiten getestet. Da zwei Pinguine positiv auf *Chlamydia psittaci* getestet wurden (während andere positiv auf *Chlamydia sp.* getestet wurden), konnten die Pinguine nicht mehr am MSC verbleiben. Sie wurden deshalb ins DMM überführt, wo sie in Quarantäne gestellt wurden. Nach dieser Verlegung beschloss Tabea Lange, ihre Doktorarbeit am MSC Ende 2020 abzubrechen. Alle Forschungsaktivitäten im Rahmen des Projekts "Hearing in Penguins" am MSC wurden daher endgültig eingestellt.

Die Pinguine, die vom MSC zum DMM rücküberführt wurden, zeigten keine Krankheitsanzeichen und wurden mit Antibiotika (Baytril®) behandelt. Nach dieser Behandlung wurden sie negativ auf *Chlamydia* getestet (ähnlich wie alle Pinguine beim DMM). Sie wurden im April 2021 in einen neuen Zoo in Dänemark gebracht.

9.5 Konsequenzen

Trotz all dieser Schwierigkeiten machten das Training der Humboldt-Pinguine am DMM und die Entwicklung der AEP-Elektroden an der SDU zwar deutliche Fortschritte, führten aber erst im April 2021 zu konkreten Ergebnissen, als das Projekt "Hearing in Penguins" ursprünglich enden sollte. Aus diesem Grund wurde der wissenschaftliche Teil des Projekts dank einer kostenneutralen Verlängerung durch das UBA bis Juni 2022 ausgedehnt. Diese 14 zusätzlichen Monate wurden genutzt, um die psychoakustische Datenerfassung abzuschließen und in Zusammenarbeit mit der SDU-Daten mit dem AEP-Elektroden bei den Humboldt-Pinguinen am DMM zu sammeln.

10 Fazit

Das Hauptziel des Projekts „Hearing in Penguins“ war die Messung von Audiogrammen bei in Gefangenschaft lebenden Pinguinen sowohl in der Luft als auch unter Wasser in mehreren Forschungseinrichtungen. Da zuvor keine Pinguine zu wissenschaftlichen Zwecken trainiert worden waren, war nicht bekannt, wie lange dieser Prozess dauern würde. Vielleicht ist es uns dementsprechend nicht gelungen, Audiogramme bei Königspinguinen zu messen, die skeptisch auf die Trainingsaktivitäten reagierten. Innerhalb der 54 Monate des Projekts konnten wir jedoch zum ersten Mal Audiogramme bei Humboldtpinguinen messen. Diese Audiogramme zeigen, dass Humboldt-Pinguine am besten zwischen 1 und 4 kHz in der Luft hören. Dies ist vergleichbar mit den wenigen anderen Audiogrammen, die bei Kormoranen mit psychoakustischen Methoden gemessen wurden, was darauf hindeutet, dass die Tauchaktivität von Seevögeln in ähnlicher Weise ihr Hörvermögen beeinflusst. Darüber hinaus stellt die Verwendung von Elektroden, die wir im Rahmen des Projekts entwickelt haben, um AEPs an wachen Pinguinen zu messen, einen vielversprechenden und schnellen Ansatz dar, um das Hörvermögen von Pinguinen in Zukunft zu messen. Die Erstellung der „Animal Audiogram Database“, die wir im Laufe des Projekts online gestellt haben, wird den Vergleich zwischen Audiogrammen, die bei Pinguinen gemessen werden, und solchen, die bei anderen Wassertieren gemessen werden, erleichtern. Die Anpassungen des Gehörs bei Pinguinen wurden auch durch die Visualisierung ihres Innenohrs mit CT-Scans untersucht. Diese anatomische Untersuchung legte nahe, dass das Hörvermögen von Pinguinen beim Tauchen wahrscheinlich erhalten bleibt. Entsprechend fanden wir während eines Unterwasser-Playback-Experiments heraus, dass Pinguine Geräuschquellen unter Wasser mit einer überraschend niedrigen Reaktionsschwelle meiden. Trotz der Fähigkeit von Humboldt-Pinguinen, unter Wasser trainiert zu werden, konnten wir leider aufgrund verschiedener unerwarteter Schwierigkeiten, mit denen wir während unseres Projekts konfrontiert wurden (z. B. Einschränkungen durch Coronaviren, Ornithose), keine Unterwasser-Audiogramme messen. Parallel zu den wissenschaftlichen Ansätzen des Projekts wurden verschiedene Formate entwickelt, um das Thema Unterwasserlärm zu kommunizieren. In enger Absprache mit dem UBA wurde ein Kommunikationskonzept mit passgenauen und innovativen Formaten für den Wissenstransfer entwickelt. Die umgesetzten Formate waren dabei in verschiedene Kategorien eingeteilt: Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen (z. B. Podiumsdiskussion), interaktive Angebote (z. B. Musik-Hackathon), Projekt- und Themenpräsentationen (z. B. Lange Nacht der Museen), digitale Formate (z. B. Informationsplattform), Ausstellungsformate (z. B. Sonic Chair). Für die Umsetzung dieser Formate wurde eine Vielzahl von Ansätzen verwendet: persönlich (z. B. Teilnahme an öffentlichen Veranstaltungen und Konferenzen), in der Presse (z. B. Artikel in regionalen und nationalen Medien) und digital (z. B. Erstellung von Online-Videos, Instagram-Accounts, Informationsplattform). Der vielleicht innovativste Kommunikationsansatz, den wir im Rahmen unseres Projekts verwendet haben, ist die Erstellung eines „Unterwasser Sound-Mixers“, der es der breiten Öffentlichkeit ermöglicht, zum ersten Mal zu begreifen, wie Tiere ihre akustische Umgebung unter Wasser wahrnehmen. Insgesamt lässt sich sagen, dass wir mit den eingesetzten Vermittlungsformaten sehr diverse Zielgruppen erreichen konnten und durch die Zusammenarbeit zweier starker Museen die Stärken beider Institutionen positiv bündelnd für das Projekt einsetzen konnten. Insgesamt war das Projekt „Hearing in Penguins“ erfolgreich, da die überwiegende Mehrheit der ursprünglich geplanten Ziele erreicht wurde (**Tabelle 5**). Am wichtigsten ist, dass unser Projekt den Grundstein für zukünftige Studien über das Hörvermögen von Tauchvögeln mit potenziellen Anwendungen in der freien Natur gelegt hat.

11 Quellenverzeichnis

1. Beaulieu, M., Dähne, M., Köpp, J., Marciau, C., Kato, A., Ropert-Coudert, Y., *et al.* (2021). Exploring the interplay between nest vocalizations and foraging behaviour in breeding birds. *Anim. Behav.*, 180, 375–391
2. Brittan-Powell, E.F. & Dooling, R.J. (2004). Development of auditory sensitivity in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 115, 3092–3102
3. Brittan-Powell, E.F., Dooling, R.J., Ryals, B. & Gleich, O. (2011). Electrophysiological and morphological development of the inner ear in Belgian Waterslager Canaries. *Hear. Res.*, 269, 56–69
4. Cockrem, J.F., Potter, M.A., Barrett, D.P. & Candy, E.J. (2008). Corticosterone responses to capture and restraint in emperor and adelic penguins in Antarctica. *Zoolog. Sci.*, 25, 291–298
5. Crowell, S.E., Wells-Berlin, A.M., Carr, C.E., Olsen, G.H., Therrien, R.E., Yannuzzi, S.E., *et al.* (2015). A comparison of auditory brainstem responses across diving bird species. *J. Comp. Physiol. A Neuroethol. Sensory, Neural, Behav. Physiol.*, 201, 803–815
6. Crowell, S.E., Wells-Berlin, A.M., Therrien, R.E., Yannuzzi, S.E. & Carr, C.E. (2016). In-air hearing of a diving duck: A comparison of psychoacoustic and auditory brainstem response thresholds. *J. Acoust. Soc. Am.*, 139, 3001
7. Frahnert, S., Lindner, M., Bendel, E.-M., Frahnert, K.H., Westphal, N. & Dähne, M. (2020). 3D-Visualization of the Ear Morphology of Penguins (Spheniscidae): Implications for Hearing Abilities in Air and Underwater. *Proc. Meet. Acoust.*, 37, 010018
8. Friis Vittrup, M. (2021). In-air hearing of the Northern Rockhopper Penguin (*Eudyptes moseleyi*). University of Southern Denmark
9. Gellermann, L. (1933). Chance orders of alternating stimuli in visual discrimination experiments. *Pedagog. Semin. J. Genet. Psychol.*, 42, 206–208
10. Green, D. & Swets, J. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. Wiley. New York
11. Jäckel, D., Ortiz Troncoso, A., Dähne, M. & Bölling, C. (2022). The Animal Audiogram Database: A community-based resource for consolidated audiogram data and metadata. *J. Acoust. Soc. Am.*, 151, 1125–1132
12. Kastelein, R.A., Hoek, L., de Jong, C.A.F. & Wensveen, P.J. (2010). 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.*, 128, 3211–3222
13. Larsen, O.N., Wahlberg, M. & Christensen-Dalsgaard, J. (2020). Amphibious hearing in a diving bird, the great cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*). *J. Exp. Biol.*, 223
14. Lindner, M. (2018). Comparative morphology of the middle and inner ear in extant Penguins (Spheniscidae) and other diving birds. University of Rostock
15. Lohr, B., Brittan-Powell, E.F. & Dooling, R.J. (2013). Auditory brainstem responses and auditory thresholds in woodpeckers. *J. Acoust. Soc. Am.*, 133, 337–42
16. Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P.A. & Blanchet, M.-A. (2009). Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.*, 125, 4060–4070
17. Mooney, T.A., Smith, A., Larsen, O.N., Anderson Hansen, K. & H., R.M. (2020). A field study of auditory sensitivity of the Atlantic puffin, *Fratercula arctica*. *J. Exp. Biol.*, 223, jeb228270

18. Mooney, T.A., Smith, A., Larsen, O.N., Hansen, K.A., Wahlberg, M. & Rasmussen, M.H. (2019). Field-based hearing measurements of two seabird species. *J. Exp. Biol.*, 222, 190710
19. Noirot, I.C., Brittan-Powell, E.F. & Dooling, R.J. (2011). Masked auditory thresholds in three species of birds, as measured by the auditory brainstem response. *J. Acoust. Soc. Am.*, 129, 3445–8
20. Okanoya, K. & Dooling, R.J. (1987). Hearing in passerine and psittacine birds: A comparative study of absolute and masked auditory thresholds. *J. Comp. Psychol.*, 101, 7–15
21. Peacock, J., Spellman, G.M., Greene, N.T. & Tollin, D.J. (2020). Scaling of the avian middle ear. *Hear. Res.*, 395, 108017
22. Ruser, A., Dähne, M., van Neer, A., Sundermeyer, J., Lucke, K., Siebert, U., *et al.* (2016). Assessing auditory evoked potentials of wild harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 140, 442–452
23. Ruser, A., Dähne, M., Sundermeyer, J., Lucke, K., Houser, D.S., Finneran, J.J., *et al.* (2014). In-air evoked potential audiometry of grey seals (*Halichoerus grypus*) from the North and Baltic Seas. *PLoS One*, 9, e90824
24. Schlundt, C.E., Dear, R.L., Green, L., Houser, D.S. & Finneran, J.J. (2007). Simultaneously measured behavioral and electrophysiological hearing thresholds in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 122, 615–22
25. Sørensen, K., Neumann, C., Dähne, M., Hansen, K.A. & Wahlberg, M. (2020). Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) react to underwater sounds. *R. Soc. Open Sci.*, 7
26. Thiebault, A., Charrier, I., Aubin, T., Green, D.B. & Pistorius, P.A. (2019). First evidence of underwater vocalisations in hunting penguins. *PeerJ*, 2019, 1–16
27. Wever, E.G., Herman, P.N., Simmons, J.A. & Hertzler, D.R. (1969). Hearing in the blackfooted penguin, *Spheniscus demersus*, as represented by the cochlear potentials. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 63, 676–680
28. Wolski, L.F., Anderson, R.C., Bowles, A.E. & Yochem, P.K. (2003). Measuring hearing in the harbor seal (*Phoca vitulina*): Comparison of behavioral and auditory brainstem response techniques. *J. Acoust. Soc. Am.*, 113, 629–37
29. Zeyl, J.N., Snelling, E.P., Connan, M., Basille, M., Clay, T.A., Joo, R., *et al.* (2022). Aquatic birds have middle ears adapted to amphibious lifestyles. *Sci. Rep.*, 12, 1–12

A Anhang

A.1 Sørensen et al. (2020) R. Soc. Open Sci.

Sørensen, K., Neumann, C., Dähne, M., Hansen, K.A. & Wahlberg, M. (2020). Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) react to underwater sounds. *R. Soc. Open Sci.*, 7

A.2 Frahnert et al. (2020) Proc. Meet. Acoust.

Frahnert, S., Lindner, M., Bendel, E.-M., Frahnert, K.H., Westphal, N. & Dähne, M. (2020). 3D-Visualization of the Ear Morphology of Penguins (Spheniscidae): Implications for Hearing Abilities in Air and Underwater. *Proc. Meet. Acoust.*, 37, 010018

A.3 Beaulieu et al. (2021) Animal Behaviour

Beaulieu M., Dähne M., Köpp J., Marciau C., Kato A., Ropert-Coudert Y., Raclot T. (2021). Exploring the interplay between nest vocalizations and foraging behaviour in breeding birds. *Animal Behaviour*, 180, 375-391

A.4 Jäckel et al. (2022) J. Acoust. Soc. Am.

Jäckel D., Ortiz Troncoso A., Dähne M., Bölling C. (2022). The Animal Audiogram Database: A community-based resource for consolidated audiogram data and metadata, *J. Acoust. Soc. Am.* 151, 1125-1132.

A.5 Rößler et al. (2022) Ornithology (The Auk)

Rößler H., Lynch M., Ortiz S.T., Larsen O.N., Beaulieu M. (2022). Neighbors matter: vocal variation in colonies shared by sympatric *Pygoscelis* penguin species. *Ornithology*, 139 (4).

A.6 Rasmussen et al. (2022) Biol. Open

Rasmussen M.S., Sørensen K., Vittrup M.F., Wahlberg M. (2022). Pavlovian conditioning of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) to underwater sound. *Biology Open*, 11 (11).

A.7 Rößler et al. (2022) Appl. Anim. Behav. Sci.

Rößler H., May A., Dähne M., Beaulieu M. (2022). Long and winding road: Training progress and trainability variation across a psychoacoustic experiment in penguins. *Appl. Anim. Behav. Sc.*, 256 (2): 105764.

B Appendix: clipping number

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
28.12.2017	Neues Forschungsprojekt am Deutschen Meeresmuseum	Ostsee Anzeiger zwischen Boddenregion und Recknitz		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	15.563
28.12.2017	Neues Forschungsprojekt am Deutschen Meeresmuseum	Ostsee Anzeiger Hansestadt Stralsund		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	23.703
24.04.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Umweltbundesamt		Online-Medien	Behörden und Verbände	17.797
25.04.2018	Pinguine beim Hörtest	Der Nordschleswiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	4.458
25.04.2018	Wie gut können Pinguine hören?	WR Westfälische Rundschau Hagen		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	34.329
25.04.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Westfalenpost Zeitung für Hagen		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	34.329
25.04.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Lübecker Nachrichten Lübecker-General-Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	87.929
25.04.2018	Wie gut können Pinguine hören?	NRZ Neue Ruhr Zeitung Essen		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	97.254
25.04.2018	Forscher starten Projekt zum Hörvermögen von Pinguinen	Hamburger Abendblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	250.199
25.04.2018	Forscher starten Projekt zum Hörvermögen von Pinguinen	Hamburger Abendblatt		Online-Medien	Printmedien online	301.109
25.04.2018	Forscher, u.a. des Meeresmuseums Stralsund, wollen Hörtests mit Pinguinen durchführen	Der Gute Morgen	Ostseewelle Hit-Radio Mecklenburg-Vorpommern	Hörfunk	Begleitprogramm	150.000
25.04.2018	Wie gut hören Pinguine?/ U.a. im Ozeaneum Stralsund wird das untersucht	Leonardo: Wissenschaft und mehr	WDR 5	Hörfunk	Magazine	240.000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
28.04.2018 20:00	Neues Projekt	Stralsund TV	BB-MV Lokal-TV	TV	Regional-magazine	
12.05.2018 06:45	Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Krankenkassen Deutschland		Online-Medien	Ratgeber, Service, Produktin-formationen	7.671
12.05.2018 07:25	Wie wirkt der Unterwasserlärm? - Pinguine sollen zum Hörtest Von Martina Rathke, dpa	Krankenkassen Deutschland		Online-Medien	Ratgeber, Service, Produktin-formationen	7.671
12.05.2018 08:16	Stralsund Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Südkurier Online		Online-Medien	Printmedien online	90.234
12.05.2018 08:17	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Reutlinger General-Anzeiger		Online-Medien	Printmedien online	17353
12.05.2018 08:20	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Volksstimme.de		Online-Medien	Printmedien-verbund online	58698
12.05.2018 08:20	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Peiner Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	724
12.05.2018 08:20	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	WP - Westfalenpost		Online-Medien	Printmedien online	29090
12.05.2018 08:21	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	General-Anzeiger Ostfriesland		Online-Medien	Printmedien online	4981
12.05.2018 08:21	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Süddeutsche.de		Online-Medien	Printmedien online	2125727

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:22	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Ostfriesische Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	6324
12.05.2018 08:23	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Badisches Tagblatt		Online-Medien	Printmedien online	5421
12.05.2018 08:23	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Salzgitter Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	2753
12.05.2018 08:23	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Mindener Tageblatt		Online-Medien	Printmedien online	36986
12.05.2018 08:23	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Nordwest-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	112213
12.05.2018 08:23	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Heidelberg24		Online-Medien	Reine e-zines	28400
12.05.2018 08:24	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	innsalzach24.de		Online-Medien	Reine e-zines	64399
12.05.2018 08:24	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Main-Post		Online-Medien	Printmedien online	80461
12.05.2018 08:25	Einfluss von Unterwasserlärm : Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	SHZ.de		Online-Medien	Printmedien-verbund online	188411
12.05.2018 08:25	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Wolfenbütteler Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	1284

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:25	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	SauerlandKurier		Online-Medien	Printmedien online	4492
12.05.2018 08:26	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	nordbayern.de		Online-Medien	Reine e-zines	244974
12.05.2018 08:26	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Bad Vilbeler Neue Presse		Online-Medien	Printmedien online	102446
12.05.2018 08:26	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Westfalen-Blatt		Online-Medien	Printmedien online	39618
12.05.2018 08:27	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Ludwigsburger Kreiszeitung		Online-Medien	Printmedien online	10468
12.05.2018 08:27	Unterwasserkrach: Bei Pinguinen wird jetzt erforscht, wie Meerestiere hören – und ob sie so schlau sind wie gedacht.	Bergedorfer Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	5722
12.05.2018 08:27	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	regio-news.de		Online-Medien	Reine e-zines	5527
12.05.2018 08:29	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Neue Westfälische		Online-Medien	Printmedien online	170616
12.05.2018 08:29	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Soester Anzeiger		Online-Medien	Printmedien online	29365
12.05.2018 08:29	Meeresmuseum erforscht	Westdeutsche Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	76535

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
	Hörvermögen von Pinguinen					
12.05.2018 08:29	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Lippische Landeszeitung		Online-Medien	Printmedien online	36632
12.05.2018 08:29	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	morgenweb		Online-Medien	Printmedien online	51877
12.05.2018 08:29	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	IKZ - Iserlohner Kreisanzeiger		Online-Medien	Printmedien online	
12.05.2018 08:29	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	MünsterlandZeitung.de		Online-Medien	Printmedien online	4956
12.05.2018 08:30	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	General-Anzeiger Bonn		Online-Medien	Printmedien online	97668
12.05.2018 08:31	Tiere: Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	FOCUS Online		Online-Medien	Printmedien online	5622283
12.05.2018 08:31	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	SOL.DE - Saarland Online		Online-Medien	Reine e-zines	3674
12.05.2018 08:31	Einfluss von Unterwasserlärm : Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	SVZ.de Schweriner Volkszeitung		Online-Medien	Printmedien online	72334
12.05.2018 08:31	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Radio Duisburg Online		Online-Medien	Radio online	3114
12.05.2018 08:32	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Zeit Online		Online-Medien	Printmedien online	2344991

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:32	Unterwasserkrach: Bei Pinguinen wird jetzt erforscht, wie Meerestiere hören – und ob sie so schlau sind wie gedacht.	Hamburger Abendblatt		Online-Medien	Printmedien online	301109
12.05.2018 08:32	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Walsroder Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	2520
12.05.2018 08:33	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	92.9 radio mülheim		Online-Medien	Radio online	1265
12.05.2018 08:33	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Südwest Presse		Online-Medien	Printmedien online	135262
12.05.2018 08:33	Einfluss von Unterwasserlärm: Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Neue Osnabrücker Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	237134
12.05.2018 08:33	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Rüsselsheimer Echo		Online-Medien	Printmedien online	
12.05.2018 08:33	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Der Patriot		Online-Medien	Printmedien online	5004
12.05.2018 08:34	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Eßlinger Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	15164
12.05.2018 08:34	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	ARCOR		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	193891
12.05.2018 08:34	Meeresmuseum erforscht	chiemgau24.de		Online-Medien	Reine e-zines	49517

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
	Hörvermögen von Pinguinen					
12.05.2018 08:34	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Mittelbayerische Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	92404
12.05.2018 08:35	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Cannstatter Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	
12.05.2018 08:35	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Recklinghäuser Zeitung		Online-Medien	Printmedien-verbund online	2447
12.05.2018 08:35	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	in Südthüringen.de		Online-Medien	Printmedien online	28398
12.05.2018 08:36	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	nq online - Die Neckarquelle		Online-Medien	Printmedien-verbund online	450
12.05.2018 08:36	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Taunus Zeitung Usinger Neue Presse		Online-Medien	Printmedien online	
12.05.2018 08:36	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	ZVW - Zeitungsverlag Waiblingen		Online-Medien	Printmedien-verbund online	38966
12.05.2018 08:37	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Pipeline		Online-Medien	Sonstige Dienste und Agenturen	
12.05.2018 08:37	Einfluss von Unterwasserlärm : Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Prignitzer.de		Online-Medien	Printmedien online	16427
12.05.2018 08:38	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Schwarzwaelder Bote		Online-Medien	Printmedien online	99348

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:38	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	az-online.de		Online-Medien	Printmedien online	27652
12.05.2018 08:38	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	radio vest		Online-Medien	Radio online	5371
12.05.2018 08:38	Wissen : Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	antenne unna		Online-Medien	Radio online	1835
12.05.2018 08:39	Wissenschaft (DPA) Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	DIE WELT		Online-Medien	Printmedien online	4138738
12.05.2018 08:39	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Gäubote		Online-Medien	Printmedien online	6165
12.05.2018 08:39	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Ostfriesen-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	21274
12.05.2018 08:39	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Frankfurter Neue Presse		Online-Medien	Printmedien-verbund online	102446
12.05.2018 08:40	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	rosenheim24.de		Online-Medien	Reine e-zines	36473
12.05.2018 08:40	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Taunus Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	102446
12.05.2018 08:40	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	nordbuzz		Online-Medien	Printmedien online	9856

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:40	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Stuttgarter Nachrichten		Online-Medien	Printmedien-verbund online	116402
12.05.2018 08:41	Tiere Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Märkische Oderzeitung		Online-Medien	Printmedien online	43862
12.05.2018 08:41	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	106.2 radio oberhausen		Online-Medien	Radio online	1799
12.05.2018 08:42	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Rhein-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	57680
12.05.2018 08:43	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	suedost-news.de		Online-Medien	Printmedien-verbund online	6000
12.05.2018 08:43	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Hertener Allgemeine		Online-Medien	Printmedien online	1544
12.05.2018 08:43	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Radio Sauerland		Online-Medien	Radio online	2022
12.05.2018 08:43	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	WR - Westfälische Rundschau		Online-Medien	Printmedien online	24762
12.05.2018 08:43	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Gießener Anzeiger		Online-Medien	Printmedien online	2851
12.05.2018 08:44	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Remscheider General-Anzeiger		Online-Medien	Printmedien online	16550
12.05.2018 08:44	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	freipresse.de		Online-Medien	Printmedien online	100213

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:44	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Gifhorner Rundschau		Online-Medien	Printmedien online	274
12.05.2018 08:44	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Wolfsburger Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	3290
12.05.2018 08:45	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Passauer Neue Presse		Online-Medien	Printmedien online	194964
12.05.2018 08:45	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Münstersche Zeitung.de		Online-Medien	Printmedien online	7482
12.05.2018 08:45	Einfluss von Unterwasserlärm : Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Norddeutsche Neueste Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	2438
12.05.2018 08:46	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Schwäbische Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	133071
12.05.2018 08:46	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Rhein-Neckar-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	55205
12.05.2018 08:46	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Neu-Isenburger Neue Presse		Online-Medien	Printmedien online	102446
12.05.2018 08:47	Ozeaneum Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Berliner Morgenpost		Online-Medien	Printmedien online	249207
12.05.2018 08:48	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Yahoo! Nachrichten		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	1400124

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:48	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Lausitzer Rundschau		Online-Medien	Printmedien online	50617
12.05.2018 08:49	Stralsund Unterwasserkrach: Bei Pinguinen wird jetzt erforscht, wie Meerestiere hören – und ob sie so schlau sind wie gedacht.	WAZ - Westdeutsche Allgemeine Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	207736
12.05.2018 08:49	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	come-on.de		Online-Medien	Printmedien-verbund online	24332
12.05.2018 08:50	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Frankenpost		Online-Medien	Printmedien online	38379
12.05.2018 08:50	Stralsund - Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Aachener Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	22117
12.05.2018 08:50	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	TZ online		Online-Medien	Printmedien online	615449
12.05.2018 08:51	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen Jeder fünfte Deutsche nimmt Online-Ratenkredit auf Schokolade für Frau Bühr Wo, wenn nicht hier Wie klug ist Ihr Haus? Darauf sollten Sie beim Besuch einer Spielbank achten	Marler Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	2887
12.05.2018 08:51	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Web Nachrichten		Online-Medien	Reine e-zines	

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:51	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Stuttgarter Zeitung		Online-Medien	Printmedien-verbund online	152626
12.05.2018 08:51	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Nassauische Neue Presse		Online-Medien	Printmedien online	102446
12.05.2018 08:52	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	Harz Kurier		Online-Medien	Printmedien online	2874
12.05.2018 08:52	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	mittelhessen		Online-Medien	Printmedien-verbund online	31457
12.05.2018 08:52	Meeresmuseum: Pinguine müssen zum Hörtest	NRZ - Neue Ruhr Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	602481
12.05.2018 08:52	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Höchster Kreisblatt		Online-Medien	Printmedien online	102446
12.05.2018 08:53	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Allgemeine Zeitung Coesfeld		Online-Medien	Printmedien-verbund online	6437
12.05.2018 08:53	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Die Harke		Online-Medien	Printmedien online	4107
12.05.2018 08:54	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	HalternerZeitung.de		Online-Medien	Printmedien online	4271
12.05.2018 08:55	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Ruhr Nachrichten.de		Online-Medien	Printmedien online	85525
12.05.2018 08:55	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Dülmener Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	3309

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 08:55	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Main-Echo		Online-Medien	Printmedien online	49033
12.05.2018 08:55	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Oberhessische Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	450
12.05.2018 08:55	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Main-Spitze		Online-Medien	Printmedien online	1887
12.05.2018 08:56	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Die Glocke		Online-Medien	Printmedien online	18748
12.05.2018 08:56	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Wiesbadener Tagblatt		Online-Medien	Printmedien online	2072
12.05.2018 08:56	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	DorstenerZeitung.de		Online-Medien	Printmedien online	4145
12.05.2018 08:57	Einfluss von Unterwasserlärm Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Die Oberbadische		Online-Medien	Printmedien online	2280
12.05.2018 08:59	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	BKZ Online		Online-Medien	Printmedien-verbund online	4398
12.05.2018 09:00	Wissen Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	LN Online - Lübecker Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	31555
12.05.2018 09:01	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Lauterbacher Anzeiger		Online-Medien	Printmedien online	531

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 09:01	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Abendzeitung München		Online-Medien	Printmedien online	230920
12.05.2018 09:01	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Lampertheimer Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	563
12.05.2018 09:02	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Gelnhäuser Tageblatt		Online-Medien	Printmedien online	657
12.05.2018 09:03	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	BBV-net Bocholter-Borkener Volksblatt		Online-Medien	Printmedien online	11556
12.05.2018 09:05	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Usinger Anzeiger		Online-Medien	Printmedien online	820
12.05.2018 09:05	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Nürtinger Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	4885
12.05.2018 09:06	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Kreis-Anzeiger (Wetterau)		Online-Medien	Printmedien online	872
12.05.2018 09:07	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Wormser Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	2679
12.05.2018 09:09	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Saarbrücker Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24576
12.05.2018 09:09	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Schaumburger Zeitung & Landes-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	8787
12.05.2018 09:15	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Allgemeine Zeitung (Rhein Main Presse)		Online-Medien	Printmedien online	21865

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 09:17	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Echo Online		Online-Medien	Printmedien-verbund online	36552
12.05.2018 09:26	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Wiesbadener Kurier		Online-Medien	Printmedien online	13143
12.05.2018 09:31	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Emdener Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	11063
12.05.2018 09:59	Tiere : Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Prignitzer.de		Online-Medien	Printmedien online	16427
12.05.2018 10:01	Mecklenburg-Vorpommern Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	DIE WELT		Online-Medien	Printmedien online	4138738
12.05.2018 10:05	Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	RTL.de		Online-Medien	TV online	935448
12.05.2018 10:07	Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	T-Online		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	11564290
12.05.2018 10:08	Tiere : Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Norddeutsche Neueste Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	2438
12.05.2018 10:13	Tiere : Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	SVZ.de Schweriner Volkszeitung		Online-Medien	Printmedien online	72334

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 10:19	Tiere Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Hamburger Abendblatt		Online-Medien	Printmedien online	301109
12.05.2018 10:24	Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Süddeutsche.de		Online-Medien	Printmedien online	2125727
12.05.2018 10:27	Tiere: Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	FOCUS Online		Online-Medien	Printmedien online	5622283
12.05.2018 10:36	Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	ARCOR		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	193891
12.05.2018 10:49	Pinguine sollen zum Hörtest	T-Online		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	1156429 0
12.05.2018 10:55	Pinguine sollen zum Hörtest: Forscher untersuchen Auswirkungen von Unterwasserlärm	1&1		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	173142
12.05.2018 11:00	Pinguine sollen zum Hörtest: Forscher untersuchen Auswirkungen von Unterwasserlärm	GMX		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	1543292
12.05.2018 11:04	Pinguine sollen zum Hörtest: Forscher untersuchen Auswirkungen von Unterwasserlärm	WEB.DE		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	806571
12.05.2018 12:06	Stralsund Stralsunder Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	44862

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
12.05.2018 12:51	Forschung in Stralsund : Pinguine sollen zum Hörtest	Norddeutsche Neueste Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	2438
12.05.2018 12:57	Forschung in Stralsund : Pinguine sollen zum Hörtest	SVZ.de Schweriner Volkszeitung		Online-Medien	Printmedien online	72334
12.05.2018 13:24	Forschung in Stralsund : Pinguine sollen zum Hörtest	Prignitzer.de		Online-Medien	Printmedien online	16427
12.05.2018 14:26	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Bürstädter Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	496
12.05.2018 16:07	Meeresmuseum: Wie und was hören Pinguine?	The Epoch Times Deutschland		Online-Medien	Printmedien online	147211
12.05.2018 19:32	Hörvermögen von Pinguinen erforscht	Mittelbayerische Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	92404
12.05.2018 19:59	Lärm in den Meeren	RTL II News	RTL II Fernsehen GmbH & Co. KG	TV	Nachrichten allgemein	270000
13.05.2018 10:55	Pinguine verbringen einen Großteil ihres Lebens im Wasser, wo sie immer mehr Lärm ausgesetzt sind. Aber wie hören sie überhaupt?	Augsburger Allgemeine		Online-Medien	Printmedien online	218404
13.05.2018 21:34	Hörtest für Pinguine	Neues Deutschland		Online-Medien	Printmedien online	39425
14.05.2018	Hörst du das, Pinguin?	STZ Südthüringer Zeitung Bad Salzungen		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	18132
14.05.2018	Hörtest für Pinguine	Neues Deutschland Bundesausgabe		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	36659
14.05.2018	Forscher testen das Hörvermögen der Pinguine	Main-Echo		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	203999
14.05.2018	Hörst du das, Pinguin?	Neue Presse Coburg		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	28319

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
14.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Rheinische Post D Düsseldorf		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	236635
14.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Rotenburger Kreiszeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	24186
14.05.2018	Vier kleine Pinguine gehen dem Lärm auf die Spur	Neue Presse Coburg		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	28319
14.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Ostfriesische Nachrichten		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	36504
14.05.2018	Hörst du das, Pinguin?	Freies Wort Suhl		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	25231
14.05.2018	Was können Pinguine eigentlich hören?	General-Anzeiger Bonner Stadtanzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	197999
14.05.2018	Hörst du das, Pinguin?	Frankenpost Hofer Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	33908
14.05.2018	Hör-Test für Pinguine	Badische Neueste Nachrichten ST		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	102528
14.05.2018	Warum Pinguine zum Hörtest müssen	Rhein-Zeitung Koblenz		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	101316
14.05.2018	Vier kleine Pinguine gehen dem Lärm auf die Spur	Frankenpost Hofer Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	33908
14.05.2018	Vier kleine Pinguine gehen dem Lärm auf die Spur	Vogtland-Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	12620
14.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Altmark Zeitung Salzwedeler Nachrichten		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	15027
14.05.2018	Hörst du das, Pinguin?	Meininger Tageblatt		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	29727
14.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Fehmarnsches Tageblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	5921
14.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Fuldaer Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	77155
14.05.2018 00:24	Meeresmuseum erforscht Hörvermögen von Pinguinen	Gäubote		Online-Medien	Printmedien online	6487

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
15.05.2018	Pinguine beim Hörtraining	Stuttgarter Zeitung D		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	363435
15.05.2018	lieber Pinguin, hörst du das?	Neue Westfälische Bielefelder Tageblatt OH		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	20301
15.05.2018	Pinguine beim Hörtraining	Eßlinger Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	96056
15.05.2018	Pinguine beim Hörtraining	Stuttgarter Nachrichten (Fernausgabe)		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	181717
15.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Trierischer Volksfreund		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	57706
16.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Fränkischer Tag		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	95679
16.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Bayerische Rundschau		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	35642
16.05.2018 00:39	MV aktuell Viel Lärm unter Wasser: Stört das die Pinguine?	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	44862
16.05.2018 21:02	Pinguine sollen zum Hörtest	Sächsische Zeitung - SZ-Online.de		Online-Medien	Printmedien online	143283
17.05.2018	Pinguine sollen zum Hörtest	Sächsische Zeitung Dresden		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	119572
18.05.2018	Hörtest für Pinguine	Gießener Allgemeine		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	64676
18.05.2018 08:17	Wie hören Grenzgänger? – Pinguine sollen zum Hörtest	Biermann Medizin		Online-Medien	Branchendienst e	
26.05.2018 09:05	Deutsches Meeresmuseum in Stralsund untersucht Hören der Pinguine	Die Profis	radioeins (RBB)	Hörfunk	Magazine	90000
29.05.2018	Hörtest für Pinguine	Badische Neueste Nachrichten ST		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	102528
30.05.2018	Forscher untersuchen das Gehör von Pinguinen	Augsburger Allgemeine AS		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	93939

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
01.06.2018	Forscher untersuchen das Gehör von Pinguinen	Allgäuer Zeitung Kempten		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	54272
02.06.2018	Hörtest für Pinguine	Schwäbisches Tagblatt Tübinger Chronik		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	54849
02.06.2018	Hörtest für Pinguine	Südwest Presse Ulm		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	134430
02.06.2018	Forscher untersuchen das Gehör von Pinguinen	Allgäuer Zeitung Marktoberdorf		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	22540
06.06.2018	Hörtest für Pinguine	Märkische Oderzeitung Frankfurter Stadtbote		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	23541
07.06.2018	Hörtest für Pinguine	Geislinger Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	28211
09.06.2018	Das Hörvergnügen der Pinguine	General-Anzeiger Bonner Stadtanzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	197999
13.06.2018	Hörtest für Pinguine	Bietigheimer Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	9492
14.06.2018	Hörtest für Pinguine	Hohenloher Tagblatt		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	35524
14.06.2018 13:05	Im Ozeaneum Stralsund findet ein Hörtraining für Pinguine statt	Ihr Lieblingsmix am Nachmittag	NDR 1 Mecklenburg-Vorpommer-n	Hörfunk	Tagesmagazine, Informationsstr-ecken	140000
14.06.2018 18:01	Humboldtpinguine	Land und Leute	NDR Mecklenburg-Vorpommer-n	TV	Regional-magazine	10000
15.06.2018	Hörtest für Pinguine	Oranienburger Generalanzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	26550
16.06.2018 19:31	Humboldtpinguine	Nordmagazin	NDR Mecklenburg-Vorpommer-n	TV	Regional-magazine	200000
17.06.2018 03:15	Humboldtpinguine	Nordmagazin (Mo-So 03:45)	NDR Nord-deutscher Rundfunk Anstalt des	TV	Regional-magazine	80000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
			öffentlichen Rechts			
17.06.2018 09:00	Humboldtpinguine	Nordmagazin (Mo-So 09:00)	NDR Nord-deutscher Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional-magazine	40000
18.06.2018 18:00	Humboldtpinguine	rbb um Sechs	RBB Rundfunk Berlin Brandenburg Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional-magazine	100000
19.06.2018	Hörtest für Pinguine	Zollern-Alb Kurier Südwestpresse		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	49537
19.06.2018 04:55	Humboldtpinguine	rbb um Sechs (Di-Sa 03:40)	RBB Rundfunk Berlin Brandenburg Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional-magazine	10000
27.06.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Ruhr Nachrichten Castrop-Rauxeler Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	
30.06.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Ruhr Nachrichten Dorstener Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	50131
03.07.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Ruhr Nachrichten Ausgabe Lünen		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	
09.07.2018	Wie gut können Pinguine hören?	Münstersche Zeitung Westfalen-Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	84772
31.07.2018 05:03	Hörtest mit Pinguinen im Marine Science Center/ Tiere wurden ausgeliehen vom Ozeaneum Stralsund	Der Gute Morgen	Ostseewelle Hit-Radio Mecklenburg-Vorpommern	Hörfunk	Begleitprogramm	130000
04.08.2018	Unter Wasser sieht die Welt ganz anders aus	Schwarzwälder Bote Oberndorf R1		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	37522
04.08.2018	Unter Wasser sieht die Welt ganz anders aus	Die Oberbadische		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	31236

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
04.08.2018 13:05	Für Pinguine im Stralsunder Ozeaneum ist Hitze kein Problem	Für uns in Mecklenburg-Vorpommern 13:00	NDR 1 Mecklenburg-Vorpommern	Hörfunk	Begleitprogramm	140000
10.12.2018 13:15	Stralsunder Forscher bricht in Antarktis auf	Norddeutsche Neueste Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	2511
10.12.2018 13:15	Stralsunder Forscher bricht in Antarktis auf	Prignitzer.de		Online-Medien	Printmedien online	16427
10.12.2018 13:39	Stralsunder Forscher bricht in Antarktis auf	SVZ.de Schweriner Volkszeitung		Online-Medien	Printmedien online	89381
11.12.2018	Stralsunder Biologe erforscht Gehör der Pinguine	Bild Mecklenburg-Vorpommern		Print-medien	Boulevard-Kaufzeitungen mit Vollred.	241000
11.12.2018	Wie hören eigentlich Pinguine?	Die Welt überregional		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	656699
11.12.2018 20:00	Stralsunder untersucht Geräusche der Antarktis	Stralsund TV	BB-MV Lokal-TV	TV	Regional-magazine	
12.12.2018	Lauschangriff in der Antarktis	Ostsee Anzeiger Der Rügauer		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	20095
15.12.2018	Wie hören Pinguine?	Oberhessische Presse		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	71109
26.01.2019 20:30	Wissenschaftler zurück	Stralsund TV	BB-MV Lokal-TV	TV	Regional-magazine	
21.02.2019 00:00	FORSCHUNG/487: Stralsunder Wissenschaftler mit Antarktis-Geräuschen von Forschungsreise zurück (DMM)	Schattenblick		Online-Medien	Reine e-zines	743
28.02.2019 18:07	Ruhe war gestern	Deutschlandfunk Kultur		Online-Medien	Radio online	63409
28.02.2019 19:07	Michael Dähne vom Deutschen Meeresmuseum	Zeitfragen - Forschung und Gesellschaft	Deutschlandfunk Kultur	Hörfunk	Magazine	120000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
	Stralsund zum Projekt 'Hearing in Penguins'					
04.03.2019 15:05	Bei den Pinguinen im Ozeaneum Stralsund/ Hörfähigkeit der Tiere wird erforscht	Kakadu	Deutschland funk Kultur	Hörfunk	Magazine	120000
25.04.2019 19:30	Welt-Pinguin-Tag	Nordmagazin	NDR Mecklenburg-Vorpommern	TV	Regional-magazine	220000
26.04.2019 09:00	Welt-Pinguin-Tag	Nordmagazin (Mo-So 09:00)	NDR Norddeutscher Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional-magazine	30000
25.05.2019 16:01	Was hören Pinguine unter Wasser?	Prignitzer.de		Online-Medien	Printmedien online	16427
25.05.2019 16:05	Forschungsprojekt: Was hören Pinguine unter Wasser?	Norddeutsche Neueste Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	2511
25.05.2019 16:08	Was hören Pinguine unter Wasser?	SVZ.de Schweriner Volkszeitung		Online-Medien	Printmedien online	75126
18.06.2019 00:00	BILDUNG/235: NABU und OZEANEUM laden zum virtuellen Tauchgang (NABU)	Schattenblick		Online-Medien	Reine e-zines	835
18.06.2019 13:23	NABU und OZEANEUM laden zum virtuellen Tauchgang / Mit OstseeLIFE können Museumsbesucher Seegraswiesen und Schweinswale erleben	FinanzNachrichten.de		Online-Medien	Branchendienste	156742
18.06.2019 15:44	NABU und OZEANEUM laden zum virtuellen Tauchgang / Mit OstseeLIFE können Museumsbesucher Seegraswiesen und Schweinswale erleben	topfreizeit.de		Online-Medien	Reine e-zines	394

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
18.06.2019 20:03	Ozeaneum: Virtuell abtauchen zu Wal und Wrack	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
18.06.2019 22:53	NABU und OZEANEUM laden zum virtuellen Tauchgang	scharf links		Online-Medien	Reine e-zines	2628
19.06.2019 13:16	Führungen, Fütterungen und Forschung	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
25.06.2019 13:02	Kein Lärm im Meer	UmweltBundesamt		Online-Medien	Behörden und Verbände	17797
01.07.2019	Unter dem Meer	Hörakustik		Print-medien	Fachzeitschriften	16298
03.07.2019 06:05	Stellnetze: Projekt STELLA vom Thünen-Institut, Ursula Verfuß vom Deutschen Meersmuseum hört Wale	Das Informationsprogramm 06:05	NDR Info	Hörfunk	Tagesmagazine, Informationsstrecken	190000
03.07.2019 08:23	Faszination Unterwasserwelt im Ozeaneum	QIEZ		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	8475
03.07.2019 18:33	Dieser Schwertwal ist der neue Lärm-Botschafter des Ozeaneums	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
03.07.2019 18:40	Das ist der neue Schwertwal im Ozeaneum	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
03.07.2019 19:30	Vom Lärm gestört	Nordmagazin	NDR Mecklenburg-Vorpommern	TV	Regionalmagazine	250000
03.07.2019 21:08	Ozeaneum will Meeresbewohnern Gehör verschaffen	NDR		Online-Medien	Mischsites Rundfunk	607803
04.07.2019 03:16	Vom Lärm gestört	Nordmagazin (Mo-So 03:45)	NDR Norddeutscher Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regionalmagazine	40000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
04.07.2019 09:00	Vom Lärm gestört	Nordmagazin (Mo-So 09:00)	NDR Nord-deutscher Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional- magazine	50000
04.07.2019 12:03	Kein Lärm Meer' - neue Ausstellung über Lärmverschmutzung der Meere im Ozeaneum Stralsund	Kultur Aktuell 12:03	NDR Kultur	Hörfunk	Nachrichten	80000
04.07.2019 18:00	Steigende Lärmbelästigung	rbb um Sechs	RBB Rundfunk Berlin Brandenbur g Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional- magazine	190000
05.07.2019 04:45	Steigende Lärmbelästigung	rbb um Sechs (Di-Sa 03:40)	RBB Rundfunk Berlin Brandenbur g Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional- magazine	20000
05.07.2019 06:12	Ozeaneum in Stralsund will „Kein Lärm Meer“	Nordkurier		Online- Medien	Printmedien online	118404
05.07.2019 06:20	Ozeaneum in Stralsund will „Kein Lärm Meer“	Uckermark Kurier		Online- Medien	Printmedien online	26283
05.07.2019 18:05	Wissenschaftler vom Meeresmuseum versuchen das Gehör von Pinguinen zu erforschen	IQ - Wissenschaft und Forschung	Bayern 2 (BR)	Hörfunk	Magazine	170000
06.07.2019 19:01	Unterwasser-Lärm	Gut zu wissen	BR Bayerischer Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechtes	TV	Magazine	350000
07.07.2019 04:15	Unterwasser-Lärm	Gut zu wissen (So)	BR Bayerischer Rundfunk Anstalt des	TV	Magazine	40000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
			öffentlichen Rechtes			
08.07. 2019 11:03	Kein Lärm Meer	Fisch und Fang		Online-Medien	Printmedien online	3208
12.07. 2019 16:30	Unterwasser-Lärm	Gut zu wissen (Fr)	ARD-alpha	TV	Magazine	
13.07. 2019 02:45	Unterwasser-Lärm	Gut zu wissen (Sa)	ARD-alpha	TV	Magazine	
15.07. 2019 17:00	Kein Lärm Meer	Rügen TV	BB-MV Lokal-TV	TV	Regional- magazine	
26.07. 2019 06:05	Meeresakustiker vom Ozeaneum und Meeresmuseum untersuchen Hörvermögen von Pinguinen	Das Informationsprogram m 06:05	NDR Info	Hörfunk	Tagesmagazine, Informations- strecken	190000
15.08. 2019 15:25	Ein Hörtest für Pinguine	Deutschlandfunk Kultur		Online-Medien	Radio online	63409
15.08. 2019 19:07	Forscher vom Meeresmuseum Stralsund untersuchen das Hörvermögen von Pinguinen	Zeitfragen - Forschung und Gesellschaft	Deutschland funk Kultur	Hörfunk	Magazine	150000
16.08. 2019 13:43	Ökologie Meeresbewohner leiden unter Lärm	Deutschlandfunk		Online-Medien	Radio online	
16.08. 2019 17:33	Ökologie Auch Meeresbewohner leiden unter Lärm	Deutschlandfunk		Online-Medien	Radio online	
19.08. 2019 18:30	Deutsches Meeresmuseum erforscht Gehör von Pinguinen	nano	3sat	TV	Magazine	150000
20.08. 2019 03:10	Deutsches Meeresmuseum erforscht Gehör von Pinguinen	nano (Di-Sa)	ARD-alpha	TV	Magazine	10000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
20.08.2019 07:00	Deutsches Meeresmuseum erforscht Gehör von Pinguinen	nano (Di-Sa 07:00)	3sat	TV	Magazine	20000
20.08.2019 09:45	Deutsches Meeresmuseum erforscht Gehör von Pinguinen	nano (Mo-Fr 09:45)	3sat	TV	Magazine	20000
20.08.2019 17:45	Deutsches Meeresmuseum erforscht Gehör von Pinguinen	nano (Mo-Fr)	ARD-alpha	TV	Magazine	10000
24.08.2019 09:05	Dr. Michael Dähne vom Deutschen Meeresmuseum Stralsund testet das Gehör von Pinguinen	Die Profis	radioeins (RBB)	Hörfunk	Magazine	110000
24.08.2019 10:13	Das Gehör von Pinguinen	radioeins		Online-Medien	Radio online	
21.11.2019 13:12	Wissenschaftler des Meeresmuseums forschen in der Antarktis	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
09.12.2019 09:43	Stralsunder Meereskundler forschen wieder in der Antarktis	Uckermark Kurier		Online-Medien	Printmedien online	26283
09.12.2019 09:46	Stralsunder Meereskundler forschen wieder in der Antarktis	Nordkurier		Online-Medien	Printmedien online	109934
25.12.2019 13:08	Humboldtpinguine aus Stralsunder Ozeaneum nehmen an Test zur Bedrohung von Meerestieren teil	Informationsradio 13:08	B5 aktuell (BR)	Hörfunk	Tagesmagazine, Informations-strecken	180000
27.12.2019	Wie wird geforscht im Norden?	DIE ZEIT		Print-medien	Überregionale Wochen-zeitungen	1507199
21.02.2020 05:03	Projekt 'Wie gut können Pinguine hören' am	Der Gute Morgen	Ostseewelle Hit-Radio Mecklenburg-	Hörfunk	Begleitprogram m	150000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
	Meeresmuseum Stralsund		Vorpommer-n			
21.02.2020 07:34	Pinguine trainieren für die Wissenschaft: Fit für Hörtests	1&1		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	40739
21.02.2020 07:35	Pinguine trainieren für die Wissenschaft: Fit für Hörtests	ARCOR		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	126543
21.02.2020 08:54	NC Warum diese Pinguine jetzt zum Hörtest müssen!	TAG24		Online-Medien	Reine e-zines	984663
21.02.2020 10:05	Hörtests für Pinguine am Ozeaneum Stralsund und an der Uni Rostock	Grünstreifen	Deutschlandfunk Nova	Hörfunk	Tagesmagazine, Informations-strecken	10000
21.02.2020 10:14	Pinguine trainieren für die Wissenschaft: Fit für Hörtests	Berliner Sonntagsblatt		Online-Medien	Reine e-zines	47468
21.02.2020 12:55	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Volksstimme.de		Online-Medien	Printmedien-verbund online	160435
21.02.2020 15:16	NC Wie gut hören Pinguine?	Westdeutsche Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	140861
21.02.2020 15:23	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Uckermark Kurier		Online-Medien	Printmedien online	26283
21.02.2020 15:26	So hören Pinguine unter Wasser	Nordkurier		Online-Medien	Printmedien online	175980
21.02.2020 17:33	NC Hörtests für Pinguine	Westdeutscher Rundfunk		Online-Medien	Mischsites Rundfunk	415277
21.02.2020 19:05	Forscher des Meeresmuseums Stralsund untersuchen Hörvermögen von Pinguinen	KiRaKa - Radio für Kinder	WDR 5	Hörfunk	Magazine	230000
22.02.2020	Pinguine sind ganz Ohr	Magdeburger Volksstimme Magdeburgische Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	109744

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
22.02.2020	Pinguine im Hörtest	Mitteldeutsche Zeitung Halle / Saalekreis		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	116270
22.02.2020	Hörtest bei Pinguinen	Pirmasenser Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	26840
22.02.2020	Lauscher auf, Pinguin:	Dithmarscher Landeszeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	47662
22.02.2020	Pinguine im Dienst der Wissenschaft	Badische Neueste Nachrichten ST		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	85813
22.02.2020	MOMENTAUFNAHME	Hamburger Morgenpost		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	276200
22.02.2020	Wie gut hören Pinguine?	Oranienburger Generalanzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	23892
22.02.2020	Lauscher auf!	Die Harke		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	46947
22.02.2020	Lauscher auf!	Lübecker Nachrichten Lübecker-General-Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	74226
22.02.2020	Lauscher auf!	DEWEZET Deister-und Weserzeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	54047
22.02.2020	Lauscher auf, kleiner Pingu!	Badisches Tagblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	17331
22.02.2020	Wie gut hören Pinguine?	Schwäbische Post Aalen		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	70438
22.02.2020	Lauscher auf!	Hildesheimer Allgemeine Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	91377
22.02.2020	Lauscher auf!	Märkische Allgemeine Potsdamer Tageszeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	84319
22.02.2020	Lauscher auf!	Schaumburger Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	17073
22.02.2020	Lauscher auf!	Schaumburger Nachrichten		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	37470
22.02.2020	Lauscher auf!	Leipziger Volkszeitung Stadtausgabe		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	309067
22.02.2020	Wie gut hören Pinguine?	Südwest Presse Ulm		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	130159
22.02.2020	Lauscher auf!	Hannoversche Allgemeine Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	148743

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
22.02.2020	Lauscher auf!	Cellesche Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	71810
22.02.2020	Wie gut hören Pinguine?	Schwäbisches Tagblatt Tübinger Chronik		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	52681
22.02.2020	Wie gut Pinguine hören können	Lausitzer Rundschau		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	57173
22.02.2020	Wie gut hören Pinguine?	Märkische Oderzeitung Frankfurter Stadtbote		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	22174
22.02.2020	Watscheln zum Hörtest	Sächsische Zeitung Dresden		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	157011
22.02.2020	Im Dienst der Forschung	Recklinghäuser Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	139999
22.02.2020	Lauscher auf!	Segeberger Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	31182
22.02.2020	Lauscher auf!	Einbecker Morgenpost		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	20701
22.02.2020	Lauscher auf!	Peiner Allgemeine Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	43196
22.02.2020	lauscher auf!	Dresdner Neueste Nachrichten		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	52073
22.02.2020	Lauscher auf!	Neue Presse		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	46577
22.02.2020	Lauscher auf!	Göttinger Tageblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	67932
22.02.2020	Lauscher auf!	Kieler Nachrichten		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	207554
22.02.2020	Lauscher auf!	Alfelder Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	18253
22.02.2020	Lauscher auf!	Gelnhäuser Neue Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	31716
22.02.2020	Pinguine trainieren für Wissenschaft	Ruhr Nachrichten Dortmunder Zeitung Süd (D1)		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	31740
22.02.2020	Lauscher auf, Pinguin:	Ruhr Nachrichten Ausgabe Lünen		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	31740
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Schwäbische Zeitung Ravensburg		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	50876

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Altmark Zeitung Salzwedeler Nachrichten		Print- medien	Regional mit Teilredaktion	13896
22.02.2020	Ab ins Wasser, Ohren auf!	Nürnberger Nachrichten		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	97390
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Kreiszeitung Syker Zeitung		Print- medien	Regional mit Teilredaktion	53073
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Oldenburgische Volkszeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	60430
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Westfälischer Anzeiger - Hammer Zeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	61867
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Rotenburger Kreiszeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	22374
22.02.2020	Alle mal gut zuhören!	Pforzheimer Zeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	101999
22.02.2020	Hörtests für Pinguine	Kölner Stadt-Anzeiger SK		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	239264
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Fehmarnsches Tageblatt		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	5817
22.02.2020	Hörtest für Pinguine	Münsterländische Tageszeitung		Print- medien	Regional mit Teilredaktion	69384
22.02.2020	Wusstest du, dass ...?	Freies Wort Suhl		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	23281
22.02.2020	Pinguine trainieren für Wissenschaft	Hellweger Anzeiger Unna		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	11721
22.02.2020	TIERE	Berliner Zeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	283000
22.02.2020	Mach doch mal die Lauscher auf, Pingu!	Ender Zeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	13000
22.02.2020	Wie Pinguine für Hörtests trainieren	GN Graftschafter Nachrichten		Print- medien	Regional mit Teilredaktion	61176
22.02.2020	Wie Pinguine für Hörtests trainieren	Ostfriesische Nachrichten		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	35301
22.02.2020	Pinguine sind fit für Hörtests	Ostthüringer Zeitung OTZ Geraer Zeitung		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	24487
22.02.2020	Mit Pinguin Lemmy das Hören üben	NZ Nürnberger Zeitung NZS		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	67657
22.02.2020	Pinguine trainieren für Hörtests	Delmenhorster Kreisblatt		Print- medien	Regional mit Vollredaktion	41279

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
22.02.2020	Wie Pinguine für Hörtests trainieren	Neue Osnabrücker Zeitung Stadt Osnabrück		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	143340
22.02.2020	Pinguine watscheln zum Hörtest	Express Köln		Print-medien	Boulevard-Kaufzeitungen mit Vollred.	295083
22.02.2020 07:50	Wie gut hören Pinguine?	Schwäbische Post		Online-Medien	Printmedien online	28883
22.02.2020 07:51	Wie gut hören Pinguine?	GMÜNDER TAGESPOST		Online-Medien	Printmedien online	12984
22.02.2020 09:28	Wie gut hören Pinguine?	Neckar Chronik		Online-Medien	Printmedien online	1538
23.02.2020	Expedition Antarktis	Stralsunder Blitz am Sonntag		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	24395
23.02.2020 08:55	NC Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Donaukurier		Online-Medien	Printmedien online	150524
24.02.2020	Pinguine trainieren im Auftrag der Wissenschaft	Frankfurter Neue Presse Stadt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	71187
24.02.2020	Die Unterwasserlauscher	Eßlinger Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	88840
24.02.2020	Wie gut können Pinguine hören?	Saale-Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	30990
24.02.2020	Wie gut können Pinguine hören?	Fränkischer Tag		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	90493
24.02.2020	Wie gut können Pinguine hören?	Bayerische Rundschau		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	33711
25.02.2020	Pinguine müssen zum Hörtest	Aachener Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	27209
25.02.2020	Lemmys Gespür für Töne	Fuldaer Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	75756
25.02.2020	Fit für Hörtests: Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Hamburger Abendblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	279054
25.02.2020	Pinguine müssen zum Hörtest	Aachener Nachrichten		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	27209

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
26.02.2020	Hörtests für Pinguine	Rhein-Neckar-Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	137406
26.02.2020 12:21	Neue Studie: Unterwasserlärm bedroht Pinguine	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
26.02.2020 15:04	Ozeaneum exklusiv: Von mäkeligen Haien und kuschligen Pinguinen	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
26.02.2020 15:08	Ein Tag im Ozeaneum	Ostsee-Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	24246
26.02.2020 16:40	Vortrag über Pinguine von Dr. Michaël Beaulieu im Meeresmuseum Stralsund	Kultur im Norden 16:40	NDR Kultur	Hörfunk	Nachrichten	80000
27.02.2020	Pinguine im Dienste der Wissenschaft	Die Kitzinger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	8368
27.02.2020	Hörtest für Pinguine	Rhein-Neckar-Zeitung Nordbadische Nachrichten		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	19711
27.02.2020	Pinguine im Dienste der Wissenschaft	Rhön- und Saalepost		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	12983
27.02.2020	Pinguine reagieren auf Unterwasserlärm	Lübecker Nachrichten Lübecker-General-Anzeiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	74226
27.02.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft: Fit für Hörtests	Märkische Allgemeine Potsdamer Tageszeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	84319
27.02.2020	Lärm im Meer NERVT Piguine SEHR	Bild Mecklenburg-Vorpommern		Print-medien	Boulevard-Kaufzeitungen mit Vollred.	191000
27.02.2020 09:40	Heute findet ein Vortrag über Pinguine von Dr. Michaël Beaulieu im Meeresmuseum Stralsund statt	Kultur im Norden 09:40	NDR Kultur	Hörfunk	Nachrichten	80000
29.02.2020	Pinguine werden für Hörtests trainiert	Ostfriesen Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	93596

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
29.02.2020	Stresstest für Seevögel	NRZ Neue Ruhr Zeitung Essen		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	86544
29.02.2020	Stresstest für Seevögel	Iserlohner Kreisanzeiger und Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	43560
29.02.2020	Stresstest für Seevögel	Westdeutsche Allgemeine Essen		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	86544
29.02.2020	Stresstest für Seevögel	Westfalenpost Zeitung für Hagen		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	30132
29.02.2020	Stresstest für Seevögel	WR Westfälische Rundschau Dortmund		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	26180
29.02.2020	Pinguine beim Hörtest	Neues Deutschland Bundesausgabe		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	59810
29.02.2020	Pinguine werden für Hörtests trainiert	General-Anzeiger (Rhauderfehn)		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	23433
01.03.2020	Pinguine zum Hörtest	OWL am Sonntag Herford, Bünde, Enger, Spenge		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	49593
03.03.2020	Wie gut hören Pinguine?	Main-Echo		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	210999
03.03.2020	Pinguine reagieren auf Unterwasser lärm	Die Welt überregional		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	658899
03.03.2020 08:00	Wissen Kompakt	DIE WELT		Online-Medien	Printmedien online	5035644
04.03.2020	Streicheleinheiten nach dem Hörtest	Berliner Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	283000
05.03.2020	Lauscher auf, Pingu!	Bocholter-Borkener Volksblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	75455
06.03.2020 20:30	Tierisch Unterwegs'	Greifswald TV-Sendung	Greifswald TV GmbH	TV	Sonstige Sendungen	
08.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Sonntagsjournal der Bremervörder Zeitung		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	10105
09.03.2020	Ein Hörtest für Pinguine	Stuttgarter Zeitung D		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	397746

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
09.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	WZ Westdeutsche Zeitung Düsseldorf		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	50827
12.03.2020 20:15	Folgen von Lärm	Wissen aktuell	3sat	TV	Magazine	100000
14.03.2020	Pinguine trainieren für Hörtests	Badisches Tagblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	17331
19.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	HNA Frankenger Allgemeine		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	31776
19.03.2020	Pinguine arbeiten für die Wissenschaft	Flensburger Tageblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	106515
19.03.2020	Pinguine arbeiten für die Wissenschaft	Der Nordschleswiger		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	3966
19.03.2020	Pinguine arbeiten für die Wissenschaft	Stormarner Tageblatt		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	12518
19.03.2020	Pinguine arbeiten für die Wissenschaft	Pinneberger Tageblatt		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	23384
20.03.2020	Den Lauschern der Pinguine auf der Spur	Freie Presse Chemnitzer Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	83070
23.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Waldeckische Landeszeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	84547
23.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	HZ Hersfelder Zeitung		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	43132
26.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	Solinger Tageblatt		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	91267
27.03.2020	Pinguine trainieren für die Wissenschaft	HNA Witzenhäuser Allgemeine		Print-medien	Regional mit Teilredaktion	22172
27.03.2020 20:53	Hearing in Penguins - Forschung im Stralsunder Ozeaneum	MV1 TV		Online-Medien	TV online	7917
25.04.2020	Beliebt und bedroht	Westfälischer Anzeiger - Hammer Zeitung		Print-medien	Regional mit Vollredaktion	62041
04.06.2020 14:00	Pinguin-Forschung	MDR um 2	MDR Mitteldeutscher Rundfunk - Anstalt des Öffentlichen Rechts	TV	Tagesmagazine	250000

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
05.06.2020 18:00	Pinguin-Forschung	rbb um Sechs	RBB Rundfunk Berlin Brandenbur g Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional- magazine	90000
06.06.2020 03:40	Pinguin-Forschung	rbb um Sechs (Di-Sa 03:40)	RBB Rundfunk Berlin Brandenbur g Anstalt des öffentlichen Rechts	TV	Regional- magazine	20000
22.09.2020 18:19	Die Bierkulturstadt in Wien	Schwäbische (Zeitung)		Online- Medien	Printmedien online	132917
25.10.2020 10:37	HÖR MAL!	LAND & MEER		Online- Medien	Printmedien online	153
01.11.2020 12:05	Hörtest - Deutsches Meeresmuseum untersucht das Stressempfinden von Pinguinen	Der Sonntagmittag	Bremen Zwei (Radio Bremen)	Hörfunk	Tagesmagazine, Informations- strecken	20000
07.11.2020 18:05	Hörtest - Deutsches Meeresmuseum untersucht ab welcher Lautstärke Pinguine Streß empfinden	Mare Radio	Bremen Zwei (Radio Bremen)	Hörfunk	Magazine	20000
01.12.2020 13:30	Wissensclip veranschaulicht Unterwasserlärm in Meeren	Süddeutsche.de		Online- Medien	Printmedien online	3036631
01.12.2020 13:32	Wissensclip veranschaulicht Unterwasserlärm in Meeren	T-Online		Online- Medien	Online-Dienste, prof. Portale	9140290
01.12.2020 13:33	Wissensclip veranschaulicht Unterwasserlärm in Meeren	WEB.DE		Online- Medien	Online-Dienste, prof. Portale	577248
01.12.2020 13:37	Wissensclip veranschaulicht	RTL.de		Online- Medien	TV online	3665631

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
	Unterwasserlärm in Meeren					
01.12.2020 19:58	Wissensclip veranschaulicht Unterwasserlärm in Meeren	Zeit Online		Online-Medien	Printmedien online	3421482
13.12.2020	Unterwasserlärm	Stralsunder Blitz am Sonntag		Print-medien	Anzeigenblätter mit Redaktion	24395
16.12.2020 03:40	Museumsführer vom 15.12.2020 aus dem Deutschen Meeresmuseum Stralsund	MV1 TV		Online-Medien	TV online	
02.02.2021 16:55	Forschung an Pinguinen	X:enius	Arte G.E.I.E.	TV	Magazine	80000
03.04.2021 06:01	Hörtest mit Pinguinen	X:enius	BR Bayerischer Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechtes	TV	Magazine	50000
10.04.2021 18:09	Klang und Lärm der Ozeane	FAZ.net		Online-Medien	Printmedien online	3228294
20.04.2021 07:09	Tiere: Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	Norddeutsche Neueste Nachrichten		Online-Medien	Printmedien online	2511
20.04.2021 07:12	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	GMX		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	1999856
20.04.2021 07:12	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	WEB.DE		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	695195
20.04.2021 07:12	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	1&1		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	14456
20.04.2021 07:12	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	Süddeutsche.de		Online-Medien	Printmedien online	3100135
20.04.2021 07:19	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	Zeit Online		Online-Medien	Printmedien online	3500845

Er-schie-nen am	Headline	Medientitel	Sender	Medien-art	Medientyp	Reich-weite
20.04.2021 07:19	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	FOCUS Online		Online-Medien	Printmedien online	6344396
20.04.2021 07:20	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	DIE WELT		Online-Medien	Printmedien online	6078193
20.04.2021 07:24	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	T-Online		Online-Medien	Online-Dienste, prof. Portale	11437020
20.04.2021 07:46	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	Ostseewelle HIT-RADIO Mecklenburg-Vorpommern		Online-Medien	Radio online	986
20.04.2021 09:00	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	RTL.de		Online-Medien	TV online	3849385
20.04.2021 09:54	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	koeln.de		Online-Medien	Öffentliche Kommunen, Amtsblätter	50328
20.04.2021 10:52	Pinguine reagieren sensibel auf Geräusche	GEO		Online-Medien	Printmedien online	105462
20.04.2021 14:44	Pinguine sind sensibel – über und unter Wasser	Berliner Zeitung		Online-Medien	Printmedien online	171930
22.04.2021 00:00	Unterwasserlärm betrifft Pinguine genauso wie Wale und Delfine	ECO-World		Online-Medien	Printmedien online	1327
26.04.2021 00:01	Aktionswoche gegen "Lärm im Meer"	Langeoog News		Online-Medien	Reine e-zines	3702
27.04.2021	Mensch, mach leiser!	taz Die Tageszeitung		Print-medien	Überregional mit Vollredaktion	322600
27.04.2021 07:08	Mensch, mach leiser!	taz.de		Online-Medien	Printmedien online	316138