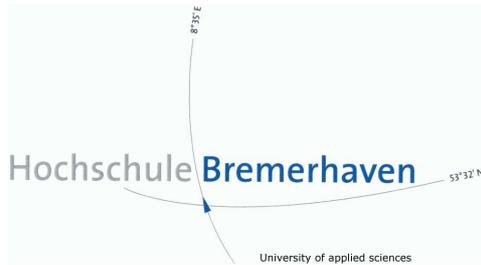


Bioakustische Aufnahmen mit PALAOA-S: Datenanalyse und Weiterentwicklung des Systems



**Bachelor-Arbeit Svenja Zakrzewski
November 2010**

Foto: Deckblatt – Ilse Van Opzeeland



Bioakustische Aufnahmen mit PALAOA-S: Datenanalyse und Weiterentwicklung des Systems

Bachelor Arbeit

im Studiengang Maritime Technologien
an der Hochschule Bremerhaven
in Kooperation mit dem Alfred-Wegener-Institut

vorgelegt von

Svenja Zakrzewski

Hartwigstraße 14

27574 Bremerhaven

Erster Gutachter: Prof. Dr. Oliver Zielinski

Zweite Gutachterin und Betreuerin: Dr. Ilse Van Opzeeland

November 2010

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Svenja Zakrzewski, dass die vorliegende Arbeit von mir eigenständig verfasst wurde und dass keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen verwendet wurden.

Svenja Zakrzewski

Datum

ZUSAMMENFASSUNG

Bisher ist wenig über die Abundanz, die Verbreitung und das Wanderverhalten von Meeressäugern in Polarregionen bekannt, da Eisbedeckung und klimatische Bedingungen saisonal den Zugang für eine Datenerhebung einschränken. Meeressäuger sind zunehmend gefährdet durch klimatische Veränderung und diverse anthropogene Eingriffe (z.B. Unterwasserlärmbelastung). Daher ist es wichtig, unser Wissen über die grundlegende Ökologie dieser Tiere zu erweitern, um zu verstehen welche Folgen potentiell aufkommende Veränderungen für diese Tiere haben könnten. Meeressäuger produzieren Rufe und Klicks in verschiedenen Verhaltenssituationen (z.B. Kommunikation, Orientierung). Daher werden zur Beobachtung von Meeressäugern in polaren Regionen passive akustische Monitoring Systeme (PAM) eingesetzt.

Diese Arbeit befasst sich mit einer speziellen PAM-Einheit und deren Einsatz zur akustischen Beobachtung von Meeressäugern: **PALAOA-S** (Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean - satellite station). Die Arbeit ist thematisch in zwei Abschnitte unterteilt:

1) Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse bioakustischer Daten, die mit PALAOA-S im Dezember 2008 im antarktischen Ozean aufgezeichnet wurden. Die akustischen Daten werden über Spektrogrammdarstellungen manuell und mit einer automatischen Detektionssoftware ausgewertet und auf folgende Fragestellungen hin untersucht: (a) Welche Meeressäuger wurden mit PALAOA-S detektiert? (b) Verändert sich das vokale Verhalten von Meeressäugern bei Lärmeintrag durch ein Schiff? (c) Wie effektiv ist die automatische Datenanalyse im Vergleich zur Manuellen? (d) Was liefert ein Vergleich zwischen akustischen und visuellen Meeressäuger-Monitoring-Methoden?

2) Der zweite Teil befasst sich mit der Hardware von PALAOA-S und wie diese für zukünftige Anwendungen weiterentwickelt werden kann. Fragestellungen sind: (a) Wie können systeminterne Störgeräusche minimiert werden? (b) Wie kann die Aufnahmezeit verlängert werden?

Die Ergebnisse zu **Teil 1** zeigen, dass der Einsatz von PALAOA-S als mobile akustische Monitoring-Einheit in polaren Regionen sinnvoll ist. Es konnten vier Robbenarten und drei Walarten detektiert werden. Im Zusammenhang mit Schiffslärm sind keine Aussagen bezüglich Veränderungen der vokalen Aktivität der Tiere möglich, da nicht differenziert werden kann, ob Schiffslärm die Tierrufe maskiert oder es tatsächlich zu Verhaltensreaktionen kam. Der Vergleich der zwei Datenanalyse-Techniken zeigt, dass automatische Detektionswerkzeuge sinnvoll zur Erkennung der akustischen Präsenz von Robben sind. Der Vergleich zwischen akustischen und visuellen Monitoring-Methoden verdeutlicht, dass akustisch die Rufe von Meeressäugern erfasst wurden die nicht durch visuelle Sichtungsmethoden feststellbar waren, da akustische Methoden Meeressäuger über größere Distanzen detektieren können.

Die Ergebnisse zu **Teil 2** der Arbeit zeigen, dass systeminterne Störgeräusche durch eine Veränderung der Signalübertragung minimiert werden können. Das Problem einer verkürzten Aufnahmedauer kann auf zweierlei Weise gelöst werden: erstens durch eine elektronische Modifikation des Aufnahmeapparates, zweitens durch den Einsatz eines neuen Typus Aufnahmeapparates.

SUMMARY

To date little is known about the distribution, abundance, and migratory patterns of marine mammals within the Southern Ocean due to climatic conditions and ice cover seasonally restricting access to the area. As climatic trends are rapidly altering the polar environment, it is vital to improve our knowledge of marine mammals to understand the effects that changes in habitat might have on their behaviour and ecology. Given that marine mammals produce sound in many different behavioural contexts (e.g. communication, orientation), passive acoustic monitoring (PAM) techniques have become an essential tool to study these species.

This thesis is about a specific type of PAM unit: **PALAOA-S** (PerenniAL Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean satellite station) and how it can be used to monitor marine mammals. The focus of this thesis is twofold:

1) The first part is about the analyses of the acoustic data collected with PALAOA-S in December 2008 in the Antarctic Ocean. The acoustic data are analysed manually using spectrograms and additionally inspected with an automatic detection tool. The following research questions are addressed: (a) Which marine mammals could be detected in the PALAOA-S recordings? (b) How does vocal behaviour of marine mammals change in the presence of ship noise? (c) How effective is the automatic detection tool in comparison with the manual detection? (d) How does the acoustic PALAOA-S dataset compare to visual observation data in terms of species detected?

2) The second part is concerned with the hardware of PALAOA-S and how the system can be improved for future applications. The questions that addressed here are: (a) How can the self-noise of the recording device be minimized? (b) How can the recording duration be extended?

The results of **part 1** show that PALAOA-S can successfully be used as an acoustic monitoring unit for marine mammals. Calls of four pinniped and three cetacean species were detected in the PALAOA-S recordings. Based on the PALAOA-S data it is not possible to determine how vocal behaviour changed due to ship noise as it is not possible to differentiate if the ship noise masks the animal calls, or if the animals showed an actual change in (vocal) behaviour. The comparison of the two data-analysis techniques shows that the automatic detection tool could effectively be used to assess the acoustic presence of pinnipeds. The comparison between acoustic and visual monitoring techniques furthermore illustrates that PALAOA-S recorded calls of marine mammals which could not be observed during visual censuses. This is likely due to the fact that acoustic monitoring tools can detect marine mammals over greater distances.

The results of **part 2** show that the self-noise of the recording device could be minimized by changing the way the signal is transmitted to the acoustic recorder. The recording duration could either be extended by an electrical modification of the recording instrument or by the use of a new type of recording device.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	i
SUMMARY.....	ii
EINLEITUNG	1
1. PALAOA-S	1
2. Erforschung von Meeressäugern in polaren Gebieten: Warum?	2
3. Methoden zur Erforschung von Meeressäugern.....	3
3.1 Sichtungsmethoden	3
3.2 Bioakustische Methoden.....	4
3.3 Einsatz von PAM Techniken in polaren Regionen	6
3.4. Bioakustische Datenanalyse	7
4. Warum produzieren Meeressäuger Töne?	8
4.1 Die Benutzung von Rufen bei Robbenarten.....	8
4.2 Die Benutzung von Rufen bei Walarten	9
5. Beschreibung des Projektes und Erklärung der Zweiteilung der Arbeit.....	10
5.1 TEIL 1	11
5.2 TEIL 2	11
TEIL 1: ANALYSE DER BIOAKUSTISCHEN DATEN DES PALAOA-S EXPERIMENTS 2008.....	13
1. <i>METHODEN</i>	13
1.1 Bioakustische Aufnahmen	13
1.2 Analyse der bioakustischen Daten	15
1.2.1 Manuelle Analyse.....	15
1.2.2 Automatische Analyse	16
1.3 Distanzberechnung.....	17
1.4 Sichtsungsdaten.....	17
1.5 Darstellung der Ergebnisse	18
2. <i>ERGEBNISSE</i>	21
2.1 PALAOA-S-Ausbringungen	21
2.2 Artenspektrum	23
2.2.1 Robben (Pinnipedia)	23
2.2.2 Wale (Cetacea).....	23
2.2.3 Bio-duck.....	24
2.3. Detektierte Rufanzahlen und Schiffsnähe zur PALAOA-S-Kiste	25
2.3.1 PALAOA-S-Auslegung A1: 13.12.08.....	25
2.3.2 PALAOA-S-Auslegung A2: 15.12.08.....	26
2.3.3 PALAOA-S-Auslegung A3: 20./21.12.2008.....	27
2.3.4 PALAOA-S-Auslegung A4: 22./23.12.2008.....	29
2.4 Normalisierte Rufanzahlen: Vergleich mit PALAOA	32
2.4.1 Weddellrobben.....	32
2.4.2 Krabbenfresser	32
2.4.3 Rossrobben.....	33
2.4.4 Seeleoparden.....	34
2.5 Vergleich von manueller und automatischer Datenanalyse.....	37
2.5.1 Krabbenfresser, Auslegung A3	37
2.5.2 Rossrobben, Auslegungen A3 und A4	39
2.5.3 Seeleoparden, Auslegungen A1 bis A4	41

2.6 Vergleich der akustischen PALAOA-S-Daten mit Sichtungsdaten	45
2.6.1 Daten vom 13.12.2008.....	45
2.5.2 Daten vom 15.12.2008.....	45
2.5.3 Daten vom 20.12.2008.....	46
2.5.4 Daten vom 21.12.08.....	46
2.5.5 Daten vom 22.12.08.....	47
2.5.6 Daten vom 23.12.08.....	48
3. <i>DISKUSSION</i>	49
3.1 Artenspektrum	49
3.2. Einfluss von Schiffslärm auf die Vokalisationsaktivität von Meeressäugern .	51
3.2.1 Robben (Pinnipedia)	51
3.2.2 Wale (Cetacea).....	53
3.2.3 Logistische Probleme bei der Durchführung des Schiffexperimentes	54
3.3 Vergleich von manueller und automatischer Analyse.....	55
3.4 Vergleich der akustischen PALAOA-S-Daten mit Sichtungsdaten	56
4. <i>SCHUSSFOLGERUNGEN</i>	57
5. <i>AUSBLICK</i>	59
TEIL 2: PALAOA-S - WEITERENTWICKLUNG DES SYSTEMS.....	62
1. Beschreibung des existierenden Systems und deren Probleme	62
2. Einsatz eines neuen Typus Aufnahmegerät.....	63
3. M-Audio Mikrotrack II: Eigenrauschen und Signal – Rausch- Abstand.....	64
3.1 Methoden.....	64
3.2 Ergebnisse.....	65
4. M-Audio Mikrotrack II: 2 GB Problemlösung.....	66
4.1 Methoden.....	66
4.2 Ergebnisse.....	67
5. Zoom H4n-Rekorder: Kältetest.....	68
5.1 Methoden.....	68
5.2 Ergebnisse.....	69
6. Zoom H4n-Rekorder: Eigenrauschen und Signal – Rausch- Abstand.....	70
6.1 Methoden.....	70
6.2 Ergebnisse.....	71
7. Fazit: Vergleich M-Audio Mikrotrack II und Zoom H4n-Rekorder	72
<i>Danksagung</i>	73
<i>Literaturverzeichnis</i>	75
<i>Tabellenverzeichnis</i>	79
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	79
<i>ANHANG</i>	<i>i</i>

EINLEITUNG

1. PALAOA-S

PALAOA-S ist eine portable, passiv-akustische Aufnahmeeinheit, welche von der Abteilung Ozean Akustik des Alfred Wegener Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) entwickelt wurde. PALAOA-S erhielt diesen Namen auf Grund der Tatsache, dass es erstmals als Satelliten-Station der PALAOA (Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean, S für Satellit) Horchstation verwendet wurde. PALAOA ist ein stationäres akustisches Observatorium, das sich auf dem antarktischen Eisschelf bei 70°31'S 8°13'W befindet und seit 2005 über das ganze Jahr hinweg akustische Daten von Meeressäugern liefert (Boebel *et al.*, 2006, siehe auch www.awi.de/acoustics).

Im Gegensatz zu PALAOA kann PALAOA-S Meeressäuger nicht nur an einem Ort des Südlichen Ozeans beobachten, sondern von beliebigen Standorten aus betrieben werden. PALAOA-S kann daher als räumliche Erweiterung von PALAOA betrachtet werden mit der Möglichkeit, die vokale Aktivität und die Verbreitungsmuster von Meeressäugern festzustellen. Vorteil von PALAOA-S ist, dass die Aufnahmeeinheit mobil und flexibel in ihrer Anwendung ist. Die PALAOA-S-Einheit kann im Zusammenhang verschiedener wissenschaftlicher Fragestellungen genutzt werden, beispielsweise: Wie verändert sich das Vokalisationsverhalten von Meeressäugern bei z.B. von Schiffen verursachten Lärm? Wenn drei PALAOA-S-Einheiten in einem Dreieck angeordnet sind, können Aufnahmen genutzt werden, um Fragestellungen zu Unterwasserbewegungsmustern und Fortpflanzungsstrategien (z.B. die Beanspruchung von Unterwasserterritorien) von Robbenarten zu adressieren. Dabei können die Robben durch zeitliche Unterschiede der eingehenden Töne in den Aufnahmen gezielt lokalisiert werden. Ein solcher Einsatz ist für den Süd-Sommer 2011/12 geplant. Dabei sollen auch einige PALAOA-S-Einheiten in der Nähe von PALAOA ausgebracht werden, um die Reichweite von PALAOA abzuschätzen (Van Opzeeland, 2010).

Eine ausführliche Darstellung des PALAOA-S Systems wird später im Text gegeben.

2. Erforschung von Meeressäugern in polaren Gebieten: Warum?

Meeressäuger sind zunehmend gefährdet durch Klimaveränderung und diverse anthropogene Eingriffe, wie zum Beispiel kommerzieller Walfang, Überfischung, Umweltverschmutzung, Lebensraumzerstörung und zunehmende Unterwasserlärmbelastung. Um die Konsequenzen dieser Bedrohungen für das Leben der Meeressäuger zu verstehen und um Schutzmaßnahmen zu entwickeln, ist es essentiell, das Wissen um die Beziehung zwischen Umweltveränderung und dem Leben der Meeressäuger zu erweitern.

Meeressäuger haben für die Erkennung von negativen Umwelteinflüssen eine besondere Bedeutung, da sie über eine lange Lebenserwartung und große Fettreserven verfügen, die die Umweltgifte speichern können. Daher können Meeressäuger als Anzeigeorganismus für anthropogen verursachte Veränderungen in der marinen Umwelt verstanden werden (Bossart, 2006). Bis dato sind die polaren Regionen gegenüber den gemäßigten und tropischen Breiten von menschlichen Einflüssen weitestgehend verschont geblieben (Halpern *et al.*, 2008). Dies lässt sich auf ihre Lage fernab menschlicher Ballungsräume zurückführen. Dennoch wird die Bedrohung der arktischen Umwelt durch neue technische Entwicklungen, fortschreitende Exploration von Rohstoffen sowie die klimatischen Veränderungen, zunehmend größer. Dieses verdeutlicht die Notwendigkeit, die Forschung verstärkt auch auf Meeressäuger in polaren Regionen zu richten.

Die arktischen Meere dienen vielen einheimischen und saisonal vorkommenden Arten als Lebensraum. Zum Beispiel halten sich Robben (Pinnipedia) das ganze Jahr über dort auf. Es wird vermutet, dass sich sogar einige Wal (Cetacea) - Arten während ihrer Fortpflanzungsphase im Südwinter in der Antarktis aufhalten, während andere in diesen Regionen nur den Südsommer verbringen. Eine besondere Bedeutung hat das Eis, beispielsweise für Robben. Es liefert ihnen einen Platz zur Erholung, zum Schutz vor Feinden und dient einigen Robbenarten als Aufzuchtort für die Jungen. Ein Rückgang der Eisbedeckung würde vor allem für diese Meeressäuger drastische Folgen haben. Darüber hinaus halten die produktiven polaren Gewässer ein reichhaltiges Nahrungsangebot bereit. Das üppige Nahrungsangebot wird auch von vielen nur saisonal präsenten Tieren genutzt. Veränderungen des polaren Öko-

systems können daher weitreichende Folgen haben, auch über die Zeit hinaus die diese Meeressäuger in polaren Gewässern verbringen.

Daher ist es wichtig, den aktuellen Zustand der polaren Regionen und ihrer Bewohner zu kennen, um potentiell aufkommende Veränderungen und deren Konsequenzen für das Ökosystem abschätzen zu können.

Bisher ist wenig über die Ausbreitung, die Anzahl und das Wanderverhalten der Meeressäuger in Polarregionen bekannt. Das liegt daran, dass klimatische Bedingungen saisonal den Zugang für eine Datenerhebung einschränken. Zur Lösung dieses Problems müssen neue Methoden entwickelt werden, um unser Wissen über die grundlegende Ökologie der Meeressäuger in ihrem polaren Lebensraum zu erweitern und den Zusammenhang zwischen ihrer räumlichen und zeitlichen Verbreitung und den gegebenen Umweltfaktoren zu verstehen. Im nächsten Kapitel werden verschiedene Methoden zur Erforschung der Meeressäuger diskutiert.

3. Methoden zur Erforschung von Meeressäugern

3.1 Sichtungsmethoden

Traditionell ist es üblich, Daten über die Abundanz und Ausbreitung von Meeressäugern durch visuelle Sichtungen von Schiffen, Küstenstationen und von Flugzeugen zu erheben. Hierbei werden die Tiere anhand von sichtbaren Körperteilen an der Meeresoberfläche, ihrem Blas oder durch hinterlassene ‚*Footprintes*‘ von den Beobachtern erkannt (Erbe, 2000; Tabelle 1). ‚*Footprint*‘ meint hier ein spezielles glattes Muster auf der Wasseroberfläche, das Wale mit ihrer Schwanzflosse beim Tauchen an der Wasseroberfläche hinterlassen.

Es zeigt sich jedoch, dass visuelle Sichtungsmethoden gewisse Nachteile mit sich bringen.

Erstens ist die Möglichkeit Sichtsungsdaten zu erheben zeitlich und räumlich begrenzt. Der Observator kann die Meeressäuger nur während der relativ kurzen Zeit, die diese an der Meeresoberfläche verbringen, detektieren und identifizieren. Einige Arten

verbringen nur ca. 10 % ihrer Lebenszeit an der Wasseroberfläche (Erbe, 2000). Zusätzlich ist die Beobachtung durch das menschliche Gesichtsfeld eingeschränkt, von Tageslicht abhängig und nur während relativ guter Wetterbedingungen möglich.

Zweitens kommen gewisse Faktoren hinzu, welche das Ergebnis beeinflussen können. Die Anzahl der gezählten Tiere kann durch Faktoren wie Übermüdung und die unterschiedliche Erfahrung der beobachtenden Personen stark beeinflusst werden. Witterungsverhältnisse wie Nebel oder blendende Reflektionen auf der Eis- oder Wasseroberfläche können den Beobachtungsradius stark beeinträchtigen und damit die Anzahl der gezählten Tiere herabsetzen. Aber auch durch die Präsenz eines Beobachtungsbootes oder -Flugzeuges entsteht eine Beeinflussung, die zum Vermeidungsverhalten der Meeressäuger führen kann. (Salvado *et al.*, 1992).

Drittens sind Sichtungsdaten schwer zu vergleichen, da diese zeitlichen und räumlichen Unterschieden in der Erhebung unterliegen und durch die oben beschriebenen Beeinflussungen variieren können.

Viertens können Sichtungsmethoden sehr kostspielig und zeitintensiv sein, da ein Beobachtungsteam sowie eine Beobachtungsplattform benötigt werden.

Dennoch haben Sichtungsmethoden auch entscheidende Vorteile. Im Vergleich zu anderen Verfahren, die keine Informationen über die absolute Anzahl der Tiere erbringen, können Sichtungsmethoden Informationen über ein absolutes Minimum von Meeressäugern liefern (Erbe, 2000; Tabelle 1). Des Weiteren haben sich die Sichtungsmethoden auch im Hinblick auf die Kalkulation übersehener Meeressäuger verbessert, durch standardisierte Zähltechniken, Biometrik und Biostatistiken (Erbe, 2000).

3.2 Bioakustische Methoden

Auf Grund der Tatsache, dass die meisten Meeressäuger sehr vokal sind und Töne in vielen verschiedenen Verhaltenssituationen produzieren, sind passive akustische Monitoring (PAM) Techniken ein plausibles Instrumentarium, um diese Tiere zu erforschen. Im nächsten Kapitel wird erläutert, warum Meeressäuger Klänge produzieren.

Durch bioakustische Methoden können einige Probleme der visuellen Sichtungsmethoden umgangen werden:

Erstens sind akustische Methoden weniger zeitlich und räumlich eingeschränkt. Die Tiere werden Unterwasser detektiert, wo viele Meeressäuger die meiste Zeit ihres Lebens verbringen. Akustische Instrumente können Daten unabhängig vom Tageslicht, Wetter-, Seegangs- und Eisbedingungen erheben. Die Meeressäuger können, im Vergleich zu Sichtungsmethoden, über größere Distanzen hinweg detektiert werden und die Detektion ist quasi omnidirektional (Tabelle 1).

Zweitens sind akustische Beobachtungsmethoden unabhängig vom einem Beobachter, da die Detektion und Lokalisierung automatisierbar ist.

Drittens sind akustisch gewonnene Daten untereinander vergleichbar, weil diese identische Zeiträume abdecken können, wiederholbar und objektiv sind (Erbe 2000).

Viertens können akustische Methoden kosteneffektiver sein als visuelle. Abhängig vom eingesetzten akustischen Instrumentarium ist während der Datenerhebung Personal und Schiffszeit nicht permanent notwendig (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich von visuellen und akustischen Beobachtungsmethoden. (Van Opzeeland, 2010)		
<i>Factor of influence</i>	<i>Visual observations</i>	<i>Acoustic observations</i>
Sensitivity to light, weather, ice conditions	Yes	No
Cue	Surface (e.g., blow, foot print, body part)	Underwater (e.g., calls, clicks)
Detection range	< 3 km	> 10 km
Directionality	Directional	Quasi-omnidirectional
Personnel	Intensive	Extensive
Potential for bias	Subjective	Objective, Repeatable, Comparable
Identification of individuals and groups	Yes	Difficult
Counts of absolute number of animals in groups observed	Yes	No - Acoustic absence does not always mean physical absence
Potential to recount same individual	Yes	Yes

Dennoch sollte man sich bewusst sein, dass akustische Beobachtungsmethoden darauf angewiesen sind, dass von Meeressäugern tatsächlich akustische Signaturen

produziert werden. Meeressäuger sind in verschiedenen Verhaltenssituationen unterschiedlich vokal aktiv. Daher ist es wichtig diese zu verstehen, um akustische Daten zu interpretieren. Die Tatsache, dass akustische Abwesenheit nicht notwendigerweise physikalische Abwesenheit bedeutet, macht dies deutlich. Zudem sind die Identifikation von Individuen und die Abschätzung der Größe der Kolonie oder Herde mit akustischen Daten in den seltensten Fällen möglich. Häufig fällt es schwer, eine Abschätzung der Anzahl der Tiere zu machen, da es selten festzustellen ist, ob es ein oder mehrere Individuen sind, die die Rufe produzieren. Dieses wiederum erhöht das Risiko der Doppeltzählung der Tiere. Daher ist es problematisch mit Hilfe von akustischen Beobachtungen die absolute Anzahl von Tieren zu ermitteln, ohne ein generelles Verständnis vom vokalen Verhalten des einzelnen Tieres zu haben.

3.3 Einsatz von PAM Techniken in polaren Regionen

In polaren Regionen herrschen meist raue Wetterbedingungen, die die Sichtungsmethoden erheblich beeinträchtigen können. Im Winter ist durch das Eis der Zugang zu vielen Polarregionen begrenzt und die visuellen Sichtungsmöglichkeiten durch das eingeschränkte Tageslicht limitiert. Daher ist es mühsam in solch abgelegenen Regionen ganzjährig Daten von Meeressäugern nur durch visuelle Sichtungsmethoden zu erheben.

Mit bioakustischen Methoden können Daten rund um die Uhr und unabhängig von Sichtungsverhältnissen aufgezeichnet werden. Des Weiteren wird die saisonale Zugangsbegrenzung der polaren Region damit umgangen, dass PAM automatisch operieren kann. So ermöglicht PAM eine große zeitliche und räumliche Datensammlung.

Wie im zweiten Kapitel ausgeführt, wird der Lebensraum der Meeressäuger in den arktischen Breiten zunehmend durch klimatische- und andere menschliche Einflüsse verändert. Daher ist PAM ein sinnvolles Instrument, um Daten von Meeressäugern über deren Präsenz, Bewegung, saisonale Verteilungsmuster, Verhaltensänderung im Hinblick auf Umweltveränderung (durch Kombination von akustischen und Umwelt Daten, Stafford *et al.*, 2009) und deren Reaktion auf anthropogene Einflüsse zu erlangen, wie zum Beispiel Unterwasserlärm (Di Iorio & Clark, 2010).

3.4. Bioakustische Datenanalyse

Mit der Möglichkeit Meeressäuger akustisch, kontinuierlich und über lange Zeitspannen hinweg (bis zu drei Jahren, z.B. akustische Instrumente in Verankerungen) und sogar live (PALAOA, Boebel *et al.*, 2006) zu observieren, entstehen große Datenmengen, die analysiert werden müssen. Häufig geschieht dieses manuell. Dafür sind Spezialisten nötig, die die Aufnahmen anhören und / oder visuell über Spektrogrammdarstellungen auswerten. Bei manuellen Analysen werden akustische Signaturen einem Tier zugeordnet, von dem bekannt ist, dass es diesen Ton produziert. Akustische Signaturen können auch zwischen Tieren der gleichen Art variieren. Manuelle Analysen haben den Vorteil, dass Tierrufe trotz Variationen, einer bestimmten Art zugeordnet werden können. Jedoch ist die manuelle Analyse sehr zeitintensiv. Oft müssen große Datenmengen analysiert werden, die den Einsatz automatischer Detektionsalgorithmen unumgänglich machen.

Die Wahl der automatischen Analyseverfahren hängt von den artspezifischen vokalen Charakteristiken ab. Meeressäuger benutzen eine unterschiedliche Anzahl verschiedener Rufe und auch Variationen in diesen Ruftypen sind möglich. Zum Beispiel können Arten mit sehr stereotypen Vokalisationen (z.B. Finnwal, Seeleopard) gut mit Techniken, die Spektrogramm-Kreuz-Korrelation verwenden, detektiert werden.

Für automatische akustische Detektionsprogramme sind zwei Aspekte zu beachten. Als erstes muss definiert werden welchen der Ruftypen der Detektor finden soll. Dieser Ruftyp sollte möglichst stereotyp sein, sodass dieser vom Detektor leicht auffindig gemacht werden kann. Zweitens muss die Sensitivität des Detektors (*'detection threshold'*) festgesetzt werden.

Automatische Detektoren haben selten eine hundertprozentige Trefferquote. Daher muss ein gewisser Kompromiss zwischen der Anzahl verpasster Tierrufe (*'false negatives'*) und falschen Detektionen (*'false positives'*) festgelegt werden (Mellinger *et al.*, 2007). Zum Beispiel sollte die Sensitivität des Detektors möglichst niedrig gewählt werden, wenn seltene Rufe detektiert werden sollen, um möglichst wenige zu verpassen. Dabei wird eine relativ hohe Anzahl von falschen Detektionen in Kauf genommen. Diese können nachträglich durch eine zusätzliche manuelle Analyse eliminiert werden. Allerdings ist der automatische Detektor dann als wenig effizient einzustufen. Daher sollte die Sensitivität des Detektors höher gewählt werden, wenn Ruf-

typen besonders stereotyp sind und einzigartige Erkennungsmuster besitzen, um falsche Detektionen auszuschließen.

In dieser Arbeit wird ein akustisch gewonnener Datensatz manuell und anschließend automatisch analysiert. Das Ergebnis beider Methoden wird im Hinblick auf die Effektivität der automatischen Detektion für verschiedene Meeressäugerarten ausgewertet.

4. Warum produzieren Meeressäuger Töne?

Unterwasservokalisation nimmt für Meeressäuger eine wichtige Rolle ein, da die submarinen Sichtverhältnisse eingeschränkt sind. Töne hingegen sind unabhängig von optischen Eigenschaften und im Wasser über große Distanzen hörbar. Daher können Meeressäuger Informationen zwischen Individuen auch unter wechselnden Sichtverhältnissen und sogar über große Räume hinweg austauschen. Meeressäuger nutzen Rufe in verschiedenen Verhaltenssituationen: z.B. zur Kommunikation, Orientierung, Beuteerkennung und um auf Feinde oder Artgenossen zu reagieren (Frankel, 2002).

4.1 Die Benutzung von Rufen bei Robbenarten

Die Pinnipedia (Robben) werden in drei Familien unterteilt: die Odobenidae (Walross, *Odobenus rosmarus*), die Otariidae (Ohrenrobben) und die Phocidae (Hundsrobben) (Rice, 2002).

In dieser Arbeit werden nur Phocidae diskutiert, da nur Vertreter dieser Familie im Ergebnisteil vorkommen. Diese Familie beinhaltet vier antarktische Robbenarten: Weddellrobbe (*Leptonychotes weddellii*), Krabbenfresser (*Lobodon carcinophaga*), Rossrobbe (*Ommatophoca rossii*) und Seeleopard (*Hydrurga leptonyx*). Diese vier antarktischen Robbenarten säugen ihre Jungen auf dem Eis und paaren sich im Wasser. Dabei spielt die Vokalisation eine wichtige Rolle in der Mutter-Jungtier-Erkennung, bei Wettkämpfen zwischen Männchen, Festlegung von Unterwasserterritorien und Werbung um Geschlechtspartner (Van Parijs, 2003; Van Opzeeland *et al.*, 2008; Van Opzeeland *et al.*, 2010).

Bei Weddellrobben bilden Männchen und Weibchen saisonal Kolonien, sodass ihre Kommunikation nur über eine begrenzte Distanz stattzufinden braucht (Van Opzeeland *et al.*, 2008). Während der Aufzuchtzeit versammeln sich Weibchen mit ihren Jungen in der Nähe von Festeis. Männchen dagegen bleiben Unterwasser, verteidigen Territorien und locken Weibchen an, wobei sie ein vokales Repertoire mit vielen verschiedenen Ruftypen benutzen. Stirling & Thomas (2003) haben in der Antarktis 34 Weddellrobbenrufe unterschieden.

Krabbenfresser produzieren während der Aufzuchtzeit zwei unterschiedliche Ruftypen (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Sie sind fortlaufend monogam. Dieses bedeutet, dass Männchen mit einem Weibchen und ihrem Jungen, welches von einem früheren Partner stammt, auf Eisschollen verweilen, bis das Weibchen wieder Empfängnisbereit ist. Daher wird vermutet, dass ihre simplen Rufe vorwiegend über geringe Distanzen für Wettkämpfe zwischen Männchen benutzt werden, die ihre Weibchen bewachen. Laute Rufe und komplexe Töne könnten andere entferntere Männchen oder Feinde anlocken (Dudzinski *et al.*, 2002; Rogers, 2003).

Rossrobben benutzen laute und weitreichende Töne (Rogers *et al.*, 1996; Rogers 2003), welche vermutlich nur während der Paarungssaison auftreten. Weibchen sind in dieser Zeit weit verteilt. Daher ist es wichtig, dass die Töne über weite Bereiche hörbar sind, um Partner anzulocken (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Van Opzeeland *et al.* (2010) beschreibt fünf verschiedene Rossrobben-Ruftypen.

Seeleoparden produzieren sieben verschiedene Rufe (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Seeleoparden sind polygyn, wie auch Weddellrobben. Das bedeutet, dass Männchen sich mit vielen Weibchen paaren (Dudzinski *et al.*, 2002). Während der Fortpflanzungszeit produzieren Männchen und Weibchen laute Unterwassertöne, womit sie Fortpflanzungspartner auf sich aufmerksam machen. Seeleoparden versammeln sich nicht zu Kolonien. Daher wird vermutet, dass die akustische Kommunikation über weite Distanzen stattfinden muss (Rogers *et al.*, 1996; Van Opzeeland *et al.*, 2010).

4.2 Die Benutzung von Rufen bei Walarten

Zwei Gruppen von Walen (Cetacea) werden unterschieden: Odontoceti (Zahnwale) und Mysticeti (Bartenwale). Die Arten die in dieser Arbeit diskutiert werden sind: Antarktischer Blauwal (*Balaenoptera musculus intermedia*), Killerwal (*Orcinus orca*) und

Finnwal (*Balaenoptera physalus*). Akustische Signale spielen eine wichtige Rolle bei der Echolokalisation, Orientierung und sozialen Kommunikation, wie zum Beispiel Partnersuche, Kommunikation mit Artgenossen über große Distanzen, Versammlungsrufe, Werbung um Geschlechtspartner, Gefahr- und Individuum Identifizierung (Dudzinski *et al.*, 2002).

Die Rufe von antarktischen Blauwalen lassen sich grundlegend in drei Kategorien unterteilen (Rankin *et al.*, 2005; Van Opzeeland, 2010). Ihre Vokalisation findet bei niedrigen Frequenzen statt (im Bereich 15 Hz bis 80 Hz) und die Rufe haben generell hohe Amplituden. Daher wird vermutet, dass Blauwale Rufe benutzen, um Informationen über Nahrungsvorkommen und Fortpflanzungspartner über Distanzen von bis zu hunderten von Kilometern zu verbreiten (Frankel, 2002).

Killerwale leben in Gruppen und produzieren Klicks, Pfeif- und pulsierende Töne. Klänge umfassen einen Frequenzbereich von 500 Hz bis 10 kHz. Klicks werden zur Echolokalisierung genutzt, Pfeif- und pulsierende Töne spielen eine Rolle in der sozialen Nachrichtenübermittlung (Ford, 2002)

Zwei Typen von Finnwalrufen wurden in der Antarktis aufgenommen (Gedamke & Robinson, 2010), einer mit der Frequenz um 20 Hz (Sirovic *et al.*, 2004) und ein höher frequenter Ruf zwischen 50 und 100 Hz (Gedamke & Robinson, 2010). Diese dienen vermutlich der Kommunikation mit Artgenossen über weite Distanzen (Sirovic *et al.*, 2004).

5. Beschreibung des Projektes und Erklärung der Zweiteilung der Arbeit

Diese Arbeit befasst sich mit PALAOA-S und deren Einsatz als akustische Monitorig-Einheit für Meeressäuger, speziell in der Antarktis. Die Arbeit ist in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt werden akustische Daten im Hinblick auf verschiedene Fragestellungen untersucht. Diese wurden mit PALAOA-S im Antarktischen Ozean im Jahr 2008/2009 gewonnen. Der zweite Teil befasst sich mit der Hardware des akustischen Aufnahmesystems und wie dieses für zukünftige Anwendungen verbessert werden kann.

5.1 TEIL 1

Fragestellungen die in diesem ersten Teil behandelt werden, sind:

- Wie werden akustische Daten analysiert?
- Gibt es Unterschiede in der Artenzusammensetzung von Meeressäugern zwischen den verschiedenen Orten der PALAOA-S-Aufnahmen?
- Kann PALAOA-S dazu genutzt werden die Frage zu klären, ob (und falls ja, wie) Meeressäuger auf schiffsinduzierten Unterwasserlärm reagieren?
- In wiefern sind akustische und visuelle Beobachtungsmethoden vergleichbar im Hinblick auf die Anzahl detektierter Tiere?

Um diese Fragen zu beantworten, wird im Teil 1 die Analyse von im Jahr 2008 gewonnenen PALAOA-S-Daten dargestellt, um folgende Forschungsziele zu adressieren:

Das erste Ziel ist, die Artenzusammensetzung an den verschiedenen PALAOA-S Stationen festzustellen, um mögliche Zusammenhänge zwischen lokalen Bedingungen und dem Vorkommen der Meeressäuger zu diskutieren.

Das zweite Ziel ist es, mögliche Einflüsse von Schiffslärm auf die Vokalisationsaktivität von Robben- und Walarten im Hinblick auf die wachsende Besorgnis von Lärmverschmutzungen zu untersuchen.

Das dritte Ziel ist, die PALAOA-S-Daten automatisch zu analysieren und anschließend das Ergebnis mit der manuellen Analyse zu vergleichen, um die Effektivität beider Methoden gegenüberzustellen.

Das vierte Ziel dieser Arbeit ist, herauszufinden wie akustische Daten mit Sichtungsdaten korrelieren, im Hinblick auf verschiedene Observationsmethoden zur Erforschung von Meeressäugern in Polargebieten.

5.2 TEIL 2

Der zweite Teil befasst sich mit der Hardware von PALAOA-S und wie diese für zukünftige Anwendungen verbessert werden kann.

Das jetzige PALAOA-S-System hat zwei Hauptprobleme. Beide beziehen sich auf das Aufnahmegerät der PALAOA-S-Einheit.

Das erste Problem ist die Qualität der Aufnahme. Die PALAOA-S Aufnahmen enthalten elektronisches Rauschen. Dazu werden im Elektroniklabor des AWIs Versuche zur Rauschminimierung durchgeführt.

Das zweite Problem ist, dass das Aufnahmegerät beim Erreichen von 2GB Speicherkapazität die Aufnahme abbricht, obwohl ein größeres Speichermedium vorhanden ist. Dieses Problem ist durch die Firmware bedingt. Daher wird zum einen das existierende Gerät elektronisch so modifiziert, dass die Datenaufnahme weiterlaufen kann. Zum anderen wird ein neues Aufnahmegerät verwendet, von dem bekannt ist dieses 2GB-Problem nicht zu verursachen. Um herauszufinden, ob das neue Gerät geeignet ist, das im Moment verwendete zu ersetzen, wurden Tests durchgeführt.

TEIL 1: ANALYSE DER BIOAKUSTISCHEN DATEN DES PALAOA-S EXPERIMENTS 2008

1. METHODEN

1.1 Bioakustische Aufnahmen

Die bioakustischen Daten wurden im Dezember 2008 während der Expedition ANTXXV-2 des Forschungsschiffs Polarstern an verschiedenen Orten in der Atka Bucht mit dem PALAOA-S-System gesammelt. Das PALAOA-S-System besteht aus einer isolierten Zarges Kiste (60x40x40cm), auf der zwei Solarpaneele (2x12Watt) montiert sind. In die Kiste integriert sind ein Solarladegerät, zwei 12V Batterien, ein akustisches Aufnahmegerät (M-Audio Microtrack II) mit zwei Aufnahmekanälen, ein GPS (Garmin 17xHvs) und eine kundenspezifische Anfertigung (ISITECH), die das NMEA und das 1PPS GPS-Signal in ein Audiosignal umwandeln, welches in den zweiten Kanal des Aufnahmegeräts einspeist wird. Der erste Kanal nimmt das Signal des differentiellen RESON TC4032 Hydrophons (Sensitivität: -170 dB re 1 V/ μ Pa; Frequenzbereich: 5 Hz – 120 kHz) auf. Das Hydrophon ist mit dem Aufnahmegerät durch ein 100 Meter langes Kabel verbunden. Aufnahmen wurden kontinuierlich über verschiedene Zeitspannen gemacht und als WAV Dateien mit Abtastraten von 48 kHz bis 96 kHz bei 16 oder 32 Bit gespeichert (Tabelle 2).

Auslegung	Datum des Einsatzes	Hydrophon Tiefe [m]	Abtastrate [kHz]	Bittiefe
A1	13.12.08	90	88.2	32 Bit
A 2	15.12.08	90	48	16 Bit
A 3	20.12.08	90	48	16 Bit
A 4a	22.12.08	90	-	-
A 4	22.12.08	90	96	32 Bit
A 5	23.12.08	90	96	-

Pro Auslegung wurde eine PALAOA-S-Kiste mit einem Helikopter vom Schiff aus ungefähr 80 nautische Meilen (= 80 nm*1,852 = 148 km) vor dem Schiff in der Fahrtroute ausgebracht. Die PALAOA-S-Kiste wurde anschließend wieder mit dem Heli-

kopter eingeholt, nachdem das Schiff die Kiste passiert hatte oder sich ihr bis auf wenige Meilen angenähert hatte, je nach Wetterbedingung. Die Distanz zwischen der ausgebrachten PALAOA-S-Kiste und dem Schiff wurde so gewählt, dass anfänglich kein Schiffslärm auf den Aufnahmen zu hören war und die Flugzeit des Helikopters für die Ausbringung und Einholung der Kiste möglichst gering blieb (ungefähr eine Stunde pro Stecke).

Die PALAOA-S-Kisten wurden in Packeisregionen auf Eisschollen ausgebracht. Diese mussten ausreichend groß und fest sein, damit der Helikopter landen konnte. Mit einem Jiffy Eisbohrer wurde ein Loch von ca. zwanzig Zentimeter Durchmesser in zwei bis drei Meter dicke Eisschollen gebohrt. Durch dieses Bohrloch wurde das Hydrophon in ca. 90 m Tiefe herabgelassen. Um die Kiste nach dem Versuch wiederfinden zu können, wurde eine Pop-up-Boje (Optimare) neben der PALAOA-S-Kiste ausgebracht, die alle fünfzehn Minuten GPS Daten per Iridium Satellitenverbindung sendete (Abb. 1).

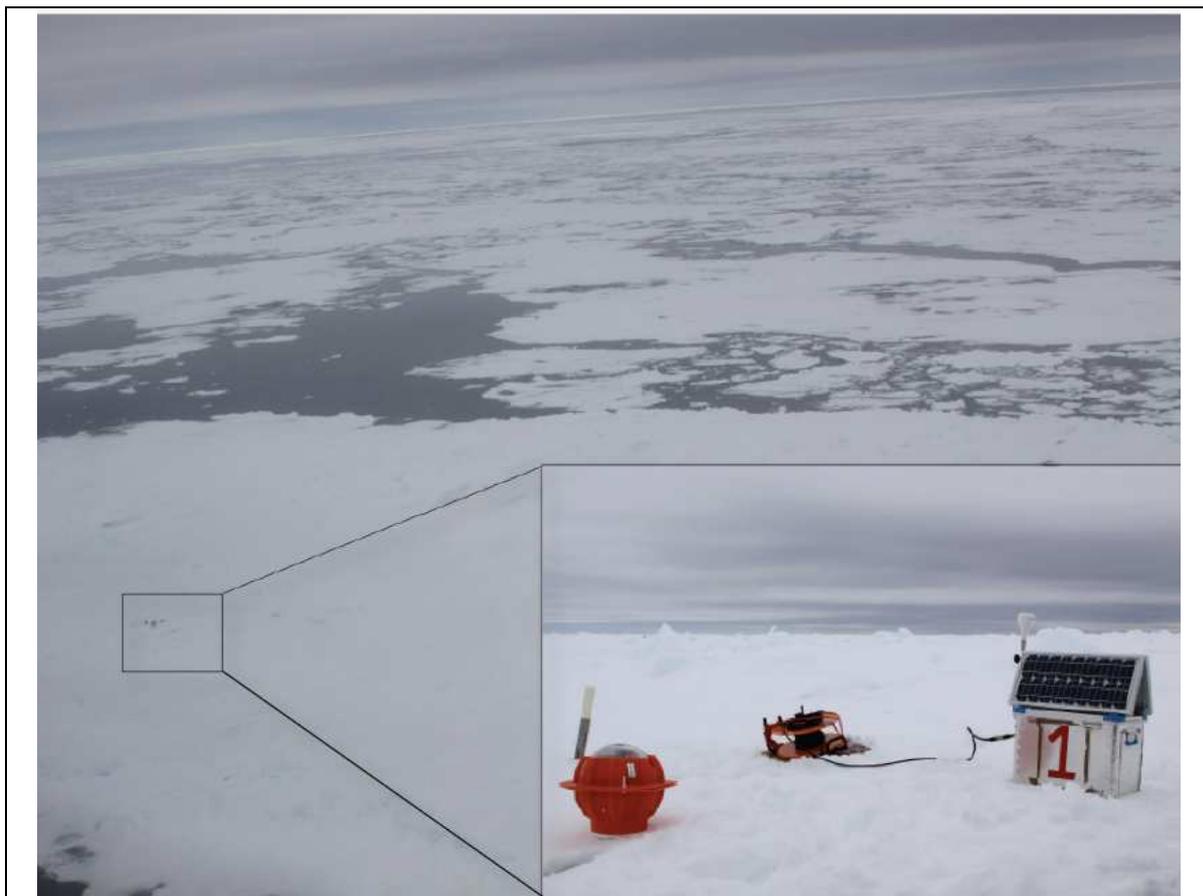


Abb. 1. PALAOA-S Set-up. Überblick der Aufstellung einer PALAOA-S-Einheit auf einer Eisscholle. Detailliertes Bild (rechts unten): Pop-up-Boje (links), Kabeltrommel mit Hydrophon welches durch ein Bohrloch im Eis ausgebracht ist (Mitte), PALAOA-S-Kiste mit Solarpaneelen und GPS-Antenne (links). Foto: I. Van Opzeeland

1.2 Analyse der bioakustischen Daten

1.2.1 Manuelle Analyse

Die Tonaufnahmen von PALAOA-S wurden in einstündige Dateien unterteilt. Hierfür wurde die GPS Information von dem zweiten Audiokanal des Aufnahmegerätes verwendet. Das akustische Signal, welches die Zeit- und Positionsinformation enthält, wurde mit Hilfe von einem MATLAB-Programm in eine ASCII Datei umgewandelt.

Die manuelle Analyse der einstündigen Tonaufnahmen erfolgte mit der Software Adobe Audition 3.0. Dazu wurde für alle Dateien die Spektrogrammansicht gewählt und der zweite Kanal mit den GPS Informationen ausgeblendet, um nur den Kanal mit den Unterwasseraufnahmen darzustellen. Die Dateien wurden visuell betrachtet und gleichzeitig angehört. Dazu wurde die Spektralfrequenzanzeige (FFT Größe 16384, entsprechend 0,34 bzw. 0,19 bzw. 0,17 Sekunden), eine logarithmische Frequenzdarstellung und der Zeitbereich von 1,5 Minuten am Bildschirm gewählt. Eine zweite Inspektion der Daten wurde durchgeführt, um auch niederfrequente Walrufe visuell zu identifizieren. Um eine höhere Auflösung im Niederfrequenzbereich zu erlangen, wurde dafür die Abtastrate auf 2000 pro Sekunde bei einem FFT von 2048 (= 0,98 Sekunden) umgewandelt.

Die Rufe von Meeressäugern wurden bis auf Artenebene identifiziert. Es wurde keine Unterscheidung zwischen einzelnen Rufotypen der jeweiligen Art gemacht. Die identifizierten Töne wurden den Arten zugeordnet, die auf Informationen von vorangegangenen Studien basieren und das vokale Repertoire der Meeressäuger beschreiben (Tabelle 3). Alle zugeordneten Meeressäugerrufe wurden pro Art über einen Zeitraum von einer Stunde aufsummiert.

Art	Referenzen
Weddellrobbe	Thomas & Kuechle, 1982; Thomas & Stirling, 1983; Terhune <i>et al.</i> , 1994; Pahl <i>et al.</i> , 1997; Moors & Terhune, 2004; Terhune & Dell’Apa, 2006; Van Opzeeland <i>et al.</i> , 2010
Krabenfresser	Stirling & Siniff, 1979; Thomas & DeMaster, 1982; Klinck <i>et al.</i> , 2010; Van Opzeeland <i>et al.</i> , 2010
Rosssobbe	Watkins & Schevill, 1968; Stacey 2006; Seibert <i>et al.</i> , 2007; Van Opzeeland <i>et al.</i> , 2010
Seeleopard	Stirling & Siniff, 1979; Rogers <i>et al.</i> , 1996; Van Opzeeland <i>et al.</i> , 2010
Blauwal	Sirovic <i>et al.</i> , 2004; Rankin <i>et al.</i> , 2005; Van Opzeeland, 2010
Killerwal	Mossbridge & Thomas, 1999; Richlen & Thomas, 2008
Finnwal	Sirovic <i>et al.</i> , 2004; Sirovic <i>et al.</i> , 2009; Gedamke & Robinson, 2010
‘Bio-duck’	Van Opzeeland, 2010

1.2.2 Automatische Analyse

Zusätzlich wurden die akustischen Aufnahmen von PALAOA-S automatisch analysiert, basierend auf Spektrogramm-Kross-Korrelation (Mellinger & Clark, 2000; Mellinger, 2001), um Rufe von Robbenarten zu detektieren. Diese Methode korreliert die Spektrogramme von akustischen Aufnahmen mit einem spezifischen Muster, das einen artspezifischen Ruf oder einen Teil eines Rufes darstellt. Für diese Analyse wurde das ‚*Template*‘-Detektions-Instrument benutzt, welches in XBAT (extensible bioacoustic tool, www.xbat.org) zur Verfügung steht. XBAT benutzt MATLAB als Plattform und ist eine frei verfügbare Klanganalyse-Software unter der MATLAB Lizenz.

Vor der Analyse mit XBAT wurden alle akustischen Aufnahmen von PALAOA-S mit Adobe Audition 3.0 in ein einheitliches Format gebracht (Abtastrate 48 kHz, Bittiefe 16), damit alle Aufnahmen mit dem selben Satz an ‚*Templates*‘ analysiert werden konnten. Für jede Robbenart wurde ein spezieller Ruftyp ausgewählt. Diese Auswahl beruhte darauf, einen Ruftyp zu wählen, der repräsentativ für die akustische Präsenz dieser Art und so stereotyp wie möglich ist. Eine Zusammenstellung von verschiedenen ‚*Templates*‘ eines Ruftypes einer jeden Robbenart aus verschiedenen PALAOA-S-Aufnahmen wurde kreiert.

Weddellrobben wurden von der automatischen Analyse ausgenommen, weil die manuelle Analyse zeigte, dass wenige Weddellrobbenrufe in den PALAOA-S-Aufnahmen vorkamen. Für die Spektrogramme von Krabbenfressern und Seeleoparden wurde eine Auflösung von 4048 FFT (= 0,08 Sekunden) in XBAT gewählt, die Zeitanzeige am Bildschirm auf 30 Sekunden gesetzt und eine lineare Frequenzdarstellung in einem Bereich zwischen 0 Hz und 2 kHz eingestellt. Für Rossrobben wurde eine Auflösung von 4096 FFT (= 0,085 Sekunden) gewählt, die Zeitanzeige am Bildschirm auf 30 Sekunden gesetzt und eine lineare Frequenzdarstellung in einem Bereich zwischen 0 Hz und 1 kHz eingestellt.

1.3 Distanzberechnung

Der Abstand zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff, die sich beide bewegten, wurde kalkuliert. Dazu wurden die GPS Signale (1 Position pro Minute) von Schiff und Kiste verwendet. Zur Berechnung der Distanz zwischen den jeweiligen Positionen kamen folgende Formeln (3.1 bis 3.3) zur Anwendung (Meeus, 1994).

$$\cos d = \sin (\Phi_1) * \sin (\Phi_2) + \cos (\Phi_1) * \cos (\Phi_2) * \cos (\lambda_2 - \lambda_1) \quad [3.1]$$

$$s = (r * \pi * d) / 180 \quad [3.2]$$

$$D = s / 1,852 \quad [3.3]$$

$\cos d$ = Winkelabstand; d in Grad

Φ_1 = Geographische Breite, Position der Kiste [dec°]

Φ_2 = Geographische Breite, Position des Schiffes [dec°]

λ_2 = Geographische Länge, Position des Schiffes [dec°]

λ_1 = Geographische Länge, Position der Kiste [dec°]

s = Abstand zweier Punkte auf der Erdoberfläche in km

π \approx 3.142

r = Erdradius \approx 6378.137 km

D = Distanz zweier Punkte auf der Erdoberfläche in nautischen Meilen [nm]

1.4 Sichtungsdaten

Während der Polarstern Expedition ANTXXV-2 wurden Meeressäugersichtungen vom Schiff und aus einem Helikopter durchgeführt. Die Helikoptersichtungen erfolgten nach Standard-Linien-Transekten (distance sampling, Len *et al.*, 2002) durch drei Beobachter (Boebel *et al.*, 2009, Kock *et al.*, 2009), die Schiffssichtungen vom „Krähennest“ der Polarstern ebenfalls mit drei Beobachtern. Letztere folgten auch der distance-sampling Methode (Kock *et al.*, 2009 und 2010). Sichtungsdaten beider Un-

tersuchungen wurden direkt in einen Computer eingegeben, der mit einem GPS verbunden war (Kock *et al.*, 2010), so wurde die Zeitinformation ermittelt.

Auf die genaue Methodik der visuellen Sichtungen soll hier nicht weiter eingegangen werden. Die manuell ausgewerteten akustischen PALAOA-S-Daten werden in dieser Arbeit mit den Sichtungsdaten verglichen.

1.5 Darstellung der Ergebnisse

Die lokale Zeit an den Ausbringungspositionen von PALAOA-S-Kisten betrug maximal UTC + 16 Minuten und minimal UTC – 8 Minuten. Auf Grund dieser geringen Abweichungen wird die Zeit in der Ergebnisdarstellung als Coordinated Universal Time (UTC) angegeben. Die Rufe der einzelnen Arten wurden über einen Zeitraum von einer Stunde ausgezählt. Aufnahmen die genau zur halben Stunde begannen und endeten, wurden in der Ergebnisdarstellung zur vollen Stunde aufgerundet. Aufnahmen, die z.B. zwischen 18:24 und 19:24 Uhr erfolgten, wurden in der Ergebnisgrafik von 18:00 bis 19:00 Uhr dargestellt und Aufnahmen z.B. zwischen 14:05 und 15:05 Uhr als 14:00 bis 15:00 Uhr. Daher wurde die Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste als Stundenmittel über den gleichen Zeitraum, über den die Rufe gezählt wurden, berechnet und in den Ergebnisgrafiken unter Einhaltung derselben zeitlichen Vorgaben abgebildet.

Die akustischen Daten werden auf verschiedene Weise dargestellt.

Die erste Grafik (Abb.2) zeigt die Aufnahmepositionen sowie die Artenzusammensetzung in Kreisdiagrammen, um einen Vergleich der vorgekommenen Arten in Beziehung zu lokalen Bedingungen (z.B. Eisverhältnisse, Tabelle 4) zu ermöglichen.

Es wurde eine zusätzliche Grafik (Abb. 3) angefertigt (,Soundscape' Grafik), welche die akustische Präsenz der Tonquelle über die Aufnahmedauer anzeigt. Dort werden die Meeressäugerarten, von denen weniger als zehn Rufe in den gesamten PALAOA-S-Aufnahmen gezählt wurden, dargestellt. Ebenso wurden akustische Signale mit einer semi-kontinuierlichen akustischen Signatur, nicht ausgezählt. Diese werden

auch in der Soudscape Grafik in der Form von Präsenz-/Abwesenkeits- Balken dargestellt.

Die nächsten Grafiken (Abb. 4-10) zeigen die tageszeitliche Vokalisationsaktivität der detektierten Meeressäuger sowie die Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste während der Aufnahme. Diese Darstellung ermöglicht eine Abschätzung des Einflusses der Schiffsnähe auf die Anzahl der detektierten Tierrufe. Zudem wird die akustische Präsenz der Meeressäuger gezeigt. Die Zeitachse ist auf den Aufnahmezeitraum der PALAOA-S-Kisten begrenzt.

In einer weiteren Darstellung (Histogramme, Abb.11-18) werden die manuell analysierten PALAOA-S-Daten mit Daten von PALAOA verglichen. Dieser Vergleich soll klären, ob Variationen in den Tagesgängen in der Vokalisationsaktivität in den PALAOA-S-Aufnahmen (Schiff in der Nähe) mit tageszeitlichen Vokalisationsaktivitäten (PALAOA Langzeitdaten, kein Schiff) zu erklären sind. Der Vergleich konnte nur für Robbenarten durchgeführt werden. Für Walarten wurden die PALAOA-Daten nicht in einer Form analysiert, die einen Vergleich mit den PALAOA-S-Daten ermöglicht hätten. Die verwendete PALAOA-Daten stammen vom Dezember 2006 und wurden manuell analysiert (siehe Van Opzeeland *et al.* 2010 für eine detaillierte Beschreibung). Der Vergleich dieser beiden Datensätze ist möglich, weil die tageszeitliche Vokalisationsaktivität antarktischer Robbenarten zwar saisonal variiert, aber innerhalb jeden Monats vergleichbar ist, zwischen verschiedenen antarktischen Regionen (Van Opzeeland *et al.* 2010). Für die Darstellung wurden die gezählten Rufe beider Datensätze normalisiert, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Die Anzahl der gezählten Rufe pro Stunde in den PALAOA-S-Aufnahmen wurde über die gesamte Aufnahmezeit pro Art normalisiert. Für die PALAOA-Daten wurde das monatliche Mittel der tageszeitlichen Vokalisationsaktivität vom gesamten Dezember über 24 Stunden normalisiert. Die Zeitachse der Histogramme ist auf die Aufnahmezeit der PALAOA-S-Daten begrenzt. Dieses erklärt, dass PALAOA-Daten in manchen Grafiken nicht 100 % (normalisierte) Vokalisationsaktivität erreichen.

Anschließend werden die Ergebnisse der automatischen und manuellen Datenanalyse verglichen, um die Effektivität des automatischen Detektors zu ermitteln. Dazu sind die manuell und automatisch detektierten Rufe pro Stunde pro Robbenart (Krabbenfresser, Rossrobbe und Seeleopard) jeweils in einem Graph (Abb. 19-25)

dargestellt. Auch die Distanz zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff wurde wiedergegeben, um einen möglichen Effekt des Schiffslärms zu diskutieren.

Zum Schluss werden die akustisch detektierten Arten (manuelle Analyse) mit den Sichtungsdaten verglichen. Die Ergebnisse werden in Präsenz-/Abwesenheits- Graphen (Abb. 26-31) dargestellt, welche die Tage repräsentieren an denen PALAOA-S aufgenommen hat. Der Vergleichszeitraum von visuellen und akustischen Daten wurde so ausgedehnt, dass in diesem alle visuellen Sichtungen eines Tages dargestellt werden konnten, an dem auch akustische Daten aufgenommen wurden. Da während der Sichtungsmethoden keine Unterscheidung zwischen verschiedenen Robbenarten möglich war, wurden alle Robbenarten, die in den PALAOA-S-Aufnahmen vorkamen einer Gruppe (*„pinnipeds“*) zugeordnet.

2. ERGEBNISSE

2.1 PALAOA-S-Ausbringungen

Insgesamt wurden PALAOA-S-Kisten an sechs verschiedenen Positionen ausgebracht (Tabelle 4). Vier der sechs Einsätze waren erfolgreich. Die akustischen Aufnahmen der Auslegungen A4a und A5 konnten auf Grund von technischen Problemen nicht analysiert werden. In der Abbildung 2 sind die Positionen der vier Auslegungen dargestellt, welche zu erfolgreichen Aufnahmen geführt haben. Im Folgenden werden nur die Aufnahmen der gelungenen PALAOA-S-Einsätze diskutiert.

Tabelle 4: Informationen zu den PALAOA-S-Einsätzen 2008 (Time in UTC)-GPS NMEA Daten-							
		Ausbringung		Einholung			
Auslegung	Eis-situation	Datum Uhrzeit	Position	Datum Uhrzeit	Position	Aufnahme- dauer	Anmerkung
A1	dichtes Eisfeld	13.12.08 13:05	62°24.00'S 00°001.34' W	13.12.08 20:19	62°27.04' S 00°00.80' W	7:13 h	enthält viele elektronische Geräusche
A 2	Packeis	15.12.08 18:24	69°07.99' S 04°59.28' W	15.12.08 22:19	69°08.09' S 05°03.06' W	3:55 h	enthält viele elektronische Geräusche
A 3	Packeis	20.12.08 20:48	68°10.51' S 02°07.67' W	21.12.08 11:23	68°10.32' S 02°03.15' W	14:35 h	ok
A 4a	-	22.12.08 08:35	65°00.18' S 01°00.38' W	22.12.08 08:35	65°00.18'S 01°00.38' W	-	Defektes Kabel
A 4	kaum Packeis	22.12.08 19:29	65°00.31' S 02°58.23' E	23.12.08 11:02	64°57.67'S 02°58.86' E	15:31 h	ok
A 5	-	23.12.08 ca 13:00	65°00.56' S 05°58.95' E	24.12.08 ca 7:37	65°02.49'S 05°57.15' E	-	Operation fehl- geschlagen

Die Abbildung 2 (detaillierte Sektion) zeigt den Fahrtverlauf des Schiffes (rote Linien) während dem die PALAOA-S-Kisten (blaue Punkte) akustische Aufnahmen machten. Wie in der Abbildung zu sehen ist, passiert das Schiff die Aufnahmeeinheit nur in einem Fall (Auslegung 3: 20./21.12.08). In allen anderen Fällen kam es ausschließlich zu einer Annäherung des Schiffes an die PALAOA-S-Kiste, denn vor der Vorbeifahrt wurde die Kiste wieder aufgenommen. Das Experiment war auf Grund von logistischen Einschränkungen zu diesem Zeitpunkt nicht anders durchführbar.

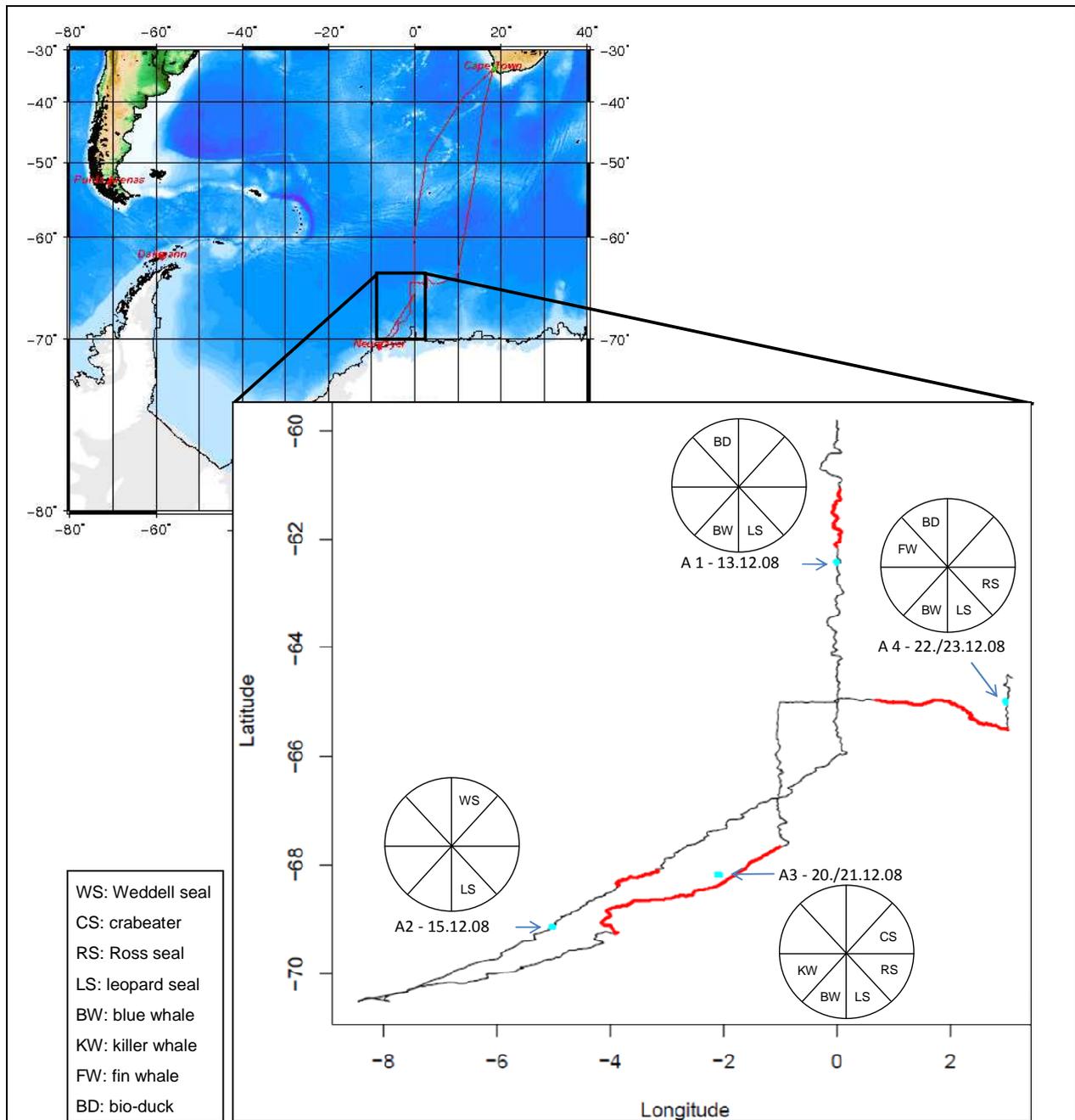


Abb. 2: obere linke Ecke: Fahrtverlauf der FS Polarstern ANTXXV-2 2008 (rote Linie, www.awi.de). Rechte Ecke: Fahrtverlauf und Positionen der PALAOA-S-Kisten, welche zu akustischen Aufnahmen führten. Schwarze Linie: Kurs des Schiffes, rote Linie: Kurs des Schiffes während der PALAOA-S-Aufnahmen, blaue Punkte: Position der PALAOA-S-Kisten. Die Kreisdiagramme stellen die an jeder Position akustisch detektierten Arten dar.

2.2 Artenspektrum

In den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S wurden die Rufe von vier antarktischen Robbenarten ermittelt: Weddellrobbe, Krabbenfresser, Rossrobbe, und Seeleopard. Drei Walarten konnten in den Aufnahmen detektiert werden: Blauwal, Killerwal und Finnwal. Darüber hinaus konnte ein Tonsignal mit den Namen "Bio-duck" identifiziert werden. Dieses ist auch von PALAOA und anderen Aufnahmen bekannt, sein Ursprung aber bisher ungeklärt (Van Opzeeland, 2010). Abbildung 2 zeigt die Artenzusammensetzung an den verschiedenen PALAOA-S Ausbringungsorten. Am 13.12.08, der nördlichsten Position (A1), wurden Seeleoparden, Blauwale und das Bio-duck-Signal aufgenommen. In dieser Region war das Eis am dichtesten. Am westlichsten Punkt (A2, 15.12.08) wurden Weddellrobben und Seeleoparden im Packeis detektiert. Während der PALAOA-S-Aufnahme vom 20./21.12.08 (A3) wurden einmalig auch Krabbenfresser und Killerwale detektiert, zusätzlich zu aufgenommenen Rufen von Rossrobben, Seeleoparden und Blauwalen. Die Eissituation war ähnlich der vom 15.12.08 (A1). Die östlichste PALAOA-S-Kiste (A4, 22./23.12.08), in der Nähe des ‚Seamounts‘ Maud Rise, nahm die Rufe von Finnwalen auf, zusätzlich die Rufe von Rossrobben, Seeleoparden, Blauwalen und das Bio-duck-Signal. Dort war das Eisvorkommen sehr gering.

2.2.1 Robben (*Pinnipedia*)

Weddellrobben waren nur in den PALAOA-S-Aufnahmen vom 15.12.2008 (A2) präsent (Abb. 6). Insgesamt konnten 11 Weddellrobbenrufe gezählt werden. Rufe von Krabbenfressern waren in der Aufnahme vom 20./21.12.2008 (A3) insgesamt 518 Mal verzeichnet (Abb. 7). Rossrobbenvokalisationen wurden in den Aufnahmen vom 20/21.12.2008 (Abb. 7) und 22/23.12.2008 (A4, Abb. 9) detektiert, mit insgesamt 3.421 gezählten Rufen. Seeleopardenrufe waren in allen vier PALAOA-S-Aufnahmen präsent (Abb. 4, 6, 7, 9). Sie kamen mit 26.078 gezählten Rufen vor.

2.2.2 Wale (*Cetacea*)

Blauwalrufe waren in den Aufnahmen vom 13.12.2008 (A1), 20./21.12.2008 (A3) und 22./23.2008 (A4; Abb. 5, 8, 10) mit insgesamt 311 gezählten Rufen präsent. Für die

akustische Aufnahme vom 15.12.2008 (A2) war jedoch keine Analyse der tiefen Frequenzen, in welchen z.B. Blau- und Finnwalrufe auftreten, möglich. Ursache war ein hohes Maß an elektronischen Störgeräuschen in diesem Frequenzbereich. Killerwalrufe waren lediglich in der Aufnahme vom 20./21.12.2008 (A3) vorhanden (Abb. 10), von diesen wurden insgesamt 339 Rufe gezählt. Finnwale wurden am 23.12.2008 aufgenommen (Abb. 3) und mit 3 Rufe wurden gezählt.

2.2.3 Bio-duck

Das Bio-duck-Signal konnte in den Aufnahmen vom 13.12.2008 (A1) und 22./23.12.2008 (A3) identifiziert werden. Die stündliche Rufaktivität ist in der ‚Soundscape‘ Grafik dargestellt. In der Aufnahme vom 13.12.2008 ist das Bio-duck-Signal durchgehend vorhanden. Am 22.12.2008 trat es zwischen 19:00 bis 20:00 und 23:00 bis 00:00 Uhr auf und am 23.12.2008 zwischen 01:00 und 10:00 Uhr (Abb. 3).

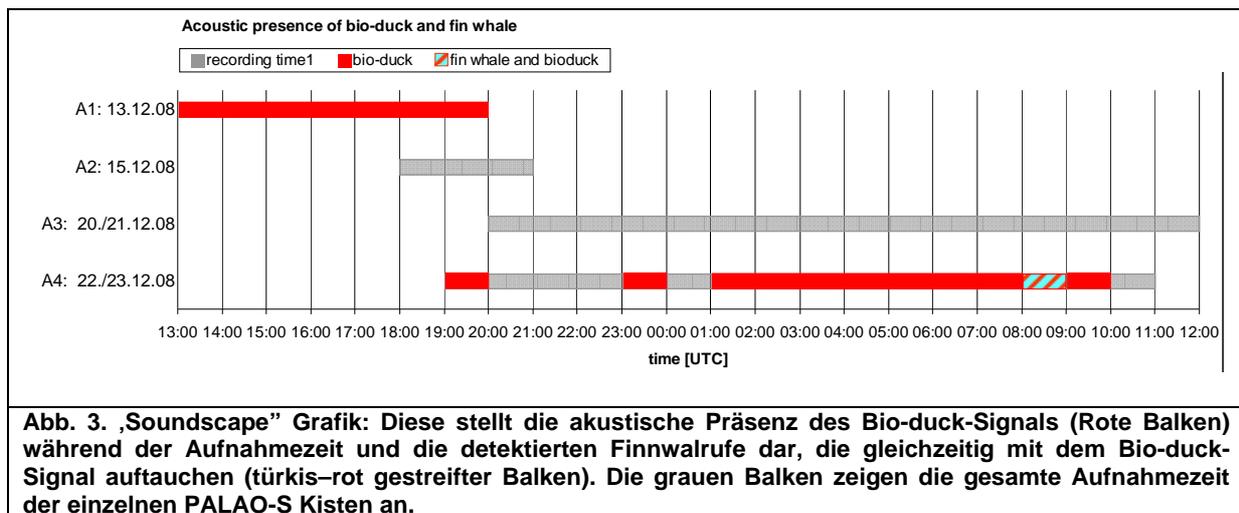
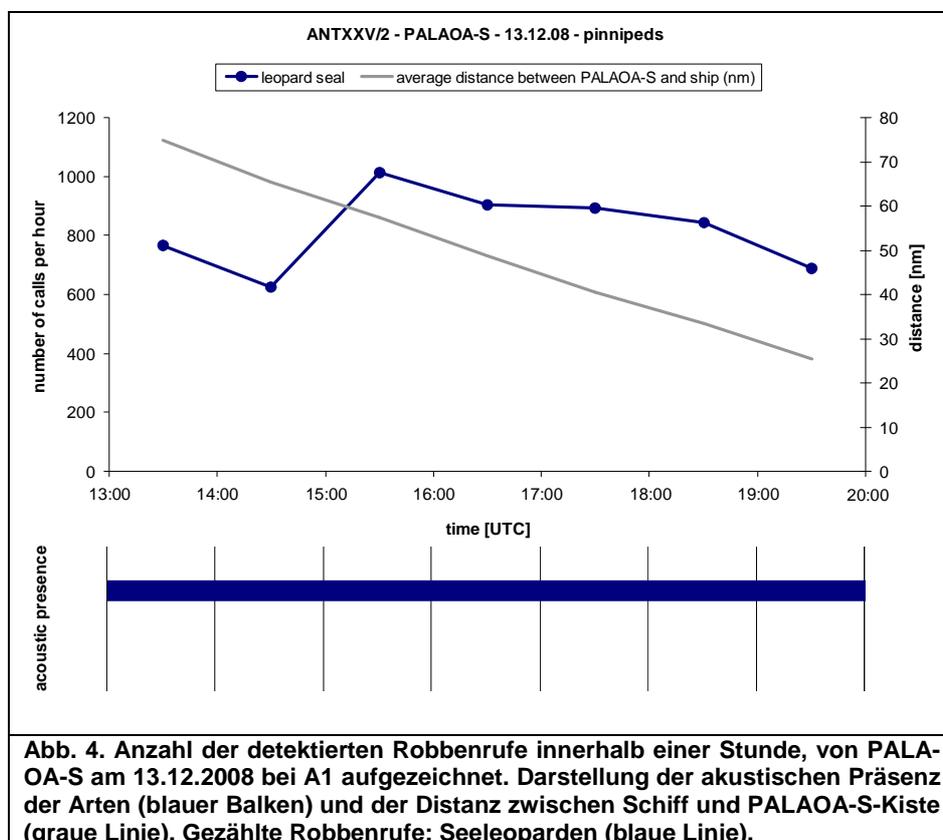


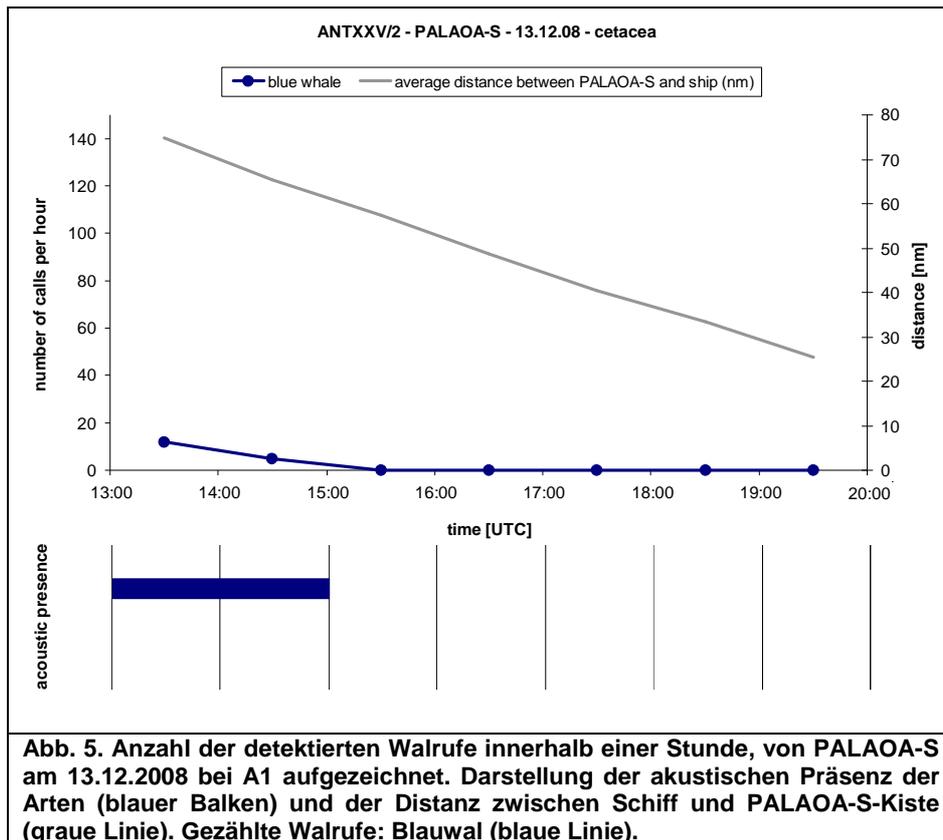
Abb. 3. „Soundscape“ Grafik: Diese stellt die akustische Präsenz des Bio-duck-Signals (Rote Balken) während der Aufnahmezeit und die detektierten Finnwalrufe dar, die gleichzeitig mit dem Bio-duck-Signal auftauchen (türkis-rot gestreifter Balken). Die grauen Balken zeigen die gesamte Aufnahmezeit der einzelnen PALAO-S Kisten an.

2.3. Detektierte Rufanzahlen und Schiffsnähe zur PALAOA-S-Kiste

2.3.1 PALAOA-S-Auslegung A1: 13.12.08

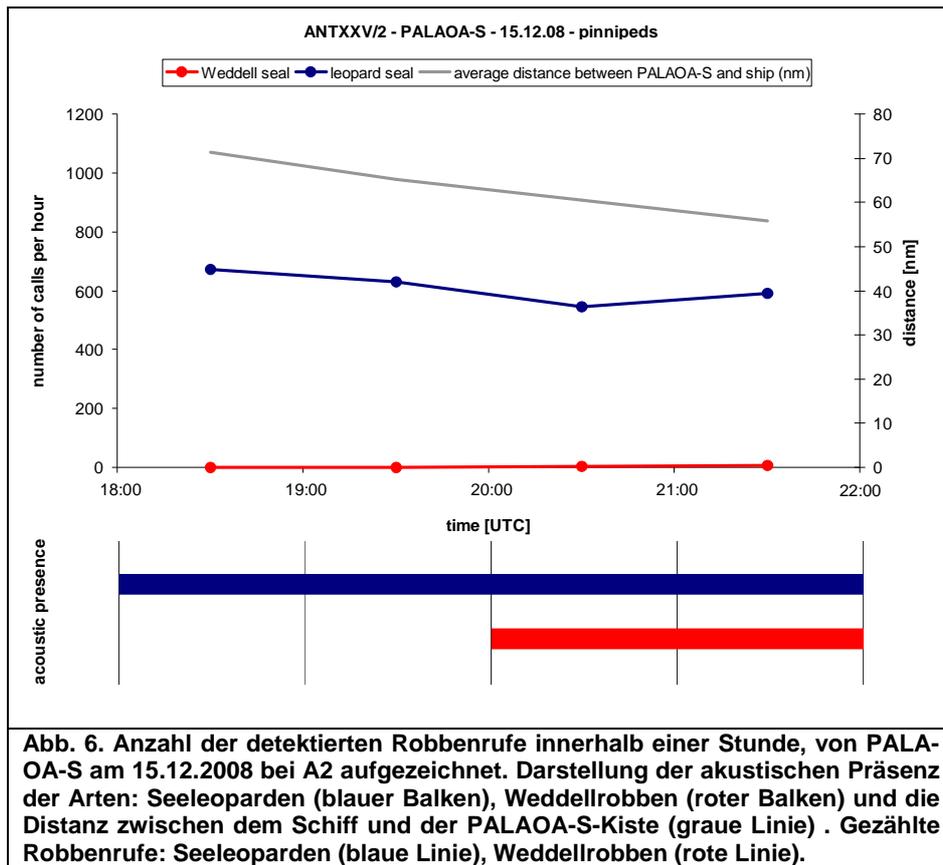
In dieser Aufnahme kamen Seeleopard- und Blauwalvokalisationen vor. Der Graph zeigt, dass die Anzahl der Seeleopardenrufe zu Beginn der Aufnahme auf ein Minimum von 625 Rufen pro Stunde zwischen 14:00 und 15:00 Uhr abfällt. Anschließend steigt die Anzahl der detektierten Rufe bis zu einem Maximum von 1014 Seeleopardrufen zwischen 15:00 und 16:00 Uhr an und fällt dann bis zum Ende der Aufnahme beständig auf 690 Rufe zwischen 19:00 und 20:00 Uhr ab (Abb. 4). Abbildung 5 zeigt, dass die Anzahl der Blauwalrufe von anfänglich 12 pro Stunde auf 0 abfällt in einem Zeitraum von 13:00 bis 15:00 Uhr. Ab 15:00 Uhr wurden keine Blauwale mehr detektiert. Die Distanz zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff verringerte sich kontinuierlich von anfänglich 75 nm auf zuletzt 25 nm. Von 18:00 Uhr bis zum Ende der Aufnahmezeit ist das Schiffsgeräusch in der Aufnahme hörbar.





2.3.2 PALAOA-S-Auslegung A2: 15.12.08

Am 15.12.2008 wurden die Rufe von Weddellrobben und Seeleoparden aufgezeichnet. Fünf Weddellrobbenrufe waren zwischen 20:00 und 21:00 Uhr und sechs zwischen 21:00 und 22:00 Uhr präsent. Detektierte Rufanzahlen von Seeleoparden sanken von 672 auf 547 zwischen 18:00 und 20:00 Uhr und stiegen dann leicht auf 590 Rufe pro Stunde zwischen 20:00 und 21:00 Uhr an (Abb. 6). Auf Grund der hohen Rauschbelastung der Aufnahme im tiefen Frequenzbereich, konnten Walrufe nicht ausgezählt werden. Der Abstand zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff verringerte sich kontinuierlich von 72 nm zu Beginn der Aufnahme auf 56 nm am Ende.

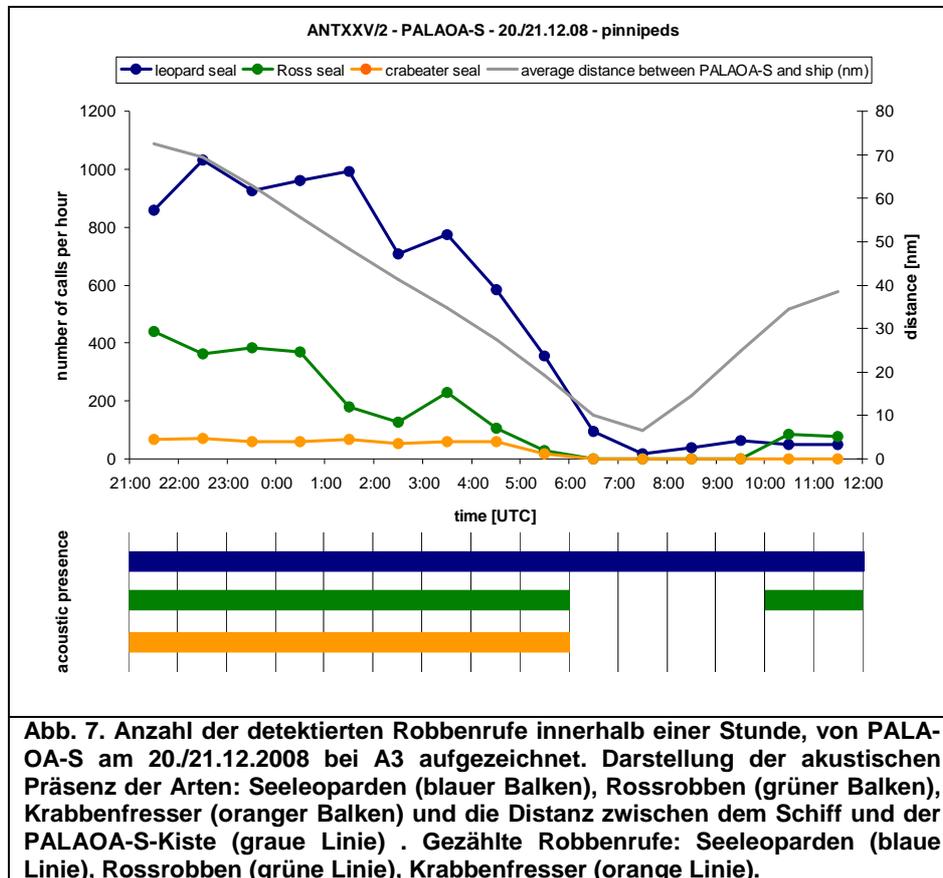


2.3.3 PALAOA-S-Auslegung A3: 20./21.12.2008

Drei Robbenarten (Krabbenfresser, Rossrobben und Seeleoparden) und zwei Walarten (Blau- und Killerwal), sind in dieser Aufnahme präsent. Die Rufe von Seeleoparden und Blauwalen wurden während der gesamten Aufnahmezeit detektiert (Abb. 7 und 8).

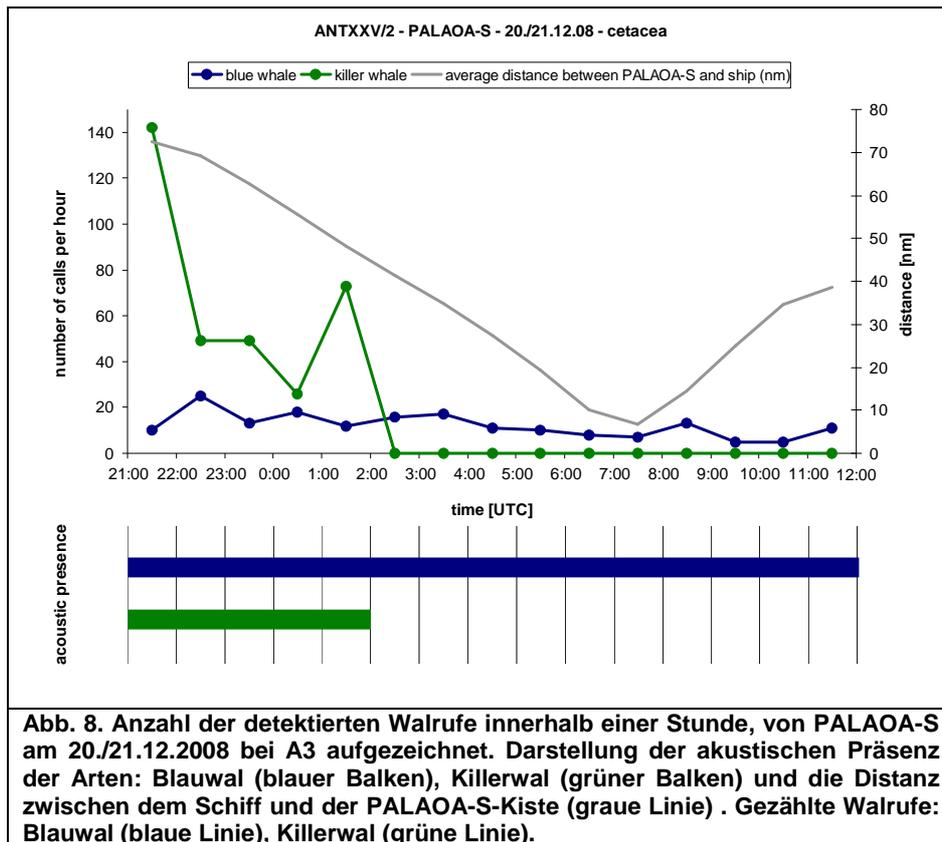
Krabbenfresser brachten es auf eine maximale Anzahl von 71 Rufen zwischen 22:00 und 23:00 Uhr. Zu Beginn der Aufnahme wurden die meisten Rufe detektiert (440, zwischen 21:00 und 22:00 Uhr). Dann fiel die Anzahl der gefundenen Rufe auf null zwischen 06:00 (20.12.) und 10:00 (21.12.) Uhr. Die meisten Seeleopardenrufe wurde zwischen 22:00 und 23:00 Uhr gezählt (1032 Rufe pro Stunde), die wenigsten zwischen 07:00 und 08:00 (18 Rufe pro Stunde). Insgesamt ging die Detektion von Robbenrufen mit abnehmendem Abstand zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff zurück. Nachdem die Distanz zwischen Schiff und Kiste wieder zunahm, konnten Rossrobbenrufe gegen Ende der Aufnahme zwischen 10:00 und 12:00 erneut

detektiert werden und auch die Zahl der Seeleopardenrufe stieg von 08:00 bis zum Ende der Aufnahme wieder leicht an. Von 06:00 Uhr bis zum Ende der Aufnahme wurden keine Krabbenfresserrufe mehr festgestellt.



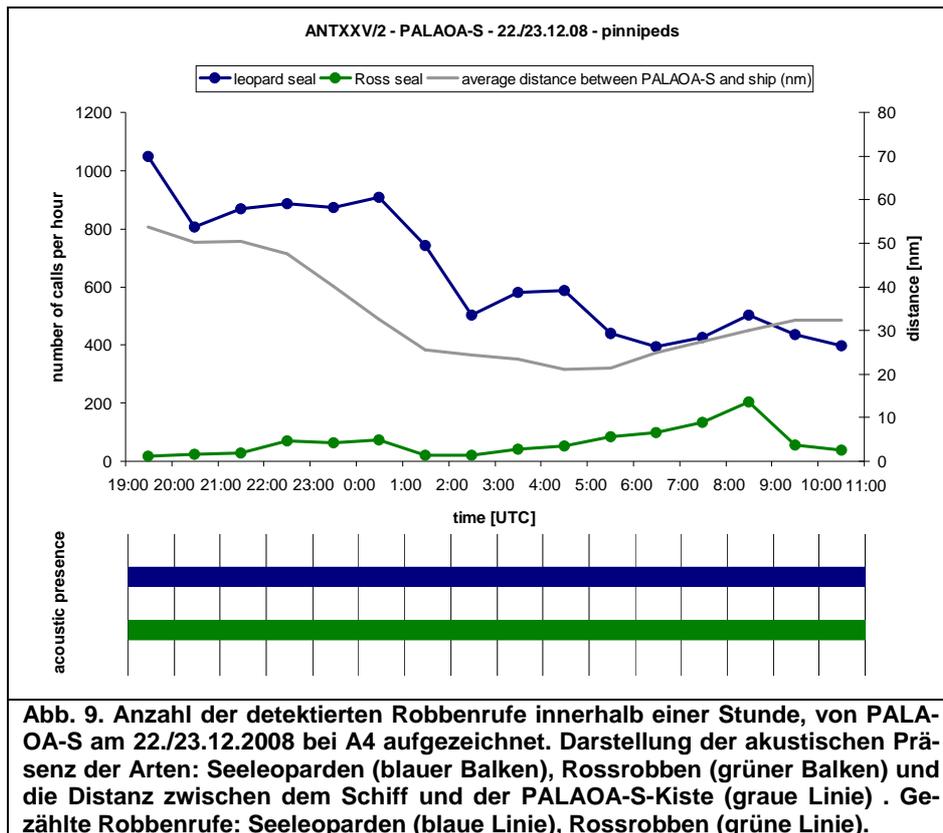
Blauwalvokalisationen waren über die gesamte Aufnahmezeit zu vernehmen. Sie schwankten in der Anzahl zwischen 5 und 25 Rufen pro Stunde. Die meisten Killerwalrufe (142) konnten zu Beginn der Datenaufzeichnung registriert werden. Die Detektionsrate sank bis auf 26 Rufe pro Stunde zwischen 00:00 und 01:00 Uhr, erreichte ein Maximum zwischen 01:00 und 02:00 Uhr (73 Rufe pro Stunde) und fiel anschließend von 02:00 Uhr bis zum Ende der Aufnahme auf null ab.

Die Distanz zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff betrug maximal 73 nm zum Beginn, erreichte minimal 7 nm zwischen 07:00 und 08:00 Uhr und stieg zum Ende der Aufnahme auf 38 nm an. Die Schiffsgeräusche waren in den Aufnahmen von 03:00 Uhr bis zum Ende hörbar.



2.3.4 PALAOA-S-Auslegung A4: 22./23.12.2008

Rossrobben, Seeleoparden und Blauwalrufe waren in dieser Aufnahme präsent. Zu Beginn der Aufnahme bis 06:00 Uhr (23.12.) variierte die Zahl der Rossrobbenrufe zwischen 19 und 83. Ab 06:00 Uhr stieg sie an und erreichte ein Maximum zwischen 08:00 und 09:00 Uhr mit 205 Rufen pro Stunde. Anschließend sank die Detektionsrate bis zum Ende der Aufnahme auf 37 Rufe pro Stunde ab. Die meisten Seeleopardenrufe wurden zu Beginn der Datenaufzeichnung aufgenommen (1048 Rufe pro Stunde). Die Detektionsrate sank dann insgesamt - mit kleinen Schwankungen - bis zum Ende der Aufnahmezeit auf 397 Rufe pro Stunde ab, parallel zur Verringerung des Abstandes von PALAOA-S-Kiste und Schiff (Abb. 9). In den letzten drei Stunden der Aufnahme behielt sowohl die Detektionsrate der Seeleoparden als auch die der Rossrobben den Abwärtstrend bei, obwohl die Distanz zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff wieder zunahm.



Mit abnehmender Distanz zwischen der Kiste und dem Schiff, stieg zwischen 19:00 (22.12.) und 04:00 (23.12.) Uhr die Anzahl der detektierten Blauwalrufe langsam von 2 auf 17 an. Von 04:00 bis 09:00 Uhr variierte diese zwischen 10 und 5, bevor ein schwach ausgeprägtes Maximum mit 14 Rufen pro Stunde zwischen 09:00 bis 10:00 Uhr erreicht wurde. In der letzten Stunde des Aufnahmezeitraums waren keine Rufe von Blauwalen mehr zu vernehmen (Abb. 10). Auf Grund von elektronischen Geräuschen wurde die Aufnahmequalität ab 10:00 Uhr schlechter. Von 01:00 bis 06:00 Uhr waren Schiffsgeräusche zeitweise hörbar, zwischen 06:00 und 07:00 permanent, von 07:00 und 09:00 Uhr gar nicht und ab 09:00 Uhr bis zum Ende wieder anhaltend.

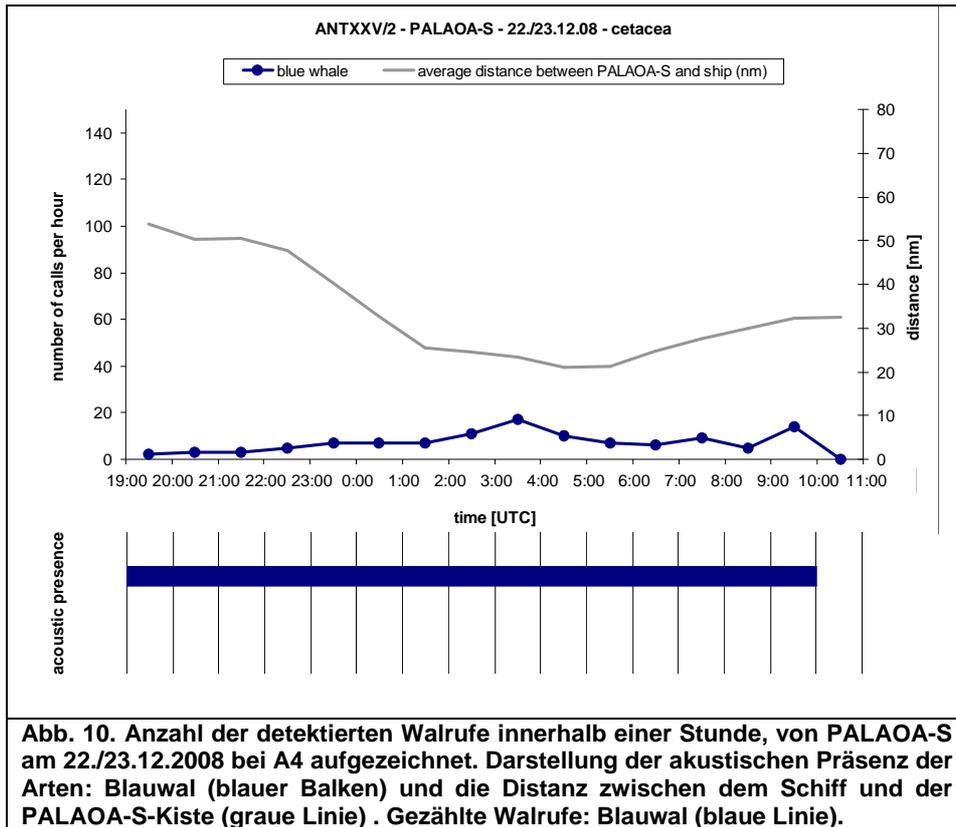
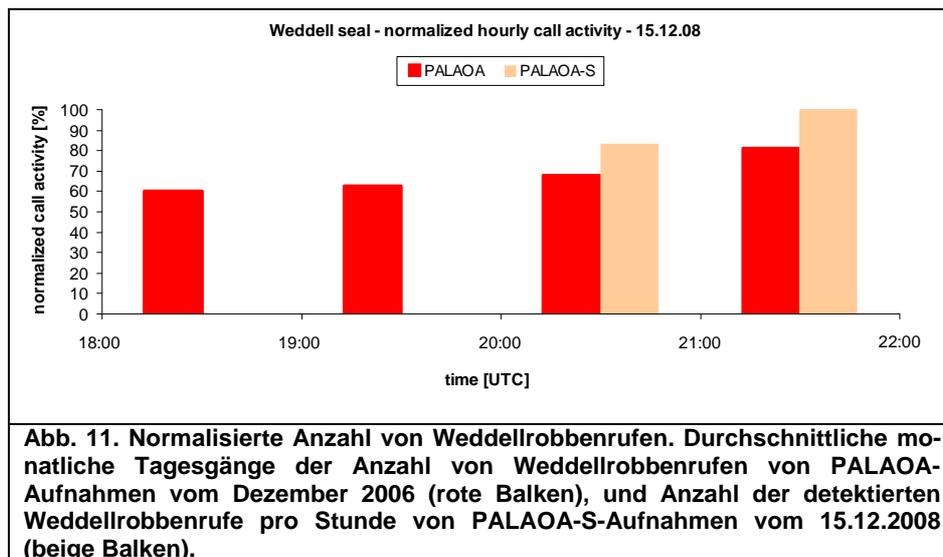


Abb. 10. Anzahl der detektierten Walrufe innerhalb einer Stunde, von PALAOA-S am 22./23.12.2008 bei A4 aufgezeichnet. Darstellung der akustischen Präsenz der Arten: Blauwal (blauer Balken) und die Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste (graue Linie) . Gezählte Walrufe: Blauwal (blaue Linie).

2.4 Normalisierte Rufanzahlen: Vergleich mit PALAOA

2.4.1 Weddellrobben

Rufe von Weddellrobben sind in der PALAOA-S-Aufnahme A2 vom 15.12.2008 und dort über zwei Stunden detektiert worden (Abb. 11). Die normalisierte Vokalisationsaktivität von Weddellrobben in den PALAOA-Aufnahmen blieb über den gesamten Monat Dezember relativ konstant (siehe Anhang A2).

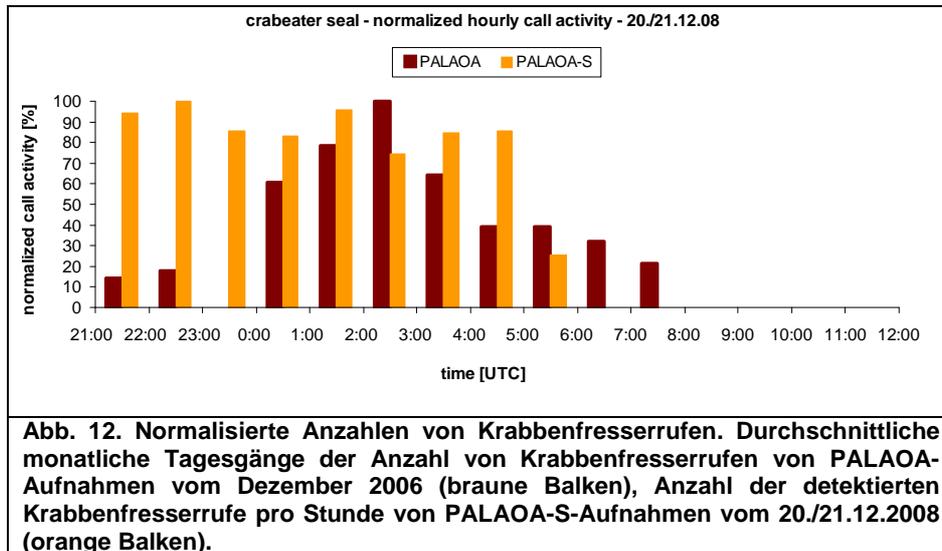


2.4.2 Krabbenfresser

Rufe von Krabbenfressern waren in der PALAOA-S-Aufnahme A3 (vom 20./21.12.2008) zwischen 21:00 (20.12.) und 06:00 (21.12.) präsent. Insgesamt blieb die normalisierte stündliche Rufanzahl in der PALAOA-S-Aufnahmen zwischen 21:00 (20.12.) bis 05:00 (21.12.) Uhr relativ konstant, abgesehen von einem Rückgang zwischen 05:00 und 06:00 Uhr, bevor die Anzahl der detektierten Rufe bis zum Aufnahmeende auf null abfiel.

Die PALAOA-Daten zeigen von 0:00 bis 03:00 Uhr einen aufsteigenden Trend in der Anzahl der detektierten Rufe mit einem Maximum zwischen 02:00 und 03:00 Uhr. Danach sankt die normalisierte Anzahl der Rufe pro Stunde bis 08:00 Uhr. Zwischen 23:00 bis 0:00 Uhr und 08:00 bis 11:00 Uhr wurden keine Krabbenfresserrufe von PALAOA aufgenommen. Insgesamt zeigten die normalisierten PALAOA-Werte, über 24 Stunden betrachtet, in der Rufanzahl ein Muster mit zwei Maxima (siehe Anhang

A2). In den PALAOA-S-Daten konnte kein vergleichbares Muster (mit zwei Maxima) wie in den PALAOA-Daten beobachtet werden (Abb. 12).



2.4.3 Rossrobben

Rufe von Rossrobben waren in zwei der PALAOA-S-Aufnahmen präsent, am 20/21.12.2008 (A3) und 22/23.12.2008 (A4). Beide Aufnahmen zeigen gegenläufige Muster in der normalisierten stündlichen Ruftrate (Abb. 13 und 14). Die Anzahlen von Rossrobbenrufen sind am 20./21.12.08 zu Beginn der Aufnahme zwischen 21:00 (20.12.) und 01:00 (21.12.) Uhr am höchsten, wobei die Anzahl am 22./23.08 erst gegen Ende der Aufnahme ansteigt, mit einem Maximum zwischen 08:00 und 09:00 Uhr.

In den PALAOA-Aufnahmen zeigt die Vokalisationsaktivität zunächst einen abnehmenden Trend von 19:00 bis 06:00 Uhr und steigt bis 12:00 Uhr wieder an. Die abnehmende Tendenz ist mit dem Trend in der PALAOA-S Aufnahme vom 20./21.12.08 vergleichbar, der Anstieg in der Rufanzahl eher mit dem Ende der PALAOA-S Aufnahme vom 22./23.12.08 zwischen 03:00 und 09:00. Hinweis: PALAOA-Aufnahmen haben gezeigt, dass die Vokalisationsaktivität von Rossrobben zwischen einzelnen Tagen variabel sein kann (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Daher ist es problematisch, die Vokalisationsaktivität wie hier über einen Monat zu mitteln, da dieses nicht der Realität entspricht.

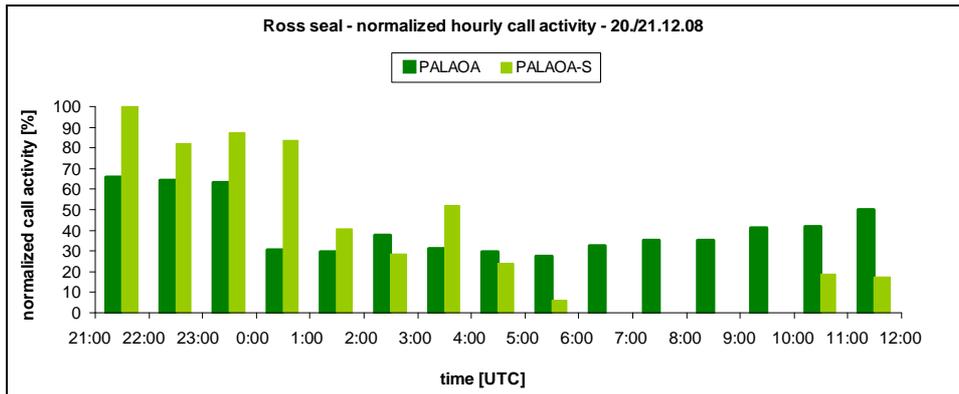


Abb. 13. Normalisierte Anzahlen von Rossrobbenrufen. Durchschnittliche monatliche Tagesgänge der Anzahl von Rossrobbenrufen von PALAOA-Aufnahmen vom Dezember 2006 (dunkelgrüne Balken), Anzahl der detektierten Rossrobbenrufe pro Stunde von PALAOA-S-Aufnahmen vom 20./21.12.2008 (hellgrüne Balken)

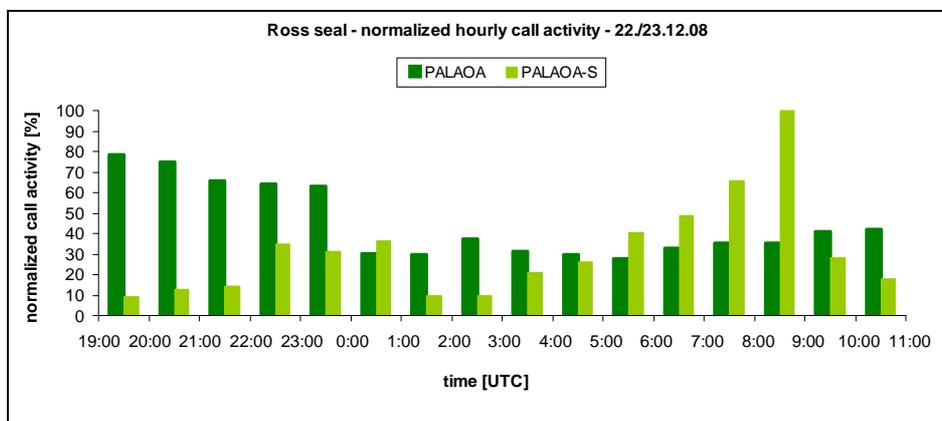


Abb. 14. Normalisierte Anzahlen von Rossrobbenrufen. Durchschnittliche monatliche Tagesgänge der Anzahl von Rossrobbenrufen von PALAOA-Aufnahmen vom Dezember 2006 (dunkelgrüne Balken), Anzahl der detektierten Rossrobbenrufe pro Stunde von PALAOA-S-Aufnahmen vom 22./23.12.2008 (hellgrüne Balken).

2.4.4 Seeleoparden

Seeleopardenrufe sind in allen vier PALAOA-S-Aufnahmen über die gesamten Aufnahmezeiträume detektiert worden. Die normalisierte Vokalisationsaktivität in den PALAOA-Aufnahmen bleibt über den gesamten Dezembertag relativ konstant (siehe Anhang C2). Die PALAOA-S-Daten vom 13.12.2008 (A1) und 15.12.2008 (A2; Abb. 15 und 16) spiegeln den relativ konstanten Trend der detektierten Seeleopardenrufe pro Stunde in den PALAOA-Aufnahmen wider.

Am 20./21.12.2008 (A3) sinkt die Anzahl der detektierten Seeleopardenrufe in der PALAOA-S-Aufnahme gegen Ende (nach 06:00 Uhr) ab (Abb. 17). Am 22./23.12.2008 (A4) ist die stündlich detektierte Rufanzahl in der zweiten Hälfte der PALAOA-S-Aufnahme geringer, als in den PALAOA-Aufnahmen (Abb. 18).

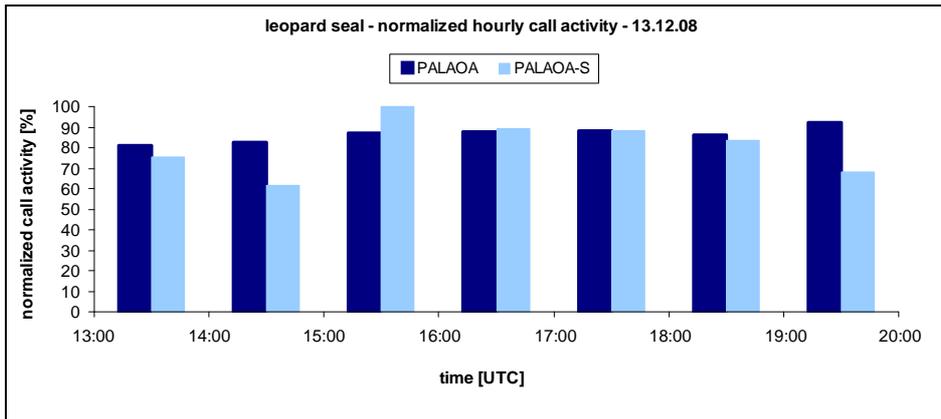


Abb. 15. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen. Durchschnittliche monatliche Tagesgänge der Anzahl von Seeleopardenrufen von PALAOA-Aufnahmen vom Dezember 2006 (dunkelblaue Balken), Anzahl der detektierten Seeleopardenrufe pro Stunde von PALAOA-S-Aufnahmen vom 13.12.2008 (hellblaue Balken).

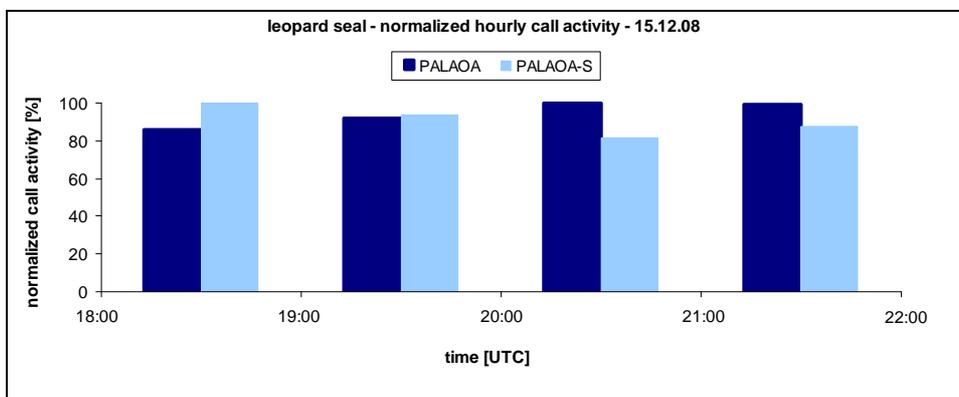


Abb. 16. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen. Durchschnittliche monatliche Tagesgänge der Anzahl von Seeleopardenrufen von PALAOA-Aufnahmen vom Dezember 2006 (dunkelblaue Balken), Anzahl der detektierten Seeleopardenrufe pro Stunde von PALAOA-S-Aufnahmen vom 15.12.2008 (hellblaue Balken).

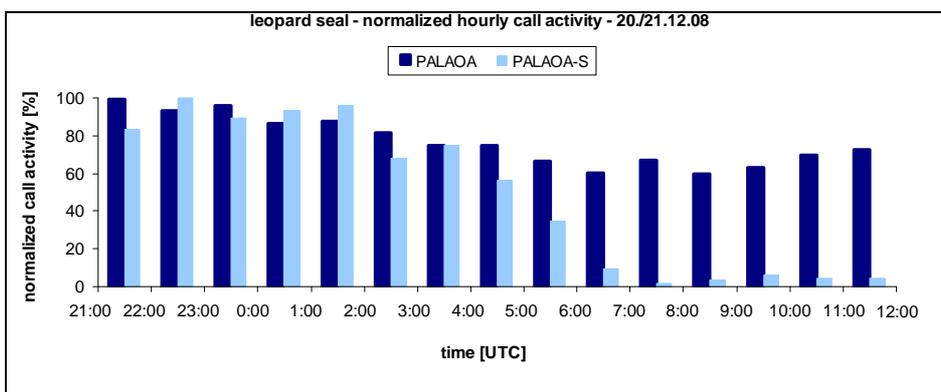


Abb. 17. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen. Durchschnittliche monatliche Tagesgänge der Anzahl von Seeleopardenrufen von PALAOA-Aufnahmen vom Dezember 2006 (dunkelblaue Balken), Anzahl der detektierten Seeleopardenrufe pro Stunde von PALAOA-S-Aufnahmen vom 20./21.12.2008 (hellblaue Balken).

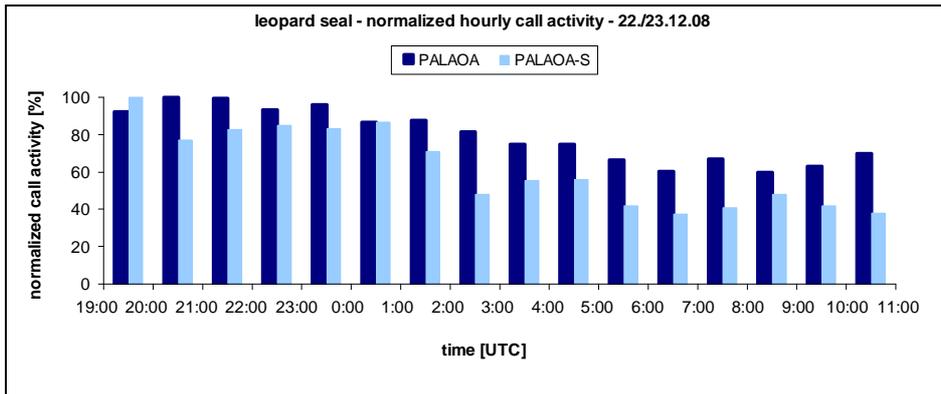


Abb. 18. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen. Durchschnittliche monatliche Tagesgänge der Anzahl von Seeleopardenrufen von PALAOA-Aufnahmen vom Dezember 2006 (dunkelblaue Balken), Anzahl der detektierten Seeleopardenrufe pro Stunde von PALAOA-S-Aufnahmen vom 22./23.12.2008 (hellblaue Balken)

2.5 Vergleich von manueller und automatischer Datenanalyse

Automatische Detektoren wurden mit XBAT für jede Robbenart separat angefertigt. Tabelle 5 zeigt die Anzahl der ‚*Templates*‘ und die Sensitivität eines jeden Detektors für jede Robbenart, die zur automatischen Analyse genutzt wurden. Diese Auswahl basierte auf dem am häufigsten vorkommenden und stereotypischsten Ruf jeder Art. Die für die Analyse genutzten ‚*Templates*‘ sind im Anhang dargestellt (Anhang A5-C5). Die Sensitivität des Detektors wurde so eingestellt, dass möglichst keine Fehldetektionen (‚*false positives*‘) auftreten. Daher wird eine relativ hohe Zahl an verpassten Detektionen (‚*false negatives*‘) in Kauf genommen.

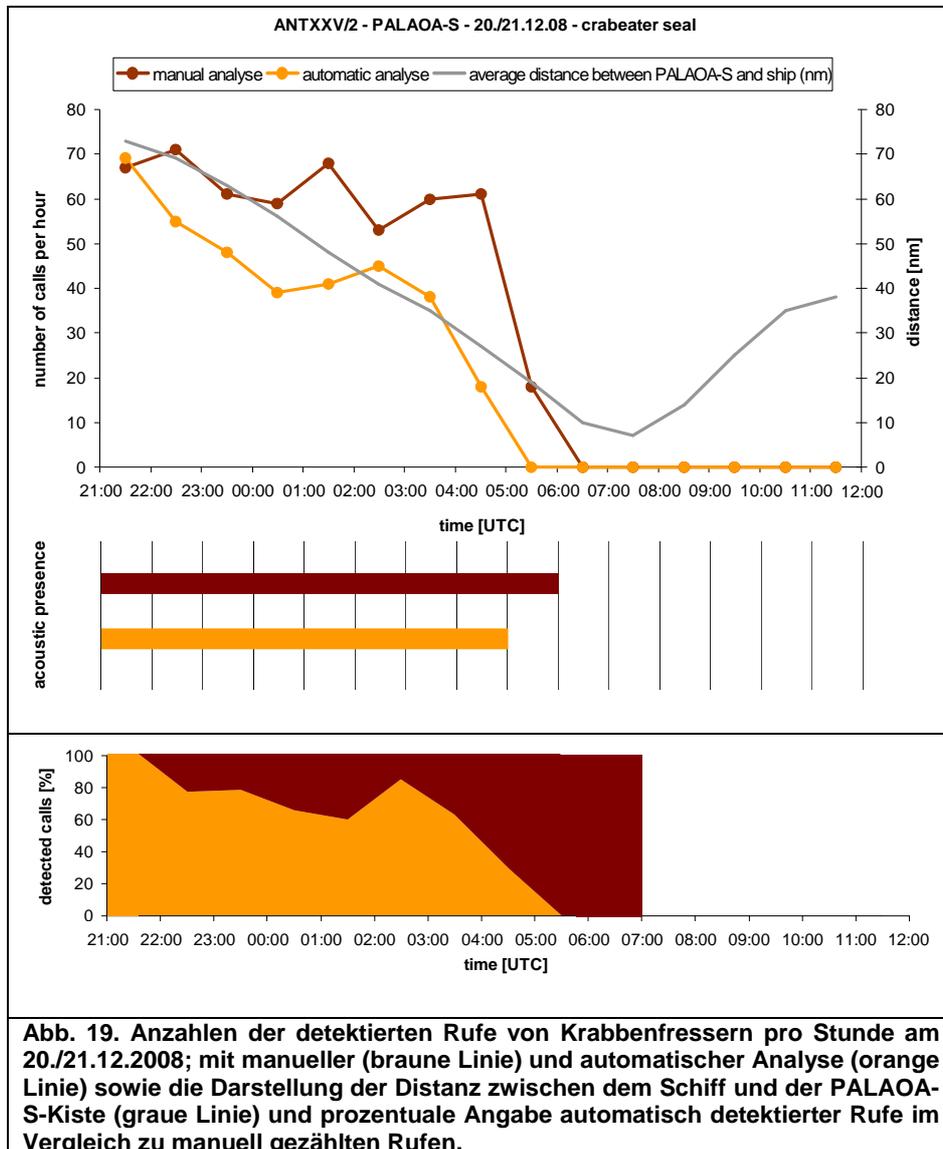
Die Abbildungen 19 bis 25 zeigen die Anzahl von Rufen pro Stunde dreier Robbenarten (Krabbenfresser, Rossrobbe und Seeleoparden), die manuell und automatisch detektiert wurden und die Entfernung zwischen der jeweiligen PALAOA-S Aufnahmeeinheit und dem Schiff. Außerdem ist angegeben wie viel Prozent der Rufe der automatische Detektor erkannt hat, im Vergleich zu 100 Prozent manuell detektierter Rufe.

Art	Rufotyp	Anzahl der ‚<i>Templates</i>‘	Sensitivität
Krabbenfresser	C1	1	0.30
Rossrobbe	R3	5	0.36
Seeleopard	L6	6	0.40

2.5.1 Krabbenfresser, Auslegung A3

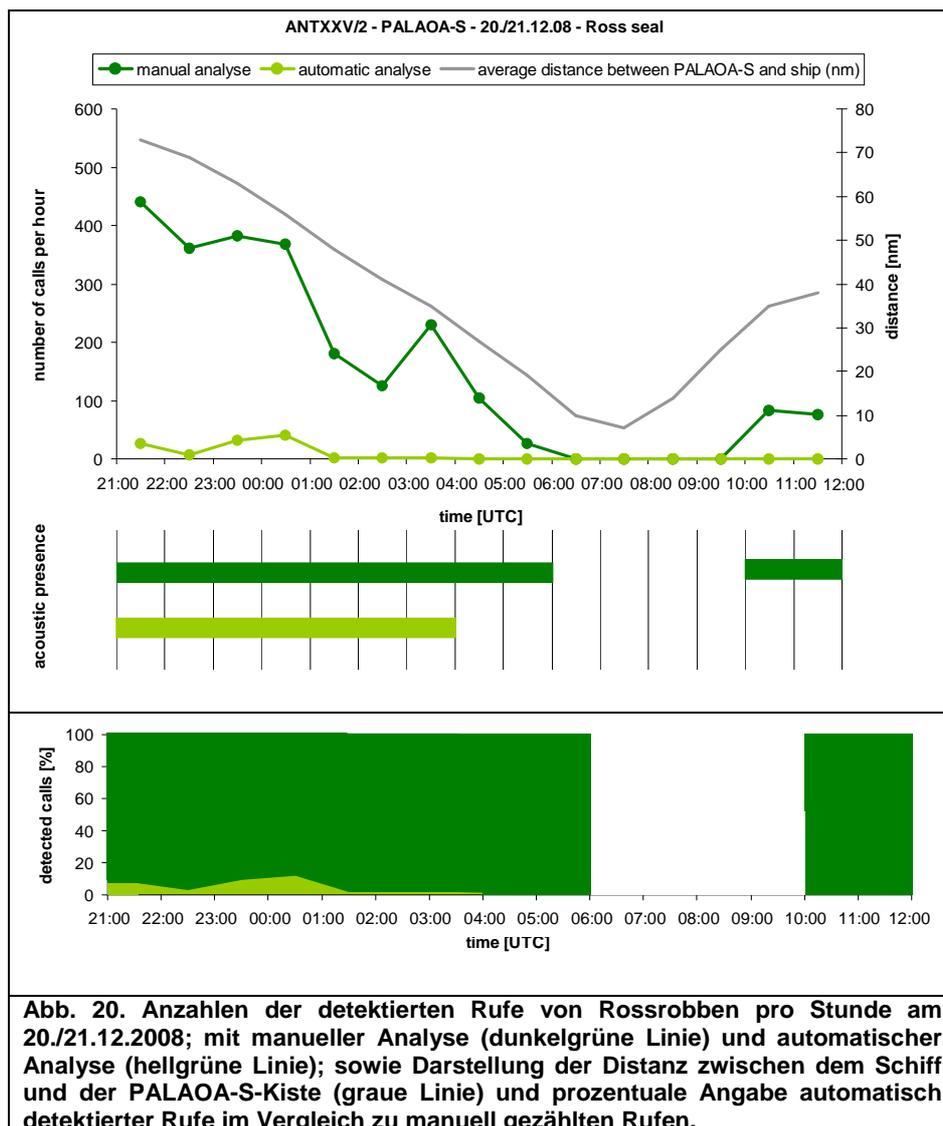
Die Anzahl der manuell und automatisch detektierten Krabbenfresserrufe ging mit kleiner werdendem Abstand zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff jeweils zurück. Nachdem das Schiff die Kiste passiert hatte, zeigten beide Analysemethoden keine Krabbenfresserrufe mehr an (Abb. 19). Der automatische Detektor hatte schon eine Stunde vor der manuellen Analyse keine Krabbenfresserrufe mehr detektiert. Insgesamt ist die automatisch gefundene Rufzahl geringer als die der manuellen Analyse, abgesehen vom Zeitraum zwischen 21:00 und 22:00 Uhr. Eine nachträgliche Inspektion des Outputs der automatischen Analyse hat gezeigt, dass diese durch

zwei Fehldetektionen von Helikoptertönen in der Aufnahme verursacht wurden. Die automatische Detektion hat bis 03:00 Uhr zwischen 60% und 100 % der manuell detektierten Rufe gefunden und mit dem Näherkommen des Schiffes prozentual immer weniger Rufe detektiert.



2.5.2 Rossrobben, Auslegungen A3 und A4

Bei A3 (20./21.12.2008) wurde mit abnehmender Distanz zwischen der PALAOA-S-Kiste und dem Schiff die Anzahl der manuell gezählten Rossrobbenrufe pro Stunde geringer, während sie mit Zunahme der Distanz wieder anstiegen. Zwischen 06:00 und 10:00 Uhr (21.12.) wurden manuell keine Rossrobbenrufe mehr detektiert, automatisch nur zu Beginn bis 04:00 Uhr (Abb. 20). Bei A4 (21./22.12.2008) wurden Rossrobbenrufe manuell im gesamten Aufnahmezeitraum detektiert. Dagegen konnte die automatische Analyse die Tierrufe nur zwischen 22:00 und 23:00 Uhr und von 05:00 bis 10:00 Uhr aufnehmen. In diesen Zeiträumen waren auch in der manuellen Analyse zwei lokale Maxima zu erkennen (Abb. 21). In beiden Aufnahmen konnten im Zeitraum, in dem Rossrobbenrufe automatisch detektiert wurden, maximal 9% (A3.) bzw. 10% (A4) der manuell detektierten Rufe gefunden werden.



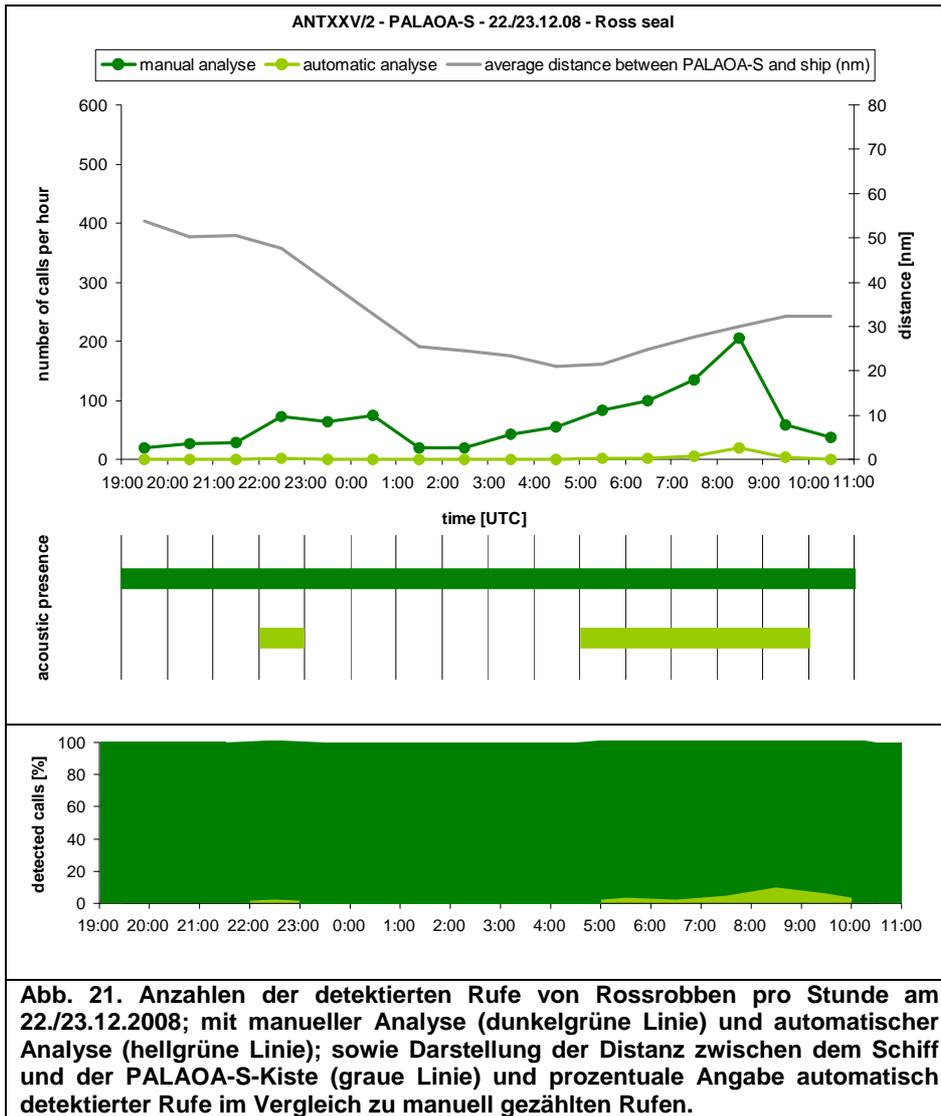


Abb. 21. Anzahlen der detektierten Rufe von Rossrobben pro Stunde am 22./23.12.2008; mit manueller Analyse (dunkelgrüne Linie) und automatischer Analyse (hellgrüne Linie); sowie Darstellung der Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste (graue Linie) und prozentuale Angabe automatisch detektierter Rufe im Vergleich zu manuell gezählten Rufen.

2 5.3 Seeleoparden, Auslegungen A1 bis A4

In allen PALAOA-S-Aufnahmen wurden die Rufe von Seeleoparden manuell über die gesamten Aufnahmezeiten detektiert (Abb. 22 bis 25) und auch die automatische Analyse konnten Seeleopardenrufe über den ganzen Zeitraum erfassen, mit Ausnahme der Aufnahmen von A3 (Abb. 25).

Ab dem Anfang der Aufnahme A1 (13.12.2008) bis 15:00 Uhr, waren die Verläufe der Häufigkeit detektierter Seeleopardenrufe aus der manuellen und automatischen Analyse gegenläufig (Abb. 22 oben). Von 16:00 Uhr bis zum Ende der Aufnahme zeigten beide Verläufe insgesamt einen Rückgang, parallel zum sich verringernden Abstand zwischen PALAOA-S-Kiste und Schiff. Es konnten maximal 47% und minimal 8% der manuell detektierten Rufe automatisch gefunden werden (Abb. 22 unten).

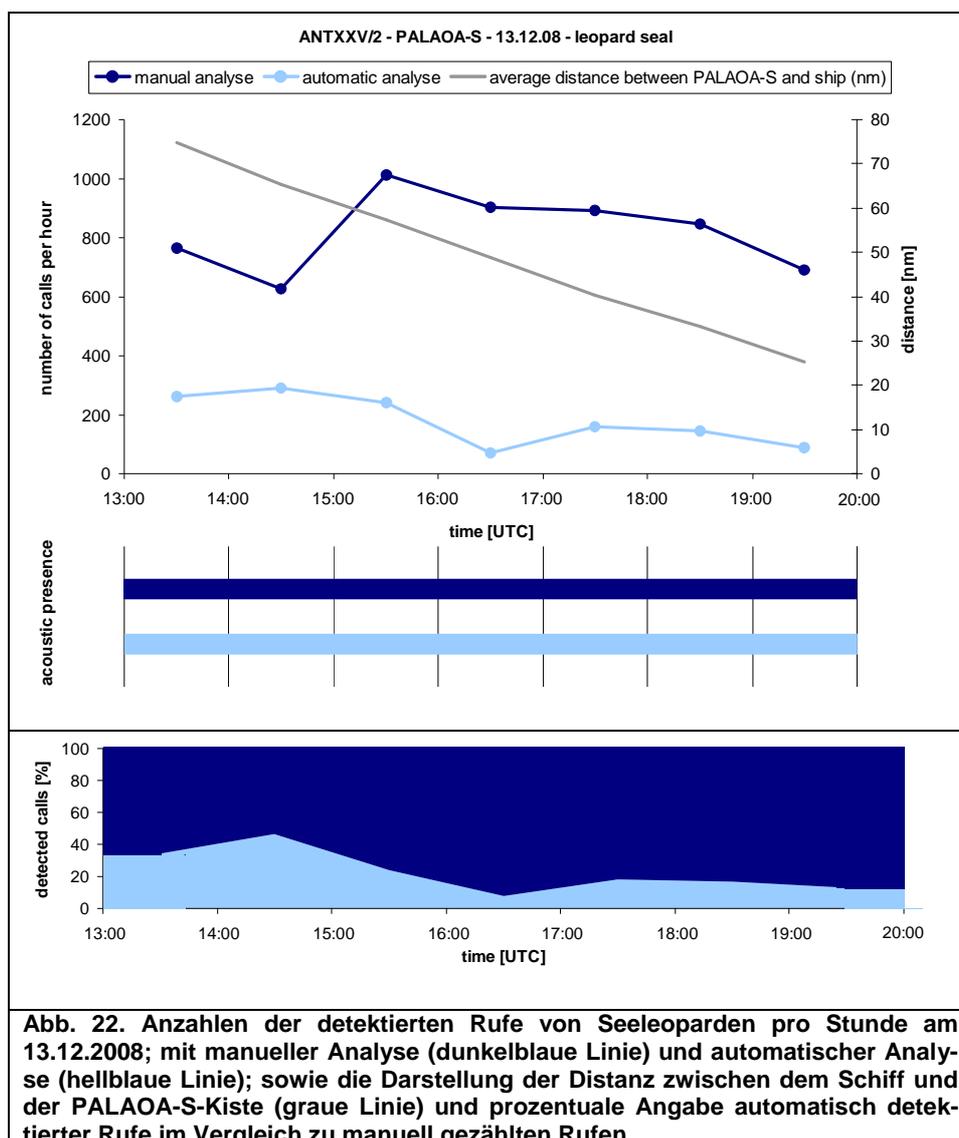
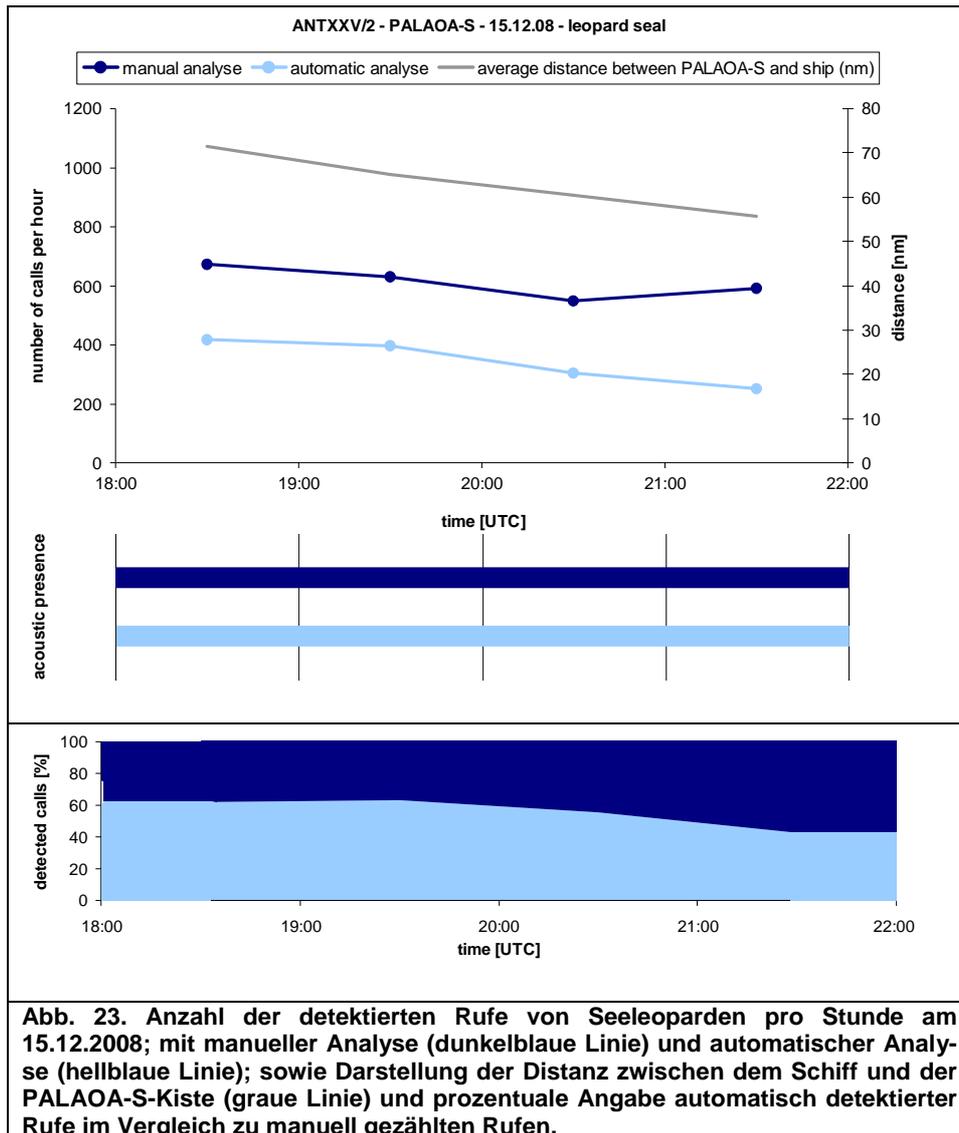


Abb. 22. Anzahlen der detektierten Rufe von Seeleoparden pro Stunde am 13.12.2008; mit manueller Analyse (dunkelblaue Linie) und automatischer Analyse (hellblaue Linie); sowie die Darstellung der Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste (graue Linie) und prozentuale Angabe automatisch detektierter Rufe im Vergleich zu manuell gezählten Rufen.

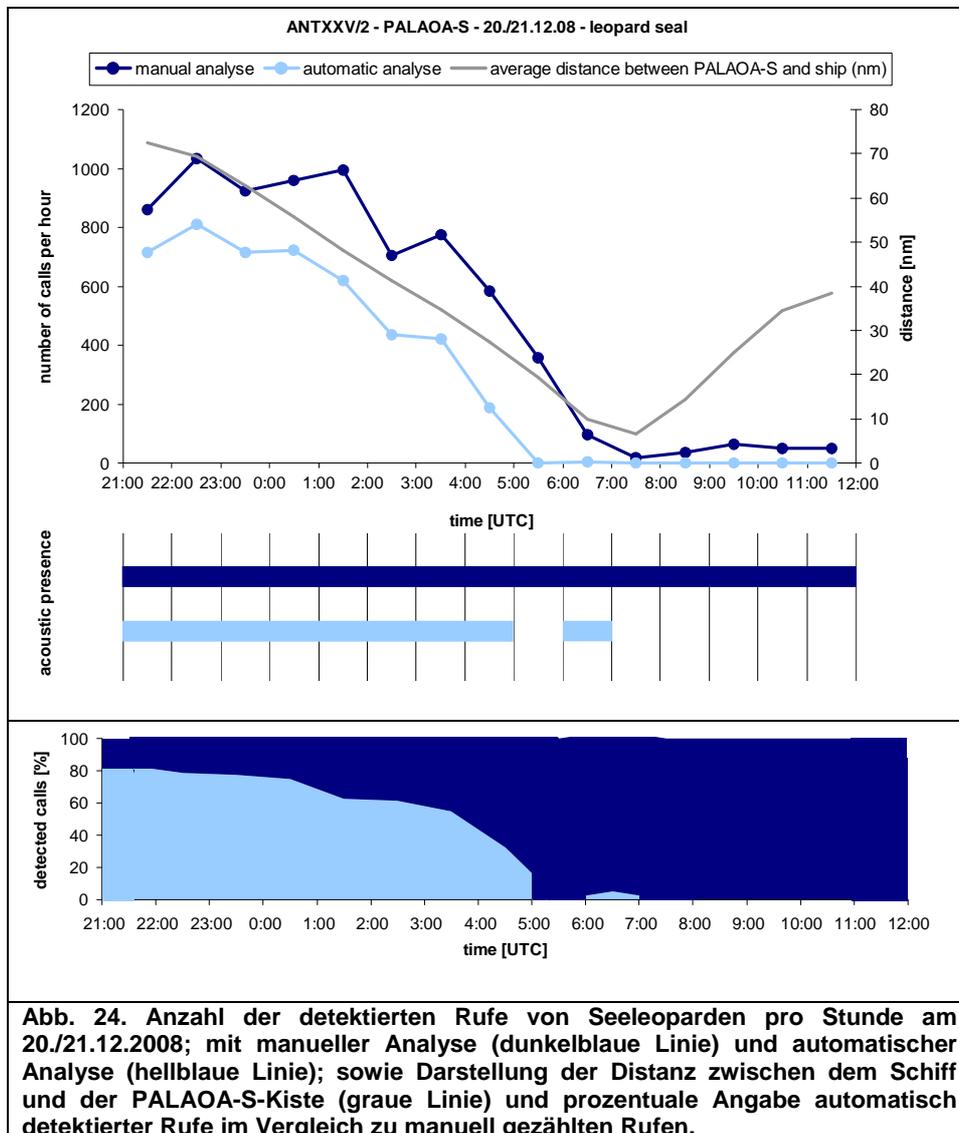
Am 15.12.2008 ging die Zahl der manuell und automatisch detektierter Rufe mit abnehmender Distanz zwischen PALAOA-S-Kiste und Schiff insgesamt zurück. Die automatischen Erfassungen folgten bis zum Ende der Aufnahme (A2) dem abnehmenden Trend, wobei die manuell detektierten Rufzahlen zwischen 21:00 und 22:00 Uhr wieder leicht anstiegen (Abb. 23). Im Vergleich zur manuellen Analyse konnten zwischen 43% und 63% der Rufe automatisch detektiert werden.



In den Aufnahmen von A3 (20./21.12.2008) und A4 (22./23.12.2008) folgte der Trend der automatisch detektierten Rufzahlen grundsätzlich dem der manuellen Analyse (Abb. 24 und 25).

Die prozentuale Anzahl der automatisch detektierten Seeleopardenrufe bei A3 ist im Vergleich zu manueller Detektion zwischen 21:00 und 05:00 Uhr von 80% auf 0% gesunken, parallel zur annehmenden Distanz zwischen PALAOA-S und dem Schiff. Zwischen 05:00 und 06:00 Uhr sowie 07:00 bis 12:00, dem Ende der Aufnahme, wurden keine Seeleoparden automatisch detektiert (Abb. 24).

Bei A4 variierte die prozentuale Anzahl der automatisch detektierten Rufe zwischen 20% und 48% (Abb. 25)



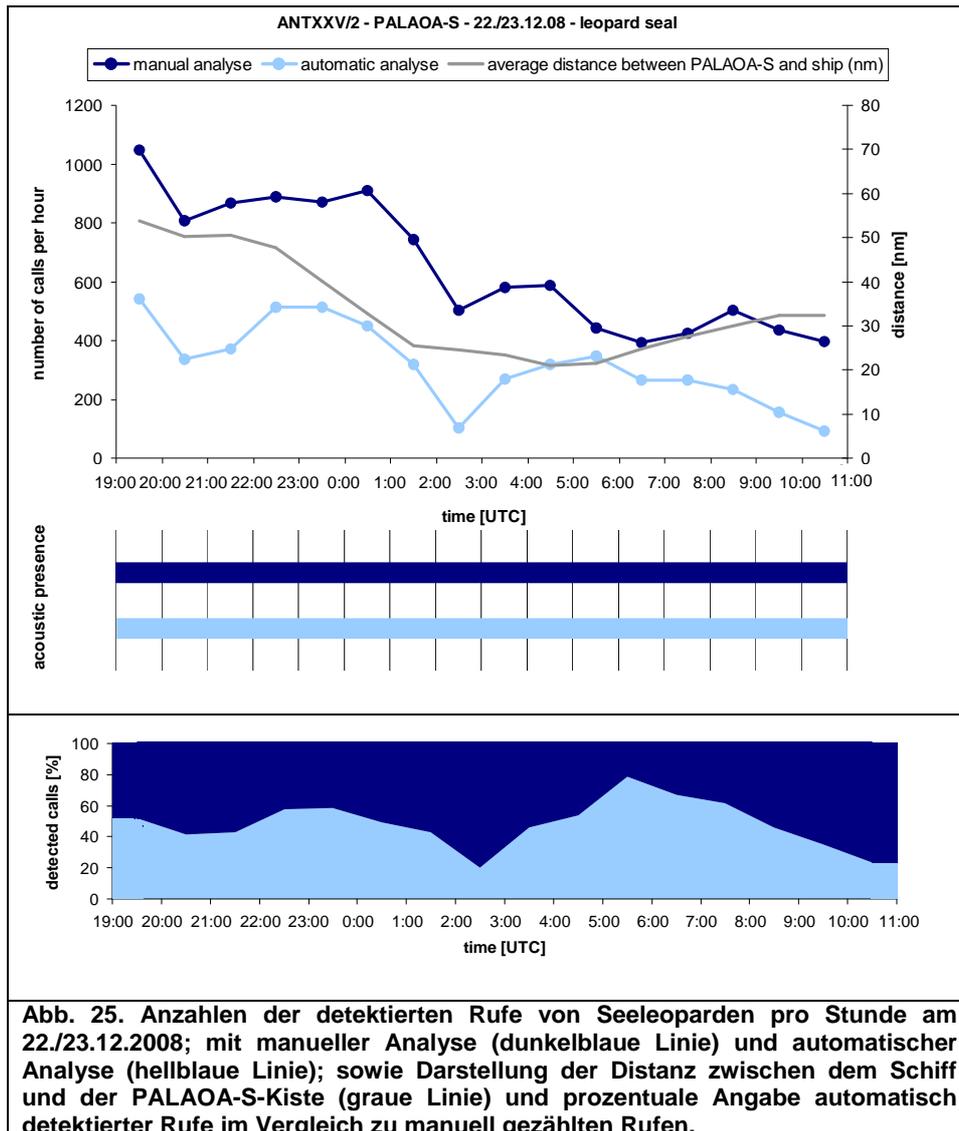


Abb. 25. Anzahlen der detektierten Rufe von Seeleoparden pro Stunde am 22./23.12.2008; mit manueller Analyse (dunkelblaue Linie) und automatischer Analyse (hellblaue Linie); sowie Darstellung der Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste (graue Linie) und prozentuale Angabe automatisch detektierter Rufe im Vergleich zu manuell gezählten Rufen.

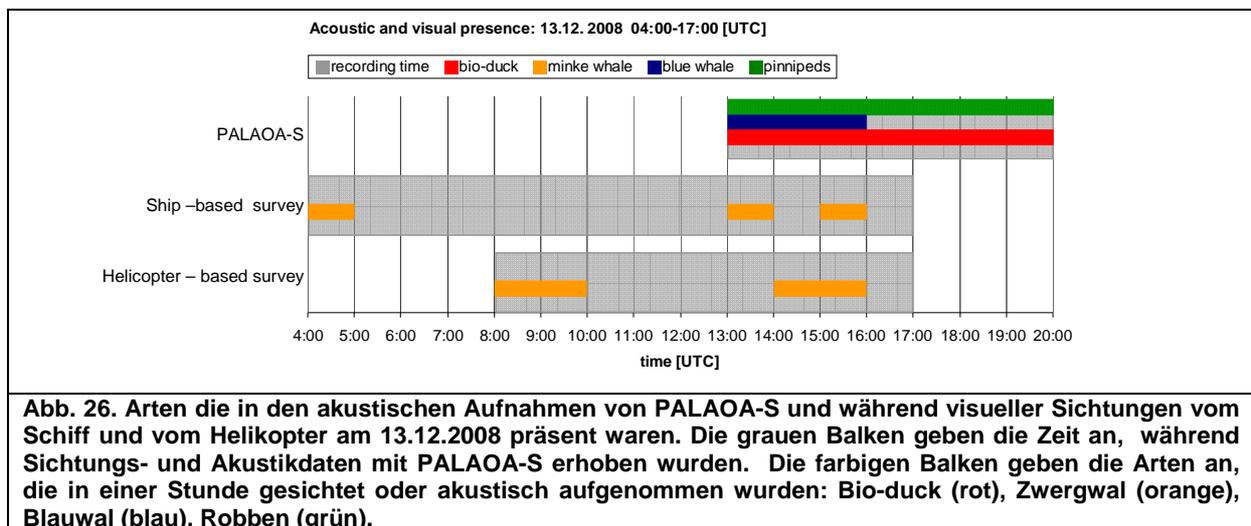
2.6 Vergleich der akustischen PALAOA-S-Daten mit Sichtungsdaten

Alle drei Detektionsmethoden (schiffsbasierte, helikopterbasierte Sichtungsdaten und akustische PALAOA-S Aufnahmen) haben am 13.12.2008 zeitgleich für vier Stunden Daten aufgezeichnet (Abb. 26). An anderen Tagen (15.12., 20.12. und 23.12.2008) fanden simultan keine Aufnahmen statt, weder bei den zwei Sichtungsmethoden, noch der akustischen Methode (Abb. 27, 28 und 31). Am 21.12. und 22.12. gab es nur zeitliche Übereinstimmungen in der Observation zwischen PALAOA-S und schiffsbasierten Sichtungen (Abb. 29 und 30).

Der Zeitraum über den der Vergleich zwischen visuellen und akustischen Daten stattfand, wurde so ausgedehnt, dass alle visuellen Sichtungen von einem Tag enthalten sind, an dem PALAOA-S aufzeichnete.

2.6.1 Daten vom 13.12.2008

Beide Sichtungsmethoden detektierten am 13.12.2008 Zwergwale (*Balaenoptera bonaerensis*), wobei die akustischen Aufnahmen Signale von Robben, Blauwalen, Finnwalen und Bio-duck erfassten (Abb. 26).



2.5.2 Daten vom 15.12.2008

An diesem Tag detektierten alle drei Untersuchungsmethoden Robben (Abb. 27). Es wurden keine Wale gesichtet oder aufgenommen. Obwohl es keine zeitliche Übereinstimmung zwischen den Untersuchungen gab, wurden kurz vor Ende der schiffs-

basierten Sichtungen Robben erkannt, kurz bevor die akustische Datenaufzeichnung begann, die umgehend Robbenrufe aufgezeichnete.

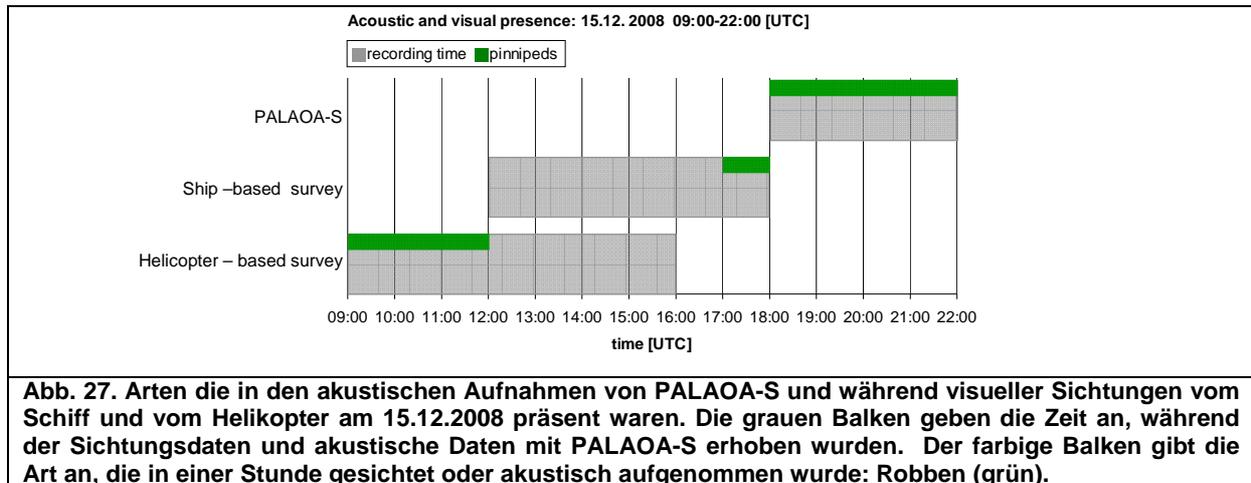


Abb. 27. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 15.12.2008 präsent waren. Die grauen Balken geben die Zeit an, während der Sichtungsdaten und akustische Daten mit PALAOA-S erhoben wurden. Der farbige Balken gibt die Art an, die in einer Stunde gesichtet oder akustisch aufgenommen wurde: Robben (grün).

2.5.3 Daten vom 20.12.2008

Während der schiffsbasierten Sichtung wurden Zwergwale detektiert. Im Verlauf der Helikoptersichtungen wurden keine Tiere beobachtet. Akustische Aufnahmen erfolgten an diesem Tag zu einer Zeit, zu der keine visuellen Sichtungsdaten vorhanden waren und zeigen die akustische Präsenz von Robben, Blau- und Killerwalen (Abb. 28).

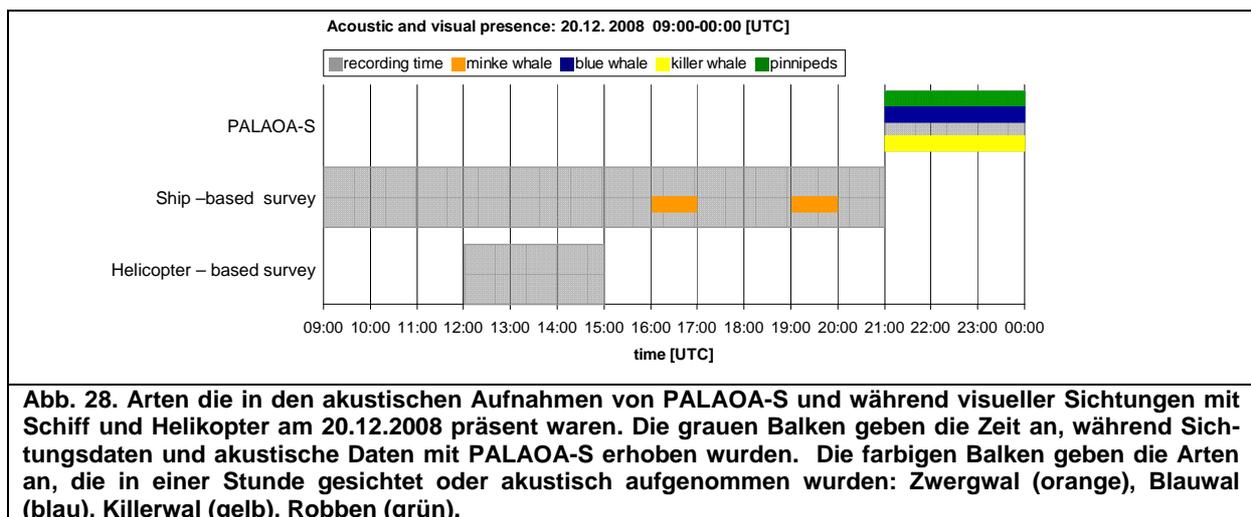


Abb. 28. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen mit Schiff und Helikopter am 20.12.2008 präsent waren. Die grauen Balken geben die Zeit an, während Sichtungsdaten und akustische Daten mit PALAOA-S erhoben wurden. Die farbigen Balken geben die Arten an, die in einer Stunde gesichtet oder akustisch aufgenommen wurden: Zwergwal (orange), Blauwal (blau), Killerwal (gelb), Robben (grün).

2.5.4 Daten vom 21.12.08

An diesem Tag konnten Robben, Blau- und Killerwalrufe mit PALAOA-S aufgenommen werden. Robben- und Blauwalrufe waren in den akustischen Aufnahmen vor-

handen, als die Sichtungen vom Schiff begannen. Zu diesem Zeitpunkt wurden diese Arten visuell nicht erfasst (Abb. 29). Später, als die akustische Aufnahme beendet war, wurden mit beiden Sichtungsmethoden Robben und Zwergwale detektiert.

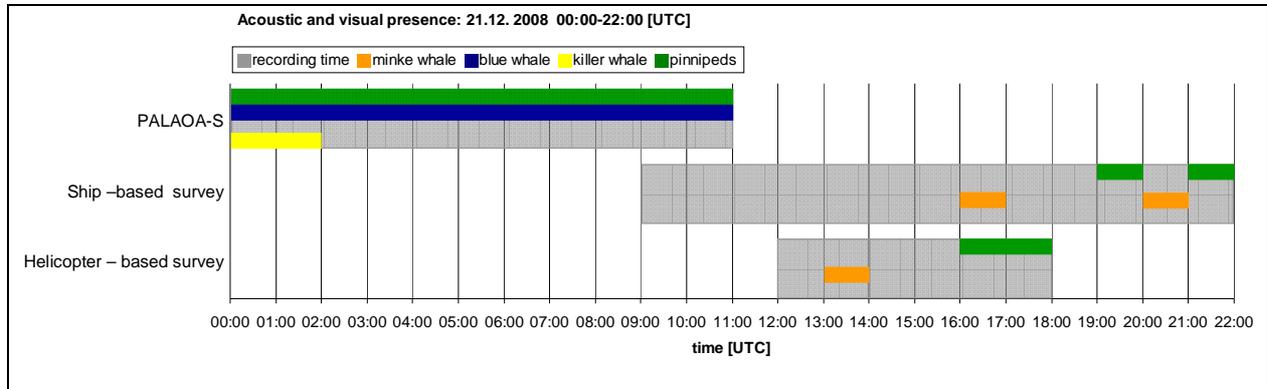


Abb. 29. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 21.12.2008 präsent waren. Die grauen Balken geben die Zeit an, während Sichtungsdaten und akustische Daten mit PALAOA-S erhoben wurden. Die farbigen Balken geben die Arten an, die in einer Stunde gesichtet oder akustisch aufgenommen wurden: Zwergwal (orange), Blauwal (blau), Killerwal (gelb) Robben (grün).

2.5.5 Daten vom 22.12.08

An diesem Tag konnten Robbenrufe, Blauwalrufe und das Bio-duck-Signal akustisch aufgezeichnet werden. Robben wurden auch während des Helikopterfluges gesichtet, aber nur zwischen 12:00 und 13:00 Uhr als keine akustischen Aufnahmen stattfanden. Während der Schiffsichtung wurden keine Tiere detektiert, obwohl während der zeitgleichen Beobachtung vom Helikopter aus Robben und Zwergwale zu sehen waren (Abb. 30).

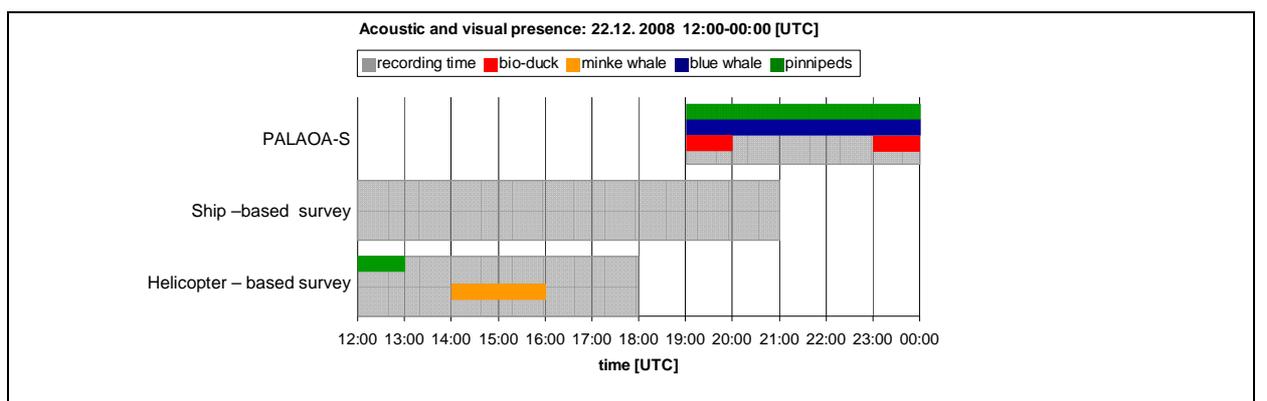


Abb. 30. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 22.12.2008 präsent waren. Die grauen Balken geben die Zeit an, während Sichtungsdaten und akustische Daten mit PALAOA-S erhoben wurden. Die farbigen Balken geben die Arten an, die in einer Stunde gesichtet oder akustisch aufgenommen wurden: Bio-duck (rot), Zwergwal (orange), Blauwal (blau), Robben (grün).

2.5.6 Daten vom 23.12.08

Die akustischen Aufnahmen beinhalteten Rufe von Robben, Blau- und Finnwalen und das Bio-duck-Signal. Zwergwale konnten mit beiden Sichtungsmethoden detektiert werden. Bei akustischen und visuellen Daten gab es weder eine zeitliche Überlap-
pung, noch eine Übereinstimmung der detektierten Arten (Abb. 31).

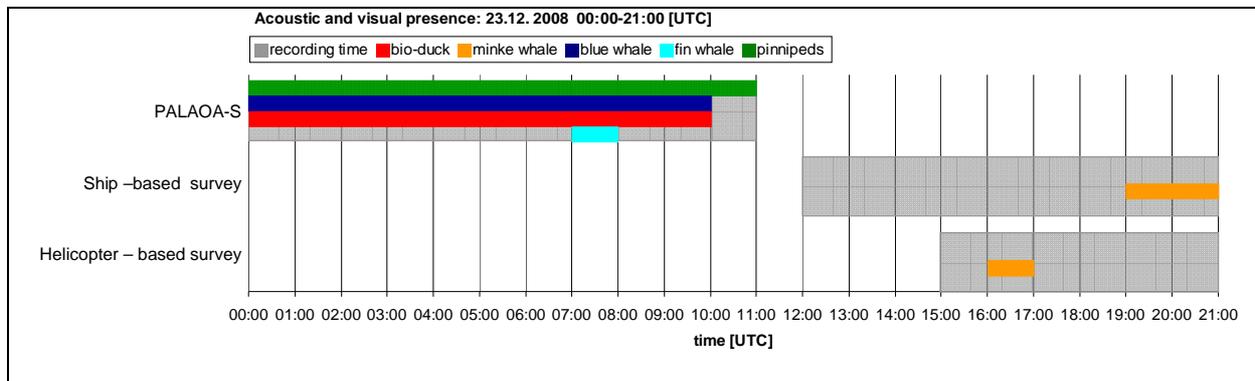


Abb. 31. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 23.12.2008 präsent waren. Die grauen Balken geben die Zeit an, während Sichtungsdaten und akustische Daten mit PALAOA-S erhoben wurden. Die farbigen Balken geben die Arten an, die in einer Stunde gesichtet oder akustisch aufgenommen wurden: Bio-duck (rot), Zwergwal (orange), Blauwal (blau), Finnwal (türkis), Robben (grün).

3. DISKUSSION

3.1 Artenspektrum

Die PALAOA-S-Daten zeigen, dass das Vorkommen und die Zusammensetzung der Arten zwischen den verschiedenen Ausbringungsorten lokal unterschiedlich sind.

Die östlichste PALAOA-S-Auslegung (A4) hat zwei Robbenarten (Rossrobben und Seeleoparden), zwei Walarten (Blauwal, Finnwal) und das Bio-duck-Signal aufgenommen. Hier gab es das geringste Eisvorkommen mit viel freiem Wasser zum Luft-holen. Auch die Nähe zu Maud Rise („*Seamount*“) könnte die Artenvielfalt erklären. Ein „*Seamount*“ bietet Hartsubstrat für viele Organismen und damit Nährstoffe für z.B. Fische oder Krill, die wiederum Nahrungsquelle für die Meeressäuger sind.

Nur die südlichste PALAOA-S-Station (A2), hat Weddellrobbenrufe aufgezeichnet. Dies lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass sich Weddellrobben meistens in der Nähe von Festeis aufhalten (Van Opzeeland *et al.*, 2010), also eher südlicher anzutreffen sind.

Die PALAOA-S-Auslegung A3 hat die meisten Robbenarten detektiert. Dieses lässt eine ideale Eissituation vermuten, mit genug Eis zur Aufzucht von Jungen, zur Rast und nicht zu vielen festen Eispartien, die den Zugang zur Wasseroberfläche versperren würden. Auch dass nur dort Krabbenfresser anzutreffen waren, spricht für eine günstige Eissituation, da diese auf große und feste Schollen zur Aufzucht von Jungtieren und zum Schutz vor Killerwalen und Seeleoparden angewiesen sind. Des Weiteren lässt sich vermuten, dass es dort viel Krill gab, der Krabbenfressern als Hauptnahrungsquelle dient. Plötz *et al.*, (1991) vermutet, dass die Verbreitung von Krabbenfressern vom Krillvorkommen abhängt. Zusätzlich wurden dort auch Killerwalrufe aufgenommen. Diese könnten von dem hohen Robbenaufkommen als Nahrungsquelle angelockt worden sein. Auch Seeleoparden machen Jagd auf Krabbenfresser und wurden dort von PALAOA-S aufgenommen.

Rossrobbenrufe wurden erst bei der Rücktour der Polarstern, vom südlichsten Punkt Richtung Norden, ab dem 20.12.08 detektiert. Zur Zeit der Hinfahrt wurden in ähnlichen Breiten keine Rossrobbenrufe akustisch aufgenommen. Ein Grund für das Feh-

len von Rossrobbenrufen in den beiden zeitlich früheren PALAOA-S-Aufnahmen (A1 und A2) könnte darin liegen, dass die Paarungszeit der Rossrobben erst Mitte Dezember beginnt. Zu dieser Zeit werden vermutlich die meisten Rufe produziert (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Auch PALAOA hat Rossrobbenrufe im Dezember 2006 erst ab dem 16.12. aufgezeichnet (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Räumlich betrachtet könnte ihr Wanderverhalten ein weiterer Grund für das geringe Aufkommen und das Vorkommen von Rossrobbenrufen in Gebieten (A4) mit mehr offenen Wasserflächen sein. Blix und Nordoy (2007) haben gezeigt, dass Rossrobben einen erheblichen Zeitraum (Februar bis Oktober) eher nördlich in offenem Wasser verbringen und nach der Jungtieraufzucht im Packeis wieder nach Norden migrieren (ca. Ende November), vermutlich zur Nahrungs- und Partnersuche.

Seeleoparden kommen im Südsommer in die Packeiszone zur Fortpflanzung. Da sie räumlich weit verteilt sind, produzieren Männchen sehr laute und weitreichende Töne, welche Weibchen anlocken sollen. Die Weibchen sind im Dezember zur Paarung bereit und dann auch vokal aktiv, um Männchen auf sich aufmerksam zu machen (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Das könnte erklären, dass auf allen PALAOA-S-Aufnahmen die Rufe von Seeleoparden gefunden wurden.

Blauwale wurden an allen PALAOA-S-Lokalisationen aufgenommen, mit Ausnahme von Auslegung A2. Für diese Aufnahme war keine spezifische Analyse der tiefen Frequenzen auf Grund von Störgeräuschen möglich. Da Blauwaltöne tieffrequent und daher weitreichend sind (Sirovic *et al.*, 2004), lässt sich nicht ausschließen, dass auch bei A2 Blauwalrufe aufgezeichnet wurden.

Finnwalrufe wurden nur in Aufnahmen bei A4 detektiert. Da diese Tiere auch tiefe und damit weitreichende Töne produzieren (Sirovic *et al.*, 2004), müssen sie sich nicht notwendigerweise in unmittelbarer Nähe zur PALAOA-S-Einheit aufgehalten haben.

Das Bio-duck-Signal wurde an den beiden nördlichsten Stationen (A1, A4) im dichten Eisfeld sowie in offenem Wasser aufgenommen. Es ist bis heute unbekannt, welche Tiere dieses Signal produzieren. Erstmals wurde dieses Signal von U-Bootfahrern wahrgenommen und auf Grund der Ähnlichkeit des Signals mit einer Ente „Bio-duck“ genannt. Dieses Signal wird auch von PALAOA immer wieder empfangen sowie es auch von anderen Wissenschaftlern im südlichen Ozean aufgezeichnet wurde (Van Opzeeland 2010). Van Opzeeland (2010) diskutiert, ob das Bio-duck-Signal mögli-

cherweise von Zwergwalen produziert werden könnte. Dieses wird hier später im Text noch einmal angesprochen (Abschnitt 3.4).

Zusammenfassend wird klar, dass die akustische Präsenz und die Vokalisationsaktivität verschiedener Meeressäuger in der Antarktis nicht nur jahreszeitlich variieren (PALAOA, Van Opzeeland *et al.*, 2010), sondern wahrscheinlich auch von lokalen Bedingungen wie Eisbedeckung, Nahrungsvorkommen und Fressfeinden abhängen. Dennoch ist die Größe des Datensatzes nicht hinreichend, um statistisch gesicherte Aussagen zu treffen.

3.2. Einfluss von Schiffslärm auf die Vokalisationsaktivität von Meeressäugern

3.2.1 Robben (*Pinnipedia*)

Weddellrobberufe wurden nur in einer PALAOA-S Aufnahme (A2) detektiert und dort nur über einen Zeitraum von zwei Stunden in relativ geringer Anzahl. Daher ist es nicht möglich, Schlussfolgerungen über Einflüsse von Schiffslärm auf diese Art abzuleiten.

Krabbenfresserrufe waren nur in einer Aufnahme (A3) zu erkennen. Deren Zahl begann zu sinken, als das Schiff einen Abstand von 35 nm zur Kiste erreichte. Ab einer Distanz von 27 nm wurden keine Rufe mehr detektiert. Selbst als der Abstand zwischen Schiff und Kiste wieder größer wurde und denselben Wert annahm wie vor der Schiffspassage, ließen sich Krabbenfresserrufe nicht mehr ausmachen. Die Audiodatei zeigt, dass das Schiff von kurz vor der Passage bis zum Ende der Aufnahme akustisch präsent war. Es ist möglich, dass deshalb keine Rufe mehr detektiert wurden, weil der Schiffslärm am Heck größer ist als am Bug und die Rufe maskierte. Andere Möglichkeiten für die Reduktion sind, dass die Tiere das Gebiet verließen oder tatsächlich weniger Rufe produzierten, was mit PALAOA-S in diesem Experiment nicht festgestellt werden kann. Die Aufnahmezeit war zu kurz, um ein Verschwinden des Schiffslärms nach der Passage zu dokumentieren. So konnten keine Daten darüber gesammelt werden, ob Krabbenfresser nach der Passage wieder hörbar waren. Im Gegensatz zu PALAOA zeigten die normalisierten stündlichen Rufanzahlen in PALAOA-S keinen Anstieg hin zu einem Maximum, sondern blieben vor der Schiffs-

passage eher konstant. Es ist möglich, dass die Tagesgänge in der Vokalisationsaktivität von Krabbenfressern lokal variieren und die PALAOA-Daten mit den PALAOA-S-Daten im Hinblick auf einen ungestörten Zustand (PALAOA) nicht vergleichbar sind. Alternativ ist es auch denkbar, dass das Schiff schon vor der Passage einen Einfluss auf das vokale Verhalten der Krabbenfresser hatte und so die Abweichung von den PALAOA Daten zu erklären ist.

Zwei PALAOA-S-Aufnahmen (A3 und A4) beinhalten Rossrobbenvokalisation. Beide zeigen gegensätzliche Verläufe in der Anzahl detektierter Rufe über den Tag. Dennoch hat der Vergleich zwischen PALAOA-S und PALAOA-Daten bei A3 gezeigt, dass der Schiffslärm zu einer Reduktion der detektierten Rossrobbenrufe führte. Bei A4 konnte solch ein Trend nicht beobachtet werden. Die Anzahl detektierter Rufe in PALAOA-S-Aufnahmen (A4) blieb eher konstant und stieg leicht an, als der Schiffslärm gegen Ende der Aufnahme geringer wurde. Dieses ist möglicherweise damit zu erklären, dass bei A4 das Schiff die PALAOA-S-Kiste nicht passierte und nicht so dicht wie bei A3 an die Aufnahmeeinheit herankam und deshalb der Lärmpegel vermutlich geringer war. Zusätzlich ist ein Vergleich der PALAOA-S und PALAOA-Daten problematisch, da die Vokalisationsaktivität von Rossrobben an verschiedenen Tagen stark variiert (Van Opzeeland *et al.*, 2010). Auch für Rossrobben ist es unmöglich klare Schlussfolgerungen zur Vokalisationsaktivität bezüglich des Schiffes zu treffen, da nicht verifiziert werden kann, ob Tierrufe maskiert, tatsächlich reduziert wurden oder durch Bewegung der Tiere, weg von dem Aufnahmegerät, nicht detektiert werden konnten.

Seeleopardenrufe wurden in allen PALAOA-S-Aufnahmen festgestellt. Generell sank die Anzahl der detektierten Rufe, als sich das Schiff im Abstand von 50 bis 60 nm der Kiste näherte. Tageszeitliche Seeleopardenrufraten in PALAOA-Aufnahmen, sind im Dezember über 24 Stunden insgesamt konstant, im Gegensatz zu PALAOA-S-Daten. Detektionen von Seeleopardenrufen in PALAOA-S (z.B. A3 und A4) sind anfänglich mit PALAOA vergleichbar, verringern sich jedoch gegen Ende der Aufnahmen. Das bedeutet, dass der Schiffslärm zu einem Rückgang der Anzahl der Seeleopardenrufe führte. Ein Vergleich zwischen A3 und A4 zeigt, dass die Rufanzahl bei größerem Lärm (A3) stärker abfällt, wie auch schon bei den Rossrobben beobachtet wurde. Auch hier ist eine Interpretation für die Reduktion der Rufe aus oben genannten Gründen nicht möglich.

Insgesamt hat das PALAOA-S-Experiment gezeigt, dass die Anzahl der detektierten Rufe verschiedener Robbenarten zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Distanzen zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste abnimmt. Eine Erklärung hierfür könnten die akustischen Charakteristiken der Rufe der einzelnen Robbenarten sein, welche verschieden anfällig für das Phänomen der Maskierung sind. Doch auch unterschiedliche Reaktionen der Tiere, z.B. im Fluchtverhalten oder in der möglichen Reduzierung der Rufaktivität, könnten Gründe sein. Eine Differenzierung dieser Möglichkeiten, die zu einer Reduktion der Rufanzahlen durch den Schiffslärm führten, konnte nicht gemacht werden.

3.2.2 *Wale (Cetacea)*

Blauwalrufe waren in drei der Aufnahmen präsent. In Aufnahmen von Auslegung A2 wurden Blauwalrufe nur in den ersten 2 Stunden detektiert, als das Schiff noch 65 nm von der PALAOA-S-Kiste entfernt war. In den Aufnahmen von A3 und A4 wurden Blauwalrufe über den gesamten Aufnahmezeitraum detektiert und variierten kaum in ihrer Anzahl. Blauwalrufe sind sehr laut (189 ± 3 dB re:1 μ Pa-1 m über 25-29Hz, Sirovic *et al.*, 2007) und tieffrequent und daher über große Distanzen bis zu 200 km hörbar (Sirovic *et al.*, 2007). So könnten die aufgenommenen Rufe auch von entfernten Walen stammen und nicht notwendigerweise von Tieren in unmittelbarer Nähe des Schiffes. Für diese Annahme spricht, dass während der Meeressäuger-sichtungen keine Blauwale beobachtet wurden. Da eine Kalibrierung der PALAOA-S-Aufnahmen bislang nicht vorliegt, ist hier keine Aussage über die Lautstärke der Blauwältöne, und daher keine Beurteilung über die Entfernung der Tiere, möglich. Zusätzlich kommt das Maskierungsproblem hinzu, denn der Schiffslärm ist gerade im niedrigen Frequenzbereich sehr dominant und könnte weiter entfernte und damit leisere Rufe überlagert haben. Daher ist es nicht möglich festzustellen, ob die Vokalisation der Tiere überhaupt vom unmittelbaren Schiffslärm beeinflusst werden konnte.

Killerwalrufe wurden in einer Aufnahme (A3) und nur zu Beginn in den ersten 5 Stunden detektiert, als das Schiff noch 48 nm von der PALAOA-S-Kiste entfernt war. Es liegen keine vergleichbaren Daten von tageszeitlichen Vokalisationsaktivitäten vor, welche eine Aussage über die Rufaktivität ohne Schiffslärm ermöglichen würden. Daher kann nicht gesagt werden, ob die Anzahl der detektierten Rufe mit dem

Schiffslärm in Verbindung steht, oder ob es sich um für diese Tageszeit typische Vokalisationsaktivitäten handelte.

Insgesamt kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass Schiffslärm einen Einfluss auf Vokalisationsverhalten von Walen hat. Zum Beispiel zeigt Foote *et al.*, (2004), dass Killerwale (in Küstengewässern von Washington State) die Dauer ihrer Rufe in Anwesenheit von Schiffen ausgedehnt haben. Im Gegensatz dazu wurde eine Reduktion von Rufen im Zusammenhang mit Schiffslärm bei Cuvier-Schnabelwal (*Ziphius cavirostris*) festgestellt (Soto *et al.*, 2006).

3.2.3 Logistische Probleme bei der Durchführung des Schiffexperimentes

Die Durchführung des PALAOA-S Experiments benötigt intensive Planung. Zum einen ist es schwierig den Fahrtverlauf des Schiffes und die Position der PALAOA-S-Kiste so abzustimmen, dass die Distanz zwischen den beiden Objekten vor und nach der Schiffspassage groß genug ist, um keinen Schiffslärm auf der Aufnahme zu haben. Dieses ist nötig, um den ungestörten Zustand der Unterwasserwelt aufzunehmen. Das führt direkt zum zweiten Problem: der Ausbringung und Einholung der PALAOA-S-Kisten mit einem Helikopter. Die Flugzeit des Helikopters ist begrenzt und ermöglicht es nicht, die Kisten idealerweise 2 bis 3 Tage vor und nach der Schiffspassage auszubringen, bzw. einzusammeln. Zusätzlich ist der Helikoptereinsatz abhängig von Wetterbedingungen. Ein weiteres Problem ist, dass das Experiment zur Ausbringung (Loch in die Eisscholle bohren), Einholung, Schiffsnavigation und zum gezielten Einsatz des Helikopters (Landung und Start auf Eisschollen) ein gewisses Maß an Personaleinsatz erfordert. Der Einsatz der PALAOA-S-Kiste war zusätzlich dadurch limitiert, dass der Helikopter während der Expedition auch für andere Zwecke, wie z.B. helikopterbasierte Sichtungen, benötigt wurde.

3.3 Vergleich von manueller und automatischer Analyse

Bei Krabbenfresser hat die automatische Analysemethode am besten funktioniert. Es wurden durchschnittlich in den ersten sechs Stunden der Audiodatei nur 22% weniger Rufe als durch die manuelle Analyse detektiert. Dieses kann damit zusammenhängen, dass Krabbenfresserrufe stereotyp und damit gute Kandidaten für eine Analyse durch Spekrogramm-Kreuzkorrelation sind. Zusätzlich waren die Krabbenfresserrufe in der Aufnahme deutlich zu hören und zu sehen und somit relativ gut mit nur einem ‚Template‘ automatisch detektierbar. Mit zunehmendem Schiffslärm wurden im Vergleich zur manuellen Detektion prozentual immer weniger Rufe automatisch festgestellt. Dieses ist damit zu erklären, dass die Spekrogramm-Kreuzkorrelation vom Signal-Rausch-Abstand abhängt (Sirovic *et al.*, 2004). Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen dem Nutzsignal (hier: Krabbenfresserruf) und dem Hintergrundrauschen. Mit zunehmendem Schiffslärm wird der Hintergrundlärm stärker und maskiert die Sichtbarkeit der Rufe für den automatischen Detektor, wobei manuell noch Rufe erkannt wurden.

Bei Rossrobben hat der automatische Detektor die schlechtesten Ergebnisse geliefert, nur maximal 9%-10% der manuell detektierten Rufe wurden automatisch erkannt. Ein Grund für die geringere Rufzahl ist möglicherweise, dass auch andere Ruftypen, die nicht für den automatischen Detektor verwendet wurden, häufig vorkamen. Da manuell alle Ruftypen gezählt wurden (ohne zwischen ihnen zu differenzieren), könnte das den zahlenmäßigen Unterschied erklären. Ein weiterer Störfaktor könnte der Signal- Rausch- Abstand sein. Die akustische Signatur des ausgewählten Ruftypes (im Frequenzbereich 100 bis 300 Hz) ist möglicherweise anfällig für eine Überlagerung durch Hintergrundrauschen.

Die Anzahl der automatisch detektierten Seeleopardenrufe variierte zwischen den verschiedenen PALAOA-S-Aufnahmen. Bei A3 wurden automatisch 43%-63% der manuell detektierten Rufe erkannt, bei A1 nur zwischen 8% und 47% und bei A4 zwischen 20% und 48%. Der Grund dafür könnte der Hintergrundlärm sein, der sich in allen PALAOA-S-Aufzeichnungen unterschied. Bei A3 konnten anfänglich sogar 80% der manuell gezählten Seeleopardenrufe automatisch detektiert werden. Wie auch bei Krabbenfresserrufen ging bei A3 der prozentuale Anteil automatisch gefundener Seeleopardenrufe mit ansteigendem Schiffslärm zurück. Auch hier ist vermutlich der

Maskierungseffekt durch den Lärmpegelanstieg im Hintergrund eine Erklärung für den Rückgang.

In Aufnahmen von der Auslegung A3 wurden die Rufe aller drei Robbenarten (Krabbenfresser, Rossrobbe und Seeleopard) manuell sowie auch automatisch detektiert. Als der Schiffslärm zunahm konnten manuell noch Rufe festgestellt werden, als automatisch keine mehr detektiert wurden. Das heißt, dass das Hintergrundrauschen die automatische Analyse stärker beeinträchtigt hat als die manuelle. Bei A3 wurden Rossrobbenrufe ab 4:00 Uhr, Krabbenfresserrufe ab 5:00 Uhr und Seeleopardenrufe ab 7:00 Uhr bis zum Ende der Aufnahme automatisch nicht mehr detektiert. Das bedeutet, dass die Rufe verschiedener Arten unterschiedlich anfällig für Maskierungen sind.

Insgesamt fällt auf, dass die Anzahl der automatisch detektierten Rufe erstens niedriger ist als in der manuellen Analyse und zweitens der prozentuale Anteil zwischen der Anzahl manuell und automatisch gezählter Rufe zwischen den einzelnen Arten sowie zwischen den einzelnen PALAOA-S-Aufnahmen variiert. Da die PALAOA-S-Aufnahmen ein unterschiedliches Niveau an Hintergrundgeräuschpegeln haben und die Tiersignale verschieden anfällig sind davon überlagert zu werden, ist dies vermutlich der Grund für die variierende Performance. Dennoch wurde die akustische Präsenz der Tiere, insbesondere bei Krabbenfressern und Seeleoparden zuverlässig erkannt. Die Sensitivität des automatischen Detektors wurden so erstellt, dass möglichst keine falschen Detektionen auftreten, was bedeutet, dass verpasste Rufe in Kauf genommen wurden. Dieses erklärt die geringere Anzahl automatischer Detektionen im Vergleich zu manuellen.

3.4 Vergleich der akustischen PALAOA-S-Daten mit Sichtungsdaten

Robbenarten wurden akustisch in allen PALAOA-S-Aufnahmen detektiert und an vier Tagen gesichtet. Aber es gab keine zeitliche Übereinstimmung von akustischen und visuellen Aufnahmen von Robbenarten. Am 15.12.08 wurden Robben während der letzten Stunde der schiffsgestützten Beobachtung gesehen und wenig später von PALAOA-S aufgenommen. Es lässt sich nicht sagen, ob dieselben Robbenarten die

in den akustischen Aufnahmen vorkamen auch gesichtet wurden, da während der visuellen Beobachtung keine Differenzierung zwischen den Arten möglich war. Keine der akustisch detektierten Walarten konnte visuell beobachtet werden. Es wurden sehr wenige Sichtungsdaten zeitgleich mit PALAOA-S-Aufnahmen erhoben. Daher lieferte der Vergleich wenige Erkenntnisse.

Ein wichtiger und interessanter Aspekt ist noch zu diskutieren: Das Bio-duck-Signal. Mittels visueller Sichtungen wurden Zwergwale an fünf Tagen, an denen PALAOA-S aufgenommen hat, detektiert. Das vokale Repertoire von Zwergwalen ist vielfältig und variiert zwischen verschiedenen geographischen Orten (Frankel, 2002). Grundsätzlich ist nicht bekannt welche Rufe Zwergwale in der südlichen Hemisphäre produzieren (Van Opzeeland, 2010). Es wird jedoch vermutet, dass Zwergwale das Bio-duck-Signal erzeugen (Van Opzeeland, 2010). An allen Tagen an denen PALAOA-S aufgenommen hat, wurden Zwergwale gesichtet. Am 13.12.08 gab es sogar eine zeitliche Übereinstimmung zwischen Zwergwalsichtungen und Aufnahmen des Bio-duck-Signals. Dennoch gab es auch Zwergwalsichtungen zu Zeiten zu denen kein Bio-duck-Signal aufgenommen wurde. Trotzdem schließt diese Beobachtung nicht aus, dass Zwergwale das Bio-duck-Signal produzieren, da akustische Abwesenheit nicht notwendigerweise physikalische Abwesenheit bedeutet.

Um den Ursprung des Bio-duck-Signals zu klären werden weitere, die Quelle positionierende Experimente notwendig sein.

4. SCHUSSFOLGERUNGEN

PALAOA-S konnte als Monitor für das Artenspektrum sinnvoll eingesetzt werden. Der Vergleich mit Sichtungsdaten zeigt, dass akustische Monitoring-Methoden ein sinnvolles Instrument zur Beobachtung von Meeressäugern sind. PALAOA-S hat Tiere detektiert, die durch Sichtungsmethoden nicht feststellbar waren. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass akustische Methoden die Anwesenheit von Meeressäugern über weitere Räume detektieren können, als visuelle Methoden. Dafür kann man mit

visuellen Methoden Meeressäuger beobachten, die nicht vokal aktiv sind. Visuelle Methoden sollte man dann einsetzen, wenn nicht bekannt ist, welche Rufe ein bestimmtes Tier produziert. Dieses kann bei der Lösung des Bio-duck-Rätsels helfen, indem man gezielt akustische Aufnahmen und Sichtungsmethoden kombiniert.

PALAOA-S konnte lokale Unterschiede in der akustischen Präsenz von Meeressäugern feststellen, die zusätzlich zu den saisonalen Verbreitungsmustern, möglicherweise im Zusammenhang mit Eisbedeckung, Nahrungs- und Fressfeind-Vorkommen stehen. Auf Grund der geringen akustischen Datenmenge können jedoch keine statistisch gesicherten Aussagen getroffen werden. Der Datensatz ist relativ gering, da das PALAOA-S-Experiment 2008 zunächst als Testphase geplant war. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von PALAOA-S zukünftig lohnenswert ist. PALAOA-S bietet die Möglichkeit Meeressäuger gezielt und an unterschiedlichen Lokalisationen zu beobachten. PALAOA und PALAOA-S können dazu beitragen unser Wissen um Zusammenhänge zwischen der akustischen Präsenz und abiotischen (z.B. Eisbedeckung) und biotischen (z.B. Nahrung, Feinde) Umweltfaktoren zu erweitern. Dieses Verständnis ist wichtig, um z.B. den Einfluss von Klimaveränderungen auf die Meeressäuger beurteilen zu können.

Der Einsatz von PALAOA-S hinsichtlich der Erhebung von Daten zur Bewertung des Einflusses von Lärm auf Meeressäuger, ist in dieser Form nicht zielführend. Insgesamt betrachtet konnte in den meisten PALAOA-S-Aufnahmen eine Reduktion der Rufanzahlen (bei Robbenarten) im Zusammenhang mit ansteigendem Schiffslärm festgestellt werden. Es ist doch jedoch schwierig auf Grundlage dieses Experiments Schlussfolgerungen zu treffen. Erstens auf Grund der Problematik die Daten zu interpretieren, da keine Unterscheidung zwischen Maskierung, räumlicher Vermeidungsreaktion oder tatsächlicher Reduktion der Rufaktivität möglich ist. Zweitens auf Grund der geringen Datenmenge, die keine Aussagen über den ungestörten Zustand zulässt. Und Drittens auf Grund der beschriebenen logistischen Probleme, welche die Einsatzmöglichkeiten einschränken.

Der Vergleich von Datenanalysetechniken hat gezeigt, dass die manuelle Analyse gegenüber der automatischen Analyse mehr Rufe detektiert hat und zuverlässiger bei geringem Signal- Rausch- Abstand war. Dennoch hat die automatische Detektion die akustische Präsenz der Tiere (Robbenarten) in den meisten Fällen zuverlässig festgestellt. Daher ist eine automatische Detektion zielführend, zeiteffektiv und unab-

dingbar, wenn es um die Analyse großer Datenmengen und um die Frage der akustischen Präsenz / Nichtpräsenz von Meeressäugern geht.

5. AUSBLICK

Bisher ist wenig über das Vorkommen, die räumliche Verteilung und das Verhalten von Meeressäugern in polaren Regionen bekannt, da Eis und raue Wetterbedingungen die Datenerhebung erschweren. Wie bei dieser Datenanalyse festgestellt werden konnte, ist die passive akustische Monitoringeinheit, PALAOA-S, ein gutes Instrumentarium, um die Meeressäuger akustisch zu beobachten. PALAOA-S kann zwar keine Daten über Zeiträume von Jahren liefern, wie PALAOA, aber über kurze Zeit (Wochen) einen relativ großen Raum abdecken. Zukünftig sollte PALAOA-S als Monitoring-Einheit zur Erhebung von Daten zur akustischen Präsenz von Meeressäugern eingesetzt werden. Gezielte Projekte, die eine überschaubare Anzahl von PALAOA-S-Kisten erfordern, könnten Informationen über das akustische Verhalten von Meeressäugern liefern. Fragestellungen dazu wären beispielsweise:

Wo und wann sind Meeressäugerrufe zu hören?

Wie hängen lokale Bedingungen (z.B. Eis, Nahrung, Feinde) mit der akustischen Präsenz von Meeressäugern zusammen?

Was ist der Ursprung des Bio-duck-Signal? (In Kombination mit visuellen Sichtungen)

Fragen über die Auswirkung von Lärm auf die Meeressäuger konnten mit diesem PALAOA-S Experiment nicht eindeutig geklärt werden.

Boebel und Van Opzeeland (Bericht für das Umwelt Bundesamt 2010) bieten eine Reihe von Alternativen an, um mögliche Verhaltensänderungen durch anthropogenen Unterwasserlärm zu untersuchen. Diese werden im Folgenden erläutert:

Eine Möglichkeit um die logistischen Probleme zu lösen, ist der Einsatz von Langzeitunterwasserrekordern. Denn diese können über einen langen Zeitraum den ungestörten Zustand der Unterwasserwelt beobachten und kurzzeitige Lärmbelastungen aufnehmen, um so Aussagen über einen möglichen Unterschied der aufgezeichneten

ten Meeressäugerrufe zwischen den beiden Zuständen (Lärm/kein Lärm) zu treffen. Solche Langzeitaufnahmegeräte wurden in Verankerungen während zwei vergangener Polarstern Expeditionen ausgebracht, und sollen während der aktuellen Expedition (ANTXXVII/2) zur Datenauswertung wieder eingesammelt werden. Doch dieser Lösungsansatz klärt nicht die Frage nach der Interpretierbarkeit der Daten, nämlich ob die Rufe der Tiere maskiert werden, Tiere die Region verlassen oder sich ihre Vokalisationsaktivität ändert.

Informationen darüber, ob sich die Tiere entfernen, könnte man durch Ausbringung von drei PALAOA-S-Kisten erhalten. Laufzeitunterschiede der ankommenden Rufe in den drei Aufnahmen müssen erfasst werden, um die Tonquelle zu lokalisieren. Der Nachteil: Dieses Vorhaben ist aber logistisch noch aufwendiger (Positionierung von 3 Kisten) als nur eine PALAOA-S-Kiste auszubringen. Eine Alternative wäre, Meeressäuger direkt mit akustischen Aufnahmegeräten zu versehen (*„acoustic Tags“*). Hiermit könnte man Informationen über Bewegungsmuster und vokale Verhaltensänderungen bekommen. Dieses würde allerdings einen noch größeren logistischen Aufwand mit sich bringen, da die Tiere nicht nur „getagt“, sondern die Aufnahmegeräte nach Beendigung des Versuchs wieder eingeholt werden müssten, um die Daten auszulesen. Dieses ist schwierig in eisbedeckten Gebieten durchzuführen, weil die Tags unterhalb des Eises nicht gefunden werden können.

Um herauszufinden durch welchen Lärm Tierrufe maskiert werden, könnte man nachträglich Schiffslärm unterschiedlicher Frequenz und Lautstärke in ungestörte Aufnahmen einspielen. So könnte man testen, ab welcher Lautstärke und Frequenz die Tierrufe maskiert werden.

Meiner Meinung nach ist der Einsatz von Langzeitunterwasseraufnahmen hier am sinnvollsten, um die Reaktion der Tiere auf kurzzeitigen Schiffslärm über große Zeiträume zu beobachten. Bei diesen Daten könnte man Abschnitte mit sehr hohem Lärmpegel bei der Analyse herausnehmen, und damit Passagen mit hohem Maskierungspotential eliminieren. Um festzustellen, ob die Tiere sich von der Schallquelle wegbewegen, könnte man einige Meeressäuger zu mindestens mit einfachen Tags bestücken, die Angaben über die Position liefern. Diese müssten auch nicht wieder eingesammelt werden, da Daten per Satellit übertragen werden könnten und die Tags nach der nächsten Mauser (bei Robben) abfielen. Auch ist es denkbar, den Einfluss von Schiffslärm zunächst fokussiert bei einer Tierart zu untersuchen. Seeleoparden kämen auf Grund ihrer vokalen Präsenz, lauten Töne und vokalen Charakte-

ristiken dafür in Frage, da diese nicht so anfällig für Maskierungen sind, wie die PA-LAOA-S-Aufnahmen (automatische Datenanalyse) es vermuten lassen.

Wie der Vergleich zwischen manueller und akustischer Datenanalyse zeigt, könnte die automatische Detektion, bei zukünftig großen Datenmengen (Langzeitaufnahmen) zuverlässig die akustische Präsenz von Robbenarten detektieren. Erkenntnisse über die Anzahl verpasster Rufe bei unterschiedlichen Arten könnten als Korrekturfaktoren dienen, um so die wirkliche Anzahl der Rufe abzuschätzen.

TEIL 2: PALAOA-S - WEITERENTWICKLUNG DES SYSTEMS

1. Beschreibung des existierenden Systems und deren Probleme

Das derzeitige PALAOA-S-System wurde im Teil 1 dieser Arbeit beschrieben. Die Abb. 34 gibt einen schematischen Überblick über die Systemkomponenten, wie sie auch im PALAOA-S-Experiment 2008 eingesetzt wurden. Dieser zweite Teil der Arbeit befasst sich mit dem Aufnahmegerät (hier: M-Audio Mikrotrack II, roter Kreis) der PALAOA-S-Einheit.

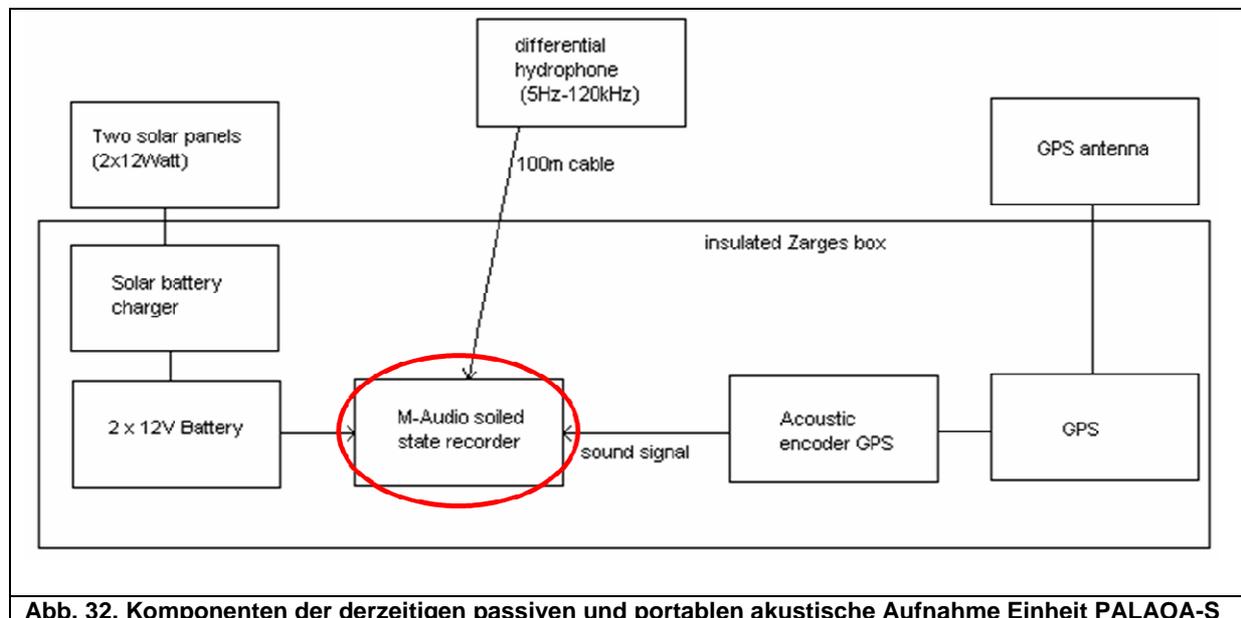


Abb. 32. Komponenten der derzeitigen passiven und portablen akustische Aufnahme Einheit PALAOA-S

Das jetzige PALAOA-S-System hat zwei Hauptprobleme:

Das erste Problem ist die relativ geringe Qualität der Signalaufnahme. Das PALAOA-S-Experiment 2008 zeigte, dass die Aufnahmen viele Störgeräusche enthalten. Ursache ist zum einen die Aufnahmeumgebung, die viele natürliche Störgeräusche erzeugt (z.B. Strömung), was bei einem Einsatz im Ozean nicht zu vermeiden ist. Zum anderen kommt elektronisches Rauschen hinzu. Lautes Grundrauschen kann dazu führen, dass leise Tierrufe maskiert werden. Vermutlich wird ein Teil des Rauschens vom Aufnahmegerät (M-Audio Mikrotrack II) selber produziert. Das ein-

gehende analoge Signal wird von einem integrierten Analog-Digital-Wandler umgewandelt und in digitaler Form auf eine Kompakt-Flash (CF)-Karte gespeichert. Das eingesetzte Aufnahme Gerät hat zusätzlich einen Lautstärkereger, welcher nicht nur das Nutzsignal, sondern auch jegliche andere Geräusche mit verstärkt. Es ist zu vermuten, dass die Geräusche, die das Gerät bei der Signalumwandlung und Verarbeitung produziert, mit verstärkt und aufgezeichnet werden. Dazu wurde im Elektroniklabor des AWI ein Experiment durchgeführt, um die Lautstärke des Grundrauschens festzustellen und den Signal-Rausch-Abstand zu verbessern.

Das zweite Problem des M-Audio Aufnahme Gerätes ist durch die Firmware bedingt: Die Aufnahme bricht beim Erreichen von 2 GB ab, auch wenn ein größeres Speichermedium eingesetzt wird. Für die PALAOA-S-Anwendung im Feld ist es nötig, möglichst lange und kontinuierliche Aufnahmen zu machen. Dieses führt aber zu einem größeren Dateivolumen und damit zu einer verkürzten Aufnahmezeit von unter 24 Stunden. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein Mikrokontroller programmiert, der das Gerät in die Lage versetzt, auch im MP3-Modus über die 2GB-Grenze hinweg aufzunehmen.

2. Einsatz eines neuen Typus Aufnahmegerät

Seit 2009 gibt es ein neues Aufnahmegerät auf dem Markt, den „Zoom H4n Recorder“. Dieses Gerät kann im MP3-Modus länger als bis zum Erreichen von 2GB aufzeichnen. Es wurde getestet, ob dieses Gerät für den Einsatz in der Kälte geeignet ist. Zusätzlich wurden das Eigenrauschen und der Signal-Rausch-Abstand gemessen. Abschließend wurde ein Vergleich angestellt, um zu diskutieren, welches der beiden Aufnahmegeräte (M-Audio oder Zoom) für zukünftige Einsätze innerhalb der PALAOA-S-Kiste geeigneter ist.

3. M-Audio Mikrotrack II: Eigenrauschen und Signal – Rausch- Abstand

3.1 Methoden

In ein mit Wasser gefülltes Becken wurden zwei Hydrophone gehängt. Eines zur Signal-Aufnahme und ein zweites, welches ein 4 kHz Testsignal sendete (Abb. 33). Das für die Versuche verwendete aufnehmende Hydrophon (Brüel & Kjør Typ 8105, Sensitivität: $-205 \text{ dB re } 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$) benötigt einen externen Vorverstärker. Das für PALAOA-S verwendete Hydrophon (RESON TC4032, Sensitivität: $-170 \text{ dB re } 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$ mit integriertem Vorverstärker) stand für diese Versuche nicht zur Verfügung. Daher wurde für diesen Versuch der externe Hydrophon-Vorverstärker so eingestellt (35 dB Gain), dass die gleiche effektive Sensitivität resultierte, wie sie das RESON TC4032 Hydrophon besitzt. Über das sendende Hydrophon wurde ein 4 kHz-Signal zunächst unbekannter Lautstärke im Becken generiert. Das Aufnahmehydrophon empfing ein Signal mit der Amplitude $0,1 \text{ mV}$, also $-80 \text{ dB re } 1 \text{ V}$. Das entspricht bei einer effektiven Sensitivität von $-170 \text{ dB re } 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$ des Aufnahmesystems einer Lautstärke von $90 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}$ in Wasser. Dieser Wert ist wichtig, um später festzustellen wie laut das Grundrauschen der Aufnahme ist.

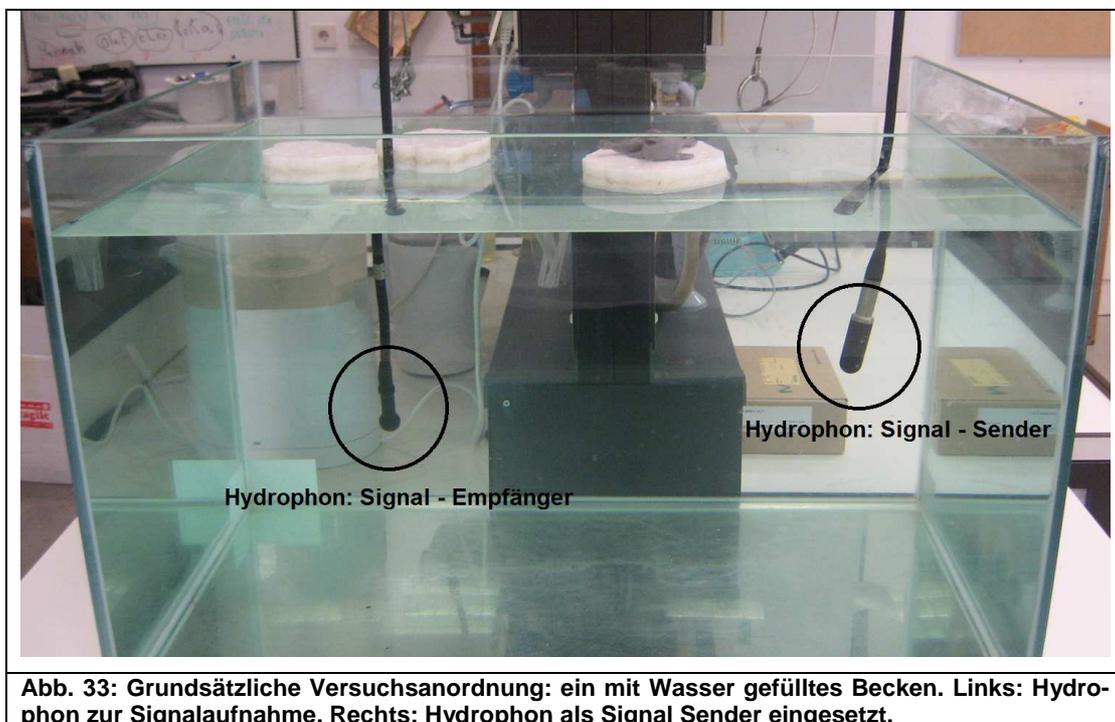


Abb. 33: Grundsätzliche Versuchsanordnung: ein mit Wasser gefülltes Becken. Links: Hydrophon zur Signalaufnahme. Rechts: Hydrophon als Signal Sender eingesetzt.

Zwei verschiedene Versuche wurden durchgeführt. Im ersten Versuch wurde das Aufnahmegerät (M-Audio), wie auch bei PALAOA-S, über einen analogen Signaleingang mit dem Signal produzierenden Hydrophon (bzw. Hydrophonverstärker) verbunden (Abb. 34). Eine Aufnahme in MP3 bei 48 kHz Abtastrate und 192 Bit wurde durchgeführt. Die Lautstärkeregelung des M-Audio wurde so eingestellt, dass das Signal gerade nicht übersteuerte, um ein maximales Eigenrauschen aufnehmen zu können.

In einem zweiten Versuch wurde ein externer hochqualitativer Analog-Digital-Wandler zwischen das Hydrophon und den digitalen (Spdif) Eingang des Aufnahmegerätes geschaltet, sodass der M-Audio-Rekorder lediglich das digitale Signal, ohne eigene A/D Wandlung und Verstärkung, aufnehmen konnte (Abb. 34). Der A/D Wandler wurde auf eine Abtastrate von 48 kHz eingestellt und die Verstärkung auf null reguliert.

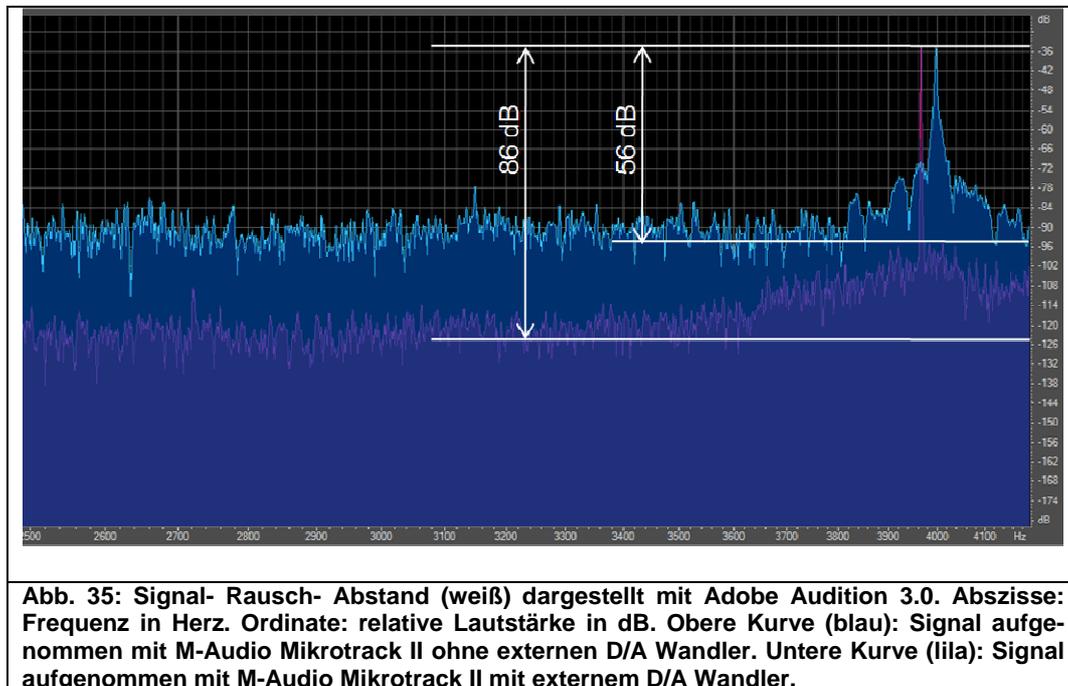


Abb. 34: Versuchsanordnung Test 1 und 2. Linkes Bild: Zwei 12V Batterien (links), M-Audio Mikrotrack II angeschlossen über den analog Eingang für das Hydrophon Signal (Mitte), Hydrophonverstärker (rechts) welcher mit dem aufnehmenden Hydrophon verbunden ist. Rechtes Bild: Zwei 12V Batterien (links oben), M-Audio Mikrotrack II (links unten) angeschlossen über den digital Eingang an einen A/D Wandler (Mitte), Hydrophonverstärker (rechts) verbunden mit dem A/D Wandler und dem signalgebenden Hydrophon.

3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse beider Versuche sind in Abb. 35 dargestellt. Um die beiden Aufnahmen direkt zu vergleichen, wurden die Signale beider Aufnahmen so verstärkt, dass das Nutzsignal jeweils die gleiche Lautstärke anzeigt. Die y- Achse gibt daher relative dB Werte an. Wie im Vorfeld gemessen wurde, ist das 4 kHz Testsignal in Wirklichkeit 90 dB re 1 μ Pa laut. Das Rauschen liegt 56 dB darunter. Damit entspricht das Eigenrauschen (*Self-Noise Equivalent*) des M-Audio, 34 dB re 1 μ Pa. Dagegen ist

bei Aufnahmen mit dem hochqualitativen externen Wandler der Rauschpegel um 86 dB niedriger als das Testsignal, also ist das Eigenrauschen hier nur 4dB re 1 μ Pa. Das heißt: Das Systemrauschen konnte durch eine vorherige Wandlung des analogen Signals um mindestens 30 dB reduziert werden.



4. M-Audio Mikrotrack II: 2 GB Problemlösung

4.1 Methoden

Ein Mikrocontroller (MICRO PCB) wurde mit Hilfe einer Entwicklungsumgebung für C-Control-Units (EVALUATION BOARD – MICRO) und einer geeigneten Software (CCBASIC) programmiert. Die Überlegung dabei war, dass der μ -Controller so programmiert wird, dass dieser beim Einschalten des M-Audio Aufnahmeapparates den ‚Record‘ Knopf ansteuert. Dabei soll über einen Zeitintervall geschaltet werden, so dass der ‚Record‘ Knopf automatisch einmal pro Stunde aus und sofort wieder eingeschaltet wird. Dieses führt dazu, dass der ‚Record‘ Knopf nicht mehr manuell betätigt werden muss. Damit kann das M-Audio-Gerät auch im MP3-Modus, bei ausreichender Speicherkapazität, über die 2 GB Grenze hinaus aufnehmen. Der μ -Controller wird über die externe Spannungsversorgung des M-Audio-Rekorders betrieben. Ein


```

    LED=on           'LED für 980 Millisekunden an.
    pause 49        '20ms*49 = 980ms.
next               'Ende der Wartezeitschleife, wenn diese 10-mal ausgeführt
                  'wurde, wird zum nächsten Befehl gesprungen.

LED=off           'LED erlischt nach der Wartezeitschleife von 10 Sekunden.
REC=on           'REC Taste eine Sekunde lang drücken.
pause 50         '20ms*50=1000ms=1 Sekunde.
REC=off         'Jetzt startet die Aufnahme.
LED=on           'LED leuchtet.

for minu=1 to Rectime 'äußere Schleife wird Rectime-mal (hier 60-mal)
                  'durchgeführt, d.h. eine Stunde lang. Eine Stunde lang
                  'werden Audiodateien aufgenommen. Die LED soll zu jeder
                  'vollen Minute so oft blinken wie Aufnahmezeit verbleibt.
                  'In der Zwischenzeit soll die LED kurz blitzen.

for sec=1 to Rectime-minu+1 'diese innere Schleife wird beim ersten Durchgang
                          'Rectime-mal, hier also 60-mal, beim 2ten Durchgang
                          '59-mal usw. durchgeführt, d.h. die LED blinkt
                          '60,59,58...mal; somit kann abgelesen werden wie lang
                          'der M-Audio-Rekorder noch aufnimmt.

    LED=off       'LED für eine halbe Sekunde aus.
    pause 25      '20ms*25=500ms=1/2 Sekunde.
    LED=on       'LED für eine halbe Sekunde an.
    pause 25      '20ms*25=500ms=1/2 Sekunde.
next            'weiter zur nächsten inneren Schleife.

for sec=Rectime-minu+1+1 to 60 'diese innere Schleife wird beim ersten
                          'Durchgang der äußeren Schleife 61 bis 60-mal,
                          'also 0-mal, beim 2ten Durchgang 1-mal usw.
                          'durchgeführt. D.h. die LED blitzt für
                          '0,1,2,...Sekunden für den Rest der Minute bis
                          'zum Erreichen der nächsten Minute.
    LED=on       'LED für eine Millisekunde an.
    pause 1      '20ms*1=20ms.
    LED=off     'LED für 980 Millisekunden aus.
    pause 49    '20ms*49=980ms.
next           'Ende der inneren Schleife; weiter zum nächsten
              'Schritt.

next         'Ende der 1 stündigen Schleife.
LED=off     'LED erlischt.

REC=on     'REC Taste wieder eine Sekunde lang „drücken“.
pause 50   '20ms*50=1000ms=1 Sekunde.
REC=off    'jetzt wird die Aufnahme beendet und gespeichert.

goto START 'Ende der Programmschleife und Sprung zu #START.

```

5. Zoom H4n-Rekorder: Kältetest

5.1 Methoden

Die Testumgebung ist ein -20°C kalter Kühlraum im AWI. Für den Test wurden in eine isolierte PALAOA-S Zarges-Kiste zwei 12V Batterien, ein 12V zu 5V Wandler, der Zoom-Rekorder und ein USB Temperatur-Datenlogger platziert. Zur Audioauf-

nahme wurden die am Zoom-Rekorder angebrachten Mikrophone verwendet, da es bei dem Test nicht um die Aufnahme selbst geht, sondern ob überhaupt aufgenommen wird. Die Zarges-Kiste wurde zunächst eine Stunde geöffnet im Kühlraum gelassen, um einen Start des Aufnahmeegerätes in einer kalten Umgebung zu simulieren. Der Temperaturlogger wurde sofort gestartet, sobald die Kiste samt Inhalt im Kühlraum war, um festzustellen bei welcher Temperatur der Zoomrecorder gestartet wurde. Nach einer Stunde wurde der Zoomrecorder über den Spannungswandler an die Batterien angeschlossen und gestartet. Die PALAOA-S-Kiste wurde sofort geschlossen und für 3 Tage im Kühlraum gelassen. Anschließend wurde nachgesehen, ob der Zoom-Rekorder über die drei Tage hinweg aufgenommen hat. Der Temperaturlogger wurde ausgelesen um festzustellen, wie sich der Temperaturverlauf in der Kiste verhalten hat.

5.2 Ergebnisse

Abbildung 36 zeigt, dass die Temperatur während der einstündigen Abkühlungsphase der Geräte (bis zum ersten blauen Balken) auf -15°C abgefiel. Um 12:00 Uhr wurde der Zoom-Rekorder gestartet und die PALAOA-S-Kiste geschlossen. Dabei wurde als Erstes festgestellt, dass der Zoom-Rekorder im Kühlraum problemlos gestartet werden konnte.



Abb. 36: Temperaturverlauf (rote Kurve) vom 12.11.10 (11:00 Uhr) bis 15.11.10 (14:00 Uhr). X-Achse: Uhrzeit und Datum. Y-Achse: Temperatur in $^{\circ}\text{C}$. Die weißen Querstriche markieren spezielle Zeitpunkte.

Danach stieg die Temperatur schnell bis auf $+7^{\circ}\text{C}$ an, um ab 17:30 (12.11.) langsam wieder abzufallen und sich dann bei ca. -5°C einzupendeln. Der steile Temperatur-

anstieg lässt sich durch die Abgabe von Eigenwärme des Zoomrekorders erklären. Vermutlich durch die Isolationswirkung der PALAOA-S-Kiste, sank die Temperatur nicht wieder auf -15°C . Der Zoom-Rekorder war bei Entnahme der PALAOA-S-Kiste aus dem Kühlraum aus. Er hatte zwei 2 GB große Audiodateien mit einer jeweiligen Aufnahmedauer von 24 Stunden und 51 Minuten abgelegt, das heißt er hat bis 13:43 Uhr am 14.11. Audiodateien gespeichert. Das bedeutet aber nicht, dass das Gerät die Aufnahme von dort an abgebrochen hat. Der Grund für diese Vermutung liegt darin, dass wie auch beim M-Audio-Gerät nur vollständig abgeschlossene Dateien (2 GB) gespeichert werden. Es zeigte sich, dass der Zoom-Rekorder abschaltete, weil die Batterien leer waren. Dieses wird im wirklichen Feldexperiment nicht eintreten, da die PALAOA-S-Kiste mit Solarpaneelen bestückt ist. Auf Grund des Temperaturverlaufes lässt sich vermuten, dass der Zoom-Rekorder noch bis zum Morgen des 15.11. aufzeichnete, eine Datei wegen des Stromausfalles aber nicht mehr speichern konnte, da diese noch keine 2 GB groß war. Die Temperaturkurve zeigt ab 8:22 Uhr (15.11.) einen starken Abfall. Offenbar produzierte das Aufnahmegerät ab diesem Zeitpunkt keine Wärme mehr (Gerät vermutlich aus), sodass die Temperatur in der Kiste abfiel.

Um 12:00 Uhr am 15.11. wurden die gesamten Geräte aus dem Kühlraum genommen und die Temperaturkurve stieg an. Der Zoom-Rekorder funktionierte nach dem Versuch problemlos.

6. Zoom H4n-Rekorder: Eigenrauschen und Signal – Rausch- Abstand

6.1 Methoden

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung. 37 dargestellt. Der Zoom-Rekorder wurde von den Batterien mit Spannung versorgt und ist mit dem Hydrophonverstärker (bzw. dem Hydrophon) über einen Analogeingang verbunden. Die Testumgebung ist genau wie bei dem Versuchen mit dem M-Audio-Aufnahmegerät aufgebaut (Abb. 33). Die Abtastrate wurde auf 48 kHz bei 192 Bit eingestellt und die Lautstärke so geregelt, dass die Signale nicht übersteuern.



Abb. 37: Versuchsanordnung: zwei 12V Batterien (links) und rechts, daneben ein 12V zu 5V Regler, Zoom H4n-Rekorder (Mitte) angeschlossen über den analog Eingang für das Hydrophon Signal, Hydrophonverstärker (rechts) welcher mit dem aufnehmenden Hydrophon verbunden ist.

6.2 Ergebnisse

Das Ergebnis zeigt, dass der Zoom-Rekorder einen Signal-Rausch-Abstand von 76dB hat, bei einem Eigenrauschen von 14 dB re 1 μ Pa (Abb. 38).

Ein Versuch mit vorgeschaltetem A/D Wandler war nicht möglich, da der Zoom-Rekorder keinen Digitaleingang besitzt.

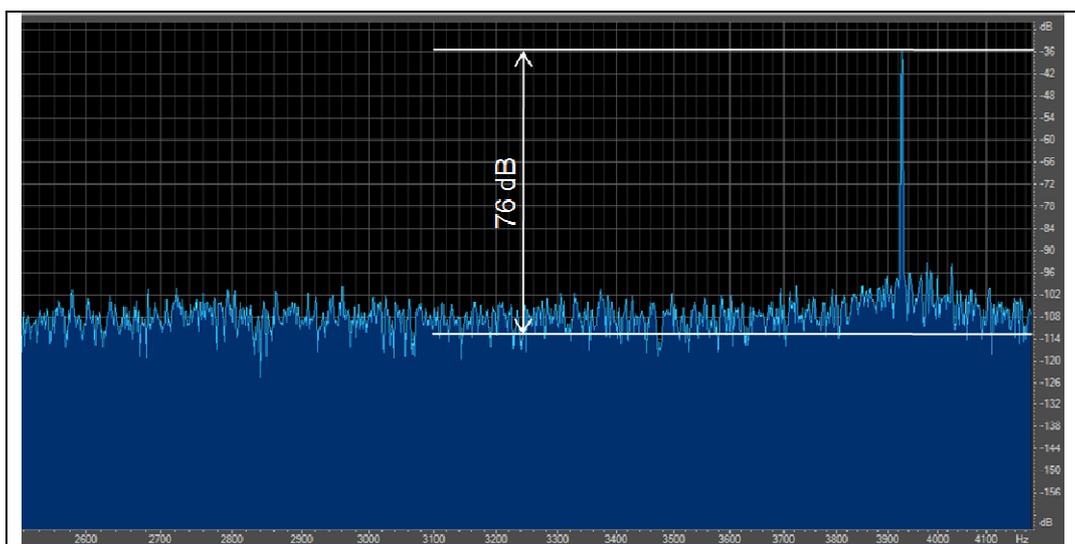


Abb. 38: Signal- Rausch- Abstand (weiß) dargestellt mit Adobe Audition 3.0. Abszisse: Frequenz in Herz. Ordinate: relative Lautstärke in dB. Blaue Kurve: Signal aufgenommen mit dem Zoom H4n-Rekorder über einen analogen Eingang.

7. Fazit: Vergleich M-Audio Mikrotrack II und Zoom H4n-Rekorder

Die verschiedenen Versuche haben gezeigt, dass die ursprünglichen Probleme gelöst werden konnten. Beim M-Audiogerät kann das Systemrauschen mit einem hochwertigen A/D Wandler um ca. 30 dB gesenkt werden. Außerdem ist es beim M-Audio-Gerät durch den Einbau des programmierten μ -Controllers möglich, über eine lange, nur vom eingesetzten Speichermedium begrenzte, Zeit in MP3 aufzunehmen.

Die Versuche mit dem Zoom-Rekorder haben gezeigt, dass dieses Gerät für den Einsatz in einer kalten Umgebung geeignet ist. Auch das Eigenrauschen ist nicht so hoch wie bei dem M-Audio-Rekorder und nur 10 dB lauter als beim M-Audio-Gerät mit vorgeschaltetem A/D Wandler.

Fazit: Beide Aufnahmegeräte könnten für die PALAOA-S-Einheit verwendet werden. Der M-Audiorekorder könnte zwar zu einem geringeren Systemrauschen als der Zoom-Rekorder gebracht werden, dennoch würde ich den Einsatz des Zoomrekorders empfehlen, weil sein Einbau in das PALAOA-S-System weniger kompliziert ist und er darüber hinaus auch einen zufriedenstellenden Signal-Rausch-Abstand liefert.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Oliver Zielinski für die Übernahme der Erstbegutachtung bedanken.

Vielen herzlichen Dank an Dr. Ilse Van Opzeeland, die nicht nur die Aufgabe der zweiten Gutachterin übernahm, sondern mir bei der Bearbeitung der Fragestellung mit nützlichen Ratschlägen und Hilfestellungen immer zur Seite stand. Danke für die Bereitstellung der akustischen Daten, für die stetige Motivation und Unterstützung.

Mein Dank gilt auch Lars Kindermann, der mir bei elektrotechnischen Fragen immer weitergeholfen und mich bei technischen Problemen unterstützt hat.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Ozean Akustik für die Zuwendung und die nette Arbeitsatmosphäre bedanken. Vielen Dank für die wohltuenden Kaffeepausen und leckeren Kuchen.

Danke auch an meine Eltern und Freunde, die das Studium an der Hochschule Bremerhaven zu einer schönen Zeit gemacht und mir auch durch manch schwierige Phase geholfen haben.

Literaturverzeichnis

- Blix, A. S. and E. S. Nordøy (2007). "Ross seal (*Ommatophoca rossii*) annual distribution, diving behaviour, breeding and moulting, off Queen Maud Land, Antarctica." *Polar Biology* 30(11): 1449-1458.
- Boebel, O., L. Kindermann, et al. (2006). "Acoustic Observatory Provides Real-Time Underwater Sounds from the Antarctic Ocean." *EOS* 87: 361-372.
- Boebel et al., (2009), The Expedition of the Research Vessel "Polarstern" to the Antarctic in 2008/2009 (ANT-XXV/2). *Reports on Polar and Marine Research*: 595
- Bossart GP (2006) "Marine mammals as sentinel species for oceans and human health". *Oceanography* 19: 134-137.
- Di Iorio, L. and C. W. Clark (2010). "Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication." *Biology Letters* 6(1): 51-54.
- Dudzinski, K.M. and J.A. Thomas, et al. (2002). Communication. *Encyclopedia of Marine Mammals*. W. F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen. London, Academic Press: 248-268
- Erbe, C. (2000). *Census of Marine Mammals*. SCOR Whaling Group 118: SCOR working Group on New Technologies for the Detection of Marine Life. Sidney, BC: 10.
- Foote, A.D., R.W. Osborne & A. Rus Hoelzel (2004). "Whale-call response to masking boat noise". *Nature (London)*, 428, 910.
- Ford, J. B. K. (2002). Killer whale *Orcinus orca*. *Encyclopedia of marine mammals*. W. F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen. London, Academic Press: 669-676.
- Frankel, A. S. (2002). Sound Production. *Encyclopedia of Marine Mammals*. W. F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen. London, Academic Press: 1414.
- Gedamke, J. and S. M. Robinson (2010). "Acoustic survey for marine mammal occurrence and distribution off East Antarctica (30-80°E) in January-February 2006." *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 57(9-10): 968-981.
- Halpern BS, S. Walbridge S, et al. (2008). "A global map of human impact on marine ecosystems." *Science* 319: 948-952.

- Klinck, H., D. K. Mellinger, et al. (2010). "Long-range underwater vocalizations of the crabeater seal (*Lobodon carcinophaga*)." *The Journal of the Acoustical Society of America* 128(1): 474-479.
- Kock, K.-H., M. Scheidat, et al. (2009). „The Occurrence of Cetaceans along two Transects from 57° S to Atka Bay (70°29.6' S/07°57.6' W).” SC/61/IA11, International Whaling Commission, Cambridge, UK
- Kock, K.-H., H. Herr, et al. (2010). “Sighting surveys from a ship and a helicopter in the Weddell Sea in 2006/07 and 2008/09.” SC/62/015, International Whaling Commission, Cambridge, UK
- Meeus J. (1994), *Astronomische Algorithmen*, 2., durchgesehene Aufl. Leipzig; Berlin; Heidelberg: Johann Ambrosius Barth
- Mellinger, D. K. and C.W. Clark (2000). “Recognizing transient low-frequency whale sounds by spectrogram correlation.” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107, 3518-3529.
- Mellinger, D. K. (2001). "Ishmael 1.0 User's Guide." NOAA Tech. Report OAR-PMEL-120, NOAA: 30 pp.
- Mellinger, D. K., K. M. Stafford, et al. (2007). "An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans." *Oceanography* 20(4): 36-45.
- Mossbridge, J. A. and J. A. Thomas (1999). "An 'acoustic niche' for Antarctic killer whale and leopard seal sounds." *Marine Mammal Science* 15(4): 1351-1357.
- Pahl, B. C., J. M. Terhune, et al. (1997). "Repertoire and geographic variation in underwater vocalisations of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*, Pinnipedia: Phocidae) at the Vestfold Hills, Antarctica." *Australian Journal of Zoology* 45: 171-187.
- Plötz, J., H. Weidel, et al. (1991). "Winter aggregations of marine mammals and birds in the northeastern Weddel Sea pack ice." *Polar Biology* 11: 305-309.
- Rankin, S., D. Ljungblad, et al. (2005). "Vocalisations of Antarctic blue whales, *Balaenoptera musculus intermedia*, recorded during the 2001/2002 and 2002/2003 IWC/SOWER circumpolar cruises, Area V, Antarctica." *J. Cetacean Res. Manage.* 7(1): 13-20.
- Rice, D.W. (2002). Classification. *Encyclopedia of marine mammals*. W. F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen. London, Academic Press: 231 - 244
- Richlen, M. F. and J. A. Thomas (2008). "Acoustic Behavior of Antarctic Killer Whales (*Orcinus orca*) Recorded Near the Ice Edge of McMurdo Sound, Antarctica." *Aquatic Mammals* 34: 448-457.
- Rogers, T. L. (2003). "Factors influencing the acoustic behaviour of male phocid seals." *Aquatic Mammals* 29(2): 247-260.

- Rogers, T. L., D. H. Cato, et al. (1996). "Behavioral significance of underwater vocalizations of captive leopard seals, *Hydrurga leptonyx*." *Marine Mammal Science* 12(3): 414-427.
- Salvado, C.A.M.; P. Kleiber et al. (1992), " Optimal course by dolphins for detection avoidance." *Fishery Bulletin* 90, 417-420.
- Seibert, A.-M., H. Klinck, et al. (2007). Characteristics of underwater calls of the Ross seal. 17th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals Cape Town, South Africa.
- Sirovic, A., J. A. Hildebrand, et al. (2004). "Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula." *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 51: 2327-2344.
- Sirovic, A., J. A. Hildebrand, et al. (2007). "Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean." *The Journal of the Acoustical Society of America* 122(2): 1208-1215.
- Sirovic, A., J. A. Hildebrand, et al. (2009). "Blue and fin whale acoustic presence around Antarctica during 2003 and 2004." *Marine Mammal Science* 25(1): 125-136.
- Stacey, R.M. (2006) "Airborne and underwater vocalizations of the Antarctic Ross seal (*Ommatophoca rossii*)." MSc Thesis, Western Illinois University, Moline, Illinois
- Stafford, K., J. Citta, et al. (2009). "Environmental correlates of blue and fin whale call detections in the North Pacific Ocean from 1997 to 2002." *Mar Ecol Prog Ser* 395: 37-53.
- Stirling, I. and D. B. Siniff (1979). "Underwater vocalizations of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) and crabeater seals (*Lobodon carcinophagus*) near the South Shetland Islands, Antarctica." *Canadian Journal of Zoology* 57: 1244-1248.
- Stirling, I. and J. A. Thomas (2003). "Relations between underwater vocalisations and mating systems in phocid seals." *Aquatic Mammals* 29(2): 227-246.
- Soto, N. A., M. Johnson, et al. (2006). "Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*)?" *Marine Mammal Science*, 22(3), 690-699.
- Terhune, J. M., H. Burton, et al. (1994). "Weddell seal in-air call sequences made with closed mouths." *Polar Biology* 14: 117-122.
- Terhune, J. M. and A. Dell'Apa (2006). "Stereotyped calling patterns of a male Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*)." *Aquatic Mammals* 32(2): 175-181.

- Thomas, J. A. and D. P. DeMaster (1982). "An acoustic technique for determining diurnal activities in leopard (*Hydrurga leptonyx*) and crabeater (*Lobodon carcinophagus*) seal." *Canadian Journal of Zoology* 60: 2028-2031.
- Thomas, J. A. and V. B. Kuechle (1982). "Quantitative analysis of Weddell seal (*Leptonychotes weddelli*) underwater vocalizations at McMurdo Sound, Antarctica." *The Journal of the Acoustical Society of America* 72(6): 1730-1738.
- Thomas, J. A. and I. Stirling (1983). "Geographic variation in the underwater vocalizations of Weddell seals (*Leptonychotes weddelli*) from Palmer Peninsula and McMurdo Sound, Antarctica." *Canadian Journal of Zoology*, 61
- Thomas, L., Buckland, S. T. (2002) *Encyclopedia of Environmental Metrics* (ISBN 0471 899976) Edited by Abdel H. El-Shaarawi and Walter W. Piegorsch © John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, Vol. 1, pp 544-552
- Van Opzeeland, I.C., L. Kindermann, et al. (2008) "Insights into the acoustic behaviour of polar pinnipeds – current knowledge and emerging techniques of study." In: E.H. Weber & L.H. Krause (Ed.), *Animal Behaviour: New Research*, NY: Nova Science Publishers, Chapter 6, pp. 133-161
- Van Opzeeland, I. (2010). *Acoustic ecology of marine mammals in polar oceans*. Alfred-Wegener Institute for Polar & Marine Research, Bremerhaven Ocean Acoustics Lab Germany & University of Bremen Germany, University of Bremen and Alfred - Wegener Institute Bremerhaven. PhD/ doctoral: 427.
- Van Opzeeland, I., S. Van Parijs, et al. (2010). "Acoustic ecology of Antarctic pinnipeds." *Marine Ecology Progress Series* 414: 267-291.
- Van Parijs, S. M. and P. J. Corkeron. (2001). "Boat traffic affects the acoustic behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Journal of Marine Biology Association in the United Kingdom* 81, 533-538.
- Van Parijs, S. M. (2003). "Aquatic mating in pinnipeds: a review." *Aquatic Mammals* 29(2): 214-226.
- Watkins, W.A. and W.E. Schevill (1968) "Underwater playback of their own sounds to *Leptonychotes* (Weddell seals)." *Journal of Mammalogy* 49: 287-296

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich von visuellen und akustischen Beobachtungsmethoden.....	5
Tabelle 2. Aufnahmeeinstellungen von PALAOA-S	13
Tabelle 3. Literatur zur akustischen Identifikation der Meeressäuger.....	15
Tabelle 4: Informationen zu den PALAOA-S Einsätzen 2008.....	21
Tabelle 5: Artenspezifisch ausgewählte Einstellungen in XBAT	37

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. PALAOA-S Set-up.....	14
Abb. 2: Fahrtverlauf der FS Polarstern ANTXXV-2 2008 und Positionen von PALAOA-S	22
Abb. 3. „Soundscape“ Grafik.....	24
Abb. 4. Anzahl der detektierten Robbenrufe innerhalb einer Stunde, von PALAOA-S am 13.12.2008 bei A1 aufgezeichnet.	25
Abb. 5. Anzahl der detektierten Walrufe innerhalb einer Stunde von PALAOA-S am 13.12.2008 bei A1 aufgezeichnet.	26
Abb. 6. Anzahl der detektierten Robbenrufe innerhalb einer Stunde von PALAOA-S am 15.12.2008 bei A2 aufgezeichnet.	27
Abb. 7. Anzahl der detektierten Robbenrufe innerhalb einer Stunde von PALAOA-S am 20./21.12.2008 bei A3 aufgezeichnet.	28
Abb. 8. Anzahl der detektierten Walrufe innerhalb einer Stunde von PALAOA-S am 20./21.12.2008 bei A3 aufgezeichnet.	29
Abb. 9. Anzahl der detektierten Robbenrufe innerhalb einer Stunde von PALAOA-S am 22./23.12.2008 bei A4 aufgezeichnet.	30
Abb. 10. Anzahl der detektierten Walrufe innerhalb einer Stunde von PALAOA-S am 22./23.12.2008 bei A4 aufgezeichnet.	31
Abb. 11. Normalisierte Anzahl von Weddellrobbenrufen.	32
Abb. 12. Normalisierte Anzahlen von Krabbenfresserrufen A3.....	33
Abb. 13. Normalisierte Anzahlen von Rossrobbenrufen A3.....	34
Abb. 14. Normalisierte Anzahlen von Rossrobbenrufen A4.....	34
Abb. 15. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen A1.....	35
Abb. 16. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen A2.....	35
Abb. 17. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen A3.....	35
Abb. 18. Normalisierte Anzahlen von Seeleopardenrufen A4.....	36
Abb. 19. Anzahlen der detektierten Rufe von Krabbenfressern A3	38
Abb. 20. Anzahlen der detektierten Rufe von Rossrobben A3.....	39
Abb. 21. Anzahlen der detektierten Rufe von Rossrobben A4	40
Abb. 22. Anzahlen der detektierten Rufe von Seeleoparden A1.....	41
Abb. 23. Anzahl der detektierten Rufe von Seeleoparden A2.....	42
Abb. 24. Anzahl der detektierten Rufe von Seeleoparden A3.....	43
Abb. 25. Anzahlen der detektierten Rufe von Seeleoparden A4.....	44

Abb. 26. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 13.12.2008 präsent waren.	45
Abb. 27. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 15.12.2008 präsent waren.	46
Abb. 28. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen mit Schiff und Helikopter am 20.12.2008 präsent waren.	46
Abb. 29. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 21.12.2008 präsent waren.	47
Abb. 30. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 22.12.2008 präsent waren.	47
Abb. 31. Arten die in den akustischen Aufnahmen von PALAOA-S und während visueller Sichtungen vom Schiff und vom Helikopter am 23.12.2008 präsent waren.	48
Abb. 32. Komponenten der derzeitigen passiven und portablen akustische Aufnahme Einheit PALAOA-S.....	62
Abb. 33: Grundsätzliche Versuchsanordnung	64
Abb. 34: Versuchsanordnung Abstand M-Audio Mikrotrack II	65
Abb. 35: Signal- Rausch- Abstand M-Audio Mikrotrack II	66
Abb. 36: Temperaturverlauf	69
Abb. 37: Versuchsanordnung: Zoom H4n-Rekorder.....	71
Abb. 38: Signal- Rausch- Abstand Zoom H4n-Rekorder.	71

ANHANG

Tabellen

- 1. Detektierte Rufanzahlen und Schiffsnähe zur PALAOA-S-Kiste*
- 2. Normalisierte Rufanzahlen: Vergleich mit PALAOA*
- 3. Vergleich von manueller und automatischer Datenanalyse*
- 4. Vergleich der akustischen PALAOA-S-Daten mit Sichtungsdaten*

Spektrogramme

- 5. ‚Templates‘ von Robbenarten, die für die automatische Analyse genutzt wurden*
- 6. Lauttypen von Robbenarten (Van Opzeeland, 2010)*
- 7. Auswahl einiger Meeressäuger-Rufe die mit PALAOA-S 2008 detektiert wurden*

1. Detektierte Rufanzahlen und Schiffsnähe zur PALAOA-S-Kiste

Anhang A1: Anzahl der detektierten Robbenlaute und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A1 am 13.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	pinnipeds			
			Weddell seal	crabeater seal	Ross seal	leopard seal
13.12.2008	13:00 -14:00	74.77	0	0	0	765
13.12.2008	14:00 -15:00	65.42	0	0	0	625
13.12.2008	15:00 -16:00	57.45	0	0	0	1014
13.12.2008	16:00 -17:00	48.74	0	0	0	903
13.12.2008	17:00 -18:00	40.37	0	0	0	892
13.12.2008	18:00 -19:00	33.30	0	0	0	845
13.12.2008	19:00 -20:00	25.32	0	0	0	690

Anhang B1: Anzahl der detektierten Wallaute, Bio-duck-Signal und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A1 am 13.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	cetacea			other
			odontoceti	mysticeti		bio-duck
			killer whale	blue whale	fin whale	
13.12.2008	13:00 -14:00	74.77	0	12	0	X
13.12.2008	14:00 -15:00	65.42	0	5	0	X
13.12.2008	15:00 -16:00	57.45	0	0	0	X
13.12.2008	16:00 -17:00	48.74	0	0	0	X
13.12.2008	17:00 -18:00	40.37	0	0	0	X
13.12.2008	18:00 -19:00	33.30	0	0	0	X
13.12.2008	19:00 -20:00	25.32	0	0	0	X

X: acoustic presence

Anhang C1: Anzahl der detektierten Robbenlaute und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Kiste am 15.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	pinnipeds			
			Weddell seal	crabeater seal	Ross seal	leopard seal
15.12.2008	18:00 -19:00	71.42	0	0	0	672
15.12.2008	19:00 -20:00	65.23	0	0	0	631
15.12.2008	20:00 -21:00	60.45	5	0	0	547
15.12.2008	21:00 -22:00	55.78	6	0	0	590

Anhang D1: Anzahl der detektierten Wallaute, Bio-duck-Signal und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A2 am 15.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	cetacea			other
			odontoceti	mysticeti		bio-duck
			killer whale	blue whale	fin whale	
15.12.2008	18:00 -19:00	71.42	0	na	na	0
15.12.2008	19:00 -20:00	65.23	0	na	na	0
15.12.2008	20:00 -21:00	60.45	0	na	na	0
15.12.2008	21:00 -22:00	55.78	0	na	na	0

Anhang E1: Anzahl der detektierten Robbenlaute und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A3 am 20./21.12.2008.

			pinnipeds			
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	Weddell seal	crabeater seal	Ross seal	leopard seal
20.12.2008	21:00 -22:00	73	0	67	440	860
20.12.2008	22:00 -23:00	69	0	71	361	1032
20.12.2008	23:00 -00:00	63	0	61	383	924
21.12.2008	00:00 - 01:00	56	0	59	369	961
21.12.2008	01:00 - 02:00	48	0	68	180	993
21.12.2008	02:00 -03:00	41	0	53	126	706
21.12.2008	03:00 -04:00	35	0	60	230	774
21.12.2008	04:00 -05:00	27	0	61	105	585
21.12.2008	05:00 -06:00	19	0	18	27	357
21.12.2008	06:00 -07:00	10	0	0	0	96
21.12.2008	07:00 -08:00	7	0	0	0	18
21.12.2008	08:00 -09:00	14	0	0	0	37
21.12.2008	09:00 -10:00	25	0	0	0	63
21.12.2008	10:00 -11:00	35	0	0	84	49
21.12.2008	11:00 -12:00	38	0	0	76	48

Anhang F1: Anzahl der detektierten Wallaute, Bio-duck-Signal und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A3 am 20./21.12.2008.

			cetacea			other
			odontoceti	mysticeti		
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	killer whale	blue whale	fin whale	bio-duck
20.12.2008	21:00 -22:00	73	142	10	0	0
20.12.2008	22:00 -23:00	69	49	25	0	0
20.12.2008	23:00 -00:00	63	49	13	0	0
21.12.2008	00:00 - 01:00	56	26	18	0	0
21.12.2008	01:00 - 02:00	48	73	12	0	0
21.12.2008	02:00 -03:00	41	0	16	0	0
21.12.2008	03:00 -04:00	35	0	17	0	0
21.12.2008	04:00 -05:00	27	0	11	0	0
21.12.2008	05:00 -06:00	19	0	10	0	0
21.12.2008	06:00 -07:00	10	0	8	0	0
21.12.2008	07:00 -08:00	7	0	7	0	0
21.12.2008	08:00 -09:00	14	0	13	0	0
21.12.2008	09:00 -10:00	25	0	5	0	0
21.12.2008	10:00 -11:00	35	0	5	0	0
21.12.2008	11:00 -12:00	38	0	11	0	0

Anhang G1: Anzahl der detektierten Robbenlaute und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A4 am 22./23.12.2008

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	pinnipeds			
			Weddell seal	crabeater seal	Ross seal	leopard seal
22.12.2008	19:00 -20:00	54	0	0	19	1048
22.12.2008	20:00 -21:00	50	0	0	26	806
22.12.2008	21:00 -22:00	51	0	0	29	868
22.12.2008	22:00 -23:00	48	0	0	72	887
22.12.2008	23:00 -00:00	40	0	0	64	872
23.12.2008	00:00 - 01:00	33	0	0	75	908
23.12.2008	01:00 - 02:00	26	0	0	20	743
23.12.2008	02:00 -03:00	24	0	0	20	503
23.12.2008	03:00 -04:00	23	0	0	43	582
23.12.2008	04:00 -05:00	21	0	0	54	586
23.12.2008	05:00 -06:00	21	0	0	83	441
23.12.2008	06:00 -07:00	25	0	0	100	394
23.12.2008	07:00 -08:00	28	0	0	135	426
23.12.2008	08:00 -09:00	30	0	0	205	503
23.12.2008	09:00 -10:00	32	0	0	58	437
23.12.2008	10:00 -11:00	32	0	0	37	397

Anhang H1: Anzahl der detektierten Wallaute, Bio-duck-Signal und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A4 am 22./23.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	cetacea			other
			odontoceti	mysticeti		bio-duck
			killer whale	blue whale	fin whale	
22.12.2008	19:00 -20:00	54	0	2	0	X
22.12.2008	20:00 -21:00	50	0	3	0	0
22.12.2008	21:00 -22:00	51	0	3	0	0
22.12.2008	22:00 -23:00	48	0	5	0	0
22.12.2008	23:00 -00:00	40	0	7	0	X
23.12.2008	00:00 - 01:00	33	0	7	0	0
23.12.2008	01:00 - 02:00	26	0	7	0	X
23.12.2008	02:00 -03:00	24	0	11	0	X
23.12.2008	03:00 -04:00	23	0	17	0	X
23.12.2008	04:00 -05:00	21	0	10	0	X
23.12.2008	05:00 -06:00	21	0	7	0	X
23.12.2008	06:00 -07:00	25	0	6	0	X
23.12.2008	07:00 -08:00	28	0	9	0	X
23.12.2008	08:00 -09:00	30	0	5	X	X
23.12.2008	09:00 -10:00	32	0	14	0	X
23.12.2008	10:00 -11:00	32	0	0	0	0

X: acoustic presence

2. Normalisierte Lautzahlen: Vergleich mit PALAOA

Anhang A2: Normalisierte Lautzahlen von Weddellrobben und Krabbenfressern. Vergleich zwischen PALAPA (Dez. 2006) und PALAOA-S.

	PALAOA*	PALAOA-S	PALAOA*	PALAOA-S
date	12.2006	15.12.2008	12.2006	20./21.12.2008
time [UTC]	Weddell seal normalized hourly call activity [%]	Weddell seal normalized hourly call activity [%]	crabeater seal normalized hourly call activity [%]	crabeater sea normalized hourly call activity [%]
00:00 - 01:00	73		61	83
01:00 - 02:00	82		79	96
02:00 -03:00	87		100	75
03:00 -04:00	82		64	85
04:00 -05:00	100		39	86
05:00 -06:00	78		39	25
06:00 -07:00	89		32	0
07:00 -08:00	83		21	0
08:00 -09:00	81		0	0
09:00 -10:00	60		0	0
10:00 -11:00	60		0	0
11:00 -12:00	62		0	0
12:00 -13:00	55		4	
13:00 -14:00	60		0	
14:00 -15:00	61		0	
15:00 -16:00	41		7	
16:00 -17:00	60		7	
17:00 -18:00	63		7	
18:00 -19:00	60	0	39	
19:00- 20:00	63	0	43	
20:00-21:00	68	83	54	
21:00 -22:00	81	100	14	94
22:00 -23:00	70		18	100
23:00 -00:00	78		0	86
00:00 - 01:00	73		61	83
01:00 - 02:00	82		79	96
02:00 -03:00	87		100	75
03:00 -04:00	82		64	85
04:00 -05:00	100		39	86
05:00 -06:00	78		39	25
06:00 -07:00	89		32	0
07:00 -08:00	83		21	0
08:00 -09:00	81		0	0
09:00 -10:00	60		0	0
10:00 -11:00	60		0	0
11:00 -12:00	62		0	0

* Van Opzeeland *et al.*, 2010

Anhang B2: Normalisierte Lautzahlen von Rossrobben. Vergleich zwischen PALAPA (Dez. 2006) und PALAOA-S.

	PALAOA*	PALAOA-S	
date	12.2006	20./21.12.2008	22./23.12.2008
time [UTC]	Ross seal normalized hourly call activity [%]	Ross seal normalized hourly call activity [%]	Ross seal normalized hourly call activity [%]
00:00 - 01:00	30	84	37
01:00 - 02:00	30	41	10
02:00 -03:00	38	29	10
03:00 -04:00	31	52	21
04:00 -05:00	30	24	26
05:00 -06:00	28	6	40
06:00 -07:00	33	0	49
07:00 -08:00	35	0	66
08:00 -09:00	35	0	100
09:00 -10:00	41	0	28
10:00 -11:00	42	19	18
11:00 -12:00	50	17	
12:00 -13:00	76		
13:00 -14:00	93		
14:00 -15:00	100		
15:00 -16:00	93		
16:00 -17:00	94		
17:00 -18:00	88		
18:00 -19:00	82		
19:00- 20:00	78		9
20:00-21:00	75		13
21:00 -22:00	66	100	14
22:00 -23:00	64	82	35
23:00 -00:00	63	87	31
00:00 - 01:00	30	84	37
01:00 - 02:00	30	41	10
02:00 -03:00	38	29	10
03:00 -04:00	31	52	21
04:00 -05:00	30	24	26
05:00 -06:00	28	6	40
06:00 -07:00	33	0	49
07:00 -08:00	35	0	66
08:00 -09:00	35	0	100
09:00 -10:00	41	0	28
10:00 -11:00	42	19	18
11:00 -12:00	50	17	

* Van Opzeeland *et al.*, 2010

Anhang C2: Normalisierte Lautzahlen von Seeleoparden. Vergleich zwischen PALAPA (Dez. 2006) und PALAOA-S.

	PALAOA*	PALAOA-S			
date	12.2006	13.12.2008	15.12.2008	20./21.12.2008	22./23.12.2008
time [UTC]	leopard seal normalized hourly call activity [%]				
00:00 - 01:00	87			93	87
01:00 - 02:00	88			96	71
02:00 -03:00	81			68	48
03:00 -04:00	75			75	56
04:00 -05:00	75			57	56
05:00 -06:00	66			35	42
06:00 -07:00	60			9	38
07:00 -08:00	67			2	41
08:00 -09:00	60			4	48
09:00 -10:00	63			6	42
10:00 -11:00	70			5	38
11:00 -12:00	72			5	
12:00 -13:00	71				
13:00 -14:00	81	75			
14:00 -15:00	83	62			
15:00 -16:00	87	100			
16:00 -17:00	87	89			
17:00 -18:00	88	88			
18:00 -19:00	86	83	100		
19:00- 20:00	92	68	94		100
20:00-21:00	100		81		77
21:00 -22:00	99		88	83	83
22:00 -23:00	94			100	85
23:00 -00:00	96			90	83
00:00 - 01:00	87			93	87
01:00 - 02:00	88			96	71
02:00 -03:00	81			68	48
03:00 -04:00	75			75	56
04:00 -05:00	75			57	56
05:00 -06:00	66			35	42
06:00 -07:00	60			9	38
07:00 -08:00	67			2	41
08:00 -09:00	60			4	48
09:00 -10:00	63			6	42
10:00 -11:00	70			5	38
11:00 -12:00	72			5	

* Van Opzeeland *et al.*, 2010

3. Vergleich von manueller und automatischer Datenanalyse

Anhang A3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Krabbenfressern und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A3 am 20./21.12.2008.

			manual analysis	automatic analysis
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	crabeater seal call numbers per hour	crabeater seal call numbers per hour
20.12.2008	21:00 -22:00	73	67	69
20.12.2008	22:00 -23:00	69	71	55
20.12.2008	23:00 -00:00	63	61	48
21.12.2008	00:00 - 01:00	56	59	39
21.12.2008	01:00 - 02:00	48	68	41
21.12.2008	02:00 -03:00	41	53	45
21.12.2008	03:00 -04:00	35	60	38
21.12.2008	04:00 -05:00	27	61	18
21.12.2008	05:00 -06:00	19	18	0
21.12.2008	06:00 -07:00	10	0	0
21.12.2008	07:00 -08:00	7	0	0
21.12.2008	08:00 -09:00	14	0	0
21.12.2008	09:00 -10:00	25	0	0
21.12.2008	10:00 -11:00	35	0	0
21.12.2008	11:00 -12:00	38	0	0

Anhang B3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Rossrobben und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A3 am 20./21.12.2008.

			manual analysis	automatic analysis
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	Ross seal call numbers per hour	Ross seal call numbers per hour
20.12.2008	21:00 -22:00	73	440	27
20.12.2008	22:00 -23:00	69	361	7
20.12.2008	23:00 -00:00	63	383	32
21.12.2008	00:00 - 01:00	56	369	40
21.12.2008	01:00 - 02:00	48	180	1
21.12.2008	02:00 -03:00	41	126	1
21.12.2008	03:00 -04:00	35	230	2
21.12.2008	04:00 -05:00	27	105	0
21.12.2008	05:00 -06:00	19	27	0
21.12.2008	06:00 -07:00	10	0	0
21.12.2008	07:00 -08:00	7	0	0
21.12.2008	08:00 -09:00	14	0	0
21.12.2008	09:00 -10:00	25	0	0
21.12.2008	10:00 -11:00	35	84	0
21.12.2008	11:00 -12:00	38	76	0

Anhang C3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Rossrobben und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A4 am 22./23.12.2008.

			manual analysis	automatic analysis
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	Ross seal call numbers per hour	Ross seal call numbers per hour
22.12.2008	19:00 -20:00	54	19	0
22.12.2008	20:00 -21:00	50	26	0
22.12.2008	21:00 -22:00	51	29	0
22.12.2008	22:00 -23:00	48	72	1
22.12.2008	23:00 -00:00	40	64	0
23.12.2008	00:00 - 01:00	33	75	0
23.12.2008	01:00 - 02:00	26	20	0
23.12.2008	02:00 -03:00	24	20	0
23.12.2008	03:00 -04:00	23	43	0
23.12.2008	04:00 -05:00	21	54	0
23.12.2008	05:00 -06:00	21	83	2
23.12.2008	06:00 -07:00	25	100	1
23.12.2008	07:00 -08:00	28	135	5
23.12.2008	08:00 -09:00	30	205	19
23.12.2008	09:00 -10:00	32	58	3
23.12.2008	10:00 -11:00	32	37	0

Anhang D3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Seeleoparden und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A1 am 13.12.2008.

			manual analysis	automatic analysis
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	leopard seal call numbers per hour	leopard seal call numbers per hour
13.12.2008	13:00 -14:00	74.77	765	262
13.12.2008	14:00 -15:00	65.42	625	292
13.12.2008	15:00 -16:00	57.45	1014	242
13.12.2008	16:00 -17:00	48.74	903	71
13.12.2008	17:00 -18:00	40.37	892	159
13.12.2008	18:00 -19:00	33.30	845	144
13.12.2008	19:00 -20:00	25.32	690	87

Anhang E3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Seeleoparden und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A2 am 15.12.2008.

			manual analysis	automatic analysis
date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	leopard seal call numbers per hour	leopard seal call numbers per hour
15.12.2008	18:00 -19:00	71.42	672	100
15.12.2008	19:00 -20:00	65.23	631	95
15.12.2008	20:00 -21:00	60.45	547	73
15.12.2008	21:00 -22:00	55.78	590	61

Anhang F3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Seeleoparden und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A3 am 20./21.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	manual analysis	automatic analysis
			leopard seal call numbers per hour	leopard seal call numbers per hour
20.12.2008	21:00 -22:00	73	860	716
20.12.2008	22:00 -23:00	69	1032	812
20.12.2008	23:00 -00:00	63	924	714
21.12.2008	00:00 - 01:00	56	961	721
21.12.2008	01:00 - 02:00	48	993	621
21.12.2008	02:00 -03:00	41	706	434
21.12.2008	03:00 -04:00	35	774	422
21.12.2008	04:00 -05:00	27	585	189
21.12.2008	05:00 -06:00	19	357	0
21.12.2008	06:00 -07:00	10	96	5
21.12.2008	07:00 -08:00	7	18	0
21.12.2008	08:00 -09:00	14	37	0
21.12.2008	09:00 -10:00	25	63	0
21.12.2008	10:00 -11:00	35	49	0
21.12.2008	11:00 -12:00	38	48	0

Anhang G3: Manuell und automatisch detektierte Lautzahlen von Seeleoparden und Distanz zwischen dem Schiff und der PALAOA-S-Auslegung A4 am 22./23.12.2008.

date	time [UTC]	average distance between PALAOA-S and ship (nm)	manual analysis	automatic analysis
			leopard seal call numbers per hour	leopard seal call numbers per hour
22.12.2008	19:00 -20:00	54	1048	542
22.12.2008	20:00 -21:00	50	806	335
22.12.2008	21:00 -22:00	51	868	373
22.12.2008	22:00 -23:00	48	887	513
22.12.2008	23:00 -00:00	40	872	512
23.12.2008	00:00 - 01:00	33	908	450
23.12.2008	01:00 - 02:00	26	743	318
23.12.2008	02:00 -03:00	24	503	101
23.12.2008	03:00 -04:00	23	582	269
23.12.2008	04:00 -05:00	21	586	317
23.12.2008	05:00 -06:00	21	441	347
23.12.2008	06:00 -07:00	25	394	264
23.12.2008	07:00 -08:00	28	426	264
23.12.2008	08:00 -09:00	30	503	233
23.12.2008	09:00 -10:00	32	437	154
23.12.2008	10:00 -11:00	32	397	93

4. Vergleich der akustischen PALAOA-S-Daten mit Sichtungsdaten

Anhang A4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Robbenarten und das akustische Bio-duck-Signal am 13.12.2008.

13.12.2008	pinnipeds			other
				bio-duck
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S
04:00 – 05:00	na	0	na	na
05:00 – 06:00	na	0	na	na
06:00 – 07:00	na	0	na	na
07:00 – 08:00	na	0	na	na
08:00 – 09:00	na	0	0	na
09:00 – 10:00	na	0	0	na
10:00 – 11:00	na	0	0	na
11:00 – 12:00	na	0	0	na
12:00 – 13:00	na	0	0	na
13:00 – 14:00	X	0	0	X
14:00 – 15:00	X	0	0	X
15:00 – 16:00	X	0	0	X
16:00 – 17:00	X	0	0	X
17:00 – 18:00	X	na	na	X
18:00 – 19:00	X	na	na	X
19:00 – 20:00	X	na	na	X

X: acoustic presence; na: no data

Anhang B4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Walarten am 13.12.2008.

13.12.2008	cetacea					
	mysticeti			odontoceti		
	blue whale			minke whale		
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter
04:00 – 05:00	na	0	na	na	X	na
05:00 – 06:00	na	0	na	na	0	na
06:00 – 07:00	na	0	na	na	0	na
07:00 – 08:00	na	0	na	na	0	na
08:00 – 09:00	na	0	0	na	0	X
09:00 – 10:00	na	0	0	na	0	X
10:00 – 11:00	na	0	0	na	0	0
11:00 – 12:00	na	0	0	na	0	0
12:00 – 13:00	na	0	0	na	0	0
13:00 – 14:00	X	0	0	0	X	0
14:00 – 15:00	X	0	0	0	0	X
15:00 – 16:00	0	0	0	0	X	X
16:00 – 17:00	0	0	0	0	0	0
17:00 – 18:00	0	na	na	0	na	na
18:00 – 19:00	0	na	na	0	na	na
19:00 – 20:00	0	na	na	0	na	na

X: acoustic presence; na: no data

Anhang C4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Robbenarten und das akustische Bio-duck-Signal am 15.12.2008.

15.12.2008	pinnipeds			other
				bio-duck
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S
09:00 – 10:00	na	na	X	na
10:00 – 11:00	na	na	X	na
11:00 – 12:00	na	na	X	na
12:00 – 13:00	na	0	0	na
13:00 – 14:00	na	0	0	na
14:00 – 15:00	na	0	0	na
15:00 – 16:00	na	0	0	na
16:00 – 17:00	na	0	na	na
17:00 – 18:00	na	X	na	na
18:00 – 19:00	X	na	na	0
19:00 – 20:00	X	na	na	0
20:00 – 21:00	X	na	na	0
21:00 – 22:00	X	na	na	0

X: acoustic presence; na: no data

Anhang D4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Robbenarten und das akustische Bio-duck-Signal am 20.12.2008.

20.12.2008	pinnipeds			other
				bio-duck
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S
9:00 – 10:00	na	0	na	na
10:00 – 11:00	na	0	na	na
11:00 – 12:00	na	0	na	na
12:00 – 13:00	na	0	0	na
13:00 – 14:00	na	0	0	na
14:00 – 15:00	na	0	0	na
15:00 – 16:00	na	0	na	na
16:00 – 17:00	na	0	na	na
17:00 – 18:00	na	0	na	na
18:00 – 19:00	na	0	na	na
19:00 – 20:00	na	0	na	na
20:00 – 21:00	na	0	na	na
21:00 – 22:00	X	na	na	0
22:00 – 23:00	X	na	na	0
23:00 – 00:00	X	na	na	0

X: acoustic presence; na: no data

Anhang E4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Walarten am 20.12.2008.

20.12.2008	cetacea								
	mysticeti			odontoceti					
	blue whale			killer whale			minke whale		
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter
9:00 – 10:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
10:00 – 11:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
11:00 – 12:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
12:00 – 13:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
13:00 – 14:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
14:00 – 15:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
15:00 – 16:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
16:00 – 17:00	na	0	na	na	0	na	na	X	na
17:00 – 18:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
18:00 – 19:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
19:00 – 20:00	na	0	na	na	0	na	na	X	na
20:00 – 21:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
21:00 – 22:00	X	na	na	X	na	na	0	na	na
22:00 – 23:00	X	na	na	X	na	na	0	na	na
23:00 – 00:00	X	na	na	X	na	na	0	na	na

X: acoustic presence; na: no data

Anhang E4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Robbenarten und das akustische Bio-duck-Signal am 21.12.2008.

21.12.2008	pinnipeds			other
	PALAOA-S	ship	helicopter	bio-duck
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S
0:00 – 01:00	X	na	na	0
01:00 – 02:00	X	na	na	0
02:00 – 03:00	X	na	na	0
03:00 – 04:00	X	na	na	0
04:00 – 05:00	X	na	na	0
05:00 – 06:00	X	na	na	0
06:00 – 07:00	X	na	na	0
07:00 – 08:00	X	na	na	0
08:00 – 09:00	X	na	na	0
09:00 – 10:00	X	0	na	0
10:00 – 11:00	X	0	na	0
11:00 – 12:00	X	0	na	0
12:00 – 13:00	na	0	0	na
13:00 – 14:00	na	0	0	na
14:00 – 15:00	na	0	0	na
15:00 – 16:00	na	0	0	na
16:00 – 17:00	na	0	X	na
17:00 – 18:00	na	0	X	na
18:00 – 19:00	na	0	na	na
19:00 – 20:00	na	X	na	na
20:00 – 21:00	na	0	na	na
21:00 – 22:00	na	X	na	na

X: acoustic presence; na: no data

Anhang G4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Walarten am 21.12.2008.

21.12.2008	cetacea								
	mysticeti			odontoceti					
	blue whale			killer whale			minke whale		
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter
0:00 – 01:00	X	na	na	X	na	na	0	na	na
01:00 – 02:00	X	na	na	X	na	na	0	na	na
02:00 – 03:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
03:00 – 04:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
04:00 – 05:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
05:00 – 06:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
06:00 – 07:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
07:00 – 08:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
08:00 – 09:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
09:00 – 10:00	X	0	na	0	0	na	0	0	na
10:00 – 11:00	X	0	na	0	0	na	0	0	na
11:00 – 12:00	X	0	na	0	0	na	0	0	na
12:00 – 13:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
13:00 – 14:00	na	0	0	na	0	0	na	0	X
14:00 – 15:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
15:00 – 16:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
16:00 – 17:00	na	0	0	na	0	0	na	X	0
17:00 – 18:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
18:00 – 19:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
19:00 – 20:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
20:00 – 21:00	na	0	na	na	0	na	na	X	na
21:00 – 22:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na

X: acoustic presence; na: no data

Anhang H4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Robbenarten und das akustische Bio-duck-Signal am 22.12.2008.

22.12.2008	pinnipeds			other
				bio-duck
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S
12:00 – 13:00	na	0	X	na
13:00 – 14:00	na	0	0	na
14:00 – 15:00	na	0	0	na
15:00 – 16:00	na	0	0	na
16:00 – 17:00	na	0	0	na
17:00 – 18:00	na	0	0	na
18:00 – 19:00	na	0	na	na
19:00 – 20:00	X	0	na	X
20:00 – 21:00	X	0	na	0
21:00 – 22:00	X	na	na	0
22:00 – 23:00	X	na	na	0
23:00 – 00:00	X	na	na	X

X: acoustic presence; na: no data

Anhang I4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Walarten am 22.12.2008.

22.12.2008	cetacea					
	mysticeti			odontoceti		
	blue whale			minke whale		
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter
12:00 – 13:00	na	0	0	na	0	0
13:00 – 14:00	na	0	0	na	0	0
14:00 – 15:00	na	0	0	na	0	X
15:00 – 16:00	na	0	0	na	0	X
16:00 – 17:00	na	0	0	na	0	0
17:00 – 18:00	na	0	0	na	0	0
18:00 – 19:00	na	0	na	na	0	na
19:00 – 20:00	X	0	na	0	0	na
20:00 – 21:00	X	0	na	0	0	na
21:00 – 22:00	X	na	na	0	na	na
22:00 – 23:00	X	na	na	0	na	na
23:00 – 00:00	X	na	na	0	na	na

X: acoustic presence; na: no data

Anhang J4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Robbenarten und das akustische Bio-duck-Signal am 23.12.2008.

23.12.2008	pinnipeds			other
	PALAOA-S	ship	helicopter	bio-duck
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S
0:00 – 01:00	X	na	na	0
01:00 – 02:00	X	na	na	X
02:00 – 03:00	X	na	na	X
03:00 – 04:00	X	na	na	X
04:00 – 05:00	X	na	na	X
05:00 – 06:00	X	na	na	X
06:00 – 07:00	X	na	na	X
07:00 – 08:00	X	na	na	X
08:00 – 09:00	X	na	na	X
09:00 – 10:00	X	na	na	X
10:00 – 11:00	X	na	na	0
11:00 – 12:00	na	na	na	na
12:00 – 13:00	na	0	na	na
13:00 – 14:00	na	0	na	na
14:00 – 15:00	na	0	na	na
15:00 – 16:00	na	0	0	na
16:00 – 17:00	na	0	0	na
17:00 – 18:00	na	0	0	na
18:00 – 19:00	na	0	0	na
19:00 – 20:00	na	0	0	na
20:00 – 21:00	X	na	na	0

X: acoustic presence; na: no data

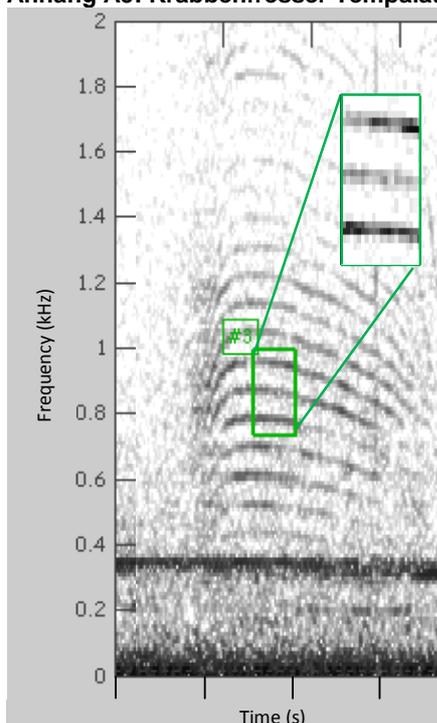
Anhang K4: Akustische Aufnahmen und Sichtungen von Walarten am 23.12.2008.

23.12.2008	cetacea								
	mysticeti						odontoceti		
	blue whale			fin whale			minke whale		
time [UTC]	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter	PALAOA-S	ship	helicopter
0:00 – 01:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
01:00 – 02:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
02:00 – 03:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
03:00 – 04:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
04:00 – 05:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
05:00 – 06:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
06:00 – 07:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
07:00 – 08:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
08:00 – 09:00	X	na	na	X	na	na	0	na	na
09:00 – 10:00	X	na	na	0	na	na	0	na	na
10:00 – 11:00	0	na	na	0	na	na	0	na	na
11:00 – 12:00	na	na	na	na	na	na	na	na	na
12:00 – 13:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
13:00 – 14:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
14:00 – 15:00	na	0	na	na	0	na	na	0	na
15:00 – 16:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
16:00 – 17:00	na	0	0	na	0	0	na	0	X
17:00 – 18:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
18:00 – 19:00	na	0	0	na	0	0	na	0	0
19:00 – 20:00	na	0	0	na	0	0	na	X	0
20:00 – 21:00	na	0	0	na	0	0	na	X	0

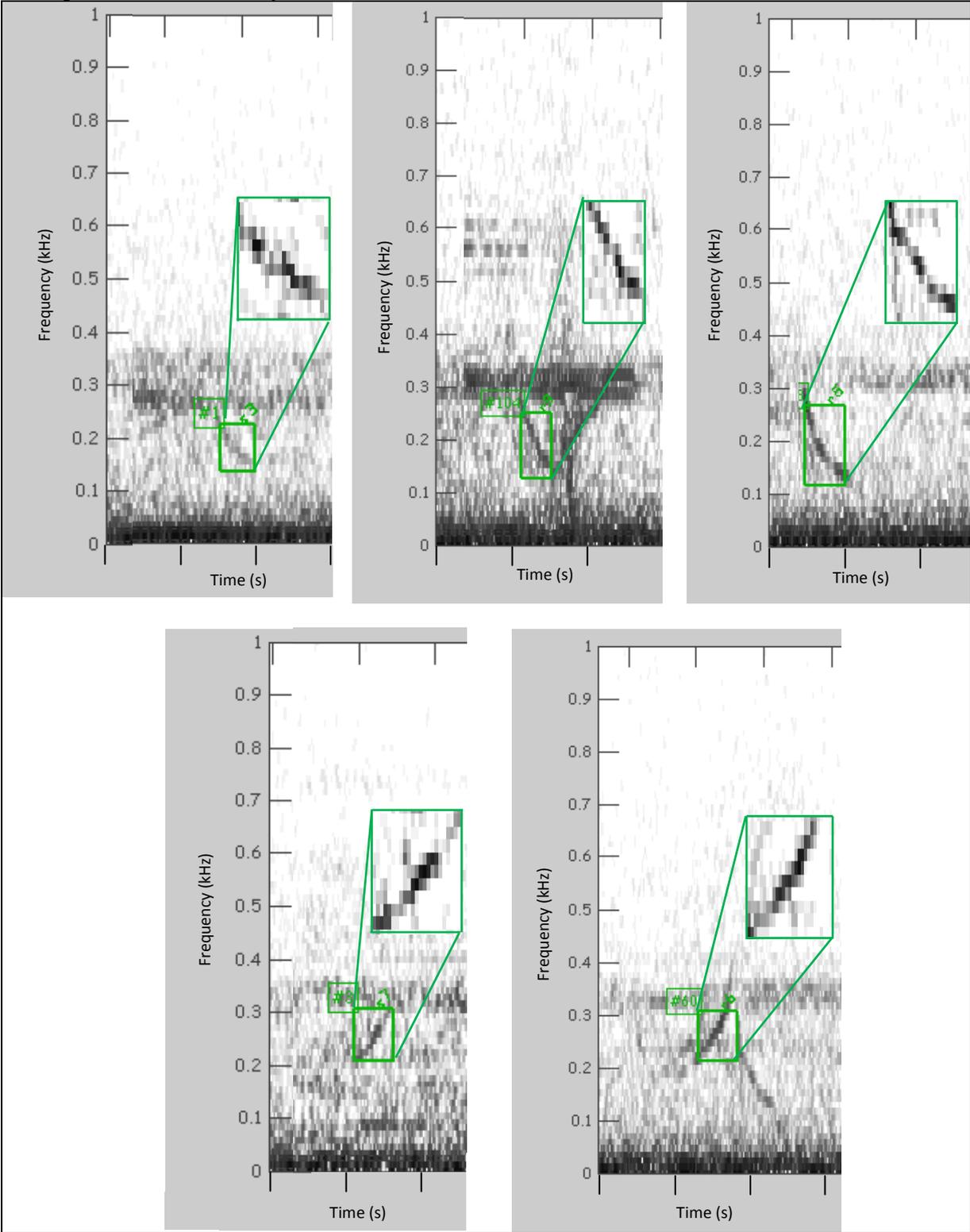
X: acoustic presence; na: no data

5. ‚Templates‘ von Robbenarten, die für die automatische Analyse genutzt wurden

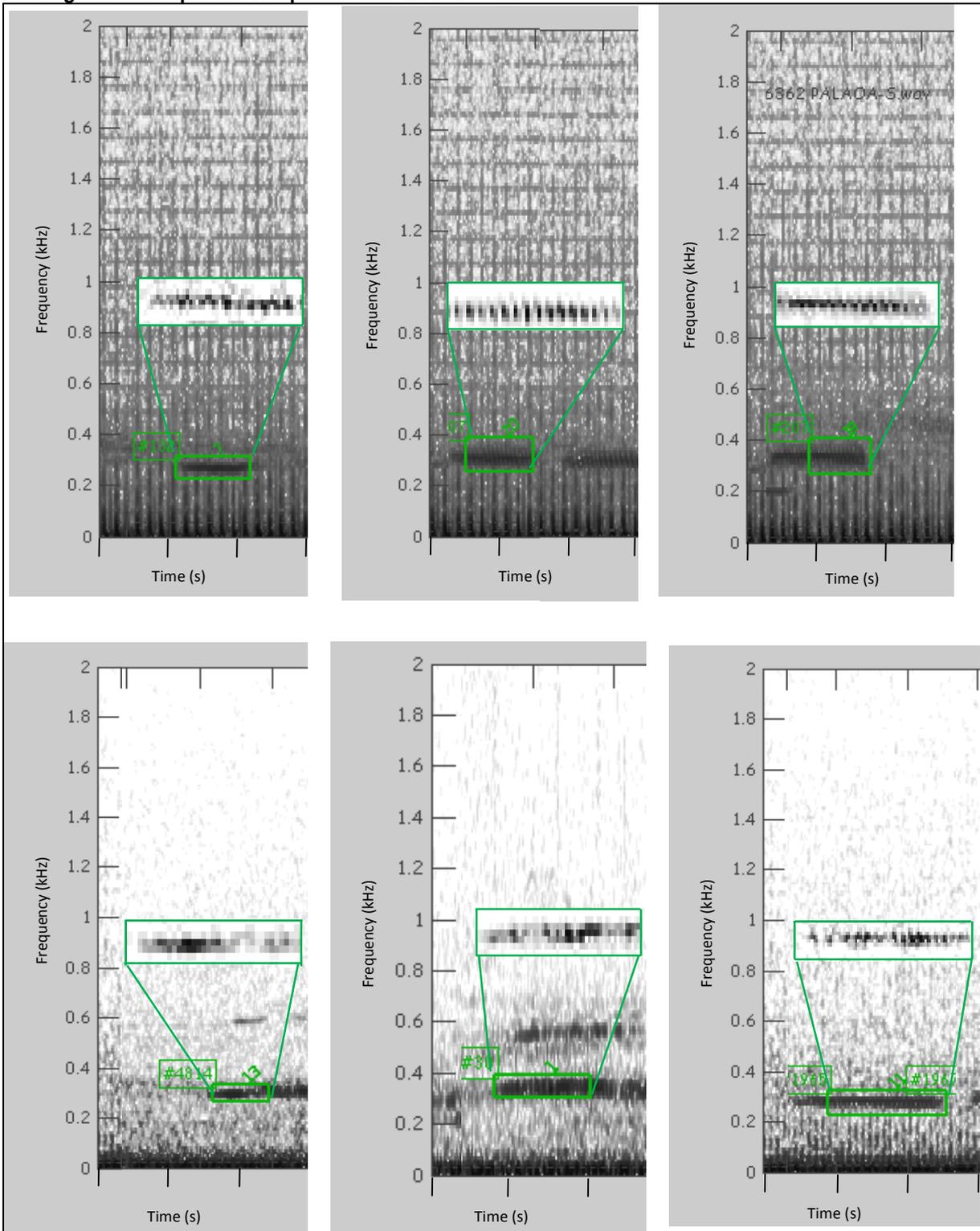
Anhang A5: Krabbenfresser Template mit XBAT erstellt.



Anhang B5: Rossrobben Tempalates mit XBAT erstellt.



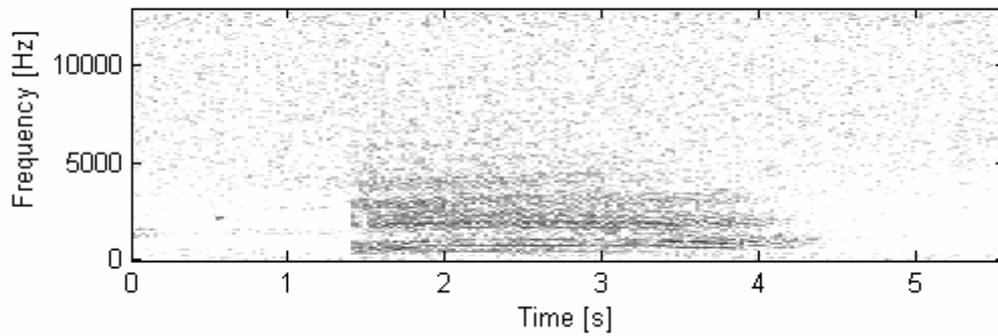
Anhang C5: Seeleoparden Templates mit XBAT erstellt.



6. Lauttypen Katalog von Robbenarten (Van Opzeeland, 2010)

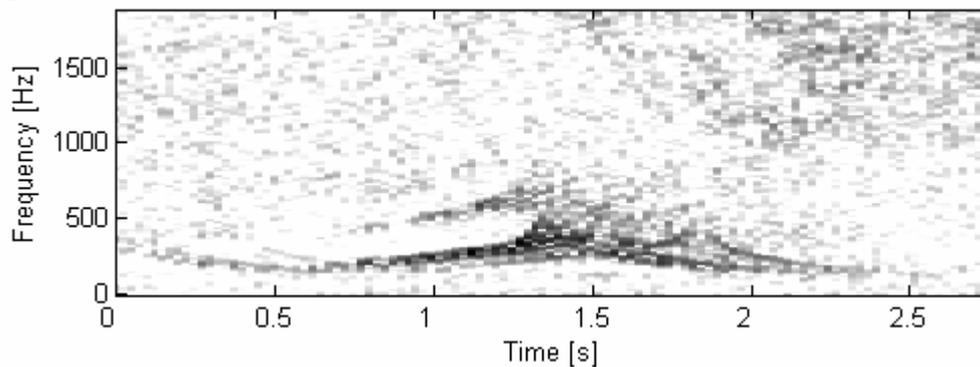
Appendix A6. Crabeater call type C1 (comprises low and high moan). Both C1 call types (low and high moan) have been described previously (Stirling & Siniff 1979; Thomas & DeMaster 1982; Klinck *et al.* 2010.).

C1: low moan



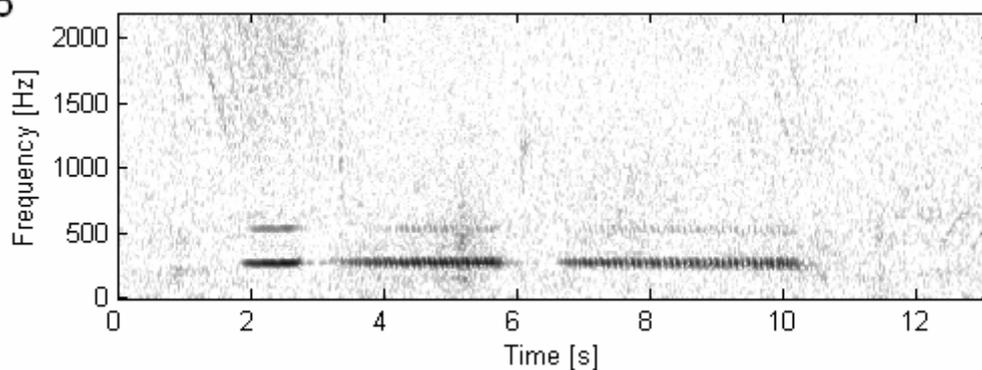
Appendix B6. Ross seal call types R1-R5. Call types R1, R2, R3 and R5 have been described previously (Watkins & Schevill 1968; Stacey 2006). Call type R4 has so far only been found to be present in the PALAOA recordings (Seibert *et al.* 2007).

R3



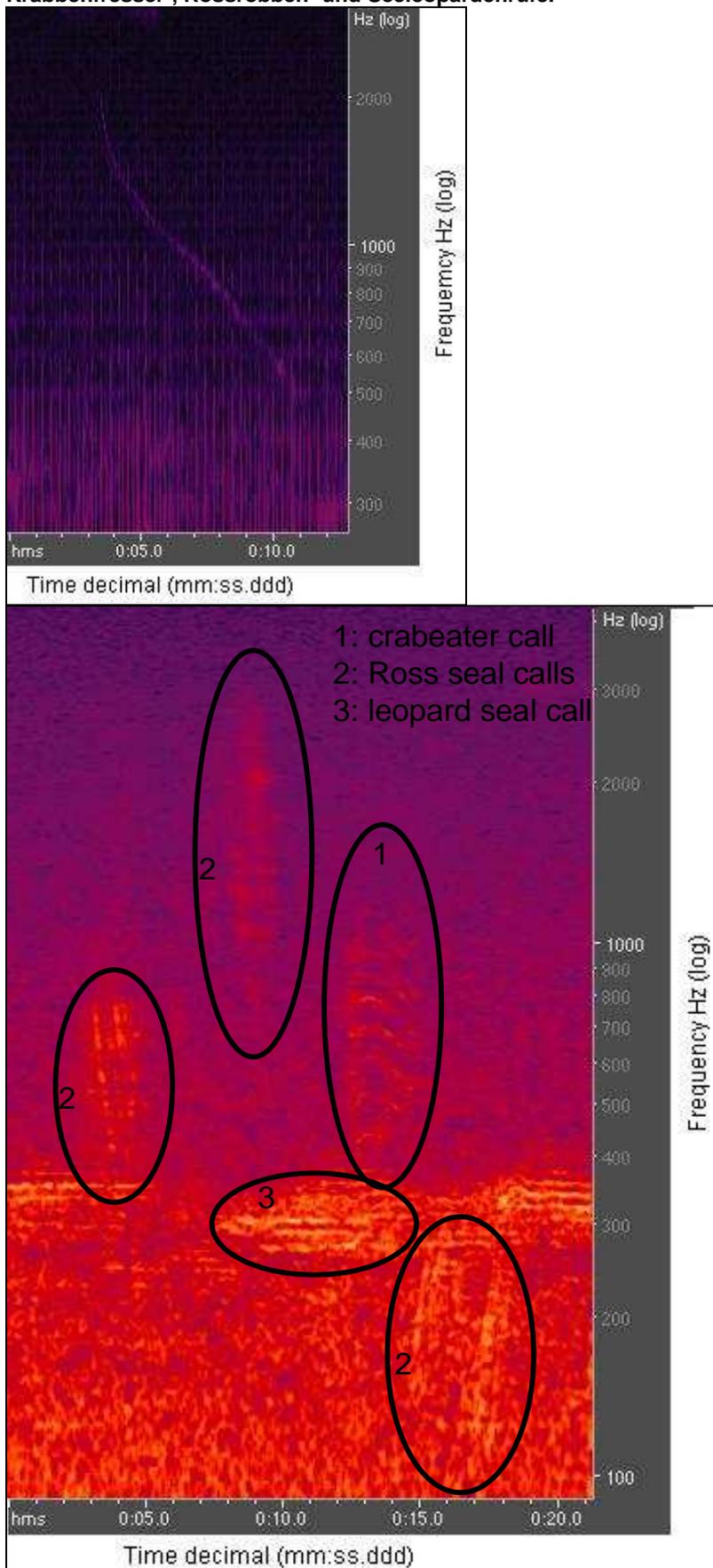
Appendix C6. Leopard seal call types L1-L7. All leopard seal call types recorded by the PALAOA station have been described in previous studies (Stirling & Siniff 1979; Rogers *et al.* 1995; 1996).

L6

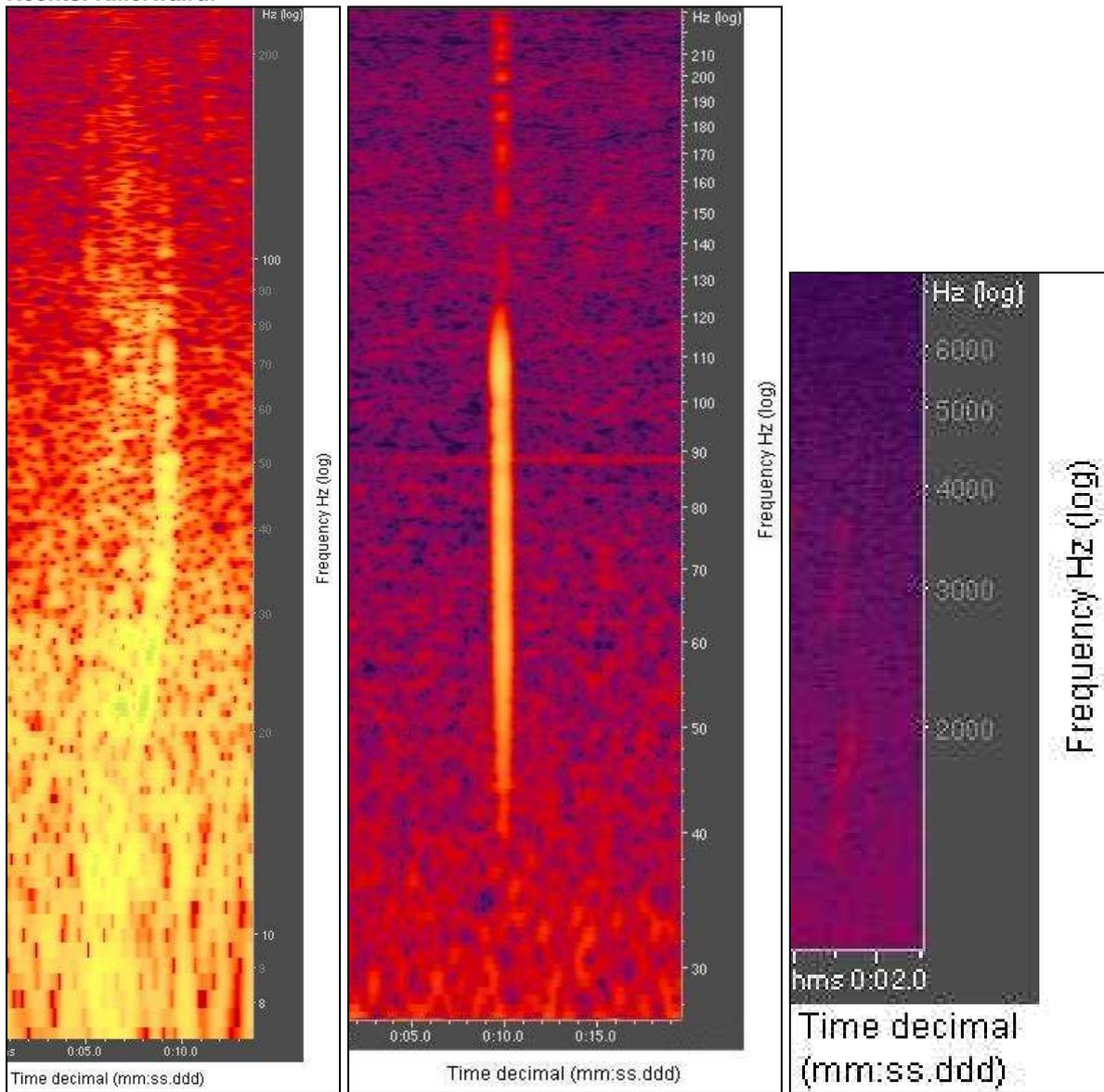


7. Auswahl einiger Meeressäuger-Rufe die mit PALAOA-S 2008 detektiert wurden

Anhang A7: Pinnipediarufe: Spektrogrammansicht in Adobe Audition. Oben Weddellrobberuf, Unten: Krabbenfresser-, Rossrobber- und Seeleopardenrufe.



Anhang B7: Cetacearufe Spektrogrammansicht in Adobe Audition. Links: Blauwalruf, Mitte: Finnwalruf, Rechts: Killerwalruf



Anhang C6: Bio-duck-Signal Spektrogrammansicht in Adobe Audition.

