

# Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung

(ehemals Christian-Albrechts-Universität zu Kiel / Forschungs- und Technologiezentrum Westküste)



# Validierung der akustischen Belastungsgrenze von Schweinswalen für WEA-Rammschall

von

Prof. Dr. Ursula Siebert Dr. Andreas Ruser Dipl. Ing. Michael Dähne Dipl. Biol. Janne Sundermeyer Dr. Klaus Lucke Katharina Witte Ole Meyer-Klaeden

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Förderkennzeichen 0325117

Zuwendungsempfänger	Förderkennzeichen				
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel /	0325117				
Forschungs- und Technologiezentrum Westkuste					
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover /					
Institut für Terrestrische und Aquatische					
Wildtierforschung					
Vorhabenbezeichnung					
Validierung der akustischen Belastungsgrenze von	Schweinswalen für WEA-Rammschall				
Laufzeit des Vorhabens					
01.07.2009 – 31.12.2012					
Berichtszeitraum					
01.07.2009 - 31.12.2012					
Projektbeteiligte					
Prof. Dr. Ursula Siebert, Dr. Andreas Ruser, Dipl. Ing. Michael Dähne, Dipl. Biol. Janne Sundermeyer,					
Dr. Klaus Lucke, Katharina Witte, Ole Meyer-Klaed	en				

Gefördert durch:



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0325117 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

# Inhaltsverzeichnis

Abbi	Idung	gsverzeichnis	4
Tabe	ellenv	erzeichnis	6
Abki	irzun	gsverzeichnis	6
1	Aufzä	ählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlich	er
Ereig	gnisse	2	7
1.	1	Zusammenfassung	7
1.	2	Summary	10
	1.2.1	Introduction	10
	1.2.2	Methodology	1
	1.2.3	Results and Discussion	4
	1.2.4	Audiograms of animals in the wild	15
	1.2.5	Conclusion	17
1.	3	Einleitung	19
	1.3.1	Ziel der Untersuchungen	19
	1.3.2	Experimenteller Ansatz	20
1.	4	Methoden	21
	1.4.1	Akustisch evozierte Potentiale mit EVREST	21
	1.4.2	Ermüdungsstimulus – Beschallung mit einer Airgun	25
	1.4.3	Erste Festlegungen des Gutachtergremiums zur Durchführung der Versuche	25
	1.4.4	Untersuchungskonzept Freiland 2	26
1.	5	Ergebnisse	32
	1.5.1	Positionierung der Jawphones	32
	1.5.2	Freilanduntersuchungen	34
	1.5.3	Untersuchungen in Menschenhand	ł7
1.	6	Diskussion	54
1.	7	Fazit	57
1.	8	Literaturverzeichnis	58
1.	9	Projektveröffentlichungen	52
2	Verg	leich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung d	es
Zuw	endui	ngsgebers geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung (Darstellung u.a. anhand ein	es
Balk	enpla	ns)	54
3	Habe	en sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb d	eς
ange	gebe	nen Ausgabenzeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert?	56
4	Sind	inzwischen von dritter Seite Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung de	es
Vorh	aben	s relevant sind?	57
5	Sind	oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?	59
6	Forts	schreibung des Verwertungsplans	59
7	Anha	ang	0

7.1	1. Treffen mit dem Gutachtergremium	70
7.2	Gutachter – Beurteilung 2010	71
7.3	2. Gutachtertreffen 2012	75

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2: Beschreibung der Staircase-Methode. Nach einem Hit (Tier hat das Signal gehört) wird die Amplitude um 20 dB verringert. Beim ersten Miss (Auf dem AEP konnte kein Hörreiz nachgewiesen werden) wird die Schrittgröße (20 dB) mit 0,55 multipliziert die Schrittgröße dementsprechend auf 11 dB angepasst. Die Schrittgröße wird beibehalten bis ein weiterer Hit aufgenommen wird und dann mit 0,45 multipliziert, so dass die finale Schrittgröße 5 dB beträgt..... 23 Abbildung 3: a) Entnahme des Schweinswales aus dem Bundgarnnetz durch die dänischen Kollegen bei gleichzeitiger Verkleinerung des Bundgarnnetzes durch den Fischer, b) Fixierung des Schweinswales während des Versuches durch Haltestangen und Stretcher mit Auftriebskörpern. Die Elektroden sind entlang der dorsalen Achse bis zur Finne angebracht: von links nach rechts: 1. (+ Elektrode), 2. (- Elektrode), 3. (Masse-Elektrode) an der Finne. c) Versuchsaufbau während der Abbildung 4: a) initiale Untersuchung des Schweinswales an Bord des Fischerbootes, b) Aufnahme des Basisaudiograms, die Untersuchungen mussten während stärkeren Regens unterbrochen werden, c) die Besenderung ist abgeschlossen und das Tier kann wieder freigelassen werden. ....... 28 Abbildung 6: Arbeitsplattform mit der ursprünglichen Halterung (Hängematte) für den Schweinswal. Abbildung 7: Mapping "DT01": Getestet wurden verschiedene Positionierungen der Jawphones, um Abbildung 8: Mapping "DT01" zusätzlich zu den am Tag zuvor getestete Jawphone-Positionen. Während der Messungen lag der Schweinswal in einer Hängematte in einem Versuchstank im Dolfinarium Harderwijk (Niederlande). Als Schallquelle wurden zwei in Silikonsaugnäpfe gegossene Hydrophone (HS 150), in der Abbildungsmitte zu sehen, eingesetzt. Je größer der Punkt im Graph, Abbildung 9: Schweinswal in einer Hängematte in einem Versuchstank im Dolfinarium Harderwijk Abbildung 10: Kalibrierungsmessung im Versuchstank im Dolfinarium in Harderwijk (Niederlande). Das Sende-Hydrophon (RESON TC 4033) ist identisch mit der während der Hörschwellenmessungen eingesetzten Schallquelle. Als Empfänger wurde an der Position der Unterkiefer des Schweinswals (Ort der Schallwahrnehmung bei Schweinswalen) ein kalibriertes Hydrophon (ebenfalls RESON TC Abbildung 11: Kammerdruckwerte der Airgun und entsprechende Empfangspegel (Spitzen-Schalldruck: SPLpp, Schallenergie: SEL) gemessen in einer Entfernung von 25 m gemessen im Büsumer Hafenbecken. L – gemessener Lautstärkepegel, SPL -. Gemessener Schallpegel (Spitze-

Abbildung 12: Im Freiwasser gemessene Lautstärke der verwendeten 2800LL-X Bolt gun bei 100 bar Kammerdruck. Die Werte wurden in 2 und 3,5 m über Grund (aG) gemessen. Mit blauen Linien ist verdeutlicht, in welchen Entfernungen in Abhängigkeit von der Messtiefe 164 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s erreicht werden. Die Messungen in 2 und 3,5 m über Grund unterscheiden sich um 2 – 4 dB...... 37 Abbildung 13: Auswirkung des Lloyd-Mirror Effektes auf den Empfangspegel an drei Hydrophonen Abbildung 14: Wiederholte Kalibrierung der Airgun in der Freilandsituation: Hydrophon an der Position des Schweinswalunterkiefers zwischen den Schwimmkörpern des Katamaran in 5 m Abbildung 15: Schweinswal während der Höruntersuchungen im Freiland...... 41 Abbildung 18: Fourieranalyse der Airgun Impulse an der Oberfläche und in 2m Tiefe...... 46 Abbildung 19: Positionierungs- und Desensibilisierungstraining von Freja (Photo: Michael Dähne)... 48 Abbildung 21: Vergleich der Messung von Einzelfrequenzen gegenüber der simultanen Messung mehrerer Frequenzen. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardabweichung aus drei aufeinanderfolgenden multiplen Messungen......50 Abbildung 22: Audiogramme von Schweinswalen in Harderwijk. Die Audiogramme wurden mit der MRTF Methode erhoben. Die Ermittlung der Daten für das Tier Rehab 3 fallen in dem Vergleich zu den 3 anderen Tieren durch erhöhte Hörschwellen bei 10 und 50 kHz auf, diese Messung wurde aber Abbildung 24: Audiogramme von Schweinswalen in Harderwijk. Die Audiogramme wurden mit der Abbildung 25: Darstellung der in diesem Projekt aufgenommenen Schweinswalaudiogramme im Vergleich mit Daten aus der Literatur. Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Messungen im Freiland (schwarze Punkte) und aus den Messungen an Tieren in Rehabilitation (schwarze Quadrate), Fehlerindikatoren repräsentieren die Maxima und Minima der Hörschwellen der einzelnen Schweinswale sowie dem Audiogramm eines Einzeltieres aus dem Projekt MINOSplus (Lucke et al. 2009). Im Vergleich dazu sind die via Verhaltensaudiometrie aufgezeichneten Audiogramme von Andersen (1970), Kastelein et al. (2002) und Kastelein et al. (2010) an Schweinswalen und die AEP-Abbildung 26: Vergleich der Messungen dieses Projektes mit AEP-Messungen an anderen Zahnwalarten. Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Messungen im Freiland (schwarze Punkte) und aus den Messungen an Tieren in Rehabilitation (schwarze Quadrate), Fehlerindikatoren repräsentieren die Maxima und Minima der Hörschwellen der einzelnen Schweinswale. Blau -Delphinapterus leucas (Beluga), grün – Tursiops truncatus (großer Tümmler), orange – Pseudorca crassidens (Kleiner Schwertwal)......56

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der in freier Wildbahn untersuchten Schweinswale	42
Tabelle 2: Datengrundlage der Abbildung 16	43
Tabelle 3: Datengrundlage der Abbildung 22	52
Tabelle 4: Datengrundlage der Abbildung 24	53

# Abkürzungsverzeichnis

TTS	engl.: Temporary Threshold Shift – temporäre / zeitweilige Hörschwellenverschiebung
PTS	engl.: Permanent Threshold Shift – permanente / dauerhafte Hörschwellenverschiebung
SPL	engl.: Sound Pressure Level – Schalldruckpegel (dB re 1µPa)
SEL	engl.: Sound Exposure Level – Schallenergiepegel (dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s)
ASSR	engl.: Auditory Steady State Response – Im Gleichgewichtszustand befindliche Reizantwort des Gehörs
MRTF	engl.: Modulation Rate Transfer Function – Modulationsübertragungsfunktion
SAM	engl.: Sinusoidal Amplitude Modulated tones – Sinusförmig amplitudenmodulierte Schallwellen
RL	engl.: Received Level – Empfangspegel

# 1 Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

## 1.1 Zusammenfassung

Schweinswale sind im Rahmen etlicher internationaler Konventionen wie der Bonner Konvention (zum Schutz wandernder wildlebender Tiere) oder dem Kleinwal-Abkommen ASCOBANS (Abkommen zur Erhaltung der Kleinwale in der Nord- und Ostsee, des Nordostatlantiks und der Irischen See) geschützt.

Die Nord- und Ostsee gehören gleichzeitig zu den weltweit am stärksten wirtschaftlich genutzten Meeresgebieten. Die anthropogene Nutzung umfasst als direkte Eingriffe u.a. die Aktivitäten der Ölund Gasindustrie, militärische Aktivitäten, die Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen, Schiffsverkehr, Fischerei, wobei eine große Erhöhung der Schallemission in der Zukunft sehr wahrscheinlich auf die Errichtung von Offshore Windfarmen mit einer effektiven Kapazität von 25 Gigawatt zurück zu führen sein wird. Bei dieser angestrebten Leistung aus Windkraft bis zum Jahr 2030 bedeutet dies bei den momentan üblichen Anlagen mit einer Leistung von 5 MW, dass etwa 5000 Windräder innerhalb der nächsten 17 Jahre und damit pro Jahr ca. 300 Anlagen in Nord- und Ostsee zusammen errichtet werden müssen. Daher wurden in den Projekten MINOS (2002-2004) und MINOSplus (2004-2007) die potentiellen Auswirkungen solcher Windparks auf die marinen Warmblüter in Nord- und Ostsee untersucht. Gegenstand der Untersuchungen waren die Auswirkungen der Geräusche, die bei der Rammung von Fundamenten für Offshore-Windenergieanlagen wiederholt erzeugt werden ("Rammschall"). Es handelte sich dabei um besonders intensive impulshafte Schallsignale, die bei Schweinswalen zu einer zeitweiligen Verschlechterung des Hörvermögens führen können (engl.: Temporary Threshold Shift, TTS). In dem vorangegangenen Forschungsvorhaben wurde an einem in Menschenhand gehaltenen Schweinswal als akustischer Belastungsgrenzwert ein duales Kriterium für die TTS-Schwelle in Höhe von 200 dB re 1 μPa (Schalldruck) bzw. 164 dB re 1 μPa<sup>2</sup>s (Schallenergie) ermittelt (Lucke et al. 2009). Der experimentelle Ansatz der vorliegenden Untersuchungen sah vor, den Schwerpunkt auf die konkrete Validierung dieser TTS-Schwelle zu legen, durch weiterführende Messungen diesen Grenzwert aber darüber hinaus auch auf andere anthropogene Geräusche anwendbar zu machen. Entsprechend baute der experimentelle Ansatz auf zwei Module.

In dem einen Modul sollte die Untersuchung des Belastungsgrenzwertes in Bezug auf die kumulative Wirkleistung von tonalen Anregungen an einem sich in Menschenhand befindlichen Schweinswal im Fjord und Baelt Center (F&B) in Kerteminde, Dänemark durchgeführt werden. Aufgrund von Änderungen und Verzögerungen bezüglich der Genehmigung zu diesen Untersuchungen seitens der dänischen Behörden während der Projektlaufzeit wurde zwar der weibliche Schweinswal trainiert, die Untersuchung aber konnte nicht mehr durchgeführt werden.

In dem anderen Modul sollte die Hörempfindlichkeit an frei lebenden Schweinswalen erfolgen und der Schwellwert bei einer größeren Anzahl von Tieren untersucht werden. Die angewandte Messmethode zur Ermittlung der Hörschwelle basiert auf einer nichtinvasiven Methode zur Ableitung akustisch evozierter Potentiale (AEP) und stützt sich auf bislang vorhandene Erkenntnisse über vergleichbare Hörmessungen am Menschen und am Tier. Bei der Ableitung der AEPs von der Hautoberfläche werden dabei die Spannungsveränderungen zwischen zwei Elektroden gemessen. Das gesamte Messprogramm EVREST wurde von Dr. Jim Finneran (SPAWAR, San Diego, U.S.A.) v.a. für Messungen an Großen Tümmlern (*Tursiops truncatus*) entwickelt und die Messkomponenten auf die in dieser Studie zu untersuchenden Schweinswale angepasst.

Zugriff auf freilebende Schweinswale besteht im Bereich der dänischen Beltsee, wo die Tiere in Bundgarnnetzen lebend beigefangen werden und in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des Institute of Bioscience, University Aarhus, Dänemark untersucht werden können. Der gesamte Ablauf der Messungen im Freiland war logistisch sehr komplex und musste darüber hinaus mit weiteren Forschungsarbeiten koordiniert werden. Zeitliche Verzögerungen mussten während der gesamten Prozedur soweit wie möglich vermieden werden, um den Schweinswal nicht unnötig zu belasten. Um diese Anforderungen zu erfüllen und einen reibungslosen Ablauf gewährleisten zu können, wurden mehrere Ablauftests durchgeführt. Diese wurden in 2011 und nach Erkenntnissen im Anschluss an die jeweiligen Feldeinsätze weitergeführt, um alle Prozessabläufe noch weiter zu optimieren.

So konnten in 2011 erstmals Audiogramme an Schweinswalen im Freiland in dänischen Gewässern erhoben und ein erster TTS-Versuch durchgeführt werden. Insgesamt konnten an vier freilebenden Schweinswalen, die in dänischen Stellnetzen beigefangen wurden, audiometrische Untersuchungen durchgeführt und Basisaudiogramme gemessen werden. Das Hörvermögen der Schweinswale zeigt nach den Messungen die größte Empfindlichkeit in dem Frequenzbereich zwischen 20 bis 140 kHz auf. Für die Frequenz kleiner gleich 10 kHz und größer gleich 150 kHz fällt die Sensitivität des Gehörs der Tiere stark ab.

Nach der Messung der ersten zwei Basis-Audiogramme wurde der erste Versuch zur Auslösung einer TTS unternommen. Als Schallquelle für die Erzeugung des Schallimpulses (dem Rammschall entsprechend) wurde für die Freiland-Untersuchungen eine Airgun verwendet. Nach der tierärztlichen Begutachtung des Tieres und der Erfassung des Basis-Audiogrammes wurde der Schweinswal aus dem Wasser gehoben und an Bord des Fischersbootes wurden weitere Untersuchungen vorgenommen. Während dieser Zeit, bei der sich das Tier nicht im Wasser befand, wurde die Messungen für die korrekte Platzierung der Airgun vorgenommen, um die angestrebte Schallenergie von 164 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s für die Exposition gewährleisten zu können. Das Tier wurde anschließend wieder in der Messanordnung positioniert und dem Schallimpuls der Airgun einmalig ausgesetzt. Unverzüglich danach wurden die Hörschwellen für die Frequenzen von 4 und 8 kHz nach 9 und 41 Minuten erneut bestimmt. Die Ergebnisse dieses Versuches führten nicht zu einer beweiskräftigen Aussage, ob sich die Hörschwelle erhöht hatte oder nicht.

Weitere Untersuchungen wurden auch im SOS Dolfinarium in Harderwijk an Tieren in Menschenhand durchgeführt. Bei den dort durchgeführten Untersuchungen wurden sechs Audiogramme an sich in der Rehabilitation befindlichen Schweinswalen ermittelt. Diese zeigen, wie auch die Basis Audiogramme der freilebenden Schweinswale die höchste Sensitivität in dem Frequenzbereich zwischen 20 bis 140 kHz auf. Die Hörschwellen in diesem Bereich variieren um bis zu 30 dB zwischen den Tieren, die wie auch vermutlich bei den Tieren in der freien Wildbahn durch Alter und den Gesundheitszustand beeinflusst sind.

In diesem Projekt konnte die Methode zur Messung von Audiogrammen an freilebenden Schweinswalen etabliert werden. Die ersten Messungen konnten an Wildtieren und sich in Menschenhand befindlichen Tieren durchgeführt werden. Die Messzeit zur Ermittlung eines vollen Audiogrammes betrug knapp eineinhalb Stunden. Die Anzahl an Basis-Audiogrammen ist nach dieser Studie noch klein und sollte in der Zukunft weiter erhöht werden um ein umfassendes Verständnis der Hörfähigkeit des Schweinswales zu gewinnen.

## 1.2 Summary

### 1.2.1 Introduction

Harbour Porpoises are protected under the European Habitats Directive as a migrating species within their entire range. International agreements like ASCOBANS (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas) add to the protective status under the auspices of the Convention of Migratory Species (CMS, Bonn convention). Although the current IUCN status of the whole species is 'least concern,' status for the Baltic Sea subpopulation is deemed 'critically endangered' (Hammond et al. 2008). The status of western harbour porpoise populations around the Danish Islands is at least uncertain (Teilmann et al. 2011). Hence, special emphasis is applied to protect porpoises in German waters. Anthropogenic threats to harbour porpoises in the past were directed catches (for European countries except Greenland) and incidental catch in stationary fishing gear (gill nets) currently appears to be one major problem. Other threats include chemical pollution, depletion of prey by overfishing, vessel traffic, offshoreconstruction and noise (Hammond et al. 2008).

Anthropogenic noise can be caused by various activities, the loudest are impulsive sounds from undersea explosions, pile-driving, airguns and military sonars as well as continuous noise from ship traffic and potentially seismic exploration with vibrators or low frequency acoustic projectors. At the moment, impact pile-driving with hydraulic hammers is considered to be a very cost-efficient way of building foundations for offshore wind farms. German offshore wind energy is supposed to expand to a nominal capacity of 25 GW until 2030 (BMWI 2012). This ambitious goal means that, if the rated power of wind turbines remains at 5 MW, 5000 turbines will need to be erected over the course of 17 years, resulting in nearly 300 new turbines per year in the North and Baltic Seas combined.

Cetaceans exposed to loud continuous or impulsive sounds showed an elevated hearing threshold that gradually returned to normal pre-exposure hearing capabilities (Schlundt et al. 2000, Finneran et al. 2002, 2005, 2007, Lucke et al. 2009, Popov et al. 2011a, b). This phenomenon is called a Temporary Threshold Shift (TTS). Even louder sounds or a longer exposure of noise causing a TTS can lead to a Permanent Threshold Shift (PTS). Harbour porpoises rely on echolocation to catch prey (Verfuß et al. 2009, DeRuiter et al. 2009), orientate (Verfuß et al. 2005) and communicate (Clausen et al. 2010). Hence, animals experiencing a TTS or PTS may not be able to sufficiently react to their environment or catch prey. Harbour porpoises have been shown to react over long distances to pile driving noise (Carstensen et al. 2006, Tougaard et al. 2009, Brandt et al. 2011, Teilmann and Carstensen 2012), also exhibiting a low behavioural reaction threshold.

Lucke et al. (2009) measured the level at which a TTS in a single harbour porpoise occurs at 164.3 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s SEL (Sound Exposure Level) and an SPL (Sound Pressure Level) of 199.7 dB re 1  $\mu$ Pa peakpeak for an impulsive airgun fatiguing stimulus. The stimulus was chosen to match the low frequency content of pile-driving sound emissions. Although this research was implemented in German regulation<sup>1</sup> some questions still remained:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> <u>http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/Genehmigungsbescheide/Nordsee/Borkum\_Riffgrund\_2/</u> <u>Genehmigungsbescheid\_Borkum\_Riffgrund\_2.pdf</u>, accessed: 18.12.2012.

- The study was carried out on only one individual and differences in hearing sensitivities between porpoises are probable and would lead to a range at which TTS may be elicited.
- Background noise levels were at times high, hence, the hearing thresholds estimated were masked.
- The porpoise 'Eigil' showed elevated hearing thresholds below 20 kHz and some aberrations around 70 kHz. Hence, its hearing abilities within this frequency range might not be a reliable measure to describe hearing abilities of harbour porpoises in general. The effect might have been age-related.
- The measurement procedure did not allow for a hearing test immediately prior the exposition.

The present study was carried out to remove these limitations and allow for a better basis for evaluation of the sensitivity of the hearing apparatus in harbour porpoises. The main objectives were:

- 1. Evaluation and validation of the TTS levels found in a harbour porpoise by Lucke et al. (2009) to enlarge the sample size
  - Test free-ranging animals in their environment to reflect the auditory conditions of this species in their natural environment
  - Test with impulsive stimuli of an airgun to allow a direct comparison to Lucke et al. (2009)
  - Estimation of the variation in TTS levels
  - Exposure level adjusted to 164 dB re 1µPa<sup>2</sup>s SEL
- 2. Test of a female porpoise in human care in the Fjord and Baelt Center in Kerteminde, Denmark.
  - Tests to be carried out with tonal stimuli to find dose-response relationships (as in Popov et al. (2011a) for Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*))
  - Tests for behavioural responses to find potential behavioural reaction thresholds
- 3. Comparison of tonal and impulsive stimuli using all results

During the project the situation regarding the permit of tests in the Fjord and Baelt Center changed and the project parts 2 and 3 from the above list could not start.

## 1.2.2 Methodology

Hearing tests on wild porpoises were carried out using the auditory evoked potentials (AEP) method. This approach is a neurophysiological method for estimating hearing thresholds that can be performed more rapidly than behavioural methods, which require weeks to months of training and data collection. AEP measurements were conduct with EVREST, a software written by Dr. James Finneran (Finneran 2009) based on Labview (National Instruments, USA) using a USB data acquisition card (NI-DAQ 6251 USB). Stimuli were presented using two calibrated hydrophones (TC 4033, Reson, Denmark for frequencies from 10 kHz upward and ITC 1001, ITC, USA for frequencies below 10 kHz) and amplified using a battery-driven power amplifier (ETEC PA 1001, ETEC, Denmark). Airgun signals and hearing stimuli were recorded using a NI-DAQ 6366 USB or a NI-DAQ 6062 PCMCIA data acquisition card and ETEC B1501 amplifiers.

Danish colleagues have established a co-operation with Danish fishermen using pound nets for conducting experiments using telemetry devices and data loggers on incidentally caught animals.

Within the pound nets porpoises do not drown and can be released or retrieved as depicted in Figure 1a.

Whenever a porpoise was reported by a fisherman, we were informed, and within 2-3 hours a crew consisting of the AEP workstation operator for conducting the experiment, an experienced veterinarian for checking the health status of the animals and retrieving blood samples, an airgun operator for carrying out the airgun exposure and pre-exposure tests, an operator for the sound recordings, a veterinary assistant and one or two boat operators had to be assembled. Additionally, two boats of the ITAW (one 6.5 m rigid inflatable boat (RIB) for the airgun tests and the base of a catamaran for handling and positioning the porpoise with regard to the audiometric equipment) were kept operational at all times throughout the study.

Porpoises were reported from northern Jutland and close to Fyn so that travel time was ~3-5 hours. After slipping of boats and arrival at the net, the porpoise was retrieved and handled on board of the fishing vessel. Meanwhile, the AEP system and recording equipment were set up and initial tests of the equipment were carried out. The porpoise was then transferred to the work platform (catamaran) and secured with a neoprene stretcher and aluminum poles so that the lower jaw was as low as possible within the column while leaving the blowhole safely out of the water to allow the porpoise to breath freely (Figure 1b).







Figure 1: a) Danish colleagues retrieve a porpoise from a pound net. The fisherman meanwhile lifts up the net to make the opening smaller. b) Porpoise within the stretcher on the working platform under control of the veterinarian. The stretcher with flotation function is held by poles during the trial. Electrodes are placed along the dorsal axis from left to right as follows: 1. (+ electrode), 2. (– electrode), 3. (ground electrode) next to the fin. c) Set-Up during the measurements with fishing boat, work platform (catamaran) and zodiac.

Signals were presented as amplitude-modulated sine wave signals consisting of four test frequencies modulated at 900, 1100, 1163 and 1225 Hz. Tests to use more than four frequencies at once were

carried out in Harderwijk but did not show conclusive results. For the lower frequencies an MRTF block consisted only of two frequencies (4 and 8 kHz). Amplitudes were automatically adjusted using a staircase procedure with 20 dB decrease after a hit (animal heard the signal). After the first miss amplitude steps are adjusted as described in Figure 2.



Figure 2: Description of the staircase procedure as used in this study. After a hit (full circle) the amplitude is reduced by 20 dB until a miss (half circle) is encountered. Step size is then multiplied by 0.55 and amplitude is increased by the respective value (11 dB) until another hit is recorded; step size is multiplied by 0.45 to the final step size of 5 dB.

Electrodes were placed as depicted in Figure 1b and Figure 3. A base audiogram was recorded at the frequencies 4 and 8 kHz and in 10 kHz steps from 10 to 160 kHz. Afterwards, the porpoise was again lifted onto the fishing vessel while initial testing of the airgun exposure was carried out to adjust the received SEL as accurately as possible to 164 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s. The porpoise was moved again to the work platform (i.e. into the water) and exposed to the airgun stimuli. Directly afterwards a second hearing test was carried out at 4 and 8 kHz to allow an evaluation whether a TTS was recorded. If a TTS was probable after initial data evaluation, this test was carried out again approximately 30 min afterwards until no TTS should have been recorded after exposure. The tests were limited by available daylight and the requirement that the porpoise be released within 24 hours.

Trials on animals in human care were carried out in Harderwijk to measure modulation rate transfer functions (MRTF) for measuring multiple frequencies in subsequent field trials simultaneously and to refine the entire measurement procedure. The MRTF describes the amplitude level of the neuronal response to test stimuli, which are modulated at different frequencies for a single stimulus (= carrier) frequency. Only modulation frequencies with the highest signal-to-noise ratio, i.e. the highest amplitudes, were used for further trials. At the beginning of the project sound presentation was supposed to be carried out using jaw phones (hydrophones embedded in a silicon suction cup applied to the acoustic pathway at the lower jaw). However, this was changed after intensive discussion within the steering committee of this project to free field presentation.



Figure 3: Porpoise within the holding stretcher lowered to the water surface. Electrodes are placed along the dorsal axis from left to right as follows: 1. (+ electrode), 2. (– electrode), 3. (ground electrode) next to the fin. Heart rate was measured using a polar watch heart rate meter and observed by the veterinarian throughout the trial. A hydrophone (model TC4014, RESON, DK) was used to measure audiometry signals (left side of the porpoise), placed directly next to the lower jaw.

Testing were thus at first carried out simultaneously and discussion within the scientific board of this project led to the decision, that stimuli should be presented within a free field scenario as described above.

## 1.2.3 Results and Discussion

#### 1.2.3.1 Audiograms of animals in human care

During the testing in Harderwijk six complete audiograms of live stranded animals in rehabilitation were recorded (Figure 4). The analysis had been realised with the "Everst" program by using a weighted average. The audiograms showed high agreement with one another although differences of up to 30 dB were registered within the range of best hearing from 20 to 140 kHz. High variability was recorded for lower and higher frequencies with a difference of up to 40 dB. During the trials the method was optimised to allow the recording of a complete audiogram within approximately 1.5 hours. These audiograms can be considered baseline audiograms as there is some variation within the results in respect to the age and health status of the animals. This could be one reason for the high variance in frequencies below 20 and above 140 kHz.



Figure 4: Audiograms of six live stranded harbour porpoises in rehabilitation under human care from the porpoise rehabilitation center SOS Dolfijn at the Dolfinarium Harderwijk. Hearing thresholds between 20 and 140 kHz are comparable although a variation of 20-30 dB can be found within the region of best hearing abilities. Variation at 10 kHz and above 140 kHz is much larger and may be due to individual differences in a region where the hearing sensitivity starts to drops off. The audiograms and data have been discussed with international experts after initial data analysis at ITAW and thus altered in comparison to the previous report.

Secondly, measurements in smaller pools used in these trials were affected by inhomogeneous sound fields that can vary when changing the position of the animal in the pool. As trainers of SOS Dolfijn held the animals in position during the procedure, the position may have changed slightly between trials.

However, results agree with trials presented by Lucke et al. (2009) and do show strong similarities to audiograms registered on animals in the wild (next chapter).

#### 1.2.4 Audiograms of animals in the wild

The first field trial served to establish a common basis between researchers from the Institute of Bioscience and the ITAW, develop necessary logistics and agree on a plan to carry out field work. No auditory measurements were taken. During the second trial the audiogram of two animals was recorded within frequencies of 10 to 160 kHz as baseline audiograms. During the third trial a baseline audiogram, TTS exposure and two post-exposure frequency-dependent hearing thresholds were carried out. The fourth field trial included measurements in a mother-calf pair. Out of concern for the well-being of the pair, it was agreed that only baseline audiograms should be recorded on the mother during the trial. After the trial the scientific board and the scientists at ITAW agreed that in the future no further testing will be carried out on mother-calf pairs.

The results of baseline audiograms are presented in Figure 5. They also show best hearing capabilities between 20 and 140 kHz with sharp drop-offs toward 10 and 150 kHz. Not all measurements taken were used for a threshold determination as data quality has to be evaluated in a secondary analysis that cannot be undertaken during field trials due to time restrictions. Hence, some points had to be removed because of uncertain threshold estimation due to high biological background noise levels with regard to for instance due to neuronal signals because of myogene activity.

For instance for the base 4 audiogram (Figure 5) only four frequencies could be used (all measured within one block of MRTF measurement) due to high noise levels and resulting inconsistent results of the staircase procedure.



Figure 5: Baseline audiograms of four harbour porpoises during experiments on wild animals retrieved from Danish pound nets. The results do not differ dramatically from the audiograms of live stranded animals in human care (Figure 4). A drop-off in sensitivity can be seen toward 10 and 150 kHz. Best hearing capabilities are within the range from 20 to 140 kHz.

#### 1.2.4.1 TTS-Trial

After acquisition of the first two baseline audiograms and initial data evaluation, the next steps were discussed with the scientific board and a TTS trial was prepared as all necessary prerequisites were established. The porpoise found in a pound net very close to Skaerbaek (Denmark) was initially checked for its health status and a baseline audiogram was recorded. The airgun was calibrated and after establishing an SEL of 164 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s the porpoise was exposed to the sound. 4 and 8 kHz hearing thresholds were again measured each at 9 and 41 minutes post exposure.

Initial assessment of the data showed an elevated threshold at 8 kHz for the measurement 9 minutes after exposure. However, re-evaluation of the data showed artefacts that prevented some of the data from being further included in the analysis. The remaining data points (hits and misses) are inconclusive. Hence, this trial did not lead to a conclusive evaluation of the TTS level. This experience was incorporated into the project as a redesign of the methodology to actively look for those artefacts and repeat any measurement when encountered.

A second problem was discovered during analysis of the airgun pulse. The level measured in the field did not match post-analysis. After finding two errors in the software packages used, the level was estimated to be 146 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s. The deviation to the calibration trials was attributed to the Llyod's mirror effect, and calibration trials were repeated (Figure 6).



Figure 6: Relation between water depth and recorded SEL and peak-peak received level (RL) on three hydrophones (TC 4033) the airgun was placed at a distance of 40 m. The difference between the hydrophones at 2 m and 10 cm depth ranged from 18 to 20 dB.

Unfortunately, after these trials no more porpoises for another TTS trial were reported from Danish pound net fishermen within the data acquisition period.

#### 1.2.5 Conclusion

Within this project the methodology to measure full audiograms on free-ranging small cetaceans was established. This is the first time that similar trials were performed on animals in the wild that did not strand before (Mann et al. 2010, Mooney et al. 2006), were actively caught (Nachtigall et al. 2008) or trained within a dolphinarium or research facility (e.g. Mooney et al. 2009).

The methodology allows for estimation of a full audiogram within approximately 1.5 hours. However some drawbacks exist due to measuring multiple frequencies and a staircase procedure:

- Evaluation of the quality of the measured auditory data is not possible in the field to a
  precision which would be required to make a direct statement about the success of trial. This
  situation can change with a shift in measurement procedure like using predefined steps
  instead of a staircase procedure and making adjusted first measurements to evaluate the
  data quality before measuring the audiogram.
- A first hearing test is at a minimum possible 10 minutes after the exposure. This repetition rate may be too large to see instantaneous effects on the hearing capabilities as measured by Popov et al. 2011a, b.

Sample size now needs to be increased to obtain a more comprehensive picture of porpoise hearing capabilities and the sensitivity of the auditory apparatus.

## 1.3 Einleitung

Die Nord- und Ostsee gehören zu den weltweit am stärksten wirtschaftlich genutzten Meeresgebieten. Die anthropogene Nutzung umfasst als direkte Eingriffe die Aktivitäten der Öl- und militärische Aktivitäten, die Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen, Gasindustrie. Schiffsverkehr, Fischerei u.a. Darüber hinaus gibt es erhebliche indirekte Auswirkungen wie beispielsweise durch einen kontinuierlichen Schadstoffeintrag oder den Klimawandel, der auch auf den marinen Lebensraum Einfluss nimmt. In den letzten Jahrzehnten hat ebenfalls mit zunehmender Nutzung der Meere der damit verbundene Lärmeintrag unter Wasser, aber auch im küstennahen Lebensraum der Tiere außerhalb des Wassers, stark zugenommen (Heitmeyer et al. 2004, Hildebrand 2004, Hatch et al. 2008). Zusätzlich zum bereits bestehenden Lärmeintrag sind in den kommenden Jahren sowohl in der Ost- als auch der Nordsee die Errichtung großer Offshore-Windenergieanlagen geplant. Viele der geplanten Windparks werden unmittelbar in Lebensräumen von Schweinswalen, Robben und Vögeln liegen. Die durch den Bau von Windkraftanlagen stark erhöhten Schallemission können nicht nur bei den ständig im Wasser lebenden Walen (z.B. Nedwell und Howell 2004, Madsen et al. 2006), sondern auch bei den amphibisch lebenden Robben zu Störungen in der Kommunikation und in der Umgebungswahrnehmung führen (z.B. Madsen et al. 2006). Daher wurden in den Projekten MINOS (2002-2004) und MINOSplus (2004-2007) die potentiellen Auswirkungen solcher Windparks auf die marinen Warmblüter in Nord- und Ostsee untersucht. In diesen Projekten wurden Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen Bauund Betriebslärms des der Windkraftenergieanlagen auf Schweinswale und Seehunde untersucht.

Die Ergebnisse der ersten TTS-Studie an Schweinswalen (Lucke et al. 2009) wurden in die deutsche Genehmigungspraxis übertragen. Die Einhaltung eines zuerst als "UBA-Vorsorgewert<sup>2</sup> (UBA – Umweltbundesamt) bezeichnetes duales Kriterium von SEL (Schallexpositionspegel) von 160 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s und SPL (Sound Pressure Level peak-peak - Spitzenschalldruckpegel) von 190 dB re  $\mu$ Pa peak-peak wird derzeit von der Genehmigungsbehörde BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) in den Nebenbestimmungen für Genehmigungen als Voraussetzung für die Genehmigung neuer Anlagen erachtet<sup>3</sup>.

#### 1.3.1 Ziel der Untersuchungen

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Erkenntnisse zur Belastbarkeit des Gehörs von Schweinswalen für Rammgeräusche zu validieren, die in einer vorangegangenen Studie ermittelt wurden (Weiterführende Arbeiten an Seevögeln und Meeressäugern zur Bewertung von Offshore – Windkraftanlagen (MINOSplus), *hier*: Teilvorhaben 1 -"Weiterführende Untersuchungen zum Einfluss akustischer Emissionen von Offshore-Windenergieanlagen auf marine Säuger im Bereich der deutschen Nord- und Ostsee" / FKZ: 0329946B).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4118.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Auszug aus <u>http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/Genehmigungsbescheide/Nordsee/Borkum Riffgrund 2/</u> <u>Genehmigungsbescheid Borkum Riffgrund 2.pdf</u>, 18.12.2012: Nebenbestimmung 14: "Bei der Gründung und Installation der Anlagen ist diejenige Arbeitsmethode nach dem Stand der Technik zu verwenden, die nach den vorgefundenen Umständen so geräuscharm wie möglich ist. Dabei ist durch ein geeignetes Schallschutzkonzept sicherzustellen, dass die Schallemission (Schalldruck SEL) in einer Entfernung von 750 m den Wert von 160 Dezibel (dB re 1 μPa<sup>2</sup> s) und der Spitzenschalldruckpegel (peak to peak) den Wert von 190 Dezibel (dB re 1 μPa) nicht überschreitet. [...]"

Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen waren die Auswirkungen der Geräusche, die bei der Rammung von Fundamenten für Offshore-Windenergieanlagen wiederholt erzeugt werden ("Rammschall"). Es handelte sich dabei um besonders intensive impulshafte Schallsignale, die bei Schweinswalen zu einer zeitweiligen Verschlechterung des Hörvermögens führen können (engl.: *Temporary Threshold Shift*, TTS). In dem vorangegangenen Forschungsvorhaben wurde an einem in Menschenhand gehaltenen Schweinswal als akustischer Belastungsgrenzwert ein duales Kriterium für die TTS-Schwelle in Höhe von 200 dB re 1 µPa (Schalldruck) bzw. 164 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s (Schallenergie) ermittelt (Lucke et al. 2009).

#### **1.3.2 Experimenteller Ansatz**

Der experimentelle Ansatz der vorliegenden Untersuchungen sah vor, den Schwerpunkt auf die konkrete Validierung dieser TTS-Schwelle zu legen, durch weiterführende Messungen diesen Grenzwert aber darüber hinaus auch auf andere anthropogene Geräusche anwendbar zu machen. Entsprechend baute der experimentelle Ansatz auf zwei Module.

Zur Messung der Hörempfindlichkeit sollte die AEP-Methode, die Messung akustisch evozierter Potenziale, angewendet werden. Die Ermittlung einer TTS sollte erfolgen, indem die normale Hörempfindlichkeit eines Tieres gemessen wurde, diese dann einem intensiven Schallimpuls ausgesetzt wurde (Ermüdungsstimulus) und anschließend erneut die Hörempfindlichkeit gemessen wurde. Hat sich das Hörvermögen durch die laute Beschallung zeitweilig signifikant verschlechtert, so spricht man von einer TTS.

Die Validierung der TTS-Schwelle sollte an freilebenden Schweinswalen erfolgen, um der Hörempfindlichkeit dieser Tiere unter natürlichen Bedingungen Rechnung zu tragen. Zur Absicherung des Schwellenwertes sollte eine größere Anzahl von Tieren untersucht werden, da eine individuelle Variabilität hinsichtlich der akustischen Toleranz nicht ausgeschlossen werden kann. Zugriff auf freilebende Schweinswale besteht im Bereich der dänischen Beltsee, wo die Tiere in Bundgarnnetzen lebend beigefangen werden und in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des Institute of Bioscience, University Aarhus (früher: National Environmental Research Instituts (NERI)) untersucht werden können. Als Schallquelle für die Erzeugung des Schallimpulses (dem Rammschall entsprechend) wurde für die Freiland-Untersuchungen eine Airgun gewählt, da ein vergleichbares Gerät bereits in der vorausgegangenen Studie erfolgreich eingesetzt wurde.

Darüber hinaus sollte an einem im Fjord und Bælt (F&B) in Kerteminde (Dänemark) gehaltenen Schweinswal die Abhängigkeit der Belastungsschwelle von der Dauer der Schallbelastung ermittelt werden. Zu diesem Zweck sollte im F&B ein tonales Signal verwendet werden, dessen Dauer beliebig verändert werden kann (dies ist bei einem Playback eines Rammimpulses oder einem Airgun-Signal akustisch nicht möglich). Die Ergebnisse sollten die Grundlage zur Ableitung einer Belastungsfunktion ("dose-response-function") liefern. Zur besseren statistischen Absicherung der Ergebnisse wurde außerdem ein anderer Schweinswal für die Untersuchungen ausgewählt als in der vorangegangenen Untersuchung.

Die Ergebnisse der audiometrischen Untersuchungen werden mit einem Gutachtergremium, bestehend aus Dr. Dorian Houser (National Marine Mammal Foundation, U.S.A.), Dr. Vincent Janik (University of St. Andrews, U.K.) und Marlee Breese (University of Hawai'i at Manoa, U.S.A.)

eingehend analysiert, diskutiert und es werden von Seiten des Gutachtergremiums Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise ausgesprochen.

# 1.4 Methoden

## 1.4.1 Akustisch evozierte Potentiale mit EVREST

Akustisch evozierte Potentiale (AEP) sind reizbezogene positive und negative neuronale Potentialschwankungen, die sich nach einem Schallereignis mit Hilfe von Elektroden ableiten lassen (Maurer 1983). Der Begriff AEP beschränkt sich auf jene Potentialveränderungen, die durch akustische Reize an verschiedenen Stellen der Hörbahn entstehen. Die Generierung dieser Potentiale findet außerhalb der Cochlea im Bereich des Nervus cochlearis, der aufsteigenden Hörbahn und den weiterverarbeitenden sekundären und tertiären Neuronenverbänden statt. Diese Potentiale treten in der Zeit von 1,5 ms bis 300 ms nach der Reizdarbietung auf. Um ein akustisch evoziertes Potential auszulösen, muss ein akustischer Reiz präsentiert werden, der die Sinneszellen über einen Schwellenwert hinaus polarisiert. Durch den dabei entstehenden Nettoeinwärtsstrom positiv geladener Ionen aus dem Extrazellularraum in die Zellen wird ein elektrischer Dipol erzeugt. Da die interstitielle Flüssigkeit, die das erregte Gewebe umgibt, ein leitendes Medium mit geringem elektrischem Widerstand ist, kann sich ein elektrisches Feld von dem Dipol ausgehend ausbreiten. Die ableitenden Elektroden werden in einiger Entfernung zu dem erregten Gewebe angebracht und von den Feldlinien des elektrischen Feldes geschnitten. Wenn sich der Erregungsvorgang nun unterhalb der ableitenden Elektrode fortbewegt, lässt sich dies als ein Potential-Zeit-Verlauf darstellen (Eysel 1993).

Bei der Ableitung der Potentiale werden die Nahfeldtechnik (invasiv) und die Fernfeldtechnik (nicht invasiv) unterschieden. Für die meisten Fragestellungen, u.a. Hörschwellenbestimmung, wird eine nicht invasive Methode bevorzugt, bei der die Potentiale über auf der Kopfhaut angebrachte Elektroden abgeleitet werden (Maurer 1983, Lenarz 1993, Goldstein und Aldrich 1999).

Diese nicht invasive Methode ist auch in diesem Projekt zur Anwendung gekommen. Bei der Ableitung der AEPs von der Hautoberfläche werden die Spannungsveränderungen zwischen zwei Elektroden, den Differenzelektroden, gemessen. Eine dritte Elektrode dient als allgemeiner Bezugspunkt für die anderen beiden Elektroden und wird häufig als "Erde" bezeichnet. Sie dient dem Ausgleich von Potentialunterschieden zwischen dem Schweinswal und den Messinstrumenten.

#### 1.4.1.1 Systemkonfiguration

Das gesamte Messsystem (Messgeräte sowie Mess-/Auswertungsprogramm) wurde von Dr. Jim Finneran (SPAWAR, San Diego, U.S.A.) v.a. für Messungen an Großen Tümmlern (*Tursiops truncatus*) entwickelt. In 2009/10 wurde das System in Absprache mit ihm für die Untersuchungen an Schweinswalen angepasst. Änderungen im System waren vor allem hinsichtlich des Frequenzbereichs der elektronischen Filter sowie im Frequenzgang der zur Stimuluspräsentation gewählten Schallwandler erforderlich. Diese Anpassungen wurden vorgenommen und das System erfolgreich in 2010 im SOS Dolfijn und Dolfinarium Harderwijk getestet und erfolgreich bei den Feldeinsätzen 2011 eingesetzt.

Die angewandte Messmethode zur Ableitung akustisch evozierter Potentiale stützt sich auf bislang vorhandene Erkenntnisse über vergleichbare Hörmessungen am Menschen und am Tier (z.B. Delphin,

Schweinswal, Seekuh, Orca, Schwein, Seehund oder Katze; Ridgway et al. 1981, Maurer 1983, Bibikov 1992, Hall 1992, Jewett und Williston 1971, Popov und Supin 1990a, 1990b, Lenarz 1993, Strain et al. 2006, Szymanski et al. 1998, 1999, Goldstein und Aldrich 1999, Sundermeyer 2006, Lucke 2009).





Grüner Pfeil: Schall, roter Pfeil: evozierte Reizantwort

In dem hier verwendeten Versuchsaufbau wird ein akustisches Signal von einem, über einen Messcomputer gesteuerten, AEP-Messsystem (Dr. James Finneran, USA, Finneran 2009) generiert und mittels Hydrophonen dem zu untersuchenden Tier präsentiert. Das akustisch evozierte Potential wird mittels Oberflächenelektroden aufgenommen. Vom Empfangsmodul wird dieses Signal weiter über einen Vorverstärker (Grass Instrument Division, Model CP511) zur digitalen Signalverarbeitung zum AEP-Messsystem und von dort weiter zum Messcomputer geleitet. Mit dem AEP-Messsystem können die präsentierten Reize mit den abgeleiteten Potentialen synchronisiert und gemittelt werden, um zufällig erzeugtes biologisches Rauschen auszuschließen.

#### 1.4.1.2 Signalgenerierung

Bei audiometrischen Untersuchungen mit der AEP-Methode werden je nach Fragestellung verschiedene akustische Reizformen verwendet. Entscheidend ist hierbei das Frequenzspektrum der Signale. Dieses ist die Gesamtheit aller in einem akustischen Signal enthaltenen Frequenzen. Schmalbandige Signale haben Signalen mit einem breiten Frequenzspektrum gegenüber den Vorteil, dass sie eindeutigere Aussagen über das Hörvermögen ermöglichen, da sie nur einen kleinen Teil der Hörmembran reizen. Gleichzeitig ist dadurch das entstehende Potential in der neuronalen Hintergrundaktivität schwerer nachzuweisen (Lenarz 1993). Es ist daher ein Kompromiss zwischen der Erkennbarkeit der akustisch evozierten Potentiale und einer frequenzspezifischen Analyse des Hörvermögens erforderlich.

#### 1.4.1.3 Reizpräsentation

Im ursprünglichen Versuchsaufbau war geplant, für die Reizpräsentation während der Hörtests Kieferlautsprecher, sogenannte Jawphones, zu nutzen. Allerdings wurden während der Hörschwellen-Untersuchung im Freiland und im F&B entsprechend einem während des ersten Gutachtertreffens erreichten Konsens über die optimale Reizpräsentation in weiteren Verlauf des Projektes keine Kieferlautsprecher ("Jawphones"), sondern im akustischen Freifeld positionierte Schallwandler (Hydrophone) eingesetzt.

Diese Änderung im Versuchsansatz wurde bei Hörschwellen-Messungen an einem Schweinswal im Dolfinarium in Harderwijk (Niederlande) getestet.

In Harderwijk und in den Feldversuchen erfolgte die Reizpräsentation durch zwei Hydrophone. Die akustischen Reize werden computergestützt erzeugt und über Hydrophone dem Tier präsentiert. Es kommen für den niederfrequenten Frequenzbereich (4 - 16 kHz) ein ITC1001 (ITC, USA) und den hochfrequenten Frequenzbereich (10 – 160 kHz) ein TC4033 (Reson, Dänemark) zum Einsatz. Speziell die Signale im niedrigen Frequenzbereich müssen durch einen batteriebetriebenen Leistungsverstärker (PA 1001, Firma etec, Dänemark) verstärkt werden, so dass die notwendigen Lautstärken erreicht werden können. Alle Geräte sind unter Laborbedingungen kalibriert worden, der Schalldruck (RL) am Schweinswal wurde den Kalibrierdatenblättern der Hydrophone entnommen.

Der Kopf des Schweinswals (vor allem die für die Schallwahrnehmung entscheidende Unterkieferregion des Tieres) befand sich während der Messungen unter Wasser in einer Entfernung von 1 m zur Schallquelle. Die gleichbleibende Position des Tieres relativ zur Schallquelle wurde durch die speziell angefertigte Hängematte gewährleistet, die dem Tier einen geringen seitlichen Bewegungsspielraum ermöglicht. Zusätzlich wurde die korrekte Position des Tieres durch den Tierarzt kontrolliert.

Für die Versuche wurde eine staircase-Methode angewendet, die in Abbildung 2 dargestellt ist.



Abbildung 2: Beschreibung der Staircase-Methode. Nach einem Hit (Tier hat das Signal gehört) wird die Amplitude um 20 dB verringert. Beim ersten Miss (Auf dem AEP konnte kein Hörreiz nachgewiesen werden) wird die Schrittgröße (20 dB) mit 0,55 multipliziert die Schrittgröße dementsprechend auf 11 dB angepasst. Die Schrittgröße wird beibehalten bis ein weiterer Hit aufgenommen wird und dann mit 0,45 multipliziert, so dass die finale Schrittgröße 5 dB beträgt.

#### 1.4.1.4 Elektroden

Die Ableitung der akustisch evozierten Potentiale erfolgt über Oberflächenelektroden (Saugnapfelektroden), die mit Hilfe von Saufnäpfen auf der Hautoberfläche angebracht werden.

#### 1.4.1.5 Hochimpedanzverstärker

Die Verstärkung der Reizantworten findet über einen separat vom Hauptteil des Messsystems geschalteten Differenzvorverstärker statt. Das Signal an den Elektroden wird zunächst zu dem Vorverstärker weitergeleitet, der neben der Verstärkung der Rauschunterdrückung dient. Der Vorverstärker wird über eine eigene Stromquelle versorgt.

#### 1.4.1.6 Signalverarbeitung

Die gemessenen evozierten Potentiale werden mit dem Programm "Evrest" von Dr. James Finneran (Finneran 2009) aufgezeichnet und bearbeitet. Dieses Programm ermöglicht sowohl die Aufzeichnung, als auch die darauffolgende Analyse der eingegangenen Reizantworten.

Um die Reizantworten vom biologischen Hintergrundrauschen (neuronale und myogene Aktivitäten) eindeutig zu unterscheiden, werden die eingehenden Signale vor der Aufzeichnung vom Messsystem gefiltert und synchronisiert, so dass eine Mittelung von wiederholten Signalen das stetig erzeugte akustisch evozierte Potential herausfiltert. Für die Anzahl der Mittelungen können entweder feste Parameter vorgegeben werden oder es wird überprüft, ob sich an der Amplitude des AEPs noch Änderungen bei weiteren Schallpräsentationen ergeben. Ist keine Änderung mehr feststellbar, also ein beständiger Zustand (Auditory Steady State Response, ASSR, Stapells 1987) erreicht, kann die Messung abgebrochen werden. Ein weiterer wichtiger Grund für die Auswahl dieser Methode ist die Möglichkeit, bei mehreren Frequenzen gleichzeitig die Hörschwelle zu ermitteln (Finneran 2009).

#### 1.4.1.7 Biologisches Hintergrundrauschen

Um die neuronale Hintergrundaktivität des Tieres festzustellen, wurden wiederholt Messungen durchgeführt, bei welchen das Versuchstier sich unter Versuchsbedingungen befand, jedoch kein akustischer Stimulus präsentiert wurde. Diese Messungen wurden zur Bestimmung der AEP-Nachweisgrenze für die Analyse der Hörschwellenwerte ausgewertet.

#### 1.4.1.8 Hintergrundlärm

Zwischen den Höruntersuchungen wurden Aufzeichnungen des vorhandenen Hintergrundlärms durchgeführt und später zur Bestimmung der AEP-Nachweisgrenze für die Analyse der Hörschwellenwerte ausgewertet.

#### 1.4.1.9 Gleichzeitige Messung mehrerer Frequenzen

Bei den Stimuli zur Messung der Audiogramme handelte es sich um kontinuierliche akustische Reize, die eine kontinuierliche Reizantwort des Gehörs (Auditory Steady State Response, ASSR) bei dem untersuchten Schweinswal auslösen. Ein wichtiger Grund für die Auswahl dieser Methode ist die Möglichkeit, bei mehreren Frequenzen gleichzeitig die Hörschwelle zu ermitteln. Derartige Simultan-Messungen wurden bereits erfolgreich an Großen Tümmlern durchgeführt. Für Schweinswale stand zu Beginn des Berichtszeitraums eine diesbezügliche Erprobung im Freiland noch aus. Die in diesem Projekt im Jahr 2010 in Harderwijk ermittelten Modulationsfrequenzen (900 Hz, 1.100 Hz, 1.163 Hz und 1.225 Hz) haben sich im Freiland bewährt.

#### 1.4.2 Ermüdungsstimulus – Beschallung mit einer Airgun

Da nicht vorhersehbar war, wo ein Schweinswal in einem der Netze beigefangen wurde, konnten die Kalibrierungsmessungen der Airgun-Impulse nicht schon im Voraus am tatsächlichen Einsatzort und damit nicht mit der erforderlichen Genauigkeit erfolgen. Im Rahmen der Untersuchungen wurde die Kalibrierung der Signale (d.h. die genau Entfernung der Airgun zum Tier und die Einstellung des Kammerdrucks der Airgun) vor Ort vorgenommen, wenn der Schweinswal zur medizinischen Untersuchung und Blutabnahme an Bord des Fischerbootes geholt wird. Diese Prozedur dauerte gewöhnlich einige Minuten und in der Zwischenzeit konnten mehrere Airgun-Impulse unter Wasser ausgelöst werden und diese an der späteren Position des Tieres im Wasser (Schwimmplattform) aufgenommen und ausgewertet werden.

Für die Schallaufnahmen wurde bis Ende 2011 das Programm SeaProDaq (Gianni Pavan) genutzt. Im Rahmen der Untersuchungen wurde festgestellt, dass für die Feldarbeiten auf kleinen Booten mit einem sehr geringen Zeitfenster die anschließende Analyse mit Matlab-Routinen nicht geeignet ist. Die Analyse sollte online möglich sein. Hierfür wurde bereits ein Mess- und Auswertungsprogramm von Dr. Kristian Beedholm (Universität Aarhus) Mitte 2010 entwickelt. Das kompilierte Labview 2011 Programm "peak" bestimmt die gemessenen Pegel (SPL und SEL) online. Das Programm wurde in mehreren Stufen getestet und validiert. 2012 wurde es um Möglichkeiten zur Aufnahme auf zwei Kanälen nach Erfahrungen aus dem ersten Experiment einer Freilandbeschallung erweitert. Hiermit ist es nun möglich alle Kalibriersignale in zwei verschiedenen Wassertiefen aufzuzeichnen, das Signal am Schweinswal zu vermessen und nach der Messung die Ergebnisse zu validieren.

Für weitere Tests im Büsumer Hafenbecken wurde als Aufnahmesoftware Avisoft (Saslab, Deutschland) eingesetzt, das im Gegensatz zu SeaProDaq die Verwendung von mehr als zwei Kanälen gleichzeitig erlaubt.

Alle Aufnahmen wurden mit kalibrierten Ni-DAQ (National Instruments, USA) PCMCIA und USB Datenerfassungskarten durchgeführt. Für erste Schallaufnahmen kam die NI-DAQ 6062 E (PCMCIA) zum Einsatz, später wurde eine NI-DAQ USB 6366 mit höherer möglicher Abtastrate eingesetzt. Die Hydrophonsignale (TC 4014 und TC 4033) wurden durch ETEC B 1501 Verstärker vorverstärkt und Tiefpass-gefiltert. Hochpassfilter wurden üblicherweise auf 100 Hz eingestellt um Einflüsse von Wasserbewegungen zu unterdrücken.

#### 1.4.3 Erste Festlegungen des Gutachtergremiums zur Durchführung der Versuche

Zunächst sollte an jedem Tier ein vollständiges Audiogramm gemessen werden. Nach erfolgter Beschallung durch den Ermüdungsstimulus (Airgun-Impuls) sollte dann nur noch ein partielles Audiogramm gemessen werden. Dabei standen die tiefsten messbaren Frequenzen bei 4 kHz sowie eine Oktave darüber bei 8 kHz im Vordergrund. Wenn möglich sollte eine weitere Oktave 16 kHz darüber ein weiterer Punkt vermessen werden. Höhere Frequenzen waren zwar ebenfalls nicht ausgeschlossen, da jedoch die Messung sehr schnell nach der Beschallung erfolgen muss, um auch geringfügige Hörschwellenverschiebungen zu dokumentieren, wurde mehr Wert auf die tieferen Frequenzen gelegt.

Der im MINOSplus-Projekt ermittelte TTS-Schwellenwert von 164 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s SEL wurde als Beschallungssignal festgelegt. Dies wurde basierend auf den Erfahrungen, die an anderen Arten (sowohl marine als auch terrestrische Säugetiere) gemacht wurden festgelegt, um eine irreversible Schädigung des Gehöres auszuschließen. Eine mögliche individuelle Variabilität hinsichtlich der TTS-Schwelle bei einer solchen Beschallung sollte dementsprechend nicht zu einer zu hohen und damit irreversiblen Schallbelastung des Tieres (PTS) führen können. Eine vorsichtigere Herangehensweise könnte darüber hinaus dazu führen, dass bei zu wenigen oder keinem der Versuche letztendlich die TTS-Schwelle erreicht wird, da bei allen Pegeln Wiederholungen zur statistischen Absicherung notwendig sind. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war jedoch nicht die erneute Ermittlung der TTS-Schwelle, sondern die Validierung des bestehenden Grenzwertes. Da diesbezüglich bei allen Beteiligten Konsens herrschte, sollten die Beschallungen im Freiland bei einer Schallenergie von 164 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s begonnen werden. Im Falle dass eine starke TTS bei allen untersuchten Schweinswalen festgestellt würde, oder im anderen Fall bei gar keinem, sollte eine Verminderung oder Anhebung des Beschallungspegels durchgeführt werden. Dieser Fall ist nicht eingetreten.

Die Tiere sollten nach der Beschallung so schnell wie möglich getestet werden und wenn eine TTS nicht mehr nachweisbar war wieder freigelassen werden. Bei den genutzten TTS-schwellennahen Belastungspegeln wurde eine maximale Dauer von 24 Stunden für die Erholung des Gehörs der Schweinswale von einer TTS als ausreichend angesehen. Die Untersuchungen von Finneran et al. (2010) haben gezeigt, dass die AEP-Schwellenwerte nach einer TTS noch längere Zeit erhöht bleiben können, wie z.B. auch bei Lucke et al. (2009) festgestellt, während die gleichen Tiere in den Verhaltensuntersuchungen bereits wieder normale Hörschwellenwerte aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass die Tiere eine auditorische bzw. neuronale Verarbeitung nutzen, die den TTS-Effekt kompensieren kann. Daher war der Verbleib der Schweinswale im Fischernetz und die (mehrmalige) erneute Untersuchung der Hörschwellen zwar aus wissenschaftlicher Sicht interessant, um die Rückkehr der AEPs zum Normal-Niveau zu dokumentieren; aus praktischer Sicht sollte ein leicht erhöhter AEP-Hörschwellenwert jedoch aufgrund der Kompensationsmechanismen keine negativen Auswirkungen für das Tier mit sich bringen.

#### 1.4.4 Untersuchungskonzept Freiland

Der Untersuchungsansatz für die Freiland-Untersuchungen beinhaltetet mindestens zwei Schweinswale, an denen zunächst nur Hörschwellen ermittelt werden, ohne dass die Tiere mit dem Airgun-Impuls beschallt wurden, so dass Basisaudiogramme zur Verfügung stehen und die Robustheit der Messung evaluiert werden konnte.

Im Rahmen der vorgesehenen Untersuchungen sollte die akustische Belastbarkeit an insgesamt 14 freilebenden Schweinswalen untersucht werden. Freilebende Schweinswale im Kattegat und den innerdänischen Gewässern gehören wie Schweinswale in den westlichen deutschen Gewässern der Ostsee der Schweinswalsubpopulation "westliche Ostsee" an. Sie stellen sowohl hinsichtlich ihrer akustischen "Vorbelastung" als auch ihrer akustischen Hörempfindlichkeit und Belastbarkeit eine repräsentative Stichprobe der Schweinswale in deutschen Gewässern dar. In Absprache mit dem wissenschaftlichen Gutachtergremium wurde beschlossen, vor Beginn der Beschallung von 2 Tieren Audiogramme zu messen und insgesamt eine Anzahl von 10 Tieren zu beschallen. Der resultierende Grenzwert sollte dann als repräsentatives Maß für die Schweinswale in deutschen Gewässern angesehen werden können.

Wurde ein Schweinswal von einem dänischen Fischer in einem Ringwadennetz entdeckt, so wurden umgehend die Wissenschaftler von der University Aarhus (Dänemark) durch den Fischer

benachrichtigt. Diese informierten dann den zuständigen Mitarbeiter des ITAW. Es wurde abgestimmt wie die weitere Vorgehensweise bezüglich der angestrebten Untersuchungen ist und ob die notwendigen Voraussetzungen für eine auditorische Untersuchung gegeben waren.

Vor Ort wurden die Boote (Katamaran für das Tierhandling während der auditorischen Versuche, Schlauchboot für das Airgun-Handling und Fischerboot für die AEP-Workstation) ausgestattet und geslipt. Im Anschluss wurde das Bundgarnnetz langsam eingeholt und der Schweinswal aus dem Netz entnommen (Abbildung 3a). Die Voruntersuchungen wurden durch den betreuenden Tierarzt und die erfahrenen Kollegen der Universität Aarhus, DK (vormals NERI) durchgeführt. Nach Blutabnahme und Befestigung eines Pulsmessers hinter den Brustflossen wurde die Hängematte (Stretcher) am Tier mit Klettbändern und Haltegurten befestigt. Das Tier erhält durch den Stretcher neben der notwendigen Fixierung einen geringen zusätzlichen Auftrieb durch eingebaute Schwimmkörper, so dass seine Position während der Versuche unverändert blieb. Mit dem Stretcher wurde das Tier zwischen den Schwimmkörpern des Katamarans in das Wasser abgesenkt (Abbildung 3b).

Im Anschluss wird ein Präexpositionsaudiogramm bei den Frequenzen 4, 8, 10, 16 und 20 – 160 kHz in Zehnerschritten aufgenommen. Die Messungen werden dabei in Blöcken von jeweils bis zu vier Frequenzen gleichzeitig durchgeführt, um die Messzeit gering (ca. 1,5 h) zu halten. Während der Schweinswal für weitere Blutentnahmen durch den Veterinärmediziner kurzzeitig aus dem Wasser ins Fischerboot gehoben wurde, erfolgte eine Probeauslösungen der Airgun, um den SEL möglichst genau auf 164 dB re 1µPa<sup>2</sup>s SEL Empfangspegel einzustellen. Das Tier wurde anschießend an der ursprünglichen Position im Katamaran einmal diesem Schalldruckpegel exponiert.





Abbildung 3: a) Entnahme des Schweinswales aus dem Bundgarnnetz durch die dänischen Kollegen bei gleichzeitiger Verkleinerung des Bundgarnnetzes durch den Fischer, b) Fixierung des Schweinswales während des Versuches durch Haltestangen und Stretcher mit Auftriebskörpern. Die Elektroden sind entlang der dorsalen Achse bis zur Finne angebracht: von links nach rechts: 1. (+ Elektrode), 2. (– Elektrode), 3. (Masse-Elektrode) an der Finne. c) Versuchsaufbau während der Messungen mit Fischerboot, Katamaran und Schlauchboot.

Direkt im Anschluss (Ende der Messung möglichst nach ca. 4 – 10 Minuten) werden die tiefen Frequenzen 4, 8 und wenn möglich 16 kHz in einem Frequenzblock vermessen. Ein weiterer

Frequenzblock für die höheren Frequenzen wird im Anschluss gemessen. Sollte eine TTS nach erster Datenauswertung wahrscheinlich sein, wird diese Prozedur nach ca. 40 min wiederholt.

Nach Abschluss der Messungen wird der Schweinswal durch die dänischen Kollegen gegebenenfalls besendert und in größerem Abstand zum Netzstandort freigelassen.





Abbildung 4: a) initiale Untersuchung des Schweinswales an Bord des Fischerbootes, b) Aufnahme des Basisaudiograms, die Untersuchungen mussten während stärkeren Regens unterbrochen werden, c) die Besenderung ist abgeschlossen und das Tier kann wieder freigelassen werden.

#### 1.4.4.1 Ablauftest

Der gesamte Ablauf der Messungen im Freiland war logistisch sehr komplex und musste mit weiteren Forschungsarbeiten koordiniert werden (Telemetrieprojekte des Institute of Bioscience Aarhus, Untersuchungen zu Auswirkungen von akustischen Belastungen auf das Stressverhalten und Immunsystem von Schweinswalen, etc.). Der auf den eingesetzten Fahrzeugen (bis zu zwei motorisierte Schlauchboote und eine Schwimmplattform sowie ein Fischerboot) nur sehr begrenzt zur Verfügung stehende Platz musste optimal genutzt werden. Gleichzeitig musste auch die Sicherheit der mitfahrenden Personen gewährleistet sein. Zeitliche Verzögerungen mussten während der gesamten Prozedur soweit wie möglich vermieden werden, um den Schweinswal nicht unnötig zu belasten. Um diese Anforderungen zu erfüllen und einen reibungslosen Ablauf gewährleisten zu können, wurden mehrere Ablauftests durchgeführt. Diese wurden in 2011 und z.T. in 2012 nach Erkenntnissen im Anschluss an die jeweiligen Feldeinsätze weitergeführt, um alle Prozessabläufe noch weiter zu optimieren.

#### 1.4.4.2 Schwimm- und Arbeitsplattform

Um eine kontrollierte Beschallung und audiometrische Untersuchung der Schweinswale im Freiland gewährleisten zu können und gleichzeitig eine kontinuierliche tierärztliche Kontrolle zu ermöglichen, wurde in 2010 eine spezielle Arbeitsplattform gebaut. Die Plattform basiert auf einem Katamaran, der genug Auftrieb hat, um zwei Personen und den Schweinswal zu halten. Auf den Schwimmkörpern des Katamarans wurde eine begehbare Arbeitsplattform installiert, die für den Transport zum/vom Einsatzort wieder abgenommen werden kann (Abbildung 5). Die Haltevorrichtung für den

Schweinswal bestand am Anfang aus einer Hängematte, die aus einem schalldurchlässigen Material angefertigt wurde (Abbildung 6). Diese Hängematte wurde seit mehreren Jahren bei audiometrischen Untersuchungen an Schweinswalen in Harderwijk (SOS Dolfijn und Dolfinarium, Niederlande) erfolgreich eingesetzt und für die Freilandversuche in ihren Abmessungen adaptiert. Sie wurde mit zwei Aluminiumstangen so auf der Arbeitsplattform befestigt, dass der Schweinswal mittig zwischen den beiden Schwimmkörpern an der Wasseroberfläche liegt. Bereits in Voruntersuchungen stellte sich heraus, dass die Hängematte durch einen sogenannten Stretcher ersetzt werden muss, wie er in Abbildung 3 dargestellt ist. Der Stretcher fixiert den Schweinswal besser und gibt zusätzlichen Auftrieb. Er kann dementsprechend besser gewährleisten, dass das Tier während der Untersuchungen an der Wasseroberfläche gehalten wird und die untersuchenden Wissenschaftler und auch der Tierarzt so ständig einen ungehinderten Zugang zu dem Tier haben. Die Plattform wurde während der Versuche seitlich am Fischerboot vertäut, von wo aus die AEP-Untersuchungen erfolgen.



Abbildung 5: Schwimmplattform mit Arbeitsplattform



Abbildung 6: Arbeitsplattform mit der ursprünglichen Halterung (Hängematte) für den Schweinswal.

#### 1.4.4.3 Einsatzplanung

Die Einsätze sind lediglich von Witterungsbedingungen (kein Einsatz bei starkem Regen, Sturm, etc.) sowie der Verfügbarkeit von entsprechend befähigtem Personal abhängig. Während der Feldarbeiten hat sich herausgestellt, dass es für zukünftige Erhebungen unerlässlich ist, einen erfahrenen Bootsführer im Team zu haben. Die exakte Positionierung der Airgun (und somit des Schlauchboots, an dem die Airgun angebracht ist) in räumlicher Relation zum Schweinswal ist essentiell, um eine Beschallung mit den exakten gewünschten Werten zu gewährleisten. Da der Versuchsaufbau erprobt ist und zu den gewünschten Ergebnissen führt, ist der die Freilandarbeiten beeinflussende Faktor die Verfügbarkeit von beigefangenen Schweinswalen. Ausgehend von den Daten der letzten Jahre und nach Rücksprache mit Dr. Jonas Teilmann Institute of Bioscience, University Aarhus, DK war es realistisch, von 5 erfolgreichen Beschallungsexperimenten im Freiland pro Jahr/ Saison auszugehen. Diese geplante Anzahl an Messungen konnte jedoch im Projekt nicht erreicht werden.

In 2011 konnten nicht bei allen gemeldeten Tieren Höruntersuchungen durchgeführt werden, da u.a. die Witterungsbedingungen für die Hörtests deutlich besser sein müssen als für das Besendern, dass im Rahmen eines weiteren Projektes von Dr. J. Teilmann durchgeführt wurde, (kein starker Regen), und auch nicht jedes Mal das erforderliche Personal zur Verfügung stand. Es wurden in jedem Jahr mehr Tiere gemeldet als vom Institute of Bioscience besendert worden sind. Die Gründe hierfür sind ungünstige Wetterbedingungen, personelle Engpässe u.ä. Die Mehrzahl der dänischen Fischer, die am Beifang-Netzwerk beteiligt sind, bringen witterungsbedingt die Stellnetze im März aus und holen diese gegen Ende November wieder ein.

Nach dem letzten Feldeinsatz in 2011 wurde die zukünftige Vorgehensweise bei erneutem Beifang von Mutter mit Jungtier überarbeitet. Um sicher zu gehen, dass das empfindliche Verhältnis von Mutter und Jungtier nicht negativ durch die Beschallungsexperimente beeinflusst wird und um sicherzustellen, dass das Jungtier nicht geschädigt werden kann, wurde beschlossen, in Zukunft keine Mutter-Jungtier-Paare für die TTS-Versuche zu nutzen, wenn das Jungtier laut Begutachtung einer erfahrenen Person jünger als 6 Monate ist. Alle Erfahrungen die während der darauf folgenden weiteren Einsätze gemacht wurden, sind in die weiteren Vorgehensweisen der Untersuchungen mit berücksichtigt. Damit ist sichergestellt, dass die Belastung der Tiere so gering wie möglich gehalten wird. So wurde nach Absprache mit den Experten zum Schutz der Tiere beigefangen worden sind oder das Tier kleiner als 100 Zentimeter ist.

## 1.5 Ergebnisse

#### 1.5.1 Positionierung der Jawphones

Im ursprünglichen Versuchsaufbau war geplant, für die Reizpräsentation während der Hörtests Kieferlausprecher, sogenannte Jawphones, zu nutzen. Um ein gutes Messergebnis zu erzielen, musste die Anbringung an einer für die Reizpräsentation geeigneten Stelle im Bereich des Unterkiefers stattfinden. Im Dolfinarium Harderwijk wurden Messungen an einem Dauerhaltungstier ("DT01") durchgeführt, um die optimale Positionierung dieser Jawphones am Unterkiefer des Tieres herauszufinden. Die Ergebnisse dieser Tests sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.



Position Ohr...Schnauzenspitze (cm)

Abbildung 7: Mapping "DT01": Getestet wurden verschiedene Positionierungen der Jawphones, um die optimale Anbringungsposition zur Reizpräsentation herauszufinden.

Während der Messungen lag der Schweinswal in einer Hängematte in einem Versuchstank im Dolfinarium Harderwijk (Niederlande). Als Schallquelle wurden zwei in Silikonsaugnäpfe gegossene

Hydrophone (HS 150) eingesetzt. Je größer der Punkt im Graph, desto größer war auch die an dieser Position gemessene Reizantwort auf den Stimulus.



Abbildung 8: Mapping "DT01" zusätzlich zu den am Tag zuvor getestete Jawphone-Positionen. Während der Messungen lag der Schweinswal in einer Hängematte in einem Versuchstank im Dolfinarium Harderwijk (Niederlande). Als Schallquelle wurden zwei in Silikonsaugnäpfe gegossene Hydrophone (HS 150), in der Abbildungsmitte zu sehen, eingesetzt. Je größer der Punkt im Graph, desto größer war auch die an dieser Position gemessene Reizantwort auf den Stimulus.

Das wissenschaftliche Gutachtergremium beschloss nach den hier dargestellten Untersuchungen die optimale Reizpräsentation zukünftig nicht über Kieferlautsprecher ("Jawphones"), sondern durch im akustischen Freifeld positionierte Schallwandler (Hydrophone) durchzuführen. Der Vorteil der Jawphones liegt darin, dass sich die Position des Empfängers (hier: der Unterkieferbereich des Schweinswals) relativ zur Schallquelle während der gesamten Messungen nicht ändert. Die Eichung der Geräte wird jedoch nach vielfachen Tests als nicht unproblematisch angesehen, obwohl 1) Vielfach peer-reviewte Literatur mit diesem Equipment erscheint und 2) die Verwendung nach wie vor Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion auf internationaler Ebene ist. Für das Modul 2 wären das gesamte Verhaltens-Training des Schweinswals einerseits und der Ablauf der Hörschwellen-Messungen durch die Anbringung der Jawphones andererseits deutlich komplizierter geworden. Da sowohl die Gutachter als auch die verantwortlichen Trainer des F&B Bedenken hinsichtlich des Einsatzes der Jawphones hatten und die akustischen Probleme von den Gutachtern als geringfügig angesehen werden, wurde das Versuchsdesign entsprechend angepasst.

Dieser neue Versuchsansatz wurde bei den Hörschwellen-Messungen an einem Schweinswal im Dolfinarium in Harderwijk (Niederlande) getestet (Abbildung 9 und Abbildung 10). Die Reizpräsentation erfolgte über ein Hydrophon (RESON TC 4033), dass im akustischen Freifeld positioniert war.

Der Kopf des Schweinswals (vor allem die für die Schallwahrnehmung entscheidende Unterkieferregion des Tieres) befand sich während der Messungen unter Wasser in einer Entfernung von 50 cm zur Schallquelle. Die gleichbleibende Position des Tieres relativ zur Schallquelle wurde durch die Hängematte gewährleistet, die dem Tier einen geringen seitlichen Bewegungsspielraum ermöglicht. Zusätzlich wurde die korrekte Position des Tieres durch einen Trainer kontrolliert.



Abbildung 9: Schweinswal in einer Hängematte in einem Versuchstank im Dolfinarium Harderwijk (Niederlande) liegend. Als Schallquelle wurde ein Hydrophon (RESON TC 4033) eingesetzt.

Abbildung 10: Kalibrierungsmessung im Versuchstank im Dolfinarium in Harderwijk (Niederlande). Das Sende-Hydrophon (RESON TC 4033) ist identisch mit der während der Hörschwellenmessungen eingesetzten Schallquelle. Als Empfänger wurde an der Position der Unterkiefer des Schweinswals (Ort der Schallwahrnehmung bei Schweinswalen) ein kalibriertes Hydrophon (ebenfalls RESON TC 4033) eingesetzt.

#### 1.5.2 Freilanduntersuchungen

In 2011 wurden die ersten Meldungen von Schweinswalen dazu genutzt die Gegebenheiten und Abläufe vor Ort kennenzulernen und ggf. Änderungen an der Planung und Durchführung der Messungen vorzunehmen. Aufgrund der Komplexität der Ermittlung der Hörschwellen und der Tatsache, dass die Messungen im Freiland durchgeführt werden, wurden bei diesen Einsätzen die ersten wichtigen Erfahrungen gesammelt. So konnte z. B bei einem der Einsätze auf Grund unerwarteter Gegebenheiten nur fünf Minuten gemessen werden, aber trotz kurzer Messzeit festgestellt werden, dass das Audiometrie-Programm grundsätzlich für Arbeiten im Freiland funktionsfähig war. Es wurde allerdings festgestellt, dass notwendige Änderungen am experimentellen Setup durchzuführen waren, bevor eine erfolgreiche Messung bei weiteren Feldarbeiten gewährleistet werden konnte. Es zeigte sich z.B., dass u. a. die Fixierung des Schweinswals in der Haltevorrichtung im Freiwasser nicht ausreichend war und geändert werden musste (siehe nachfolgend Kap. 1.5.2.2).

Im weiteren Verlauf des Jahres wurden, den Empfehlungen des wissenschaftlichen Gutachtergremiums folgend, an zwei Schweinswalen Messungen zur Sensitivität des Gehörs durchgeführt und die ersten Basis-Audiogramme von wildlebenden Schweinswalen ermittelt. Es wurden Höruntersuchungen in einem Frequenzbereich von 10 - 160 kHz erfolgreich an den beiden subadulten Tieren, mit einer Länge von 117 cm und einem Gewicht von 24 kg bzw. einer Länge von 128 cm und einem Gewicht von 28 kg durchgeführt. Unterhalb von 10 kHz konnten die Höruntersuchungen auf Grund technischer Probleme, hervorgerufen durch eine Funktionsstörung des Hydrophon, dass für diesen Frequenzbereich genutzt werden sollte, nicht durchgeführt werden.

Bei einem darauf folgenden Einsatz wurde der erste Versuch zur Erzeugung einer temporären Hörschwellenverschiebung durchgeführt. Hierzu wurde zunächst ein komplettes Basis-Audiogramm in dem Frequenzbereich von 4 bis 160 kHz erstellt. Nach erfolgreicher Beendigung der Hörtests wurde der Schweinswal aus dem Wasser heraus auf das Fischerboot gehoben und der Einsatz der Airgun vorbereitet.

Wenige Sekunden nach der durchgeführten Beschallung zur Auslösung einer temporären Hörschwellenverschiebung konnte mit der erneuten Bestimmung der Hörschwellen bei 4 und 8 kHz begonnen werden. Die Ermittlung der Hörschwelle erfolgte neun Minuten nach der Beschallung. Diese Messung wurde nach 41 Minuten nach Beschallung wiederholt. Die zugehörigen Messgrößen werden TTS<sub>9</sub> und TTS<sub>41</sub> benannt. Es handelte sich um ein adultes Tier, das äußerlich multiple verheilte Wunden aufwies und einige frische Wunden, die mit Walläusen befallen waren. Die Größe und das Erscheinungsbild ließen darauf schließen, dass es sich um ein älteres Tier handelte. Neben den Hautveränderungen, die bereits bei anderen Schweinswalen beobachtet wurden (Lehnert et al. 2007), war das Tier in einem guten Gesundheitszustand.

Insgesamt konnten somit an vier Schweinswalen, die in dänischen Stellnetzen beigefangen worden sind, audiometrische Untersuchungen durchgeführt und vier Basis-Audiogramme erhoben werden. Ein Tier konnte gemäß des geplanten Untersuchungskonzeptes mit der Airgun beschallt und anschließend auf eine mögliche Hörschwellenverschiebung getestet werden.

#### 1.5.2.1 Kalibrierung Airgunschallexposition

Als Schallquelle für die TTS-Versuche im Freiland wurde eine Airgun (Typ: 2800LL-X Bolt gun) von der Firma Western Geco AS in Norwegen zur Verfügung gestellt. Um die Airgun vom Schlauchboot aus bedienen zu können, wurde eine spezielle Hiev-Vorrichtung am A-Frame des Bootes angebracht. Diese ermöglicht das sichere Ablassen und Bergen der Airgun im Feldeinsatz. Gleichzeitig musste eine für den Einsatz auf dem Schlauchboot geeignete Versorgung mit Druckluft bereitgestellt werden. Die gewählte Vorrichtung ermöglicht den Anschluss von zwei Druckluftflaschen (Volumen je 10 l) gleichzeitig, um so die Anzahl der möglichen Airgun-Impulse im Feldversuch zu erhöhen. Die mögliche Anzahl beträgt somit ca. 20 – 40 Impulse bei 100 – 140 bar Kammerdruck.

Zusätzlich zu den bereits 2010 durchgeführten Funktionstests im Büsumer Hafen wurden weitere, detaillierte Funktionstest in der Meldorfer Bucht durchgeführt. Die Airgun wurde bei den Tests vom Schlauchboot zu Wasser gelassen. Zur Kontrolle der akustischen Impulse wurde von Bord der KFK VENUS in variabler Entfernung von 10-50 m eine kontinuierliche Schallmessung mit kalibrierten Hydrophonen (Typ RESON TC 4014 und ITC 1001) durchgeführt. Bei ansteigendem Kammerdruck wurden Airgun-Impulse erzeugt. Der erzeugte Schalldruck und die entsprechende Schallenergie der Impulse beim Test im Büsumer Hafenbecken 2010 sind in Abbildung 11 aufgeführt. In Abbildung 12 ist graphisch dargestellt, wie im Freiwasser die Schallausbreitung über die Entfernung von der Schallquelle variiert.

Die gemessenen Schallpegel zeigen, dass der angestrebte Empfangspegel von 200 dB Spitzenschalldruck und 164 dB Schallenergie nicht alleine durch die Reduzierung des Kammerdrucks der Airgun, sondern nur in Kombination mit einer vergrößerten Distanz zwischen Schallquelle und Empfänger (im Feldversuch: Schweinswal) erzielt werden kann. Gleichzeitig ermöglicht die Regulierung des Kammerdrucks aber offensichtlich die erforderliche Fein-Einstellung des Empfangspegels.

Ein weiteres Ergebnis der Messungen ist, dass die Versuche im Hafenbecken generell zu höheren Empfangspegeln geführt haben, als die Messungen im Freiwasser der Meldorfer Bucht. Insofern ist von einer starken Abhängigkeit des Empfangspegels von Substrat, Wassertiefe, Temperatur, Salinität und Bathymetrie auszugehen. Als erster Ansatz für die Feldversuche wurden 25 m Entfernung bei 100 bar Kammerdruck gewählt, um den fürs Freiwasser ermittelten Resultaten ähnlich zu sein und noch geringere Schallpegel zu erzeugen, so dass man sich langsam an den Wert von 164 dB SEL annähern konnte.



Abbildung 11: Kammerdruckwerte der Airgun und entsprechende Empfangspegel (Spitzen-Schalldruck: SPLpp, Schallenergie: SEL) gemessen in einer Entfernung von 25 m gemessen im Büsumer Hafenbecken. L – gemessener Lautstärkepegel, SPL -. Gemessener Schallpegel (Spitze-Spitze), SEL – Schallenergiepegel. Tiefe des Hydrophons: 2 m unter der Wasseroberfläche.



Abbildung 12: Im Freiwasser gemessene Lautstärke der verwendeten 2800LL-X Bolt gun bei 100 bar Kammerdruck. Die Werte wurden in 2 und 3,5 m über Grund (aG) gemessen. Mit blauen Linien ist verdeutlicht, in welchen Entfernungen in Abhängigkeit von der Messtiefe 164 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s erreicht werden. Die Messungen in 2 und 3,5 m über Grund unterscheiden sich um 2 – 4 dB.

Im August 2011 wurde die erste Beschallung eines Schweinswales im Freiland durchgeführt. Für die Vortests (Ermittlung der Lautstärke des Signals) wurde das Programm "peak" verwendet und die vorher festgelegte Entfernung von 25 m hergestellt. Das Programm zeigte für das Hydrophon an der Position des Schweinswales einen SEL von 164 dB re µPa<sup>2</sup>s innerhalb von drei aufeinanderfolgenden Auslösungen bei 100 bar Kammerdruck an (zeichnete zu diesem Zeitpunkt aber leider nicht auf) und dementsprechend wurde die Beschallung des Tieres in einer Entfernung von 25 m mit einem Kammerdruck von 100 bar vorgenommen. Die anschließende Analyse zeigte mehrere Probleme in der Exposition auf:

- Das zur Schallaufzeichnung genutzte Programm Sea Pro Daq berichtet eine maximalen Spannungsbereich von +/- 10 V, in Wirklichkeit ist dieser Bereich jedoch aus ungeklärter Ursache nur +/- 5 V. Die Fehler wurden mit dem Hersteller besprochen und vom Hersteller bestätigt. Im Folgenden wurde die Software Avisoft (Saslab), die diese Problematik nicht aufweist und zudem mehr als zwei Hydrophone händeln kann, genutzt. Weder Avisoft noch Sea Pro Daq können SELs in real-time kalkulieren.
- Das Programm "peak" wies in der damaligen Version einen Fehler ebenfalls in der Definition des Eingangsbereiches auf. Hier wurde statt +/-10 V eine differentielle Eingangsquelle mit +/-1 V erwartet.

Nach der Fehleranalyse wurde der Schallpegel anhand des aufgezeichneten Airgun-Impulses in Matlab analysiert und ein realer SEL von 146 dB re µPa<sup>2</sup>s berechnet. Diese Abweichung wurde im Gutachtergremium besprochen und als mögliche Ursachen kamen eine fehlerhafte Kalibrierung der Airgunimpulse und Auswirkungen des Lloyd-Mirror Effektes nahe der Wasseroberfläche in Betracht. Die Hinweise des wissenschaftlichen Gutachtergremiums legten nahe Kalibrierungsmessungen weiter voranzutreiben und mit mehreren Hydrophonen (unterschiedliche Wassertiefen) und im direkten Messumfeld (Arbeitsplattform) gemacht werden. Diese Messungen wurden 2012 durchgeführt (Abbildung 13 und Abbildung 14). Hierbei wurden Tiefenprofile erstellt (Abbildung 13), um den Lloyd Mirror Effekt besser berücksichtigen zu können. Der Lloyd-Mirror Effekt, oder besser die Effekte von Lloyds-Mirror beruhen darauf, dass die Wasseroberfläche bei sehr geringem Seegang eine nahezu hundertprozentig ,schallharte' Oberfläche darstellt. An ,schallharten' Oberflächen wird der Schall stark reflektiert und die reflektierte Welle weist eine Phasendrehung von 180° auf. Da die einfallende und die reflektierte Welle nun eine Phasenverschiebung aufweisen, kommt es zur kompletten Auslöschung des Signales direkt an der Wasseroberfläche. Abhängig von der Wellenlänge wird das Signal mit zunehmender Wassertiefe lauter, bis Interferenzmuster im akustischen Nahfeld erzeugt werden und schließlich sich im akustischen Fernfeld eine homogene Schallausbreitung ergibt. Dieser Effekt ist für niedrige Frequenzen mit langen Wellenlängen sehr stark ausgeprägt, in hohen Frequenzen aber nahezu vernachlässigbar. Im Falle unserer Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass die Kalibrierungsmessungen in 2 m Wassertiefe nicht aussagekräftig genug für die späteren Feldexperimente waren. In Abbildung 13 ist eine Messung in unterschiedlichen Wassertiefen dargestellt. Der Unterschied im SEL zwischen 10 cm und 2 m Wassertiefe betrugt ca. 18 – 20 dB und entspricht damit der im Freilandversuch festgestellten Abweichung.

Um zu überprüfen, ob die Messungen sich auch auf die Feldsituation zwischen den Katamaranauftriebskörpern übertragen lassen, wurde eine weitere Messung in einer Feldsituation

durchgeführt. Die Airgun wurde nach neuer Berechnung in 5 m Entfernung zum Hydrophon ausgebracht und bei 110 bis 180 bar Kammerdruck ausgelöst (Abbildung 14).



Abbildung 13: Auswirkung des Lloyd-Mirror Effektes auf den Empfangspegel an drei Hydrophonen (TC 4033). Die Airgun war in 40 m Entfernung ausgebracht.

Es zeigte sich, dass in dieser Entfernung ein Kammerdruck von 140 bar ausreicht, um einen stabilen SEL von 164 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s zu erzeugen. Der Spitzenschallpegel scheint eine etwas höhere Variabilität aufzuweisen (+/- 1,5 dB maximal).



Abbildung 14: Wiederholte Kalibrierung der Airgun in der Freilandsituation: Hydrophon an der Position des Schweinswalunterkiefers zwischen den Schwimmkörpern des Katamaran in 5 m Entfernung von der Airgun.

#### 1.5.2.2 Basisaudiogramme

Entgegen der langjährigen Erfahrungen wurde dem Institute for Bioscience (zuvor NERI) im zweiten Halbjahr 2010 von keinem der dänischen Fischer ein Schweinswal gemeldet, so dass mit den audiometrischen Untersuchungen im Freiland in 2010 nicht begonnen werden konnte. Es war unklar, woran dieses Ausbleiben des Beifangs lag. Die Anzahl der aktiven Fischer hatte zwar in diesem Jahr abgenommen, die Bereitschaft der verbliebenen Fischer zur Zusammenarbeit mit dem Institute for Bioscience bestand aber unverändert. Diese Situation hatte sich in 2011 stark gebessert. Seit Anfang April 2011 wurden wieder Beifänge von Schweinswalen gemeldet.

So konnten in 2011 erstmals Audiogramme an Schweinswalen im Freiland in dänischen Gewässern erhoben werden und ein erster TTS-Versuch wurde durchgeführt. Insgesamt konnten an vier Schweinswalen, die in dänischen Stellnetzen beigefangen worden sind, audiometrische Untersuchungen durchgeführt werden.

Das Tier ist dazu in einer speziell für diesen Zweck entwickelten Neopren-Hängematte fixiert. Seitlich am Tier sind Schwimmkörper angebracht, um eine Positionierung an der Wasseroberfläche auch bei Wellengang zu gewährleisten.



Abbildung 15: Schweinswal während der Höruntersuchungen im Freiland.

Auf dem Schweinswal sind 3 Elektroden angebracht (rote Pfeile), die ebenfalls speziell auf die Gegebenheiten im Freiland angepasst worden sind. Direkt neben dem Schweinswal ist ein Hydrophon (gelber Pfeil, Typ RESON TC 4014) angebracht, dass der permanenten Aufzeichnung der Stimuli zur Messung der Audiogramme sowie des Hintergrundschalls und des Airgun-Schallereignisses dient. Das Hydrophon zur Aussendung der Stimuli befindet sich in 1 m Abstand zum Schweinswal und befindet sich außerhalb des Bildes.

Die Einsätze im Freiland waren abhängig von der Meldung der beigefangenen Schweinswale und der zum Zeitpunkt der Meldung vorherrschenden Witterungsbedingungen (kein Einsatz bei starkem Regen, Sturm, etc.) sowie der Verfügbarkeit von entsprechend befähigtem Personal. Während der Einsätze stellte sich heraus, dass es für die und somit auch für zukünftige Feldarbeiten unerlässlich war und ist, einen erfahrenen Bootsführer im Team zu haben. Die exakte Positionierung der Airgun in räumlicher Relation zum Schweinswal ist essentiell, um eine Beschallung mit der exakten Schallenergie gewährleisten zu können.

Während der üblicherweise 9 Monate dauernden Saison musste jederzeit mit beigefangenen Tieren gerechnet werden. Grundsätzlich können nicht bei allen gemeldeten Tieren Untersuchungen vorgenommen werden. Im Rahmen eines weiteren Projektes von Dr. J. Teilmann in dem das Besendern von Schweinswalen im Vordergrund steht, wurde durch die Absprache zwischen dem Institute of Bioscience und dem ITAW bei jedem gemeldeten Tier entschieden, welche Untersuchen möglich waren. Die Umweltbedingungen für die Telemetrieversuche der Universität Aarhus konnten

weitaus schlechter sein, als dies für die audiometrischen Untersuchungen des ITAW notwendig ist. So ist die Bestimmung der Hörschwellen bei zu hohen Wellen und Regen durch den hohen Hintergrundschall nur sehr eingeschränkt oder gar nicht möglich. Bei zu starkem Wind ist zudem die exakte Positionierung der Airgun zum Tier durch die Verdriftung des Schlauchbootes gefährdet und somit die Schallexposition mit dem angestrebten SEL nicht möglich. Zudem kann eine lange Anfahrt zum Einsatzort in Verbindung mit dem zur Messung und der ärztlichen Überwachung des Schweinswals notwendigen Tageslicht einen Einsatz des minimal benötigten Personals von zwei Wissenschaftlern, einem Tierarzt, einem Bootsführer und einer Hilfskraft unterbinden.

Bei dem ersten gemeldeten Schweinswal in 2011 wurde im Feld bei einer Besenderungsaktion der dänischen Kollegen der Versuchsaufbau zur Bestimmung der Hörschwellen überprüft. Anpassungen der Versuchsdurchführung und eine Begutachtung des Feldaufbaus durch den neu in das Projekt integrierten Wissenschaftler wurden vorgenommen. Knapp einen Monat später erfolgte der Einsatz mit dem Ziel, eines der geplanten Basis-Audiogramme zu erhalten. Auf Grund unerwarteter Gegebenheiten konnte allerdings nur 5 Minuten gemessen werden. Trotz der sehr kurzen Zeit, die für die Messung zu Verfügung stand, konnte aber festgestellt werden, dass der Versuchsaufbau und das Audiometrie-Programm grundsätzlich für Arbeiten im Freiland funktionsfähig waren. Es wurde allerdings festgestellt, dass notwendige Änderungen am experimentellen Aufbau durchzuführen waren, bevor eine erfolgreiche Messung bei weiteren Feldarbeiten gewährleistet werden konnte. So erwies sich die "Fixierung" des Schweinswals im Freiwasser während der Höruntersuchungen sich als unzureichend. Die bei Schweinswalen in Menschenhand gut einsetzbare Hängematte zur Positionierung des Tieres erfüllte ihren Zweck im Freiland nicht, der Schweinswal konnte sich zu einfach und schnell aus dieser befreien und so war das zusätzliche Festhalten des Tieres durch einen Mitarbeiter notwendig. Diese Situation wurde durch eine entsprechende Anpassung der Hängematte an die höheren Anforderungen im Freiland gelöst. Ebenso wurde deutlich, dass eine stärkere Anbringung der Elektroden für zukünftige Messungen notwendig war, da die Saugnäpfe, die bisher erfolgreich in Gefangenschaft verwendet wurden, im Freiland durch Wellen und Strömung innerhalb wenigen Sekunden abgelöst wurden. Durch die Erhöhung der Saugkraft der verwendeten neuen Elektroden wurde auch dieses Problem erfolgreich behoben.

Während der Projektlaufzeit wurden insgesamt vier Basis-Audiogramme erhoben. Dabei wurden Höruntersuchungen in einem Frequenzbereich von 10 - 160 kHz erfolgreich an zwei subadulten und zwei adulten Tieren durchgeführt.

Schweinswal	Geschätztes Alter	Länge	Gewicht
Phocoena phocoena 1	Subadult	117 cm	24 kg
Phocoena phocoena 2	Subadult	128 cm	28 kg
Phocoena phocoena 3	Adult	141 cm	44 kg
Phocoena phocoena 4	Adult	147 cm	39 kg

Tabelle 1: Übersicht der in freier Wildbahn untersuchten Schweinswale

Die an den vier in freier Wildbahn gefangenen Schweinswalen gemessenen Basis-Audiogramme zeigen die größte Hörempfindlichkeit für den Frequenzbereich zwischen 20 bis 130 kHz auf.



Abbildung 16: Audiogramme freilebender Schweinswale.

Frequenz	Basis 1	Fehler	Basis 2	Fehler	Basis 3	Fehler	Basis 4	Fehler
(kHz)	(dB re 1 μPa)							
10	106,5	± 4,5	100,3	± 2,8	100,5	± 1,5		
20	81,5	± 0,5	76,0	± 5,0	86,0	± 1,0		
30	86,0	± 10,0	79,3	± 3,3	82,0	± 2,0		
40			84,0	± 2,0	89,5	± 1,5	74,0	± 2,0
50	86,5	± 5,5			82,0	± 1,0		
60	112,0	± 1,0	86,5	± 4,5	80,5	± 1,5		
70	91,5	± 5,5			87,0	± 1,0		
80			84,0	± 2,0	84,5	± 1,5	78,0	± 2,0
90	101,5	± 5,5	95,3	± 2,8	88,5	± 1,5		
100			86,5	± 4,5	87,0	± 1,0		
110	91,0	± 10,0	85,5	± 4,5	83,0	± 2,0		
120					74,5	± 1,5	73,0	± 1,0
130	81,5	± 5,5	81,5	± 3,5	81,5	± 2,5		
140	86,5	± 4,5	76,5	± 5,5	93,0	± 1,0		
150	137,0	± 1,0	126,0	± 1,0	132,0	± 1,0		
160			150,0	± 2,0			145,5	± 1,5

Für Frequenzen kleiner als 20 kHz zeigt sich eine schrittweise Verschlechterung der Sensitivität, während sich für hohe Frequenzen die Sensitivität zwischen 140 bis 160 kHz rapide verschlechtert.

Bei der Nachanalyse der Daten zeigten sich Unregelmäßigkeiten bei der Messdatenaufnahme und führten nach der Bereinigung der Datensätze und Analyse dazu, dass die Hörschwellenbestimmung für einige Frequenzblöcke zu stark gestört war, um eindeutige und belastbare Ergebnisse zu liefern. Dies galt im Besonderen für die Messung "Basis 4" bei der drei der vier Frequenzblöcke aufgrund massiver Störungen, sichtbar im Frequenzbereich um 500 Hz, verworfen werden mussten.

Im Allgemeinen stehen die Ergebnisse im Einklang mit an anderen Zahnwalarten erhobenen Audiogrammen.

#### 1.5.2.3 TTS-Versuch

Nach den ersten zwei Basis-Audiogrammen wurde, wie dies vom wissenschaftlichen Gutachtergremium empfohlen worden war, mit den Beschallungsexperimenten begonnen. Diese Möglichkeit ergab sich durch die Meldung eines Schweinswales, der äußerlich multiple verheilte Wunden aufwies und einige frische Wunden, die mit Walläusen befallen waren. Die Größe und das Erscheinungsbild ließen darauf schließen, dass es sich um ein älteres Tier handelte. Neben den Hautveränderungen war das Tier in einem guten Gesundheitszustand. Es wurden Blutproben und Blasproben entnommen, um genauere Informationen zum Gesundheitsstatus des Tieres zu erhalten und auch Stresshormonwerte zu bestimmen.

Es wurde zunächst ein Basis-Audiogramm erstellt und nach der erfolgreichen Beendigung der Hörtests wurde der Schweinswal aus dem Wasser heraus auf das Fischerboot gehoben, um die Airgun einsatzbereit zu machen und nach dem Zurücksetzen getestet ob der Einzelschallimpuls aus der Airgun eine temporäre Hörschwellenverschiebung erzeugt.

Die Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen exemplarisch anhand von Daten aus nachfolgenden Messungen aus dem Büsumer Hafen den zeitlichen Verlauf des durch die Airgun erzeugten Schalldrucks in 2 Meter Tiefe und nahe der Wasseroberfläche.



Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf des durch die Airgun erzeugten Schalldrucks.

Die Gegenüberstellung der beiden Amplitudenverläufe macht den Einfluss der Reflektion der Schallwellen und der damit einhergehenden Interferenzeffekte an der Wasseroberfläche deutlich. Während in der Tiefe von 2 m noch ein ausgeprägter Impuls deutlich zu erkennen ist, so wird dieser Impuls durch den Lloyd-Mirror Effekt an der Wasseroberfläche stark abgeschwächt und in seiner Form verändert.

Diese Veränderung wird durch die Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Frequenzbereich durch eine Fourier Analyse (FFT) noch anschaulicher. Nach der linearen Systemtheorie lässt sich jedes stetige Signal durch eine Überlagerung von Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden darstellen. Bei dieser Art von Betrachtung wird die Veränderung des zeitlichen Druckverlaufes im Frequenzbereich deutlich.

Nachfolgend ist die FFT für die in Abbildung 17 dargestellten zeitlichen Drückverläufe dargestellt. Die digitale Abtastrate betrug 500.000 Abtastungen pro Sekunde, die gewählte FFT Länge ist 16384 Punkte mit einer Hannig-Gewichtungsfunktion. Die Frequenzauflösung entspricht somit etwa 30 Hz.



Abbildung 18: Fourieranalyse der Airgun Impulse an der Oberfläche und in 2m Tiefe.

In der FFT der beiden aufgezeichneten Signalverläufe wird die Unterdrückung der tiefen Frequenzen durch den Lloyd Mirror Effekt an der Wasseroberfläche sehr deutlich. Für Frequenzen kleiner als ca. 700 Hz ist die Abschwächung beträchtlich und führt letztendlich zu der starken Verringerung der Schallenergie von 18 – 20 dB an der Oberfläche.

Da die Lautstärkepegel der Airgun nach den Erfahrungen bei den Kalibrierungsarbeiten im Frühjahr 2011 in Abhängigkeit der akustischen Eigenschaften der jeweiligen Umgebung stark schwankten, war bekannt und damit zwingend notwendig, die genauen Schalldruck- und Schallenergiepegel eindeutig zu bestimmen, bevor der Schweinswal der Beschallung ausgesetzt wird. Dazu wurde, wie schon im Kapitel 1.5.2.1 erläutert, basierend auf den Voruntersuchungen zur Kalibrierung der Airgun im Büsumer Hafen und im Freiwasser (s. Abbildung 11 und Abbildung 12) ausgegangen die Entfernung zum Schweinswal und der Kammerdruck der Airgun gewählt.

Bei der späteren und vorangehend dargelegten Analyse der Daten stellte sich aber heraus, dass die Schallenergie bei der Exposition des Schweinswals durch die Airgun mit einem SEL von 146 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s um die 18 dB niedriger war als die angestrebten 164 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s SEL. Anhand der vorliegenden AEP-Daten konnte nicht festgestellt werden, ob eine TTS ausgelöst werden konnte oder nicht. Die für den Test verwendete Methode (auditory steady state response, ASSR) zeigte bei den Messungen im Gegensatz zu dem höheren Frequenzbereich für die tiefen Frequenzen nur sehr kleine Amplituden für die evozierten Potentiale. Die Unterschiede in der Sensitivität des Gehörs machen sich bei der ASSR Methode nur durch geringe Änderungen bemerkbar und so besteht die Möglichkeit, dass bei den geringen gemessenen Amplituden die Unterschiede der ermittelten Hörschwellen in die Variation der Ergebnisse unter normalen Bedingungen fallen. Hörschwellen einzelner Individuen unterliegen einer natürlichen Variabilität. Um die Größe der Abweichungen zu bestimmen sind Messungen an in Menschenhand befindlichen Tieren begleitend notwendig, um die im Freiland gewonnenen Erkenntnisse zu evaluieren.

## **1.5.3 Untersuchungen in Menschenhand**

### 1.5.3.1 Fjord & Baelt (Modul 2)

Die Auswirkungen der unterschiedlichen akustischen Eigenschaften der Rammimpulse sollten an einem weiteren im Fjord & Baelt (F&B) in Kerteminde, Dänemark, gehaltenen Schweinswal – und damit unter kontrollierten akustischen Bedingungen – untersucht werden. Der wichtigste Aspekt ist dabei die kontrollierte Variation der akustischen Charakteristika der eingesetzten Schallimpulse. Diese Kontrolle kann nur unter "laborähnlichen" akustischen Bedingungen, wie sie im Fjord & Baelt durch den Versuchspool ermöglicht werden, gewährleistet werden.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen im Fjord & Baelt kann eine Funktion für die Belastungsobergrenze für Schweinswale in Abhängigkeit der akustischen Charakteristika der eingesetzten Schallimpulse erstellt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen von Mehrfachbeschallung auf Schweinswale. Daher wird es weiterhin notwendig sein, die Durchführung der geplanten Arbeiten im F&B weiter voranzutreiben und eine Realisierung zu ermöglichen. Die Arbeiten wurden entsprechend dem Zeitplan gestartet. Zunächst wurden Feinheiten des Aufbaus des Pooles besprochen und konzipiert. Dieser wurde im Jahr 2010 gebaut. Ferner wurde mit den Trainingsarbeiten von Freja begonnen. Freja ist ein weiblicher Schweinswal, der seit 1997 im Fjord & Baelt gehalten wird, nachdem er in einem Bundgarnnetz beigefangen wurde. Das Tier wurde bereits für akustische Projekte trainiert, was die Trainingszeiten in diesem Projekt reduzieren sollte. Die Trainingsarbeiten wurden wie folgt begonnen:

- Desensibilisierung von Freja zum Tragen von ABR-Saugnäpfen
- Bewegen mit angebrachten ABR-Saugnäpfen
- Ausdehnen der Stationierungszeit, Ziel: 4-6 min

Während zu Beginn des Projektes alle relevanten Genehmigungen für die Arbeiten im Modul 2 von den zuständigen Behörden vorlagen, änderte sich die Situation während der Projektlaufzeit. Ende 2010 musste der Fjord & Baelt eine weitere Genehmigung beantragen, deren Ausstellung sich unerwartet verzögerte.

Bis zum Erstellung des Endberichtes (Dezember 2012) konnten keine erfolgreichen Beschallungs-Experimente an einem Schweinswal im F&B durchgeführt werden. Die dafür notwendigen Arbeitsschritte wären folgende gewesen.

- Stationieren im neuen Pool
- Stationieren im neuen Pool mit angebrachten eingetauchter Plattform
- Desensibilisierung von Freja für den Versuchsaufbau
- Desensibilisierung gegenüber Schallexposition erst außerhalb, dann innerhalb des neuen Pools (ABR Signale und Ermüdungssignale)

Die Arbeiten im Pool wurden nicht vor der Erteilung der ausstehenden Genehmigung aufgenommen, da es zu einer unnötigen Veralgung des Pooles gekommen wäre und es sehr aufwendig gewesen wäre, den Trainingsstand von Freja auf unbestimmte Zeit dafür aufrecht zu erhalten.

Der Grund für die verzögerte Erteilung der Genehmigung waren keine ethischen Bedenken, sondern Zweifel gegenüber einer Belastbarkeit der Ergebnisse aufgrund der Messungen an einem einzigen Tier. Diese Zweifel konnten durch eine Erhöhung der Anzahl der Tiere, die vom F&B übernommen wird, ausgeräumt werden. Während der gesamten Diskussion mit der dänischen Ethikkommission wurde das Projekt durch Stellungnahmen des wissenschaftlichen Leiters des F&B sowie von den beiden Gutachtern Dr. Houser und Dr. Janik und weiteren dänischen Wissenschaftlern (Prof. Madsen, Dr. Teilmann, University Aarhus) unterstützt. Die Genehmigung wurde zum im Juli 2012 erteilt.

#### 1.5.3.1.1 Training von "Freja"

Mit Frejas Verhaltenstraining wurde in 2010 zunächst durch eine erfahrene Tiertrainerin des F&B begonnen. Der Trainingsplan wurde eingehend mit Marlee Breese (Mitglied des wissenschaftlichen Gutachtergremiums des Projektes) diskutiert und von ihr positiv bewertet. Nach einer krankheitsbedingten Pause bei Frejas Training kam es im F&B anschließend jedoch zu einem Personalwechsel und einem damit verbundenen Wechsel der Verantwortlichkeiten. Dies hatte zur Folge, dass ein anderer, ebenfalls sehr erfahrener Tiertrainer "Frejas" Training übernommen hat und sie seit Herbst 2010 auf die anstehenden Untersuchungen vorbereitet ist. Der gemeinsam mit dem ITAW und den Gutachtern entworfene Trainingsplan konnte weitestgehend eingehalten werden. Das Schweinswalweibchen "Freja" wird auch weiterhin für die audiometrischen Untersuchungen trainiert (siehe Abbildung 19).



Abbildung 19: Positionierungs- und Desensibilisierungstraining von Freja (Photo: Michael Dähne).

#### 1.5.3.2 Harderwijk

#### 1.5.3.2.1 Gleichzeitige Messung mehrerer Frequenzen

Bei den Stimuli zur Messung der Audiogramme handelt es sich um kontinuierliche akustische Reize, die eine kontinuierliche Reizantwort des Gehörs (Auditory steady state Response, ASSR) bei dem untersuchten Schweinswal auslösen. Ein wichtiger Grund für die Auswahl dieser Methode ist die Möglichkeit, bei mehreren Frequenzen über die *Modulation Rate Transfer Function* (MRTF, z.B. Linnenschmidt et al. 2012) gleichzeitig die Hörschwelle zu ermitteln. Derartige Simultan-Messungen wurden bereits erfolgreich an Großen Tümmlern durchgeführt.

Um mehrere Frequenzen zeitgleich messen zu können, müssen die jeweiligen Trägerfrequenzen amplitudenmoduliert werden, um die evozierten Potentiale bezüglich der unterschiedlichen Frequenzen unterscheiden zu können. Bei der Amplitudenmodulation beeinflusst das nieder-frequente Informationssignal das hochfrequente Trägersignal, das Informationssignal verändert nur die Amplitude. Die Frequenz und die Phase des Trägersignals bleiben erhalten. Bei der Amplitudenmodulation wird ein hochfrequentes Trägersignal erzeugt und mit der Amplitude (Lautstärkeinformation) des Modulationssignals verändert. Die Frequenz des Informationssignals ist nicht mehr unmittelbar im Träger enthalten, sondern wirkt sich als Amplitudenschwankungen des Trägersignals aus. Um die Trennung der Reizantworten bei der Verwendung mehrerer Trägerfrequenzen auch gewährleisten zu können, wurde die Amplitude der evozierten Potentiale in Abhängigkeit von der Frequenz des Informationssignals ermittelt. Bei "DT01" wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Modulationsraten von 100 bis 2.300 Hz getestet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 20 dargestellt.



Abbildung 20: Amplitude des evozierten Potentials in Abhängigkeit der Frequenz.

Ausgehend von diesen Messungen wurden für die Arbeiten im Freiland folgende Modulationsraten gewählt: 900 Hz, 1.100 Hz, 1.1625 Hz und 1.225 Hz.

1.5.3.2.2 Vergleich zwischen Einzelfrequenzmessungen und mehreren Frequenzen gleichzeitig Eine weitere wichtige Kontrolle ist der Vergleich der ermittelten Hörschwellen bei der Verwendung von mehreren Trägerfrequenzen gleichzeitig und den Ergebnissen der Einzelfrequenzmessung.



Abbildung 21: Vergleich der Messung von Einzelfrequenzen gegenüber der simultanen Messung mehrerer Frequenzen. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardabweichung aus drei aufeinanderfolgenden multiplen Messungen.

Beim Vergleich von Einzelfrequenzmessungen mit der durch multiple Frequenzantwort ermittelten ASSR ergaben sich nur geringe Abweichungen gegenüber der Messung von Einzelfrequenzen (Abbildung 21). Die hohe Standardabweichung für die Hörschwelle bei 40 kHz ergibt sich durch eine der Hörschwellenbestimmungen, die gegenüber den beiden anderen Messungen um ca. 25 dB höher liegt. Die Belastbarkeit dieser einen erhöhten Hörschwelle ist bei einer nachträglichen Begutachtung eher als gering einzustufen (nur 1 hit und zwei misses, vergl. Kapitel 1.4.1.3). Bei der ursprünglichen Auswertung wurde diese ermittelte Hörschwelle aber berücksichtigt und soll an dieser Stelle auch deutlich machen, dass ein solcher Fall eintreten kann. Nur eine umfangreiche und akribische Datenbegutachtung, die während der Messung vor Ort aufgrund der limitierten Zeit für die Aufnahme der Audiogramme nicht möglich ist, gewährleistet die Belastbarkeit der Ergebnisse. Wäre diese eine Messung verworfen worden, so wäre der Mittelwert aus den beiden verbliebenen Ergebnissen der Hörschwellenbestimmung 94,8 ± 2,5 dB re 1  $\mu$ Pa und vergleichbar mit dem Ergebnis der Einzelfrequenzmessung von 96,0 ± 3 dB re 1  $\mu$ Pa. Insofern können die durch MRTF gewonnenen Audiogramme als robust und zuverlässig betrachtet werden.

**1.5.3.3** Audiometrische Untersuchungen im Dolfinarium Harderwijk und SOS Dolfijn, Harderwijk, NL Im Dolfinarium Harderwijk sowie in den Einrichtungen der ebenfalls in Harderwijk befindlichen Stiftung SOS Dolfijn, einer Rehabilitationseinrichtung für gestrandete Schweinswale, werden zahlreiche Schweinswale gehalten. Dort bestand die Möglichkeit, die Messmethode vor Beginn der Freilandsaison im März 2011 zu erproben und die Geräte- und Software-Einstellungen zu kalibrieren und zu verfeinern sowie an weiteren Terminen Audiogramme von mehreren gestrandeten Schweinswalen in der Rehabilitation zu messen. Diese Audiogramme können das Wissen über das Hörvermögen der Schweinswale zusätzlich zu den im Freiland gewonnenen Daten erweitern und unter Umständen ebenfalls als Basiswerte dienen.

#### 1.5.3.3.1 Ergebnisse der Untersuchungen in Harderwijk

Die Ermittlung der Basis-Audiogramme an freilebenden Schweinswalen ist durch die Messung im Freiland mit dem damit verbundenen großen Aufwand an Personal, dem Transport und der Stationierung der Geräte vor Ort und der Abhängigkeit von den Wetterbedingungen sowie durch die eingeschränkte Verfügbarkeit der beigefangenen Schweinswale auf eine geringe Anzahl beschränkt.

Zur Vergrößerung des Wissens über das Hörvermögen der Schweinswale wurden ergänzende Arbeiten im SOS Dolfijn, Harderwijk, Niederlande durchgeführt. Dort bot sich die Möglichkeit die Geräte regelmäßig zu kalibrieren und die Messabläufe zu optimieren. Ferner wurden die Messungen an Schweinswalen, die gestrandet an den Küsten gefunden wurden und sich in der Rehabilitation in der Einrichtung befanden oder noch befinden, durchgeführt, um Daten bei Schweinswalen in einem unterschiedlichem Gesundheitszustand zu erheben. Die ersten vorliegenden Untersuchungen zu den Hörschwellen von vier sich in der Rehabilitation befindlichen Schweinswalen im SOS Dolfin in Harderwijk:



Abbildung 22: Audiogramme von Schweinswalen in Harderwijk. Die Audiogramme wurden mit der MRTF Methode erhoben. Die Ermittlung der Daten für das Tier Rehab 3 fallen in dem Vergleich zu den 3 anderen Tieren durch erhöhte Hörschwellen bei 10 und 50 kHz auf, diese Messung wurde aber im Gegensatz zu den Messungen im Becken in einem Versuchstank durchgeführt.

Frequenz	Rehab 1	Fehler	Rehab 2	Fehler	Rehab 3	Fehler	Rehab 4	Fehler
(kHz)	(dB re 1 μPa)		(dB re 1 µPa)		(dB re 1 µPa)		(dB re 1 μPa)	
10			85,9	± 1,1	111,6	± 0,5		
20	66,5	± 4,5	70,1	± 0,9				
30	75,9	± 1,1	76,5	± 0,6				
40			79,5	± 1,5			79,5	± 1,4
50			78,4	± 1,4	123,5	± 0,5		
60			79,5	± 1,5				
70			81,0	± 1,1			88,5	± 0,5
80								
90	87,6	± 0,4	85,4	± 0,6	95,3	± 0,7		
100	85,4	± 0,6	81,6	± 0,6				
110	80,9	± 1,1	89,4	± 1,4	78,5	± 2,5	87,5	± 0,5
120			82,9	± 1,2			80,9	± 1,1
130	72,5	± 0,5	81,9	± 1,1				
140	79,4	± 1,4	83,6	± 0,6	92,0	± 1,0	99,1	± 1,1
150	115,9	± 1,1			128,5	± 1,5	135,0	± 1,0
160	128,5	± 1,4			128,0	± 1,0	137,1	± 1,1

Tabelle 3: Datengrundlage der Abbildung 22

Die Tiere "Rehab 1 und 2" weisen eine hohe Empfindlichkeit im Frequenzbereich zwischen 30 bis 130 kHz auf und sind damit vergleichbar mit den Erkenntnissen, die an freilebenden Schweinswalen gewonnen wurden (vergl. Abbildung 16). Dass die Ergebnisse von dem Tier "Rehab 3" nicht übereinstimmten, kann auf einen Effekt des Versuchstank (siehe Abbildung 9) zurückzuführen sein, wobei Effekte in den Frequenzen über 50 kHz auf Grund der Größe der Box eher nicht zu vermuten gewesen wären. Die wissenschaftliche Belastbarkeit dieses Datensatzes ist nicht gegeben, da das Schallfeld für die Ermittlung der Hörschwellen mit Sicherheit nicht optimal war. Für das vierte Tier (Rehab 4) zeigten sich für die Frequenzen von 70 und 90 kHz erhöhte Hörschwellen. Die ersten Freilandmessungen zeigen ebenfalls für ein Tier (Basis 1, Abbildung 16) erhöhte Hörschwellen, dort aber für 60 und 90 kHz. Die Anzahl an Audiogrammen ist noch gering und so ist eine Beurteilung dieser Erhöhung noch nicht möglich.

Bei weiterführenden Untersuchungen im SOS Dolfijn zum Messablauf und zur Kalibrierung der Geräte sowie der Verifizierung der Audiogramme, die im Freiland ermittelt worden sind. Es konnten im Dophinarium sechs weitere Schweinswale vermessen werden.



Abbildung 23: Großes Becken im SOS Dophin (Harderwijk, NL)

Die Messungen wurden alle in dem großen Becken des SOS Dolfijn durchgeführt, wobei die Hörschwellen für die 16 Frequenzen in vier Frequenzblöcken, also jeweils vier Frequenzen gleichzeitig mit den Modulationsfrequenzen von 900, 1100, 1163 und 1225 Herz aufgenommen wurden:



Abbildung 24: Audiogramme von Schweinswalen in Harderwijk. Die Audiogramme wurden mit der MRTF Methode erhoben.

Frequenz	Rehab 5	Fehler	Rehab 6	Fehler	Rehab 7	Fehler
(kHz)	(dB re 1 μPa)		(dB re 1 μPa)		(dB re 1 μPa)	
10					106,5	± 1,5
20				± 0,5		
30						
40			84,5	± 4,5	69,5	± 1,5
50	84,5	± 5,5			72,5	± 1,5
60	82,5	± 2,5	81,3	± 1,3	95,0	± 5,0
70					75,5	± 4,5
80					72,5	± 1,5
90	77,5	± 5,5	88,5	± 1,5	82,0	± 1,0
100	77,0	± 1,0				
110	72,5	± 2,5			77,5	± 2,5
120	69,0	± 1,0	79,0	± 1,0	63,5	± 2,5
130	79,5	± 5,5	71,5	± 4,5	71,0	± 1,0
140	74,5	± 1,5	81,0	± 1,0	100,0	± 2,0
150	113,0	± 1,0			103,5	± 2,5
160	141,5	± 1,5	124,7	± 1,9		

Tabelle 4: Datengrundlage der Abbildung 24

Frequenz	Rehab 8	Fehler	Rehab 9	Fehler	Rehab 10	Fehler
(kHz)	(dB re 1 μPa)		(dB re 1 μPa)		(dB re 1 μPa)	
10	125,5	± 0,5	86,0	± 1,0	109,0	± 1,0
20	69,0	± 3,0	74,0	± 1,0	68,0	± 2,0
30	77,0	± 2,0	67,0	± 1,0		
40	75,0	± 1,0	63,0	± 2,0		
50	66,5	± 1,5	67,0	± 1,0		
60			66,5	± 1,5	73,0	± 3,0
70	72,5	± 1,5	72,5	± 1,5		
80	83,0	± 3,0	81,5	± 1,5		
90	81,5	± 1,5	78,5	± 2,5	89,5	± 4,5
100	78,5	± 2,5	80,5	± 4,5		
110	73,0	± 2,0	60,5	± 5,5	71,0	± 4,0
120	67,0	± 1,0			74,5	± 1,5
130	64,0	± 1,0	63,5	± 2,5	71,5	± 2,5
140	73,5	± 2,5	67,5	± 2,5	108,5	± 1,5
150			114,5	± 1,5		
160	119,0	± 1,0	121,0	± 1,0	124,5	± 1,5

Tabelle 4: Datengrundlage der Abbildung 24 (Fortführung der Tabelle der vorherigen Seite)

Die Audiogramme der 6 Tiere weisen die höchste Sensitivität in dem Frequenzbereich von 20 bis 130 kHz auf. Die Hörschwellen für die Frequenz von 10 kHz zeigen eine starke Variabilität von bis zu 50 dB re 1µPa SPL zwischen den verschiedenen Schweinswalen auf. Für die Frequenzen größer als 130 kHz zeigen alle Tiere eine graduelle Verschlechterung des Hörvermögens auf.

Grundsätzlich ist dabei zu beachten, dass es sich bei den untersuchten Schweinswalen, die sich in der Rehabilitation in SOS Dolfijn Schweinswale befinden, um gestrandete Tiere handelt. Eine schlechtere Gesundheit dieser Tiere hatte eventuell zu der Strandung geführt und so musste unter Umständen auch mit einer Hörschädigung der Tiere gerechnet werden. Ein intaktes Gehör dieser Tiere ist eine wichtige Voraussetzung für die Auswilderung.

## 1.6 Diskussion

Im Verlaufe des Projektes konnten verschiedene notwendige Voruntersuchungen an Schweinswalen in Rehabilitation und später im Freiland gewonnen werden. Insgesamt wurden 10 vollständige Audiogramme von Schweinswalen in Rehabilitation und 4 Audiogramme von Schweinswalen im Freiland aufgezeichnet (Abbildung 25).



Abbildung 25: Darstellung der in diesem Projekt aufgenommenen Schweinswalaudiogramme im Vergleich mit Daten aus der Literatur. Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Messungen im Freiland (schwarze Punkte) und aus den Messungen an Tieren in Rehabilitation (schwarze Quadrate), Fehlerindikatoren repräsentieren die Maxima und Minima der Hörschwellen der einzelnen Schweinswale sowie dem Audiogramm eines Einzeltieres aus dem Projekt MINOSplus (Lucke et al. 2009). Im Vergleich dazu sind die via Verhaltensaudiometrie aufgezeichneten Audiogramme von Andersen (1970), Kastelein et al. (2002) und Kastelein et al. (2010) an Schweinswalen und die AEP-Studie an Glattschweinswalen von Popov et al. (2005) dargestellt.

Die Audiogramme der Tiere in Rehabilitation und im Freiland unterschieden sich in dieser Studie nicht stark voneinander, wobei die in Harderwijk vermessenen Tiere leicht bessere Hörschwellen im besten Hörbereich zwischen 20 und 140 kHz aufzeigen. Dies könnte ein Hinweis sein, dass die Messungen im Freiland z.T. durch Hintergrundgeräusche wie bei Lucke et al. 2009 maskiert waren oder die Untersuchungsmethode selbst Einfluss auf die Ergebnisse hat (Messung multipler Frequenzen mit SAM-tones). Trotzdem lassen sich insbesondere in niedrigeren Frequenzbereichen (< 40 kHz) deutliche Ähnlichkeiten zu Popov et al. 2005 AEP Studie an Glattschweinswalen finden. Im Bereich zwischen 40 und 140 kHz gibt es jedoch deutliche Unterschiede (~ 40 dB) zu den Verhaltensaudiogrammen von Andersen (1970), Kastelein (2002, korrigiert nach Kastelein et al. 2010) und Kastelein et al. (2010).



Abbildung 26: Vergleich der Messungen dieses Projektes mit AEP-Messungen an anderen Zahnwalarten. Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Messungen im Freiland (schwarze Punkte) und aus den Messungen an Tieren in Rehabilitation (schwarze Quadrate), Fehlerindikatoren repräsentieren die Maxima und Minima der Hörschwellen der einzelnen Schweinswale. Blau – *Delphinapterus leucas* (Beluga), grün – *Tursiops truncatus* (großer Tümmler), orange – *Pseudorca crassidens* (Kleiner Schwertwal).

Im Vergleich zu anderen AEP-Studien an kleinen Odontocetenarten (Abbildung 26) liegen die innerhalb dieses Projektes gemessenen Hörschwellen zwar im oberen Bereich, sind jedoch insbesondere im höheren Frequenzbereich nicht offensichtlich extrem von den bisher gemessenen Daten verschieden.

Die innerhalb des Projektes entwickelte Methode hat sich als praktikabel erwiesen, um Audiogramme im Freiland aufzuzeichnen. Insbesondere die ersten Versuche bei einer Beschallung mit einem impulsiven Airgun-Signal zeigen, dass die hier erstmals unter Freilandbedingungen eingesetzte Technik nur durch intensives Testen so vorbereiten lässt das sich kurzfristig ergebende Probleme auch im Feld gelöst werden können. Leider konnten den ersten Versuchen innerhalb des Projektes keine weiteren hinzugefügt werden, so dass die Versuche zur Einfachbeschallung im Cluster 7 des Bundesamtes für Naturschutz fortgeführt werden, um zuverlässige Aussagen zu den Schallbelastungsgrenzen für Schweinswale zu erhalten. Nach initialer Beurteilung der Ergebnisse von fünf Beschallungen soll über die Fortführung mit multipler impulsiver Beschallung, die den Bedingungen bei der Errichtung von Windkraftanlagen mit impulsivem Rammen eher entspricht, in einem internationalen Expertenkreis diskutiert werden. Der weitere Verfahrensweg wird sich daraus herleiten.

# 1.7 Fazit

Innerhalb dieses Projektes wurde die Methodik entwickelt um Audiogramme an freilebenden Schweinswalen zu messen. Dies ist das erste Mal weltweit, dass Audiogramme von freilebenden Cetacean im Gegensatz zu bisherigen Forschungen an gestrandeten Walen (Mann et al. 2010, Mooney et al. 2006) aktiv gefangenen Walen (Nachtigall et al. 2008) oder trainierten Tieren in einem Delfinarium oder in einer Forschungseinrichtung gemessen wurden.

Die entwickelte Methodik erlaubt es vollständige Audiogramme in ca. 1,5 Stunden aufzuzeichnen. Trotzdem existieren noch einige Probleme im Zusammenhang mit der staircase Methode während der gleichzeitigen Messung verschiedener Frequenzen:

- Die Beurteilung der Qualität der gemessenen Audiogramme ist nicht in der Form möglich, dass direkt nach der Messung eine Aussage über den Erfolg des Versuches gemacht werden kann. Diese Situation kann verbessert werden, indem die Messabläufe geändert werden. Z.B. können vordefinierte Amplitudenschritte anstatt der staircase-Methode genutzt werden und eine Initialmessung aller Frequenzen vor den eigentlichen Messdurchläufen zur Beurteilung der Qualität der Daten gemacht werden.
- Der minimale Abstand zwischen zwei Messungen, oder nach Airgun-Exposure beträgt derzeit 10 Minuten. Diese zeitliche Auflösung könnte zu gering sein, um akute Effekte, wie von Popov et al. 2011 a, b dargelegt, beurteilen zu können.

Die gesammelten Erfahrungen werden nun dazu genutzt weitere Tiere zu testen und den Stichprobenumfang zu erhöhen.

### 1.8 Literaturverzeichnis

- Andersen, S. (**1970**). "Auditory sensitivity of the harbour porpoise *Phocoena phocoena*," Invest Cetacea **2**, 255–259.
- Bibikov, N. G. (1992). "Auditory brainstem responses in the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*)", In: Thomas JA, Kastelein RA, Supin AY (Eds) Marine Mammal Sensory Systems. Plenum Press, New York: 197-211.
- BMWI (2012). "Research for an environmentally sound, reliable and affordable energy supply.6th Energy Research Programme of the Federal Government", <u>http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=427698.html</u>, date accessed: 2012/08/13.
- Brandt, M., Diederichs, A., Betke, K., and Nehls, G. (2011). "Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea," Mar Ecol Prog Ser 421, 205–216.
- Clausen, K. T., Wahlberg, M., Beedholm, K., Deruiter, S., and Madsen, P. T. (**2010**). "Click communication in harbour porpoises *Phocoena phocoena*," Bioacoustics **20**, 1–28.
- DeRuiter, S. L., Bahr, A., Blanchet, M.-A., Hansen, S. F., Kristensen, J. H., Madsen, P. T., Tyack, P. L., et al. (2009). "Acoustic behaviour of echolocating porpoises during prey capture," J Exp Biol 212, 3100–3107.
- Eysel, U. (**1993**). "Physiologische Grundlagen evozierter Potentiale. In: Jörg J, Hielscher H (Hrsg.) Evozierte Potentiale in Klinik und Praxis: Eine Einführung in VEP, SEP, AEP, MEP, P300 und PAP.", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 1-14.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Dear, R., Carder, D. A., and Ridgway, S. H. (2002). "Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun," J Acoust Soc Am 111, 2929–2940.
- Finneran, J. J., Carder, D. A., Schlundt, C. E., and Ridgway, S. H. (2005). "Temporary threshold shift in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) exposed to mid-frequency tones," J Acoust Soc Am 118, 2696.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Branstetter, B., and Dear, R. L. (2007). "Assessing temporary threshold shift in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) using multiple simultaneous auditory evoked potentials," J Acoust Soc Am 122, 1249–1264.
- Finneran, J. J. (**2009**). "Evoked response study tool: a portable, rugged system for single and multiple auditory evoked potential measurements," J Acoust Soc Am **126**, 491–500.
- Finneran, J. J., Carder, D. R., Schlundt, C. E., Dear, R. L. (2010). "Growth and recovery of temporary threshold shift at 3 kHz in bottlenose dolphins: Experimental data and mathematical models," J. Acoust. Soc. Am. 127 (5), 3256-3266.
- Goldstein, R., Aldrich W. A. (**1999**). "Evoked Potential Audiometry: Fundamentals and Applications." Allyn and Bacon, Boston.
- Hall, J. W., (1992). "Handbook of auditory evoked responses." Allyn and Bacon, Boston.
- Jewett, D. L. (**1970**). "Volume conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat.", Electroenceph Clin Neurophysiol **28**, 609-618.
- Jewett, D. L., and Williston, J. S. (**1971**). "Auditory-evoked far fields averaged from the scalp of humans." Brain **94**, 681-696.

- Hammond, P. S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K., Karczmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W. F., Scott, M. D., Wang, J. Y., Wells, R. S. and Wilson, B. (2008). *Phocoena phocoena* (Baltic Sea subpopulation). In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2.
  <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 19 December 2012.
- Hatch, L. T., and Wright, A. J. (**2008**). "A Brief Review of Anthropogenic Sound in the Oceans." Int J Comp Psych, **20**, 121-133.
- Heitmeyer, R. M., Wales, S. C., and Pflug, L. A. (2004), "Shipping noise predictions: capabilities and limitations." Mar Tech Soc J. 37, 54-65.
- Hildebrand, J. (2004), "Impacts of anthropogenic sound on cetaceans," Document SC/56/E13 International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- Houser, D. S., Gomez-Rubio, A., and Finneran, J. J. (**2008**). "Evoked potential audiometry of 13 Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus gilli*)," Mar Mammal Sci **24**, 28–41.
- Houser, D., and Finneran, J. (2006). "Variation in the hearing sensitivity of a dolphin population determined through the use of evoked potential audiometry," J Acoust Soc Am 120, 4090– 4099.
- Kastelein, R. A., Bunskoek, P., Hagedoorn, M., Au, W. W. L., and De Haan, D. (2002). "Audiogram of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals," J Acoust Soc Am 112, 334.
- Kastelein, R. A., Hoek, L., De Jong, C. A. F., and 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– 22.
- Kastelein, R. A., Steen, N., De Jong, C., Wensveen, P. J., and Verboom, W. C. (2011). "Effect of broadband-noise masking on the behavioral response of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) to 1-s duration 6-7 kHz sonar up-sweeps,"," J Acoust Soc Am 129, 2307–15.
- Kastelein, R. A., Gransier, R., Hoek, L., and Olthuis, J. (2012a). "Temporary threshold shifts and recovery in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after octave-band noise at 4 kHz," J Acoust Soc Am 132, 3525–37.
- Kastelein, R. A., Gransier, R., Hoek, L., and De Jong, C. A. F. (2012b). "The hearing threshold of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for impulsive sounds (L)," J Acoust Soc Am 132, 607– 10.
- Kastelein, R. A., Steen, N., Gransier, R., Wensveen, P. J., and De Jong, C. A. F. (2012). "Threshold received sound pressure levels of single 1-2 kHz and 6-7 kHz up-sweeps and down-sweeps causing startle responses in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*)," J Acoust Soc Am 131, 2325–33.
- Klishin, V. O., Popov, V. V, and Supin, A. Y. (**2000**). "Hearing capabilities of a beluga whale, *Delphinapterus leucas*," Aqua Mam **26**, 212–228.
- Lucke, K. (**2009**). "Auditory studies on marine mammals." Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. A., and 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(6), 4060–70. doi:10.1121/1.3117443

- Lenarz, T. (**1993**). "AEP in der objektiven Audiometrie: Electrical Response Audiometrie." In: Jörg J, Hielscher H (Eds) Evozierte Potentiale in Klinik und Praxis: Eine Einführung in VEP, SEP, AEP, MEP, P300 und PAP. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 127-143.
- Linnenschmidt, M., Wahlberg, M., and Hansen, J. (**2012**). "The modulation rate transfer function of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*)," J Comp Physiol A, doi: 10.1007/s00359-012-0772-8.
- Madsen, P. T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K., and Tyack, P. (**2006**), "Wind turbine underwater noise and marine mammals: Implications of current knowledge and data needs – Review. Mar Ecol Prog Ser, 309: 279-295.
- Mann, D., Hill-Cook, M., Manire, C., Greenhow, D., Montie, E., Powell, J., Wells, R., et al. (**2010**). "Hearing loss in stranded odontocete dolphins and whales," PloS one **5**, e13824.
- Maurer, K. (**1983**). "Akustisch evozierte Potentiale." In: Lowitzsch K, Maurer K, Hopf HC (Hrsg.) Evozierte Potentiale in der klinischen Diagnostik: visuell, akustisch, somatosensibel. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York: 178-284.
- Maurer, K., and Mika, H. (1983) "Early auditory evoked potentials (EAEP) in the rabbit. Normative data and effects of lesions in the cerebellopontine angle.", Electronceph Clin Neurophysiol 55, 583-593.
- Mooney, T. A., Nachtigall, P. E., and Yuen, M. M. L. (**2006**). "Temporal resolution of the Risso's dolphin, *Grampus griseus*, auditory system," J comp physiol A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology **192**, 373–80.
- Mooney, T., Nachtigall, P., Castellote, M., Taylor, K., Pacini, a, and Esteban, J. (**2008**). "Hearing pathways and directional sensitivity of the beluga whale, *Delphinapterus leucas*," J Exp Mar Biol Ecol **362**, 108–116.
- Mooney, T. A., Pacini, a. F., and Nachtigall, P. E. (**2009**). "False killer whale (*Pseudorca crassidens*) echolocation and acoustic disruption: implications for longline bycatch and depredation," Can J Zool **87**, 726–733.
- Nachtigall, P. E., Mooney, T. A., Taylor, K. A., Miller, L. A., Rasmussen, M. H., Akamatsu, T., Teilmann, J., et al. (**2008**). "Shipboard measurements of the hearing of the white-beaked dolphin *Lagenorhynchus albirostris*," Journal of Experimental Biology, doi: 10.1242/jeb.014118.
- Nedwell J., and Howell D. (**2004**), "A review of offshore windfarm related underwater noise sources." Cowrie Report, 544 R 0308: 1–57.
- Popov V. V., and Supin A. Y. (**1990a**), "Auditory brain stem responses in characterization of dolphin hearing." J Comp Physiol A **166**, 385-393.
- Popov, V. V., and Supin, A. Y. (1990b), "Electrophysiological studies of hearing in some cetaceans and manatee." In: Thomas JA, Kastelein RA (Hrsg.) Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence. Plenum Press, New York, 405-415.
- Popov, V. V., Supin, A. Y., Wang, D., Wang, K., Xiao, J., and Li, S. (**2005**). "Evoked-potential audiogram of the Yangtze finless porpoise *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis* (L)," J Acoust Soc Am **117**, 2728–2731.
- Popov, V. V., Supin, A. Ya., Pletenko, M. G., Tarakanov, M. B., Klishin, V. O., Bulgakova, T. N., and Rosanova, E. I. (**2007**). "Audiogram variability in normal bottlenose dolphins (*Tursiops truncates*)," Aqua Mam **33**(19), 24-33.
- Popov, V. V, Supin, A. Y., Wang, D., Wang, K., Dong, L., and Wang, S. (**2011a**). "Noise-induced temporary threshold shift and recovery in Yangtze finless porpoises *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*," J Acoust Soc Am **130**, 574–84.

- Popov, V. V, Klishin, V. O., Nechaev, D. I., Pletenko, M. G., Rozhnov, V. V, Supin, A. Y., Sysueva, E. V, et al. (2011b). "Influence of acoustic noises on the white whale hearing thresholds," Doklady biological sciences : proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, Biological sciences sections / translated from Russian 440, 332–4.
- Ridgway, S. H., Bullock, T. H., Carder, D. A., Seeley, R. L., Woods, D., Galambos, R. (**1981**), "Auditory brainstem response in dolphins." Proc Natl Acad Sci USA **78** (3), 1943-1947.
- Schlundt, C., Finneran, J., Carder, D., and Ridgway, S. (**2000**). "Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones," J Acoust Soc Am **107**, 3496–3508.
- Strain, G. M., Tedford, B. L., and Gill, M. S. (**2006**), "Brainstem auditory evoked potentials and flush visual evoked potentials in Vietnamese miniature pod-bellied pigs." Res Vet Sci **80**, 91-95.
- Stapells, D. R., Makeig, S., and Galambos, R. (**1987**), "Auditory steady-state responses: threshold prediction using phase coherence," Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol **67**, 260-270.
- Sundermeyer, J. (**2006**), "Untersuchungen zur Optimierung der AEP-Methode an Robben." Diplomarbeit. Institut für Polarökologie, Forschungs- und Technologiezentrum Westküste, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Szymanski, M. D., Supin, A. Y., Bain, D. E., and Henry, K. R. (**1998**), "Killer whale (*Orcinus orca*) auditory evoked potentials to rhythmic clicks," Mar Mam Sci **14** (4), 676-691.
- Szymanski, M. D., Bain, D. E., Kiehl, K., Pennington, S., Wong, S., and Henry, K.R. (**1999**), "Killer whale (*Orcinus orca*) hearing: Auditory brainstem response and behavioral audiograms," J Acoust Soc Am **106** (2), 1134-1141.
- Teilmann, J., Sveegaard, S., and Dietz, R. (2011), "Status of a harbour porpoise population evidence of population separation and declining abundance." P. 75-84 in: Sveegaard S: Spatial and temporal distribution of harbor porpoises in relation to their prey. PhD dissertation. Aarhus University, Denmark
- Teilmann, J., and Carstensen, J. (2012). "Negative long term effects on harbour porpoises from a large scale offshore wind farm in the Baltic—evidence of slow recovery," Environ Res Let 7, 045101 (10 pp).
- Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Skov, H., and Rasmussen, P. (**2009**). "Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.))," J Acoust Soc Am **126**, 11–4.
- Verfuß, U. K., Miller, L. A., and Schnitzler, H.-U. (**2005**). "Spatial orientation in echolocating harbour porpoises (*Phocoena phocoena*)," J Exp biol **208**, 3385–3394.
- Verfuß, U. K., Miller, L. A., Pilz, P. K. D., and Schnitzler, H.-U. (**2009**). "Echolocation by two foraging harbour porpoises (*Phocoena phocoena*)," J Exp biol **212**, 823–34.
- Yuen, M. M. L. M. M. L., Nachtigall, P. E. P. E., Breese, M., and Supin, A. Y. A. Y. (2005). "Behavioral and auditory evoked potential audiograms of a false killer whale (*Pseudorca crassidens*)," J Acoust Soc Am 118, 2688.

# 1.9 Projektveröffentlichungen

Innerhalb des Projektes beteiligte sich das ITAW/FTZ entsprechend der Anlage zum Zuwendungsbescheid vom 13.07.2009 FKZ 0325117 an Statusseminaren, Workshops und Sitzungen des Arbeitskreises Hydroschall bzw. "Schallausbreitung" und stand dem BMU nachgeordneten Behörden beratend zur Seite. Die Internetdarstellung des Projektes ist unter <u>http://www.tiho-hannover.de/kliniken-institute/institute/institut-fuer-terrestrische-und-aquatische-wildtierforschung/aquatische-wildtierforschung-buesum/forschung/aktuelle-projekte/validierung-der-akustischen-belastungsgrenze-von-schweinswalen-fuer-wea-rammschall/ zu finden.</u>

Die Methode und vorläufige Ergebnisse des Projektes wurden auf der ESOMM – Konferenz in Amsterdam (Niederlande) 2011 sowie auf der ECS-Konferenz in Setubal (Portugal) 2013 vorgestellt.



#### Autorenliste und Titel des Posters:

Sundermeyer, J., Lucke, K., Driver, J., Dähne, M., Teilmann, J., Wahlberg, M. & Siebert, U., 2011. Validation of the auditory tolerance limit in harbour porpoises (Phocoena phocoena) for exposure to construction noise from windmill turbines. ESOMM-2011 4th Conference on the Effects of Sound in the Ocean on Marine Mammals. Amsterdam, The Netherlands, 5-9 September 2011 (Poster).

Weiterhin wurden die Methode und die Ergebnisse auf dem "PhD-Course on the methodological problems encountered when studying sound communication in air (including the sonic, infra-sonic and ultra-sonic ranges and air-currents), in water, and in solids. Held at Fjord&Bælt, Kerteminde and SDU, Søgaard on August 12th-25th 2011. (Course on Acoustic Communication )" vorgestellt und diskutiert.

Für die Konferenz der European Cetacean Society 2013 wurde ein Abstract eingereicht, um die Freilandaudiogramme zu präsentieren. Die Präsentation des Posters erfolgte im April 2013.

#### Autorenliste und Titel des Posters:

Michael Dähne, Andreas Ruser, Janne K. Sundermeyer, Klaus Lucke, Dorian S. Houser, Jonas Teilmann, Ursula Siebert. Estimating hearing Thresholds of Harbour Porpoises (Phocoena phocoena) in the Wild. 27th Conference of the European Cetacean Society, Setubal, Portugal, 8-10.04.2013 (Poster).

# Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Endbericht					
3. Titel Validierung der akustischen Belastungsgrenze von Schweinswalen für WEA-Rammschall						
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr. Ursula Siebert, Dr. Andreas Ruse Sundermeyer, Dr. Klaus Lucke, Katharina V	r, Dipl. Ing. Michael Dähne, Dipl. Biol. Janne Witte, Ole Mever-Klaeden	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2012				
		6. Veröffentlichungsdatum 31.12.2012				
		7. Form der Publikation				
8. Durchführende Institution(en) (Name, Ad	dresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution				
Wildtierforschung Christian-Albrechts-I Iniversität zu Kiel / For	rschungs- und Technologiezentrum	10. Förderkennzeichen 0325117				
Westküste		11. Seitenzahl 63				
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)		13. Literaturangaben 61				
Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 12 06 29	14. Tabellen 4					
53107 Bonn		15. Abbildungen 26				
16. Zusätzliche Angaben						
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)						
18. Kurzfassung						
Der experimentelle Ansatz der vorliegenden Untersuchungen sah die konkrete Validierung des Belastungsgrenzgrenzwertes bei der Schallenergie von 164 dB re 1 µPa <sup>2</sup> s vor. Zum einen sollte die Untersuchung des Belastungsgrenzwertes in Bezug auf die kumulative Wirkleistung von tonalen Anregungen an einem sich in Menschenhand befindlichen Schweinswal im Fjord und Baelt Zentrum in Dänemark durchgeführt werden. Aufgrund von Änderungen und Verzögerungen bezüglich der Genehmigung während der Projektlaufzeit konnte die Untersuchung nicht mehr durchgeführt werden. Zum anderen sollte die Hörempfindlichkeit an frei lebenden Schweinswalen untersucht werden. Die Messmethode zur Ermittlung der Hörschwelle basierte auf einer nichtinvasiven Methode zur der Ableitung akustisch evozierter Potentiale (AEP). Zugriff auf freilebende Schweinswale bestand im Bereich der dänischen Beltsee, wo die Tiere in Bundgarnnetzen lebend beigefangen werden. Der gesamte Ablauf der Messungen im Freiland war logistisch sehr komplex. Zeitliche Verzögerungen mussten während der gesamten Prozedur soweit wie möglich vermieden werden, um den Schweinswal nicht unnötig zu belasten. So konnten in 2011 erstmals Audiogramme an Schweinswalen im Freiland erhoben und ein erster TTS-Versuch durchgeführt werden. Insgesamt konnten an vier freilebenden Schweinswalen audiometrische Untersuchungen durchgeführt und Basisaudiogramme gemessen werden. Nach den ersten zwei Basis-Audiogramme wurde der erste Versuch zur Auslösung einer TTS unternommen. Die Ergebnisse dieses Versuches führten nicht zu einer beweiskräftigen Aussage, ob sich die Hörschwelle erhöht hatte oder nicht. Weitere Untersuchungen wurden auch im SOS Dolfinarium in Harderwijk an Tieren in Menschenhand durchgeführt. Bei den Untersuchungen wurden sechs Audiogramme an Schweinswalen ermittelt. In diesem Projekt konnte die Methode zur Messung von Audiogrammen an freilebenden Schweinswalen Ergebnisse einehalb Stunden. Die Schweinswalen etabliert werden. Die Messzeit zur Ermittlung eines vollen Audiogrammes betru						
Anzani an Basis-Audiogrammen ist nach dieser Studie noch klein und sollte in der Zukunft weiter erhöht werden um ein umfassendes Verständnis der Hörfähigkeit des Schweinswales zu gewinnen. 19. Schlagwörter Schweinswale, Phocoena phocoena, Hörfähigkeit, Akustisch Evozierte Potential (AEP). Audiogramme. Temporarv Threshold Shift						
(TTS), Unterwasserschall 20. Verlag	21. Preis					

# **Document Control Sheet**

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication)	
3. title Validation of the acoustic limit of porpoises for WEA-pile driving		
4. author(s) (family name, first name(s)) Prof. Dr. Ursula Siebert, Dr. Andreas Ruser, Dipl. Ing. Michael Dähne, Dipl. Biol. Janne Sundermeyer, Dr. Klaus Lucke, Katharina Witte, Ole Meyer-Klaeden		5. end of project 31.12.2012
		6. publication date 31.12.2012
		7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) University of Veterinary Medicine Hannover, Foundation / Institute for Terrestrial and Aquatic Wildlife Research		9. originator's report no.
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel / Re	search and Technology Centre	10. reference no. 0325117
		11. no. of pages 63
12. sponsoring agency (name, address)		13. no. of references 61
Naturschutz und Reaktorsicherhei Postfach 12 06 29	t (BMU)	14. no. of tables 4
53107 Bonn		15. no. of figures 26
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
<ul> <li>18. abstract</li> <li>The present investigations used an experimental approach to validate the threshold value for sound energy of 164dB re 1 µPa<sup>2</sup>s. Firstly, the threshold value in respect of the cumulative effect of tonal stimuli presented to a harbour porpoise in human care at Fjord and Baelt Center, Denmark, was to be investigated. As a consequence of modifications and delays in the permit process during the project, the investigation could no longer be executed. Secondly, auditory sensitivity of free-ranging harbour porpoises was to be investigated. The methodology for determination of hearing thresholds is based on a non-invasive method for deriving auditory evoked potentials (AEP). Access to free-ranging harbour porpoises is possible in the Danish Belt Sea, where animals are by-caught alive in gill nets. The entire process of conducting field measurements required complex logistics. Delays had to be avoided during the procedure to reduce unnecessary stress for the harbour porpoises. In 2011 initial audiograms were collected from free-ranging harbour porpoises and a preliminary TTS trial conducted. Audiometric investigations were conducted and baseline audiograms measured on four free-ranging harbour porpoises. After the first two baseline audiograms had been obtained, the first trial to trigger a TTS was performed. Results of this experiment did not provide reliable information about a rise in the hearing threshold. Further experiments were conducted on animals under human care at the SOS Dolfinarium in Harderwijk. Six audiograms were created during the specient of baseline audiograms after this study is small und should be increased to obtain a more comprehensive understanding of the hearing abilities of harbour porpoises.</li> <li>19. keywords</li> <li>19. keywords</li> <li>19. keywords</li> <li>20. publisher</li> </ul>		
20. publisher		21. price