

TEXTE 15/2014

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 19 121
UBA-FB 001930

Kriterien und Entwicklung eines Modells zur Abschätzung des Störpotentials durch Maskierung beim Einsatz von Luftpulsern (Airguns) in der Antarktis

von

Prof Dr. Ursula Siebert (Projektleiterin)

unter Mitarbeit von

**Michael Dähne, Sina Danehl, Ole Meyer-Klaeden, Abbo van Neer,
University of Veterinary Medicine Hannover, Foundation**

Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung, Stiftung
Tierärztliche Hochschule Hannover, Büsum

und

Dr. Dietrich Wittekind und **Max Schuster**, DW ShipConsult; **Dr. Klaus
Lucke**, LBC; **Dr. Christopher W Clark**, Cornell University; **Dr. Peter Stilz**,
freiberuflicher Biologe; **Dr. Jakob Tougaard**, University Aarhus; **Dr. Sander
von Benda-Beckmann**, **Dr. Michael A. Ainslie**; TNO

Im Auftrag des Umweltbundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel.: 0340/2103-0

Telefax: 0340/2103 2285

info@umweltbundesamt.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

www.facebook.com/umweltbundesamt.de

www.twitter.com/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung,

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover,

Werftstraße 6, 25761 Büsum

Abschlussdatum:

2013

Redaktion:

Fachgebiet I 3.5 Schutz der Antarktis

Mirjam Müller

Publikation als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kriterien-entwicklung-eines-modells-zur>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2014

Kurzbeschreibung

Der akustische Informationsaustausch mariner Säugetiere hat sich in der natürlichen Geräuschkulisse der Weltozeane entwickelt und erlaubt die Kommunikation über große Entfernungen. Hinzukommende anthropogene Schalleinträge können die natürliche Kommunikation überlagern und stören. In diesem Bericht betrachten wir die potentielle Fernwirkung seismischer Luftpulsler (Airguns) auf Kommunikationsreichweiten mariner Säugetiere. Airgun-Impulse werden während der Schallausbreitung mehrfach an der Wasseroberfläche reflektiert und in Schallkanälen gebrochen. Hierdurch entstehen Halleffekte, die die Signaldauer verlängern und schlussendlich zu einem kontinuierlichen Signal führen können. Um die Ausbreitungsverluste zu berechnen und das empfangene Signal zu bestimmen, wurde die Schallausbreitung mit AcTUP (*Acoustic Toolbox User-interface & Postprocessor*) für Entfernungen von 100, 500, 1000 und 2000 km von der Quelle modelliert. Die Schallausbreitung wurde für Empfänger in 10, 50 und 200 m Tiefe für flache (500 m Wassertiefe) und tiefe (4000 m Wassertiefe) Antarktische Gewässer berechnet. Die modellierten Störsignale wurden mit den Vokalisationen mariner Säugetiere überlagert (Gesang von Finnwalen (*Balaenoptera physalus*) und Blauwalen (*Balaenoptera musculus intermedia*) und Kommunikationslaute von Weddellrobben (*Leptonychotes weddellii*), um die Distanzen zu berechnen in denen Maskierung von Kommunikationssignalen potentiell vorkommt. Die Signale wurden mit einem mathematischen Hörmodell (*leaky integrator*) als Energiedetektor im Frequenzbereich der Vokalisationssignale analysiert. Es wurde dafür angenommen, dass Bartenwale Geräusche bis zu einem Pegel, der den regulären Hintergrundgeräuschen bei einem Seegang der Stärke 3-4 entspricht, wahrnehmen können. Die so analysierten Daten zeigen, dass Airgunimpulse bis zu 1.000 km von der Quelle als gepulste Signale empfangen werden und zwischen 1.000 und 2.000 km in ein kontinuierliches Geräusch mit tonalen Anteilen übergehen. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass besonders für Finn- und Blauwale auch noch in 2.000 km Entfernung zur Schallquelle ein signifikanter Verlust an Kommunikationsreichweite auftritt. Diese Einschränkung ist in erheblichem Maße vom Frequenzspektrum der betrachteten Kommunikationssignale abhängig.

Abstract

Functional marine mammal acoustic communication evolved under natural ambient noise levels, which makes communication vulnerable to anthropogenic noise sources. In this report, we consider the potential long-range effects of airgun noise on marine mammal communication range. During the propagation process, airgun impulses are reflected multiple times from the sea surface, refracted in sound channels and reverberated, leading to signal stretching that may result in a continuous received sound. We modelled sound propagation using AcTUP (*Acoustic Toolbox User-interface & Postprocessor*) to estimate propagation loss and estimate the received seismic impulse waveform at 100, 500, 1000 and 2000 km distance from the source, and at 10, 50 and 200 m receiver depth for shallow (500 m) and deep sea (4000 m) Antarctic conditions. Modelled waveforms were overlaid with marine mammal vocalisations (song of fin whale *Balaenoptera physalus*, blue whale *Balaenoptera musculus intermedia* and Weddell seal *Leptonychotes Weddellii* vocalisations) to assess the distances over which communication masking could occur. Signals were analysed using a leaky integrator and peak detector model within the bandwidth of the modelled vocalisation. Hearing abilities of baleen whales were assumed to be noise limited at sea state 4. Results indicate that airgun noise is intermittent up to 1000 km from the source, changing to a continuous noise between 1000 and 2000 km. Results of masking modelling indicate that airgun sounds can lead to a significant loss in communication range for blue and fin whales at 2000 km from the source depending strongly on the frequency content of the vocalisation.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	6
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	8
TABELLENVERZEICHNIS.....	15
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	17
1 ZUSAMMENFASSUNG	19
2 SUMMARY.....	30
3 EINLEITUNG.....	41
3.1 SCHUTZSTATUS DER ANTARKTISCHEN REGION UND DORT HEIMISCHER ARTEN.....	41
3.2 UNTERSUCHUNGSGEBIET	44
3.3 DIE BEDEUTUNG DER KOMMUNIKATION FÜR MARINE SÄUGER	46
3.4 MASKIERUNG IM KONTEXT DER ALLGEMEINEN WISSENSCHAFTLICHEN BEWERTUNG VON ANTHROPOGEMEM LÄRM	49
3.5 VERWENDUNG VON AIRGUNS ZU WISSENSCHAFTLICHEN ZWECKEN DEUTSCHLANDS IN DEM GEBIET DES ANTARKTISVERTRAGES	51
4 ANTARKTISCHE MARINE SÄUGETIERE	54
4.1 BARTENWALE (MYSTICETI)	54
4.1.1 <i>Blauwal</i>	56
4.1.3 <i>Finnwal</i>	61
4.1.4 <i>Seiwale</i>	63
4.1.5 <i>Südlicher Zwergwal</i>	65
4.1.6 <i>Zwergform des Minkwals</i>	67
4.1.7 <i>Buckelwal</i>	69
4.1.8 <i>Südkaper</i>	73
4.2 ZAHNWALE	76
4.2.1 <i>Schnabelwale</i>	78
4.2.2 <i>Stundenglasdelfin</i>	87
4.2.3 <i>Großer Schwertwal</i>	89
4.2.4 <i>Langflossen-Grindwal</i>	92
4.2.5 <i>Pottwal</i>	95
4.3 ROBBEN.....	98
4.3.2 <i>Südlicher Seeelefant</i>	101
4.3.3 <i>Antarktische Seebären</i>	104
4.3.4 <i>Krabbenfresser</i>	108
4.3.5 <i>Seeleopard</i>	110
4.3.6 <i>Ross-Robbe</i>	114
4.3.7 <i>Weddellrobbe</i>	118
5 HÖRFÄHIGKEITEN DER BETRACHTETEN ARTEN.....	122
6 MODELLIERUNG DER SCHALLAUSBREITUNG IN DER ANTARKTIS FÜR UNTERSUCHUNGEN ZUR MASKIERUNG	125
6.1 ALLGEMEINE BEDINGUNGEN.....	125
6.1.1 <i>Bodenverhältnisse</i>	125
6.1.2 <i>Für die Berechnungen genutzte Schallgeschwindigkeitsprofile</i>	126
6.2 QUELSCHALLPEGEL UND AUSBREITUNGSVERLUST FÜR AIRGUNS	128
6.2.1 <i>Erwägungen zum Quellschallpegel</i>	128
6.2.2 <i>Ergebnisse der Berechnung des Ausbreitungsverlustes (Plausibilitätsüberprüfung)</i>	134
6.2.3 <i>Ergebnisse der Ermittlung der Empfangspegel</i>	136
6.2.4 <i>Modellierung von Ausbreitungsverlust und Signalstreckung</i>	137
6.3 ERGEBNISSE FÜR EINZELSCHÜSSE	140
6.3.1 <i>Ergebnisse für 100 km Entfernung</i>	141

6.3.2	<i>Ergebnisse für 500 km Entfernung</i>	143
6.3.3	<i>Ergebnisse für 1000 km Entfernung</i>	145
6.3.4	<i>Ergebnisse für 2000 km Entfernung</i>	147
6.4	BEISPIELHAFTES ERGEBNIS FÜR EINE SCHUSSFOLGE (MULTIPLE AIRGUNSCHÜSSE)	148
6.5	BETRACHTUNG FÜR HÖHERE FREQUENZEN	149
6.6	BETRACHTUNGEN ZUR GENAUIGKEIT DER SCHALLAUSBREITUNGSMODELLIERUNG.....	150
7	MODELLIERUNG DER MASKIERUNG	152
7.1	ANSATZ DER MODELLIERUNG DER MASKIERUNG	152
7.1.1	<i>Methodik Eingangswerte</i>	153
7.1.2	<i>Auswahl der Tierarten für die Modelle</i>	156
7.1.3	<i>Detaillierte Vokalisationen der ausgewählten Tierarten</i>	159
7.2	ERGEBNISSE DER MASKIERUNGSMODELLIERUNG.....	166
7.2.1	<i>Eingangswerte</i>	166
7.2.2	<i>Ergebnis des Leaky-Integrators für Blauwale</i>	173
7.2.3	<i>Ergebnis des Leaky-Integrators für Finnwale</i>	174
7.2.4	<i>Ergebnisse der Modellierung der Maskierung</i>	175
8	DISKUSSION	179
8.1	MODELLIERUNG DER SCHALLAUSBREITUNG	179
8.2	BEDEUTUNG VON MASKIERUNG AUFGRUND VON AIRGUN-IMPULSLÄRM	181
9	QUELLEN	184
10	ANHANG A: SCHALLAUSBREITUNG	215
10.1	ERGEBNISSE FÜR 4000 M TIEFE	215
10.2	ERGEBNISSE FÜR 500 M TIEFE	216
11	ANHANG B: DAS PHÄNOMEN DER SIGNALDEHNUNG.....	217
11.1	SIGNALSTRECKUNG FÜR ALLE EMPFÄNGER UND ALLE KONFIGURATIONEN	217
11.2	1 G-GUN ARRAY, QUELLTIEFE 5 M	220
11.2.1	<i>Tiefe 4000 m</i>	220
11.2.2	<i>Tiefe 500 m</i>	232
11.3	3 GI-GUN ARRAY, QUELLTIEFE 5 M	244
11.3.1	<i>Tiefe 4000 m</i>	244
11.3.2	<i>Tiefe 500 m</i>	256
11.4	8 G-GUN ARRAY, QUELLTIEFE 10 M	268
11.4.1	<i>Tiefe 4000 m</i>	268
11.4.2	<i>Tiefe 500 m</i>	280
11.5	8 G-GUN+BOLT ARRAY, QUELLTIEFE 10 M	292
11.5.1	<i>Tiefe 4000 m</i>	292
11.5.2	<i>Tiefe 500 m</i>	304
12	ANHANG C: ERGEBNISSE DER MASKIERUNGSMODELLIERUNG.....	316

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	Frequenzspektren für die Zeitsignale der in Betracht gezogenen Airgun-konfigurationen. Für die Modellierung des Maskierungseffektes wurde nur die 8 G Konfiguration (8 G—Airguns mit je 8.5 L Kammervolumen) betrachtet..	21
Abb. 1-2	Zur Modellierung genutzte Eingangssignale (oben links: Blauwal, oben rechts: Finnwal, unten links: Weddellrobbe).	22
Abb. 1-3	Detaillierte Ansicht eines empfangenen Signals (in 100 km Distanz zur seismischen Aktivität) welches kontinuierlich fluktuierende und impulshafte Anteile beinhaltet.	23
Abb. 1-4	Eingangssignal (Airgun) für die Maskierungsmodellierung für tiefe Gewässer (4000 m Tiefe), rd: Empfängertiefe, d: Distanz des modellierten Impulses der Airgun (8-G array mit je 8,5 l Volumen). Drei Impulse sind zu sehen, um zu zeigen wie der Anfang und das Ende der Sequenzen aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde vervielfältigt und für die weiteren Berechnungen genutzt.	24
Abb. 1-5	Spektrogramme des Eingangssignals (Airgun) für die Maskierungsmodellierung für tiefe Gewässer (4000 m Tiefe), 8-G array mit je 8,5 L Kammervolumen.	24
Abb. 1-6	Notwendige Signallänge für eine Detektion gegenüber der verfügbaren relativen Kommunikationsdistanz (Verhältnis zwischen maskierter und natürlicher Kommunikationsdistanz, als relatives Maß für den Verlust an Kommunikationsreichweite). Obwohl die notwendige Signallänge für eine Detektion zwischen 50 und 100 % verändert wurde, ändert sich das Maskierungspotential nur geringfügig.	27
Fig. 2-1	Frequency spectra for the time signals of all considered airgun configurations. For modelling of masking only the 8 G gun configuration (8 G—guns of 8.5 litres air chamber volume each) was used.....	31
Fig. 2-2	Input signals for masking modelling (top left: blue whale, top right: fin whale, bottom left: Weddell seal).	33
Fig. 2-3	Detailed view of a modelled received signal (at 100 km distance from seismic activity) showing continuous fluctuating and impulsive parts.	34
Fig. 2-4	Input Signals (Airgun) for the masking modelling for deep areas (4000 m Depth), rd: receiver depth, d: distance of modelled impulse from airgun, 8-G gun array with a volume of 8.5 litres each. Three impulses are shown to demonstrate how the beginning and ending of sequences would look like..	35
Fig. 2-5	Spectrograms of input signals (airgun) for the masking modelling for deep areas (4000 m Depth), 8-G gun array with a volume of 8.5 litres each.	36

Fig. 2-6	Necessary signal length for a detection vs available relative communication distance (ratio between masked communication distance and natural communication distance, a relative measure for loss of communication distance). Even when the necessary signal length for a detection is varied between 50 and 100 , masking potential is changed only marginally.....	38
Abb. 3-1	IWC-Schutzzone.....	43
Abb. 3-2	Die Walschutzzone des Südlichen Ozeans (SOWS, gestrichelte Linie) und wichtige Meeresströmungen.	44
Abb. 3-3	Das antarktische Strömungssystem.....	45
Abb. 3-4	Energiefluss von Phytoplankton zu marinen Säugetieren.....	46
Abb. 3-5	Die Antarktis mit wichtigen subantarktischen Inseln und die ungefähre Position der antarktischen Konvergenz.....	46
Abb. 3-6	Seismische Untersuchungen der R/V Polarstern von 1985 bis 2007	52
Abb. 3-7	Links: Saisonaler Einsatz von Airguns in der Antarktis durch die R/V Polarstern in den Bellingshausen-/Amundsen- und Weddellmeeren; rechts: Wassertiefenverteilung während seismischer Messungen der R/V Polarstern	53
Abb. 4-1	Auftreten von Mysticeti in der Antarktis im Verhältnis zum Eis Rand	54
Abb. 4-2	Bewirtschaftungs- oder statistische Gebiete der IWC.....	55
Abb. 4-3	Saisonales Auftreten von antarktischen Bartenwalen.	56
Abb. 4-4	Verbreitung von Blauwalen.....	57
Abb. 4-5	Karte der modellierten Verbreitung von Blauwalen im Südlichen Ozean.	58
Abb. 4-6	Karte der modellierten Verbreitung von Finnwalen im Südlichen Ozean.	62
Abb. 4-7	Karte der modellierten Verbreitung von Seiwalen im Südlichen Ozean.	64
Abb. 4-8	Karte der modellierten Verbreitung von Zwergwalen im Südlichen Ozean.	67
Abb. 4-9	Karte der modellierten Verbreitung der Zwergform der Zwergwalen im Südlichen Ozean.	68
Abb. 4-10	Karte der modellierten Verbreitung von Buckelwalen im Südlichen Ozean.	70
Abb. 4-11	Karte der modellierten Verbreitung von Südkapern im Südlichen Ozean.	74
Abb. 4-12	Links: Auftreten von Zahnwalen in der Antarktis im Verhältnis zum Packeisrand (aus Boyd (2009a); Reprint aus Kasamatsu und Joyce, 1995); rechts: gesamte Biomasse von Barten- und Zahnwalen im Verhältnis zum Eisrand (aus Kasamatsu, 2000).	76

Abb. 4-13	Saisonales Auftreten von antarktischen Zahnwalen (aus Kasamatsu und Joyce, 1995).....	77
Abb. 4-14	Abundanzschätzungen der drei zirkumpolaren Bestandserhebungen (Branch und Butterworth, 2001; Leaper et al., 2008b), für Pottwale, Große Schwertwale, Südliche Entenwale und Stundenglasdelfine.....	78
Abb. 4-15	Verteilung des Auftretens von Schnabelwalen	79
Abb. 4-16	Karte der modellierten Verbreitung von Arnoux-Schnabelwalen im Südlichen Ozean.....	80
Abb. 4-17	Aufzeichnungen über <i>Berardius spp.</i> (aus MacLeod et al., 2006)	81
Abb. 4-18	Karte der modellierten Verbreitung von Layard-Walen im Südlichen Ozean.	82
Abb. 4-19	Aufzeichnungen über Layard-Wale (aus MacLeod et al., 2006).....	83
Abb. 4-20	Karte der modellierten Verbreitung von Südlichen Entenwalen im Südlichen Ozean.....	84
Abb. 4-21	Aufzeichnungen von Südlichen Entenwalen (aus MacLeod et al., 2006)	85
Abb. 4-22	Karte der modellierten Verbreitung von Gray-Zweizahnwalen im Südlichen Ozean.....	86
Abb. 4-23	Karte der modellierten Verbreitung von Stundenglasdelfinen im Südlichen Ozean.....	87
Abb. 4-24	Zeitverlauf, Hüllkurve und Powerspektrum eines repräsentativen Stundenglasdelfinklicks.	88
Abb. 4-25	Ökotypen der Großen Schwertwale in der südlichen Hemisphäre.....	90
Abb. 4-26	Karte der modellierten Verbreitung von Großen Schwertwalen im Südlichen Ozean.....	91
Abb. 4-27	Verbreitung von Langflossen-Grindwalen während der Sommermonate.....	93
Abb. 4-28	Karte der modellierten Verbreitung von Langflossen-Grindwalen im Südlichen Ozean.....	94
Abb. 4-29	Karte der modellierten Verbreitung von Pottwalen im Südlichen Ozean.	96
Abb. 4-30	Hauptsächliche Fortpflanzunginseln der Südlichen Seeelefanten (aus Carrick und Ingham, 1962; zitiert in Ling und Bryden, 1981)	102
Abb. 4-31	Karte der modellierten Verbreitung von Südlichen Seeelefanten im Südlichen Ozean.....	103
Abb. 4-32	Zusammensetzung der Nahrung von Südlichen Seeelefanten (aus Boyd, 2009a).....	104
Abb. 4-33	Verbreitung von Südlichen Seebären in Hinsicht auf die Arten- und Unterartebene (Arnould 2009)	105

Abb. 4-34	Räumliche Verteilung des Reproduktionserfolges von Antarktischen Seebären (Forcada & Staniland 2009).	106
Abb. 4-35	Modelliertes Verbreitungsgebiet von Antarktischen Seebären im Südlichen Ozean.	107
Abb. 4-36	Zusammensetzung der Nahrung von Antarktischen Seebären (Boyd, 2009a)	107
Abb. 4-37	Modelliertes Verbreitungsgebiet von Krabbenfressern im südlichen Ozean.	109
Abb. 4-38	Zusammensetzung der Nahrung von Krabbenfressern (Boyd, 2009a)	110
Abb. 4-39	Modelliertes Verbreitungsgebiet von <i>Seeleoparden im Südlichen Ozean</i>	111
Abb. 4-40	Zusammensetzung der Nahrung von Seeleoparden (Boyd, 2009a)	112
Abb. 4-41	Modelliertes Verbreitungsgebiet von <i>Ross-Robben</i> im Südlichen Ozean.	115
Abb. 4-42	Zusammensetzung der Nahrung von Ross-Robben (aus Boyd, 2009a)	116
Abb. 4-43	Wanderungen von insgesamt neun ausgewachsenen Ross-Robben, die Mitte Februar 2001 mit SDRs ausgerüstet wurden (aus Blix und Nordoy, 2007).	116
Abb. 4-44	Spektrogramm von Ross-Robben-Aufnahmen	116
Abb. 4-45	Anzahl von Ross-Robben-Rufen pro Minute	117
Abb. 4-46	Modellierte Verbreitung von Weddellrobben im südlichen Ozean.	119
Abb. 4-47	Zusammensetzung der Nahrung von Weddellrobben (Boyd, 2009a)	119
Abb. 5-1	Relative Hörempfindlichkeitsfunktion eines Buckelwals, abgeleitet aus einem Bandpass-Filterbank-Modell seiner Hörempfindlichkeit (aus Houser et al. 2001)	122
Abb. 5-2	Hörschwellen unterschiedlicher Zahnwalarten	123
Abb. 5-3	Hörschwellen unterschiedlicher Robbenarten	123
Abb. 6-1	Schallgeschwindigkeitsprofile ermittelt durch eine numerische Anpassung auf Grundlage der Daten der Stationen 715 und 25 in Boebel et al. (2009) als Grundlage für die Schallausbreitungsmodellierung.	127
Abb. 6-2	Beschreibung der Airgun-Konfigurationen die innerhalb der Studie genutzt wurden.	129
Abb. 6-3	Quellsignatur (Zeitsignal oder “waveform”) in 1 m Entfernung für alle modellierten Airgun-Konfigurationen (nach Breitzke und Bohlen, 2010).	130
Abb. 6-4	Frequenzspektren für die Zeitsignale aller modellierten Airgun-Konfigurationen.	130
Abb. 6-5	Spektrum der einzelnen G-gun (8,5 l).	131
Abb. 6-6	Spektrum der größten Konfiguration (8 G-guns und 1 bolt gun)	131

Abb. 6-7	Ausbreitungsverlust einer Punktquelle 10 m unter der Wasseroberfläche im Abstand von 100 m direkt darunter.	132
Abb. 6-8	Abgeleiteter Quellpegel unter Nutzung von Abb. 6-7.	132
Abb. 6-9	Horizontale Richtcharakteristik einer Airgun-Konfiguration.	133
Abb. 6-10	Quellpegel und Beispiel eines Empfangspegels (received level - RL) für verschiedene vertikale Ausrichtungen.	134
Abb. 6-11	Beispiel für die Schallausbreitung bis 200 km bei 250 Hz.....	135
Abb. 6-12	Richtdiagramm einer Punktquelle in Oberflächennähe bei höherer Frequenz.	136
Abb. 6-13	Ein mögliches Ergebnis der Schallausbreitungsmodellierung: Airgunschüsse, die in der Chukchi Sea aufgenommen wurden (aus Roth et al. 2012).	136
Abb. 6-14	Empfangspegel in 2000 km Entfernung.	137
Abb. 6-15	Modendispersion.	138
Abb. 6-16	Zeitsignal des 8-Gun-Array	140
Abb. 6-17	Quellspektrum und Empfangsspektrum der 8-G-gun Konfiguration nach 100 km	141
Abb. 6-18	Zeitsignal nach 100 km mit Zoom auf verschiedene Bereiche.	141
Abb. 6-19	Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals in 100 km Entfernung.	142
Abb. 6-20	Quellspektrum und Empfangsspektrum des 8-G-gun arrays nach 500 km.	143
Abb. 6-21	Empfangenes Zeitsignal nach 500 km.	143
Abb. 6-22	Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals in 500 km Entfernung.	144
Abb. 6-23	Quellspektrum und Empfangsspektrum des 8-G-gun arrays nach 1000 km.	145
Abb. 6-24	Empfangenes Zeitsignal nach 1000 km	145
Abb. 6-25	Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals bei 1000 km Entfernung.	146
Abb. 6-26	Quellspektrum und Empfangsspektrum des 8-G-gun arrays nach 2000 km.	147
Abb. 6-27	Empfangenes Zeitsignal nach 2000 km.	147
Abb. 6-28	Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals bei 2000 km Entfernung.	148
Abb. 6-29	Beispiel für ein Zeitsignal für eine Schussesequenz mit 15 s Wiederholrate bei einer Empfängertiefe von 200 m in 2000 km Entfernung, und 4000 m Wassertiefe.	149
Abb. 6-30	Quellspektrum des 8 G-gun arrays bis 1000 Hz.	149

Abb. 6-31	Relative Amplituden des Zeitsignals für den Bereich 0-300 und 300 bis 1000 Hz.....	150
Abb. 6-32	Abschwächung (Absorption) im Meerwasser	151
Abb. 7-1	Modellierte Iso-Erkennbarkeitskurven und assoziierte Reichweitenreduzierung.	154
Abb. 7-2	Schematische Darstellung des iso-aktiven Raums oder der iso-aktiven Gebiete	155
Abb. 7-3	Schema zur Modellierung der Maskierung.....	156
Abb. 7-4	Verbreitung des Blauwalgesanges und Wanderungs- und Aufenthaltsmuster	159
Abb. 7-5	Vokalisationstypen von Blauwalen	161
Abb. 7-6	Leistungsspektrum des ozeanischen Hintergrundlärms aus Gavrilov et al. (2012)	162
Abb. 7-7	Z-Rufe von antarktischen Blauwalen.....	162
Abb. 7-8	Permanente Aufnahmepositionen (schwarze Quadrate), die von Širović et al. (2009) zur Erkennung von Blau- und Finnwalen benutzt wurden	163
Abb. 7-9	Zwei Typen von Finnwalrufen.....	164
Abb. 7-10	Unterschiedliche Typen von Vokalisationen der Weddellrobben (aus Thomas et al. 1983b).....	165
Abb. 7-11	Spektrogramme von gewöhnlichen Vokalisationen der Weddellrobben	165
Abb. 7-12	Zeitkonstanten verschiedener Säugetiere bei unterschiedliche Frequenzen	167
Abb. 7-13	Blauwalruf.....	168
Abb. 7-14	Ein einzelner Puls einer Finnwal-Rufsequenz.....	168
Abb. 7-15	Weddellrobben-Vokalisation Typ 1, T2 in Thomas et al. 1983b.	169
Abb. 7-16	Weddellrobben-Vokalisation Typ 2, T2 in Thomas et al. 1983b.	169
Abb. 7-17	Weddellrobben-Vokalisation Typ 3, ein einzelnes Zirpen von P5 in Thomas et al. 1983b.	170
Abb. 7-18	Eingangssignale (berechneter Airgun-Schalldruck vs. Zeit) für die Modellierung der Maskierung in flachen Gebieten (500 m Tiefe)	171
Abb. 7-19	Spektrogramme der Eingangssignale (Airgun) für die Modellierung der Maskierung in flachen Gewässern (500 m Tiefe)	171
Abb. 7-20	Eingangssignale (berechneter Airgun-Schalldruck vs. Zeit) für die Modellierung der Maskierung in tiefen Gebieten (4000 m Tiefe).....	172
Abb. 7-21	Spektrogramme der Eingangssignale (Airgun) für die Modellierung der Maskierung in tiefen Gewässern (4000 m Tiefe)	172
Abb. 7-22	Ergebnis des Leaky-Integrators und Pegeldetektors für Blauwale.....	173

Abb. 7-23	Ergebnis des LI und Pegeldetektors	174
Abb. 7-24	Notwendige Signallänge für eine Detektion gegenüber der verfügbaren relativen Kommunikationsdistanz (Verhältnis zwischen maskierter und natürlicher Kommunikationsdistanz, als relatives Maß für den Verlust an Kommunikationsreichweite).	178
Abb. 8-1	Airgun-Impulse in unterschiedlichen Entfernungen von der Quelle	179
Abb. 8-2	In der Tschuktschensee aufgezeichnete Airgun-Schüsse	180
Abb. 10-1	Ergebnisse von RAMGeo für verschiedene Frequenzen bei 4000m Wassertiefe	215
Abb. 10-1	Ergebnisse von RAMGeo für verschiedene Frequenzen bei 500m Wassertiefe	216
Abb. 12-1	Notwendige Signallänge für eine Detektion gegen verfügbare relative Kommunikationsentfernung (TIEFE MEERESBODEN 4000 M).	326
Abb. 12-2	Notwendige Signallänge für eine Detektion gegen verfügbare relative Kommunikationsentfernung (TIEFE MEERESBODEN 500 M)	327

Ein Inhaltsverzeichnis der Grafiken des Anhangs B findet sich auf Seite 218

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1	Akustische Kommunikationsdistanzen für fünf berücksichtigte Vokalisationen.	26
Tab. 2-1	Acoustic communication distances for the five vocalisations considered.	37
Tab. 4-1	Parameter der Vokalisation von Blauwalen	59
Tab. 4-2	Parameter der Vokalisation von Finnwalen	63
Tab. 4-3	Parameter der Vokalisation von Seiwalen.....	65
Tab. 4-4	Parameter der Vokalisation von Zwergwalen einschließlich der Vokalisationen von nördlichen Zwergwalen.....	69
Tab. 4-5	Parameter der Vokalisation von Buckelwalen	71
Tab. 4-6	Parameter der Vokalisation von Südkapern.....	74
Tab. 4-7	Parameter der Vokalisation von Arnoux-Schnabelwalen.....	81
Tab. 4-8	Parameter der Vokalisation von Südlichen Entenwalen.....	85
Tab. 4-9	Parameter der Vokalisation von Stundenglasdelfinen.....	88
Tab. 4-10	Parameter der Vokalisation von Großen Schwertwalen.....	91
Tab. 4-11	Parameter der Vokalisation von Langflossen-Grindwalen	95
Tab. 4-12	Parameter der Vokalisation von Pottwalen	97
Tab. 4-13	Einige Daten zum Lebenszyklus von vier antarktischen Robbenarten (Boyd 2009b).....	99
Tab. 4-14	Parameter der Vokalisation in der Luft von Südlichen Seeelefanten	104
Tab. 4-15	Parameter der Vokalisation von Seebären	108
Tab. 4-16	Parameter der Vokalisation von Krabbenfressern.....	110
Tab. 4-17	Parameter der Vokalisation von Seeleoparden	113
Tab. 4-18	Parameter der Vokalisationen von Ross-Robben	117
Tab. 4-19	Parameter der Vokalisation von Weddellrobben	120
Tab. 6-1	Schallgeschwindigkeitsprofile aus Boebel et al. (2009).....	126
Tab. 7-1	Übersicht der Informationen, die zur Entscheidung über die Zahnwal-Modelltierarten benutzt wurden	157
Tab. 7-2	Übersicht der Informationen, die zur Entscheidung über die Mystizeten-Modelltierarten benutzt wurden.	158
Tab. 7-3	Übersicht der Informationen, die zur Entscheidung über die Robben-Modelltierarten benutzt wurden..	159
Tab. 7-4	Eingangswerte für die Modellierung der Maskierung. Der Wert „Bandpass-gefilterter Quellpegel des Leaky-Integrator“ ist das Ergebnis des Leaky-Integrators, wenn die genutzte Eingangsvokalisation mit sphärischer Ausbreitung auf 1 m zurückgerechnet wird..	166

Tab. 7-5	Eingabevariablen für die Modellierungsübung zur Maskierung mit der Zeitkonstanten des Leaky-Integrators auf 200 ms167	167
Tab. 7-6	Potentieller Headroom für akustische Kommunikation, der mithilfe des Leaky-Integrators (LI) und Pegeldetektors errechnet wurde, wobei eine Zeitkonstante (TC) von 200 ms und Meereswasserdämpfung benutzt und vorausgesetzt wird, dass 100 % freie Kommunikationszeit für eine Erkennung erforderlich ist.176	176
Tab. 7-7	Akustische Kommunikationsreichweiten für die fünf betrachteten Vokalisationen unter Verwendung der sphärischen Ausbreitung als Modell der Schallausbreitung der Vokalisationen, wobei eine Zeitkonstante (TC) von 200 ms und Meereswasserdämpfung benutzt und vorausgesetzt wird, dass 100 % freie Kommunikationszeit für eine Erkennung erforderlich ist.177	177
Tab. 12-1	Verfügbare Kommunikationsentfernungen als Ergebnis der „leaky integrator“ Modellierung. Aufgezeigt sind die 18 Fälle der Schallausbreitungs Modellierung und alle Fälle von Vokalisationen mariner Säuger.317	317
Tab. 12-2	s. Tab. 12-1. Die Ergebnisse in dieser Tabelle fassen zusammen wie die Detektion eines biologischen Signals registriert werden kann, wenn 50 % des Signals unmaskiert sind.318	318
Tab. 12-3	s. Tab. 12-1. Die Ergebnisse in dieser Tabelle lassen vermuten, dass die Detektion eines biologischen Signals registriert werden kann, wenn 60 % des Signals unmaskiert sind.319	319
Tab. 12-4	s. Tab. 12-1. Die Ergebnisse in dieser Tabelle fassen zusammen wie die Detektion eines biologischen Signals registriert werden kann, wenn 70 % des Signals unmaskiert sind.320	320
Tab. 12-5	s. Tab. 12-1. Die Ergebnisse in dieser Tabelle fassen zusammen wie die Detektion eines biologischen Signals registriert werden kann, wenn 80 % des Signals unmaskiert sind.322	322
Tab. 12-6	s. Tab. 12-1. Die Ergebnisse in dieser Tabelle fassen zusammen wie die Detektion eines biologischen Signals registriert werden kann, wenn 90 % des Signals unmaskiert sind.323	323
Tab. 12-7	s. Tab. 12-1. Die Ergebnisse in dieser Tabelle fassen zusammen wie die Detektion eines biologischen Signals registriert werden kann, wenn 98 % des Signals unmaskiert sind.324	324

Abkürzungsverzeichnis

AcTUP	Acoustic Toolbox User-interface & Postprocessor
AM	Amplitudenmoduliert
APIS	das Antarktische Packeis-Robben Programm (Antarctic Pack-Ice Seals Program)
AT	Antarktis Vertrag (Antarctic Treaty)
ATOC	Programm zur Untersuchung des ozeanischen Klimas mittels akustischer Meerestomographie (Acoustic Thermometry of the Oceans Climate)
ATS	Antarktisches Vertragssystem (Antarctic Treaty System)
AUG	Gesetz zur Ausführung des Umweltschutzprotokolls zum Antarktis-Vertrag (Umweltschutzprotokoll-Ausführungsgesetz)
bp	Bandpass (auch Bandbreitenfilter)
BIWS	Büro für internationale Walfangstatistik (Bureau for International Whaling Statistics)
BS	Reproduktionsbestand (Breeding Stock)
CCAMLR	Übereinkommen über die Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis (Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)
CCAS	Übereinkommen zur Erhaltung der antarktischen Robben (Convention for the Conservation of Antarctic Seals)
CITES	Übereinkommen über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen (Convention on International Trade in Endangered Species)
CMS	Übereinkommen zur Erhaltung wandernder wild lebender Tierarten (Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals)
DASAR	Gerichteter unabhängiger akustischer Rekorder für den Meeresgrund (Directional Autonomous Seafloor Acoustic Recorders)
dB	Dezibel
f	Frequenz
FFT	Fast Fourier Transformation
FM	frequenzmoduliert
hp	Hochpassfilter
Hz	Hertz
IDCR	Internationale Dekade der Walforschung (International Decade for Cetacean Research)
IUCN	Internationale Union für die Bewahrung der Natur und natürlicher Ressourcen (International Union for Conservation of Nature)
IWC	Internationale Walfangkommission (International Whaling Commission)
JARPA	Japanisches Walforschungsprogramm mit spezieller Erlaubnis für die Antarktis (Japanese Whale Research Program Under Special Permit in the Antarctic)

kn	Knoten (Seemeilen pro Stunde)
L_{eq}	Äquivalenter Dauerschallpegel
LI	leaky integrator (Energiedetektor im Frequenzbereich der Vokalisationssignale als technische Umsetzung der Vorgänge im Gehör)
lp	Tiefpass
ms	Millisekunde
μPa	Mikropascal (Einheit des Drucks)
NM/nmi	Seemeile
Pa	Pascal - SI-Einheit des Drucks
PTS	Permanente Hörschwellenverschiebung
OAWRS	Fernerkundung der ozeanischen Schallkanäle (Ocean Acoustics Waveguide Remote Sensing)
SCAR	Wissenschaftliche Ausschuss für Antarktisforschung
SDR	Satellitenunterstützte Tauchtiefenrekorder (Satellite-linked Dive Recorders)
SEL	Sound Exposure Level (Pegelmaß für eine Lärmdosis)
SL	Quellpegel (Source Level)
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis
SO-GLOBEC	Dynamische Wechselwirkung zwischen Südlichen Ozean und den Weltmeeren (Southern Ocean Global Ocean Ecosystems Dynamics)
SOWER	Wal- und Ökosystemforschung im Südlichen Ozean (Southern Ocean Whale and Ecosystem Research)
SOWS	Walschutzgebiet des südlichen Ozeans (Southern Ocean Whaling Sanctuary)
SPL	Schalldruckpegel
TC	Zeitkonstante (Time Constant)
TL	Übertragungsverlust, Schallausbreitungsverlust (Transmission Loss)
TTS	Temporäre Hörschwellenverschiebung
UBA	Umweltbundesamt
USP	Umweltschutzprotokoll
WS	Weddellrobbe

1 Zusammenfassung

Unterwasserlärm ist ein Energieeintrag in marine Ökosysteme, dessen ökologische Auswirkungen auf marine Säugetiere noch nicht ausreichend untersucht worden sind. Viele wissenschaftliche Veröffentlichungen diskutieren die möglichen Einflüsse von Unterwasserschall auf die Meeresumwelt und äußern Bedenken über ihre Auswirkungen. (Richardson et al. 1995; Gordon et al. 2003; Southall et al. 2007; Wright et al. 2007; Weilgart 2007; Di Iorio & Clark 2009; Melcón et al. 2012; Risch et al. 2012; Castellote et al. 2012). Die marinen Säugetiere der Antarktis werden potentiell durch die Nutzung von energiereichen anthropogenen Lärmquellen beeinträchtigt. Seismische Luftpulser (so genannte Airguns), die für wissenschaftliche seismische Untersuchungen verwendet werden, erzeugen ein lautes, impulshaftes Schallsignal, das die meiste Energie im tieffrequenten Bereich besitzt. Dieser Frequenzbereich überschneidet sich mit den Lautäußerungen (z.B. Gesang und Rufe) vieler mariner Säugetiere.

Marine Säuger sind in hohem Maße auf ihr Gehör angewiesen. Die Fähigkeit ihre Umgebung akustisch wahrzunehmen ist lebenswichtig. Anthropogen verursachter Unterwasserlärm kann Kommunikationssignale, sowie Räuber-, Beute- und Umgebungsgeräusche, die für das Tier wichtig sind, beeinflussen und dadurch die Fähigkeit des Tieres, diese biologisch wichtigen Geräusche zu empfangen, maskieren (Erbe 2000; Clark et al. 2009). Die potentiell schädliche Wirkung von Airguns (z.B. physische Schäden, Verhaltensänderungen) über kurze Distanzen von wenigen dutzenden Kilometern wird bereits seit einiger Zeit diskutiert (Gordon et al. 1998; Yazvenko et al. 2007; Erbe & King 2009; Breitzke & Bohlen 2010; Gray & Van Waerebeek 2011). Die Fernwirkung von akustischer Maskierung wurde bisher nur teilweise in wissenschaftlichen Untersuchungen und Umweltprüfungen berücksichtigt. Nur wenige Studien haben die möglichen schädlichen Auswirkungen auf marine Säuger, die Maskierung durch die Nutzung von Airguns hervorrufen kann, beurteilt (Streever et al. 2012).

Airgun-Signale können unter Wasser über weite Distanzen lauter als die natürlichen Hintergrundgeräusche wahrgenommen werden. Während der Schallausbreitung werden die Impulse an der Oberfläche mehrfach reflektiert und in Schallkanälen gebrochen (Urick 1983). Bedingt durch diese Prozesse ändern sich über lange Distanzen die spektralen Anteile und die Länge der empfangenen Zeitsignale (Signaldehnung). Durch diese Effekte der unterschiedlichen Schallausbreitung kann sich der ursprünglich impulsartige Schall der Airgun zu einem kontinuierlichen Geräusch entwickeln, und hierdurch zu einem allgemeinen Anstieg des Hintergrundrauschens führen, was zur Folge haben kann, dass auch die Zeit zwischen einzelnen Airguschüssen durch kontinuierliches Rauschen beschallt wird. Liegen die empfangenen Signale über der Hörschwelle mariner Säugetiere, kann ein kontinuierlicher Maskierungseffekt eintreten.

Der Antarktische Kontinent und das Südpolarmeer südlich von 60°S sind durch den Antarktisvertrag (AV) besonders geschützt. Die Ergänzungen des Umweltschutzprotokolls zum AV stellen insbesondere auch marine Säugetiere unter diesen besonderen Schutz. In Deutschland wurde das Protokoll durch das AUG¹ in deutsches Recht umgesetzt. Genehmigungen werden durch das Umweltbundesamt (UBA) ausgestellt.

Die wissenschaftliche Basis zur Abschätzung der durch Airguns ausgelösten Umweltwirkungen auf die Schutzgüter der Antarktis ist noch durch Wissenslücken geprägt. Insbesondere eine Maskierung der Lautäußerungen und ein damit einhergehendes Unvermögen in verschiedenen Ge-

¹ Gesetz zur Ausführung des Umweltschutzprotokolls vom 4. Oktober 1991 zum Antarktis-Vertrag (Umweltschutzprotokoll-Ausführungsgesetz) vom 22. September 1994 (BGBl. I S. 2593),

räuschkulissen zu kommunizieren kann nachteilige Auswirkungen haben. Potentielle Effekte sind unter anderem der Verlust der Fähigkeit zur gemeinschaftlichen Jagd, Kontaktverlust zwischen Mutter und Kalb und vor allem der Verlust an Möglichkeiten einen Fortpflanzungspartner zu finden. Sollte diese Kommunikation nachhaltig maskiert sein, ist davon auszugehen dass ein Populationseffekt eintritt.

Das Ziel dieses Projektes ist die Evaluierung potentieller Auswirkungen der wissenschaftlichen Nutzung von Airguns in der Antarktis.

Methodik

Die Evaluation, ob potentielle Maskierungseffekte vorhanden sind, wurde in drei Schritten durchgeführt. Zuerst wurde eine Literaturrecherche über die betroffenen Arten, ihre Vokalisation, mögliche geografische und zeitliche Überlappungen der Arten mit der wissenschaftlichen Nutzung von Airguns und Überschneidungen im Frequenzgehalt der Airgunsignale und der Vokalisation der vorkommenden Tiere durchgeführt. Der zweite Schritt beinhaltete die Modellierung der Schallausbreitung und im dritten Schritt wurde die Modellierung der Maskierungseffekte vorgenommen.

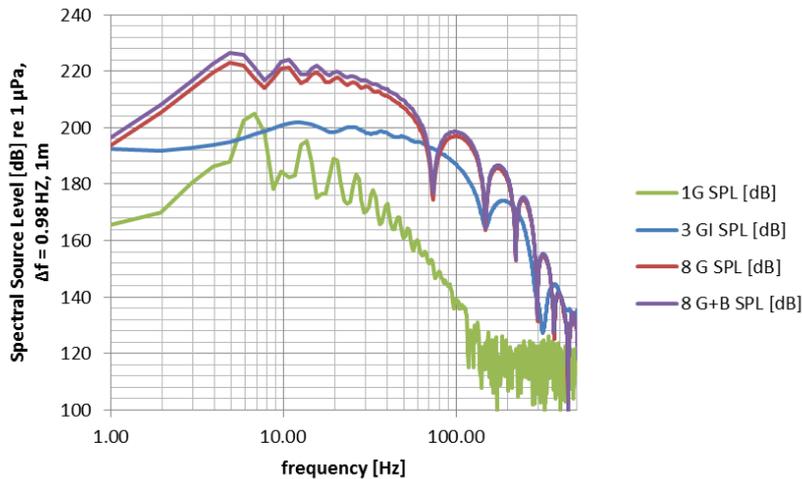
Literaturrecherche

Im Zuge dieser Arbeit wurde eine umfassende Literaturrecherche zur Verbreitung, der Abundanz und den Vokalisationen der südlich von 60° S vorkommenden marinen Säugetiere vorgenommen. Die Ergebnisse sind im nachfolgenden Bericht zusammengefasst, würden allerdings den Rahmen dieser Zusammenfassung überschreiten. Basierend auf der Recherche wurden drei Arten für die weitere Modellierung gewählt: Blauwal (*Balaenoptera musculus*), Finnwal (*Balaenoptera physalus*) und Weddellrobbe (*Leptonychotes weddellii*). Für die ausgewählten Arten wurden Daten ihrer Vokalisationen (Z-calls für Blauwale, 20 Hz Pulse für Finnwale und drei Weddellrobbenvokalisationen) gesammelt und für die Modellierung der Maskierung genutzt.

Modellierung der Schallausbreitung

Die Modellierung der Schallausbreitung wurde für Empfängerpositionen in 100, 500, 1000 und 2000 km Distanz von der Schallquelle und für Wassertiefen von 500 und 4000 m (flacher Ozeanboden) auf der Grundlage der gemessenen Schallgeschwindigkeitsprofile durchgeführt. Als dritte Variable wurde die Empfängertiefe (10, 50 und 200 m) betrachtet. Das Zeitsignal der Airgun-Impulse wurde aus einer früheren Studie mit einer bei seismischen Explorationen üblichen Airgunposition von 10 m Sendertiefe (theoretische Signatur) entnommen und dann anhand einer Fast Fourier Transformation (FFT) in ein Frequenzspektrum umgewandelt (Abb. 1-1). Das Signal wurde dann mit AcTUP (*Acoustic Toolbox User-interface & Postprocessor*) verarbeitet, um den Ausbreitungsverlust (Transmission Loss; TL) abzuschätzen. Die inverse FFT des empfangenen Signals wurde genutzt, um das Zeitsignal des empfangenen Airgun-Impulses zu rekonstruieren. Für die vorgenommenen Analysen wurde ein *mode summation* Algorithmus genutzt, welcher ähnliche Ergebnisse wie eine parabolische Gleichung erzeugte, aber weniger Rechenzeit erforderte. Dämpfung wurde nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse können daher als ein Maximum für die entsprechende Konfiguration (Sender, Empfängertiefe und Schallgeschwindigkeit) angesehen werden.

Abb. 1-1 Frequenzspektren für die Zeitsignale der in Betracht gezogenen Airgun-Konfigurationen. Für die Modellierung des Maskierungseffektes wurde nur die 8 G Konfiguration (8 G— Airguns mit je 8,5 L Kammervolumen) betrachtet. G – 1 G-Airgun mit 8,5 L, 3 GI – GI-Airguns mit je 2,4 L, 8 G+B – 8 G-Airguns mit je 8,5 L und 1 Bolt PAR CT800 Airgun mit 32,8 L.



Modellierung der Maskierungseffekte

Um die Anzahl der notwendigen Berechnungen zu reduzieren wurden die Analysen auf die in der Literaturrecherche identifizierten Modellarten Blauwal, Finnwal und Weddellrobbe beschränkt.

Um die impulsartige Natur der Airgun-Signale in verschiedenen Entfernungen und Wassertiefen zu berücksichtigen, war es notwendig zu prüfen, ob die Kommunikationssignale der Tiere während der Nutzung der Airguns detektiert werden können. Zur Beschreibung der Hörprozesse der Wale und Robben wurde ein Modell herangezogen, das einen „leaky integrator“ (Integrator, der einen konstanten Anteil an Energie pro festgelegter Zeiteinheit verliert) mit einem Pegeldetektor (*level detector*) kombiniert. Dieses einfache Modell wurde gewählt, da zurzeit nur wenige Detailkenntnisse über das Gehör von Bartenwalen existieren. Bezogen auf die Hörschwelle wurde angenommen, dass Bartenwale und Robben *noise limited* sind und somit alle Signale in den modellierten tiefen Frequenzen, die lauter als das natürliche Hintergrundrauschen sind, hören. Natürliches Hintergrundrauschen wird angenommen für Seegang des Status 3-4 gemäß Wenz-Kurven (Wenz, 1962)). Das in dieser Modellierung verwendete Rauschen war tatsächliches Hintergrundrauschen aufgenommen auf See und skaliert auf 80 dB re $\mu\text{Pa rms}$.

Die Maskierungs-Modellierung beinhaltet folgende Schritte:

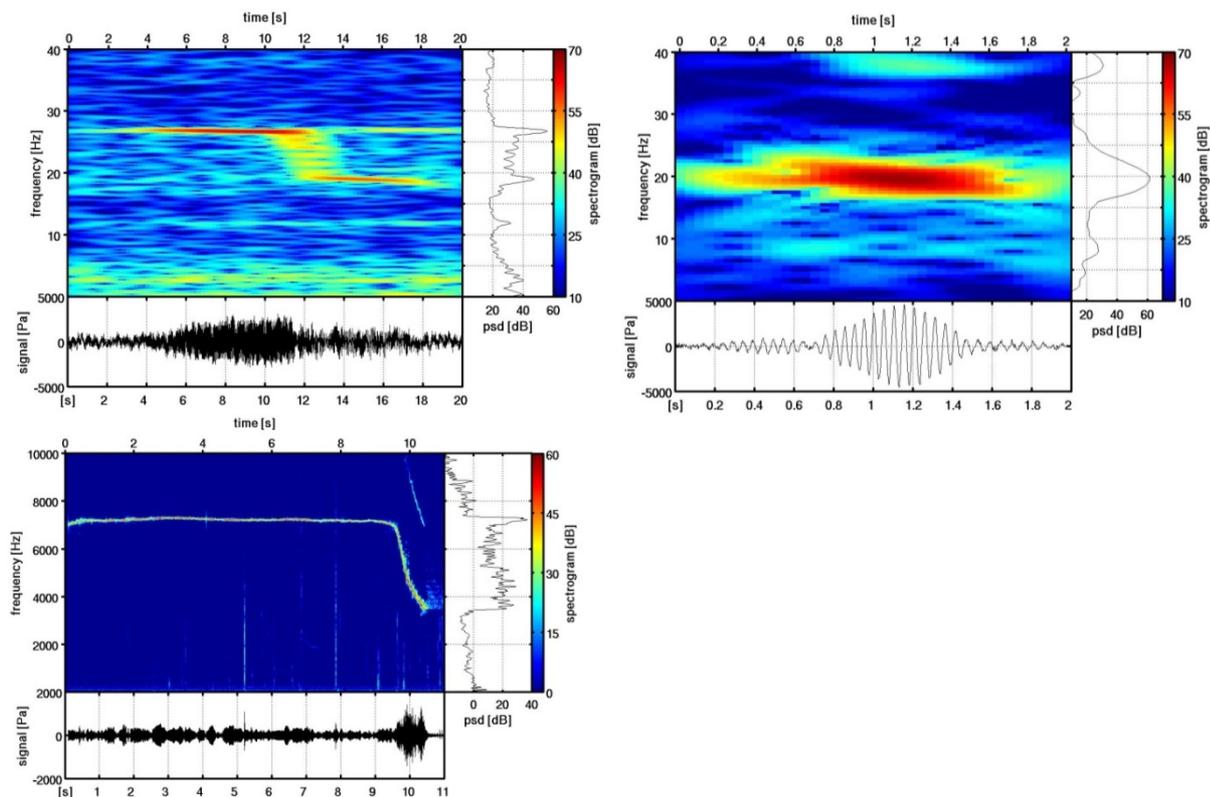
Das empfangene Signal der Airgun und das Hintergrundrauschen wurden überlagert und der *leaky integrator* (LI) wurde erst auf das Hintergrundrauschen allein angewendet, um die Detektionsschwellen bezogen auf das Hintergrundrauschen abzuschätzen (natürlicher Zustand). Anschließend wurde der LI auf das Airgun-Signal, überlagert mit dem Hintergrundrauschen, angewendet (maskierter Zustand). Alle Signale wurden Bandpass-gefiltert (angepasst auf den Frequenzbereich der Tiervokalisationen, siehe nachfolgend).

- Tiervokalisationen (Abb. 1-2) wurden
 - den verfügbaren Aufnahmen entnommen, skaliert auf die in der Literatur angegebenen Quellschallpegel, Dauer und Frequenzbereich wurden den tatsächlichen Aufnahmen entnommen, und
 - mit einem Bandpassfilter gefiltert

- Ein leaky integrator wurde definiert bei dem die gesamte Dauer des Signals als Zeitkonstante genutzt wurde (Fall der bestmöglichen Detektion) und
- In einem zweiten Schritt wurde die Zeitkonstante des *leaky integrators* als 0,2 s definiert, um die aus der Literatur bekannten physiologischen Werte für Säugetiere angemessener zu repräsentieren (Kastelein et al. 2010).
- Die leaky integrator Ausgaben wurden verglichen und Maskierungsdistanzen berechnet. Beispiele für Spektrogramme der genutzten Signale sind in Abb. 1-2 dargestellt.
- Es ist nicht bekannt, ob die Tiere die volle Länge der Signale benötigen um die Vokalisation ihrer Artgenossen zu detektieren. Um festzustellen ob sich die Ergebnisse grundlegend ändern, wenn unterschiedliche Anteile des Signals für eine Detektion nötig sind, wurde eine entsprechende Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Quellschallpegel der Tiervokalisationen wurden der Literatur entnommen. Für Blauwale wurden 179 dB re $\mu\text{Pa m}$, (Samaran et al. 2010a) und für Finnwale 189 dB re $\mu\text{Pa m}$ (Širović et al. 2007) ermittelt. Für Weddellrobben wurde der Mittelwert der bisher verfügbaren Werte mit 173 dB re $\mu\text{Pa m}$ (Thomas and Kuechel 1982; Thomas et al., 1983b; Thomas and Stirling 1983) als Schätzwert angenommen.

Abb. 1-2 Zur Modellierung genutzte Eingangssignale (oben links: Blauwal, oben rechts: Finnwal, unten links: Weddellrobbe).



Die Tiervokalisationen wurden dem Quellschallpegel angepasst und mit einem Bandpassfilter gefiltert um der Bandbreite der Vokalisationen gerecht zu werden. Die verbreiteten Airgunsignale wurden in der gleichen Weise gefiltert und die Ergebnisse des *leaky integrator* mit den berechneten Maskierungsdistanzen verglichen. psd – power spectral density (Schalleistungsdichte), das Spektrogramm zeigt den Frequenzgehalt des Signals über die Zeit, unterschiedliche Farbwerte zeigen dabei die Lautstärke des Signals als dB-Wert an (siehe Skala rechts).

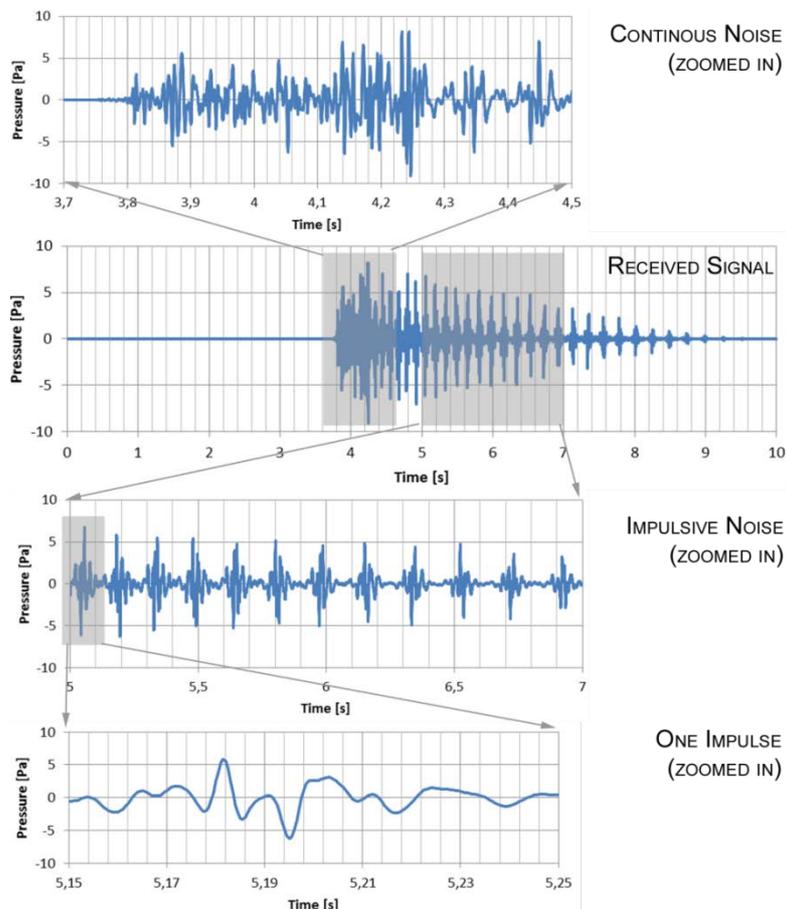
Ergebnisse

Modellierung der Schallausbreitung

Die Ergebnisse belegen, dass wenig der empfangenen Schallenergie aus den Signalanteilen über 300 Hz resultiert. Die Modelle demonstrieren eine signifikante zeitliche Ausdehnung der Signale, die zu einem kontinuierlichem Geräusch zwischen 1000 und 2000 km Distanz von der Airgun führen kann.

In Abb. 1-3 ist ein Impuls in 100 km Entfernung von der Airgun beispielhaft dargestellt. Das Zeitsignal ist auf nahezu 6 Sekunden gedehnt, während die empfangenen spektralen Pegel immer noch 60 dB über dem Hintergrundrauschen liegen. Bei diesen Distanzen, ausgehend von einem Schussintervall von 15 s, entsteht also kein kontinuierliches Signal. Trotzdem wäre schon in dieser Distanz ein signifikanter Anteil der zu Verfügung stehenden Kommunikationszeit durch das gedehnte Airgunsignal überlagert und könnte daher bereits maskiert sein.

Abb. 1-3 Detaillierte Ansicht eines empfangenen Signals (in 100 km Distanz zur seismischen Aktivität) welches kontinuierlich fluktuierende und impulshafte Anteile beinhaltet.



Durch die *Modendispersion* (Ausbreitung auf verschiedenen Schallpfaden) nehmen Signale verschiedene Verbreitungswege mit unterschiedlicher Laufzeit und kommen somit zu verschiedenen Zeiten beim Empfänger an. Das Signal enthält dann impulshafte (multiple Reflektionen) sowie kontinuierliche Signalanteile.

Eine umfassendere Übersicht über die Ergebnisse der Schallausbreitungsmodellierung ist in Abb. 1-4 und Abb. 1-5 für tiefe Gewässer (4000 m Wassertiefe) dargestellt. Sie zeigt eine starke Dehnung des Signals, welches eine vollkommene Abdeckung des Zeitintervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Airgun-Impulsen in 2000 km Distanz aufweist.

Abb. 1-4 Eingangssignal (Airgun) für die Maskierungsmodellierung für tiefe Gewässer (4000 Tiefe), rd: Empfängertiefe, d: Distanz des modellierten Impulses der Airgun (8-G array mit je 8,5 l Volumen). Drei Impulse sind zu sehen, um zu zeigen wie der Anfang und das Ende der Sequenzen aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde vervielfältigt und für die weiteren Berechnungen genutzt.

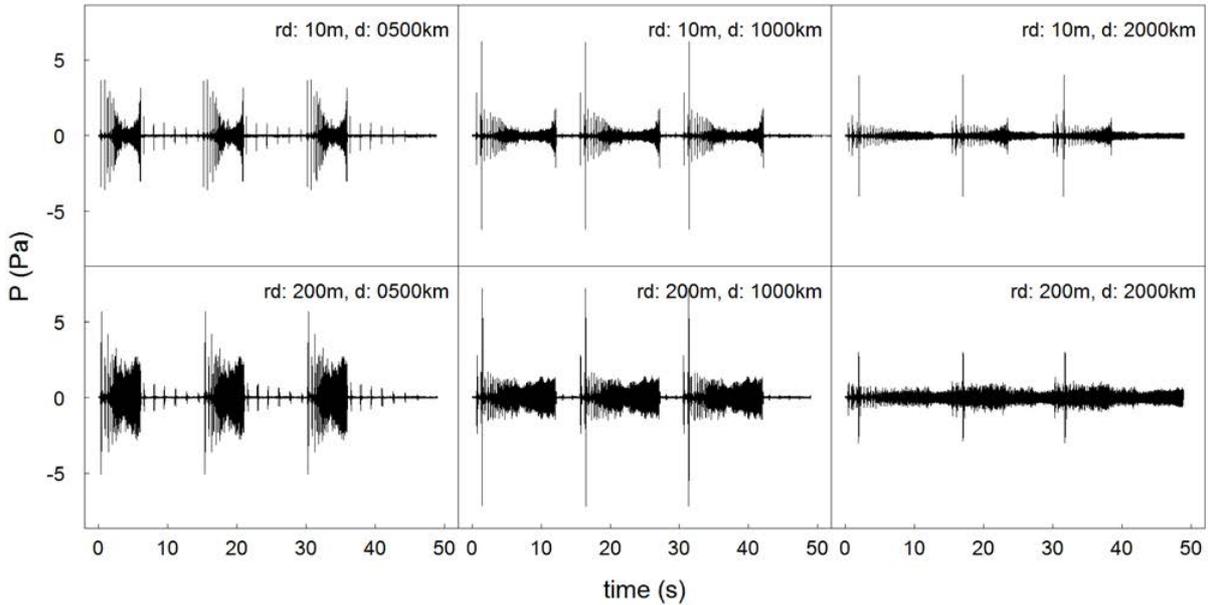
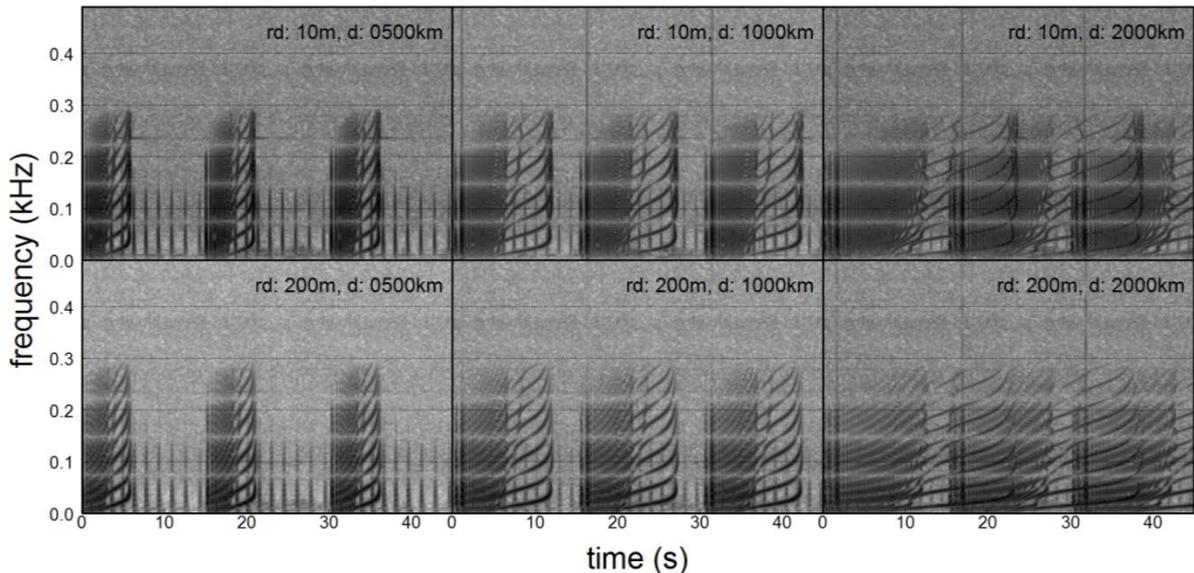


Abb. 1-5 Spektrogramme des Eingangssignals (Airgun) für die Maskierungsmodellierung für tiefe Gewässer (4000 Tiefe), rd: Empfängertiefe, d: Distanz des modellierten Impulses des Airguns, 8-G array mit je 8,5 l Kammervolumen.



Es sind drei Impulse zu sehen, um zu zeigen wie der Anfang und das Ende der Sequenzen aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde vervielfältigt und für die weiteren Berechnungen genutzt. Die Spektrogramme zeigen, dass die Signale tonale Frequenzen besitzen, folglich reicht ein Breitbandpegel für eine Berechnung der Maskierung nicht aus. Die Überschneidung des Frequenzbereichs mit der Tiervokalisation ist somit ausschlaggebend sollte eine Maskierung wirklich auftreten.

In flacheren Gewässern (500 m Wassertiefe) ist kein lineares Verhältnis zwischen Signaldehnung und Distanz feststellbar - die Dehnung ist aber immer noch beträchtlich. Der Wechsel von einem

intervallartigen Geräusch (Wechsel zwischen kontinuierlichen, impulsartigen und unverlärnten Sequenzen) zu einem kontinuierlichen Signal findet vermutlich zwischen 1000 und 2000 km statt. Im Zuge dieses Projektes wurde auch die Möglichkeit eines Maskierungseffektes bei Signalen mit intervallartigem Charakter überprüft.

Die Frequenzspektren der empfangenen Zeitsignale (Beispiele in Abb. 1-5) zeigen, dass die Signale starke Tonabfolgen (*sweeps*) als entweder höher-werdende *upsweeps* in Tiefseekonditionen aber teilweise auch *downsweeps* (in der Frequenz abfallende Tonabfolgen) in flachen Gebieten enthalten. Die Impulse können sich überlagern und dadurch sinkt der Spitzenpegel im Gegensatz zu den mittleren Schallpegeln (rms) nicht zwangsläufig mit der Distanz.

Modellierung der Maskierung

18 Fälle mit verschiedenen Szenarien wurden im Hinblick auf die Wassertiefe, die Empfängertiefe und die Distanz zur Airgun modelliert. Um ein relatives Maß für Maskierung zu erhalten, wurde das Verhältnis zwischen der Distanz, wenn nur Hintergrundgeräusche präsent waren (natürliche Kommunikationsreichweite) und den Einzeldistanzen für jeden Fall und jede Art (maskierte Konditionen) herangezogen

Die Resultate zeigen, dass die Kommunikationsdistanzen für alle drei berücksichtigten Arten in Entfernungen zwischen 500 - 2000 km reduziert werden, allerdings ist dieser Effekt stark von der Frequenz der berücksichtigten Vokalisation abhängig. Zum Beispiel wurde für die drei getesteten Weddellrobben-Vokalisationen festgestellt, dass das geschätzte Maskierungspotential hoch variabel ist und die maskierte Kommunikationsdistanz zwischen 92 % (nahezu keine Maskierung) und 1 % der potentiell ungestörten Kommunikationsreichweite schwankt (siehe Tab. 1-1 Akustische Kommunikationsdistanzen für fünf berücksichtigte Vokalisationen. für Details der Kommunikationsdistanzen). Für Blau- und Finnwale liegt der modellierte Verlust an Kommunikationsreichweite stets im Bereich von ein bis zwei Zehnerpotenzen (90-99 % Verlust an Kommunikationsreichweite).

Kommunikationsreichweiten für Blau- und Finnwale werden drastisch reduziert, allerdings sinkt der Effekt nicht kontinuierlich mit der zunehmender Entfernung was vermuten lässt, dass Maskierung sowohl bei impulshaften Geräuschen als auch bei kontinuierlichem Schall auftreten kann. Die Ergebnisse für die Weddellrobben sind hoch variabel und zeigen kein klares Muster. Zusätzlich wurde die Vokalisation der Weddellrobbe mit zwei verschiedenen Bandpassfiltern gefiltert: Reicht der hochfrequente Anteil des Signals (mit höherer Energie im Vergleich zu den tiefen Frequenzen) für eine Detektion aus, führt dies zu einer Reduzierung des Maskierungspotentials durch die Störsignale. Um solche Erkenntnisse für Arten, die einen breiten Frequenzbereich in ihren Vokalisationen abdecken, in die Modellierung einfließen zu lassen, ist es nötig ein besseres Verständnis der Hörprozesse zu erreichen, um die potentiellen Auswirkungen von Maskierung besser abschätzen zu können.

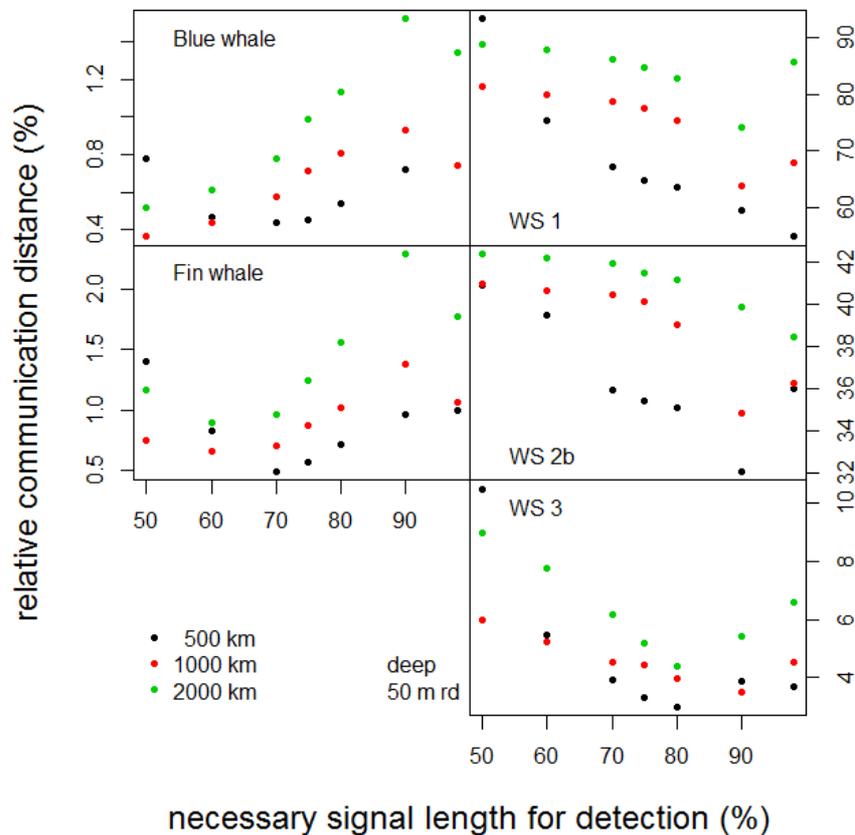
Tab. 1-1 Akustische Kommunikationsdistanzen für fünf berücksichtigte Vokalisationen.

Fall	Empfänger tiefe	Distanz Airgun Empfänger	Wasser tiefe	Relativer Verlust an akustischer Kommunikationsdistanz (Verhältnis von natürlicher und maskierter Kommunikationsreichweite [%])					
				Blauwal	Finnwal	Weddellrobbe			
				#1	#2a	#2b	#3		
1	10	500	tief 4000 m	97.7%	96.2%	97.7%	98.5%	65.8%	99.1%
2	10	1000		97.8%	95.9%	97.8%	97.7%	82.9%	99.2%
3	10	2000		95.8%	91.5%	95.8%	96.5%	76.7%	98.6%
4	50	500		99.3%	98.9%	99.3%	98.4%	82.1%	99.4%
5	50	1000		99.3%	98.9%	99.3%	97.6%	77.7%	99.1%
6	50	2000		98.6%	97.7%	98.6%	96.2%	70.1%	98.7%
7	200	500		99.2%	99.0%	99.2%	96.4%	75.0%	98.5%
8	200	1000		99.0%	98.7%	99.0%	94.3%	77.7%	98.8%
9	200	2000		97.9%	97.3%	97.9%	91.8%	75.7%	98.0%
10	10	500	flach 500 m	96.6%	95.0%	96.6%	98.5%	62.0%	99.1%
11	10	1000		93.2%	90.4%	93.2%	97.8%	60.3%	98.6%
12	10	2000		88.8%	82.0%	88.8%	96.4%	59.9%	97.7%
13	50	500		99.2%	98.9%	99.2%	98.5%	82.9%	99.5%
14	50	1000		98.5%	97.8%	98.5%	97.7%	75.2%	99.2%
15	50	2000		97.3%	96.0%	97.3%	96.1%	66.6%	98.7%
16	200	500		99.3%	99.3%	99.3%	96.6%	74.8%	98.6%
17	200	1000		98.5%	98.5%	98.5%	93.2%	65.0%	97.1%
18	200	2000		97.1%	96.8%	97.1%	87.0%	60.3%	94.2%

Sphärische Ausbreitung wurde genutzt, um die Schallausbreitung der Vokalisationen zu modellieren; Annahmen: Zeitkonstante (TC): 200 ms, Meerwasserdämpfung und 100 % freie Kommunikationszeit für eine Detektion. Diese Tabelle dient als Beispiel für die Ergebnisse. Verschiedene Szenarios wurden in Betracht gezogen und die Ergebnisse sind im Anhang zusammengefasst.

Innerhalb dieser Studie wurde angenommen, dass die Tiere das vollständige Signal unmaskiert wahrnehmen müssen, um es detektieren zu können. Signale von Bartenwalen sind jedoch lang und deshalb besteht die Möglichkeit, dass sie nicht die volle Signallänge für eine Detektion benötigen. Um zu überprüfen, ob diese Annahme (dass die volle Signallänge notwendig ist) einen großen Einfluss auf die Ergebnisse hat, führten wir eine Sensitivitätsanalyse durch: Abb. 1-6 zeigt die relative Kommunikationsdistanz (Reichweite unter maskierten Bedingungen relativ zur natürlichen Reichweite), unter der Annahme, dass die Tiere nicht die volle Signallänge benötigen, um die Vokalisation ihrer Artgenossen zu detektieren. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass sich zwar die Maskierungsreichweite mit der (für eine Detektion benötigten) Signallänge ändert, die Größenordnung des Effektes aber gleich bleibt. Dies gilt selbst unter der Annahme dass die benötigte Signallänge für eine Detektion nur 50 % anstatt von 100 % ist und die Tiere somit eine deutlich kürzere Zeit zum detektieren des Signals ihrer Artgenossen benötigen. Die Empfängertiefe, als eine Eingangsvariable, ändert diese Ergebnisse ebenfalls nicht in erheblichem Maße.

Abb. 1-6 Notwendige Signallänge für eine Detektion gegenüber der verfügbaren relativen Kommunikationsdistanz (Verhältnis zwischen maskierter und natürlicher Kommunikationsdistanz, als relatives Maß für den Verlust an Kommunikationsreichweite). Obwohl die notwendige Signallänge für eine Detektion zwischen 50 und 100 % verändert wurde, ändert sich das Maskierungspotential nur geringfügig.



Für eine Empfängertiefe von **50 m**, Ausbreitungsmodell für tiefe Bedingungen (4.000 m Wassertiefe) und die getesteten Signale. WS-Weddellrobbe. Während das Maskierungspotential (hier ausgedrückt als relativ vorhandene Kommunikationsreichweite unter Airguninsatz im Vergleich zur natürlichen Kommunikationsreichweite) sich mit abnehmender Distanz zum Airgunarray verringert, sind trotzdem die Größenordnungen vergleichbar, obwohl die notwendige Signallänge für eine Detektion stark variiert wurde: Finn- und Blauwale haben ca. 0,4 bis 2 % ihrer natürlichen Kommunikationsdistanz. Für Weddellrobben sind die Ergebnisse - abhängig vom getesteten Vokalisationsstypen - aber viel variabler. Das Verhältnis ist hochgradig abhängig von der Vokalisation der Tiere und kann somit nicht in einem vereinfachten Modell ausgedrückt werden. Graphen für alle Szenarien sind in Appendix C zu finden.

Diskussion

Mit großer Wahrscheinlichkeit gilt, dass

- die modellierten Ergebnisse korrekt sind: die modellierten empfangenen Signale sind vergleichbar mit realen empfangenen Signalen von Airgun-Impulsen.
- Airguns die Kommunikation von marinen Säugetieren bis in Distanzen von über 2000 km maskieren können. Dies gilt insbesondere für Tiere die hauptsächlich den oberen Bereich der Wassersäule (0-200 m) nutzen und relativ tieffrequent (< 100 Hz) vokalisieren.
- die Kommunikationsreichweiten für Finn- und Blauwale erheblich sinken.

- die Kommunikation von Tieren, die Frequenzbereiche > 300 Hz nutzen, nicht im gleichen Ausmaß betroffen sein wird.
- Robben wahrscheinlich weniger stark betroffen sind. Jedoch können die tieffrequenten Anteile ihrer Vokalisationen, die über weite Entfernungen tragen, von Maskierung betroffen sein.
- Maskierungseffekte in Regionen mit großen Wassertiefen wahrscheinlicher sind.
- Fluktuationen im Airgunsignal in mittleren Entfernungen (zwischen 500 - 1000 km) ein Signal mit einem intervallartigen (unterbrochenen) Charakter ausbilden.
- die Kommunikation von Blau- und Finnwalen selbst bei intervallartigen (unterbrochenen) Störsignalen stark maskiert wird, da die Ergebnisse der Maskierungsmodellierung nur unwesentlich durch die für die Detektion notwendige (angenommene) Signallänge beeinflusst werden. Aufgrund der ebenfalls vorhandenen Fluktuationen des Hintergrundrauschens erhöht sich durch diese Annahme sowohl die natürliche als auch die maskierte Kommunikationsreichweite. Das Verhältnis der Distanzen ändert sich jedoch kaum.

Die hier präsentierten Ergebnisse sind der erste Ansatz um den Verlust von akustischer Kommunikationsreichweite durch seismische Airguns vorherzusagen. Sind die Annahmen dieser Studie zutreffend, dann kann aus dem modellierten Verlust an Kommunikationsraum ein erheblicher Effekt auf individueller und Populationsebene resultieren.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass nur begrenzt Kenntnisse über das Hörvermögen von Bartenwalen bekannt sind und kaum empirische Daten zur Überprüfung der Schallausbreitung in den notwendigen Empfängertiefen und Bandbreiten vorliegen: Verfügbare Daten stammen überwiegend von Tiefseerekordern (also in Tiefen in denen Bartenwale nicht vorkommen) oder wurden nahe der Wasseroberfläche aber limitiert in der Bandbreite aufgezeichnet.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen eindeutig, dass eine Beeinflussung im Sinne des Vorsorgeprinzips nicht ausgeschlossen werden kann. Allerdings sollte die Modelle mit empirischen Daten evaluiert werden, bevor die quantitativen Ergebnisse in einem Naturschutzkontext angewendet werden.

Insbesondere die modellierten Empfangspegel der Airgun-Signale haben starken Einfluss auf das Ergebnis des Maskierungsmodells und müssen als ‚*worst-case scenario*‘ in diese Studie angesehen werden. Die daraus resultierenden Maskierungsreichweiten stellen wahrscheinlich eine Überschätzung dar. Wesentliche Informationen über die Hörfähigkeiten von Bartenwalen, wie zum Beispiel der kritische Rauschabstand (Das Signal-Rausch-Verhältnis bei dem die Diskriminierung von Schallsignalen in Rauschen noch möglich ist.) und die Fähigkeit Schall aus verschiedenen Einfallswinkeln (s. u.) mit höherer Genauigkeit zu detektieren, werden sehr wahrscheinlich die Ergebnisse verändern.

Die Nutzung eines *leaky integrator* als Modell für die Detektion der empfangenen Signale, hat einige Erkenntnisse geliefert: Es konnten unterschiedliche Grade der Überdeckung der Vokalisation durch Airgunsignale betrachtet und weitere Parameter wie die Zeitkonstante der Integration angepasst werden.

Ein Nachteil ist allerdings, dass der *leaky integrator* (derzeitig) nicht die Fähigkeit von Tieren Signale aus verschiedenen Einfallswinkeln genauer wahrzunehmen (*directivity index*), darstellen kann: Marine Säugetiere können einschätzen, aus welcher Richtung ein Schallsignal kommt, so dass es mit größer werdendem Winkel zwischen zwei Schallquellen einfacher wird die beiden Quellen zu separieren. Es sind derzeit keinerlei Daten vorhanden die eine Vorhersage über das

Richtungshören von Bartenwalen ermöglichen. Diese Wissenslücke kann gegebenenfalls mit Hilfe von kontrollierten Expositionsexperimenten geschlossen werden.

Ein wichtiger Punkt, der in dieser Studie nicht berücksichtigt werden konnte, ist das passive Hören. Tiere ziehen Informationen über Beute, Predatoren und andere natürliche Schallereignisse aus der sie umgebenden Geräuschkulisse. Sollten diese Geräusche maskiert sein, können folgenschwere Auswirkungen auftreten. Jedoch können derzeit keine wissenschaftlich fundierten Annahmen getroffen werden, um diese Auswirkungen zu modellieren. Die Analysen dieser Studie wurden deshalb auf Fälle beschränkt, für die hinreichend belegbare Annahmen getroffen werden können.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass weiterer Forschungsbedarf besteht. Die aktuellen Ergebnisse zeigen aber, dass Maskierungseffekte über große Distanzen und signifikante Auswirkungen auf das Vokalisationsverhalten von Tieren möglich sind und bei der Bewertung von Umweltwirkungen von impulshaften Schallquellen wie Airguns nicht außer Acht gelassen werden sollte.

2 Summary

Underwater noise is one of the sources of marine pollution whose ecological impact on marine mammals is not yet sufficiently investigated. Possible impacts of underwater sound on the marine environment have been discussed, and concern is expressed in several publications (Richardson et al. 1995; Gordon et al. 2003; Southall et al. 2007; Wright et al. 2007; Weilgart 2007; Di Iorio & Clark 2009; Melcón et al. 2012; Risch et al. 2012; Castellote et al. 2012). Marine mammals of the Antarctic are potentially adversely affected by the use of high power anthropogenic sound sources. Seismic airguns that are used for scientific seismic surveys in these areas produce high intensity, impulsive sounds with most energy in the very low frequency band which overlaps with many marine mammal vocalisations (e.g. songs and calls).

Marine mammals are highly dependent on their sense of hearing. The ability to acoustically perceive their environment is vital. Anthropogenic underwater noise may interfere with communication signals as well as predator, prey or ambient sounds that are of importance to the animal, and thereby mask an animal's ability to perceive these biologically important sounds (Gordon et al. 1998; Erbe 2000; Clark et al. 2009). Airguns have also been considered as having potentially deleterious effects (e.g. physical harm, behavioural reactions) at short distances of usually tens of kilometres (Yazvenko et al. 2007; Erbe & King 2009; Breitzke & Bohlen 2010; Gray & Van Waerebeek 2011). Masking, as a far-reaching effect however, was only partly considered within research studies and impact assessments and only few studies have considered the potentially adverse effect that masking by airguns can have on marine mammals (Streever et al. 2012).

Airgun sounds can be perceived above ambient sound levels over vast distances in water. During the sound propagation process, impulses are reflected multiple times on the water surface and refracted in sound channels (Urlick 1983). Due to these processes the frequency content of the received signal at large distances as well as the length of the received wave form changes (signal stretching). The stretched signal may cover the whole period between successive airgun shots. Hence, the impulsive sound that airguns emit can develop continuous properties through sound propagation effects and may lead to a general increase in background noise level. Furthermore it may lead to continuous masking effects if received levels are above the hearing thresholds of marine mammals.

The Antarctic continent and the Southern Ocean south of 60°S are specially protected under the Antarctic Treaty (AT). The Protocol on Environmental Protection to the AT gives further protection to Antarctic marine mammals. In Germany the act is legally implemented by the AIEP² and permits for activities are issued by the German Federal Environment Agency (UBA). The scientific basis for assessing environmental effects induced by the use of airguns still shows considerable gaps. However, specifically masking of communication sounds, the inability to communicate in different noise conditions may have detrimental effects. Potential effects include amongst others the loss of opportunities to feed cooperatively, the loss of contact between mother and calf, but most importantly the loss of opportunities for finding mating partners. If these communications are masked to a high degree, it is feasible that population level effects occur.

This project aims at evaluating the potential masking effects of scientific airgun use in Antarctica.

² Act implementing the Protocol of Environmental Protection of 4 October 1991 to the Antarctic Treaty (AIEP), BGBl. II 1994, 2478; entered into force on 14 January 1998.

Methodology

The evaluation whether there are potential masking effects was carried out in a three-step process. The first step was a literature review about the species concerned, their vocalisations, possible geographic and temporal overlap of the species with scientific airgun use and overlap in frequency content of propagated airgun signals and animal vocalisations. The Second step modelled sound propagation and the last step the masking potential.

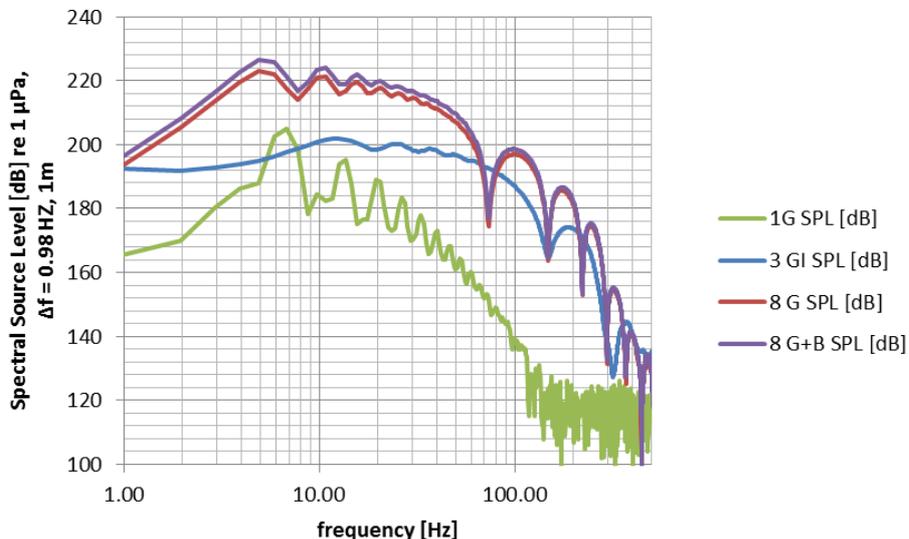
Literature Review

Within the study a thorough literature review on distribution, abundance and vocalisations of marine mammals occurring south of 60° S was conducted. The results are summarised in the report but can not be reproduced within a condensed form for this summary. Based on the results of the review three model species were selected: Blue whale (*Balaenoptera musculus intermedia*), fin whale (*Balaenoptera physalus*) and Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*). For each of the species a characteristic vocalisations signal was searched and used for modelling: Z-calls of blue whales, 20 Hz pulse for fin whales and three types of Weddell seal vocalisations.

Sound Propagation Modelling

Sound propagation modelling was carried out for receiver positions at 100, 500, 1000 and 2000 km distance from the sound source using two flat model ocean depths of 500 and 4000 m on the basis of measured sound speed profiles. A third variable is receiver depth (10, 50 and 200 m are considered). Wave form of the airgun signal was taken from a previous study of an airgun array at 10 m source depth (notional signature) and was converted to a frequency spectrum via a Fast Fourier Transform (FFT). The signal is then propagated with AcTUP (Acoustic Toolbox User-interface & Postprocessor) to estimate Transmission Loss (TL) and the inverse FFT of the received signal is taken to reconstruct the wave form of the received airgun signal. Analysis was conducted using a mode summation algorithm which yielded similar results as a parabolic equation code but required less computing time. Water surface and sediment were assumed to be smooth and absorption was neglected. The results can therefore be considered as a maximum for the particular arrangement (source, receiver depth and sound speed profile).

Fig. 2-1 Frequency spectra for the time signals of all considered airgun configurations. For modelling of masking only the 8 G gun configuration (8 G—guns of 8.5 litres air chamber volume each) was used. 1 G – 1 G-gun of 8.5 litres, 3 GI – 3 GI-guns of 2.4 litres, 8 G+B – 8 G-guns of 8.5 litres and 1 Bolt PAR CT800 gun with 32.8 litre.



Masking Modelling

To limit the number of necessary calculations the analysis was limited to the model species and their characteristic vocalisations.

To take account of the impulsive nature of the airgun signals in different receiver distances (Sound propagation modelling was carried out for receiver positions at 100, 500, 1000 and 2000 km distance from the sound source using two flat model ocean depths of 500 and 4000 m on the basis of measured sound speed profiles. A third variable is receiver depth (10, 50 and 200 m are considered). Wave form of the airgun signal was taken from a previous study of an airgun array at 10 m source depth (notional signature) and was converted to a frequency spectrum via a Fast Fourier Transform (FFT). The signal is then propagated with AcTUP (Acoustic Toolbox User-interface & Postprocessor) to estimate Transmission Loss (TL) and the inverse FFT of the received signal is taken to reconstruct the wave form of the received airgun signal. Analysis was conducted using a mode summation algorithm which yielded similar results as a parabolic equation code but required less computing time. Water surface and sediment were assumed to be smooth and absorption was neglected. The results can therefore be considered as a maximum for the particular arrangement (source, receiver depth and sound speed profile).

Fig. 2-1) and depth, it was decided that a model for the auditory processes would be necessary to characterize whether the communication signal of the animals can be detected during airgun use. The model for whale and seal hearing was chosen to be a leaky integrator combined with a level detector. This simple model was chosen as detailed knowledge on baleen whale hearing is not available at the moment. For hearing thresholds we assumed that baleen whales and seals are 'noise limited' and hence hear any signal in the low modelled frequencies above background noise corresponding to sea state 3-4 (according to 'Wenz'-curves (Wenz, 1962) from hereon called 'noise'; noise used in the modelling was actual background noise recorded at sea and scaled to 80 dB re $\mu\text{Pa rms}$).

The modelling process covers the following steps:

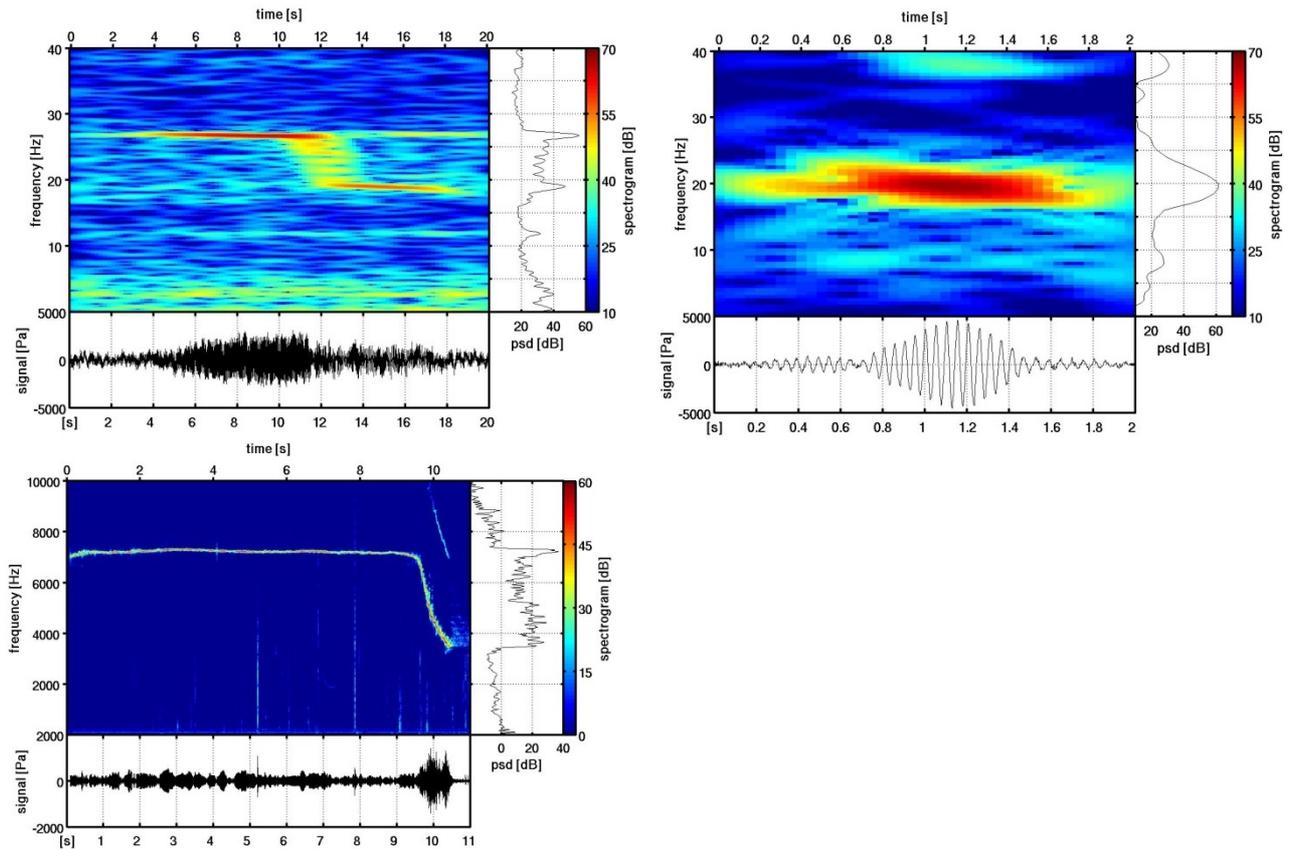
Propagated airgun signal and noise are overlaid and the leaky integrator (LI) is run on noise alone to estimate the LI-output on noise alone (natural condition) and noise overlaid with the airgun signal (masked condition). All signals are band pass filtered in the same way as the animal vocalisations (see below).

- Animal vocalisations (Fig. 2-2) are
 - extracted from recordings, scaled to source level according to literature; duration and frequency bands are derived from the actual recording,
 - band pass filtered,
- a leaky integrator is designed using the total duration of the signal as a time constant (case of best possible detection) and
- in a second step the time constant of the leaky integrator was set to 0.2 s as a more reasonable estimate for the physiological time constant typical for mammals (Kastelein et al. 2010).
- Leaky integrator outputs are compared and masking distances are calculated. Examples for spectrograms of the signals used can be found in Fig. 2-2.
- It is unknown, whether the animals need to perceive the signal in full length for a detection. To test whether the results change drastically under the assumption that animals do

not need the full length of the signal to detect their conspecifics vocalisations, we conducted a sensitivity analysis.

Source levels of the vocalisations were taken from the literature for blue whales (179 dB re $\mu\text{Pa m}$, Samaran et al. (2010a)) and fin whales (189 dB re $\mu\text{Pa m}$ Širović et al. (2007)). The mean of reported source levels (Thomas and Kuechel 1982; Thomas et al., 1983b; Thomas and Stirling 1983) of approximately 173 dB re $\mu\text{Pa m}$ was used as an estimate for Weddell Seals.

Fig. 2-2 Input signals for masking modelling (top left: blue whale, top right: fin whale, bottom left: Weddell seal).



Signals were scaled to source and band pass filtered to account for the frequency range of the vocalisations. The propagated airgun impulses were filtered in the same fashion and leaky integrator outputs were compared to calculate masking distances. psd – power spectral density; the spectrogram shows the frequency content of the signal over time, colour values transfer into dB values as shown on the side bar.

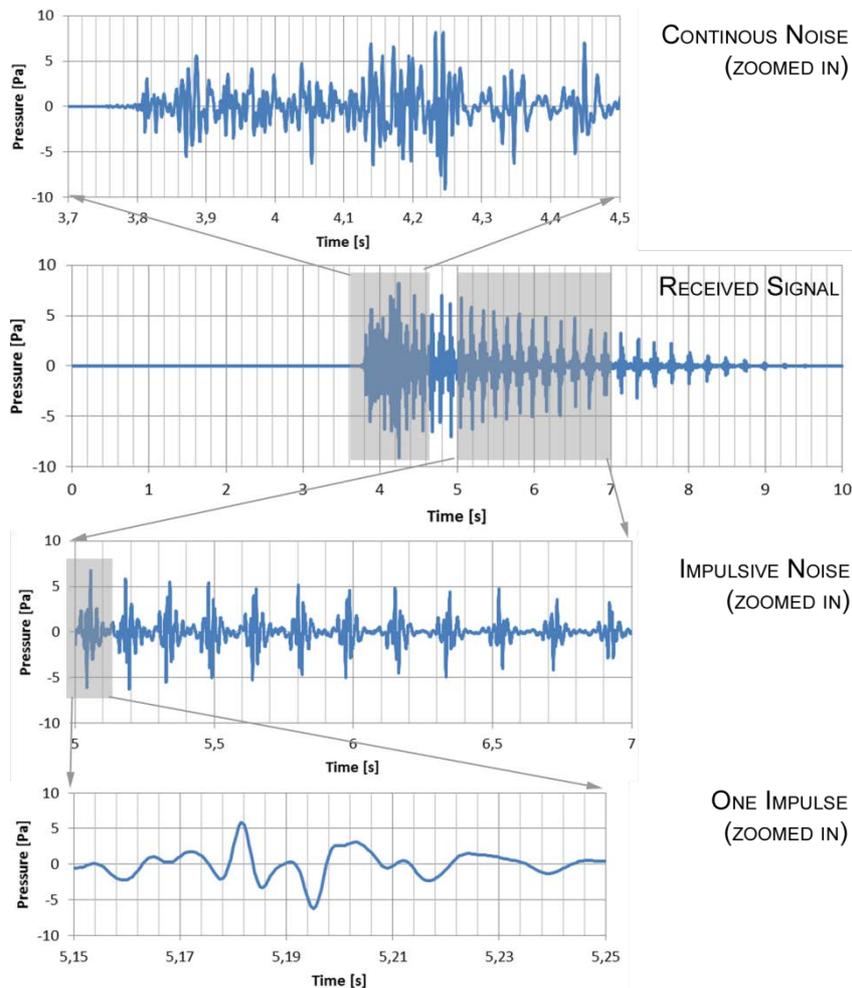
Results

Propagation Modelling

Results indicate that there is very little energy above 300 Hz. The models show that significant signal stretching can occur and will potentially lead to a continuous noise between 1000 and 2000 km distance from the airgun and beyond.

The result of sound propagation modelling for a received pulse in 100 km distance of the seismic source is depicted in Fig. 2-3. The wave form is stretched to almost 6 seconds while the received spectrum is still 60 dB above background noise. Hence, assuming a typical 15 s inter-shot-interval, the received signal at these distances is not continuous, but nevertheless covers a significant part of the available communication time which may hence already be masked. Due to mode dispersion, i.e. signals travelling different propagation paths and arriving therefore at different times at a receiver, the signal contains impulsive noise (multiple reflections) as well as continuous parts.

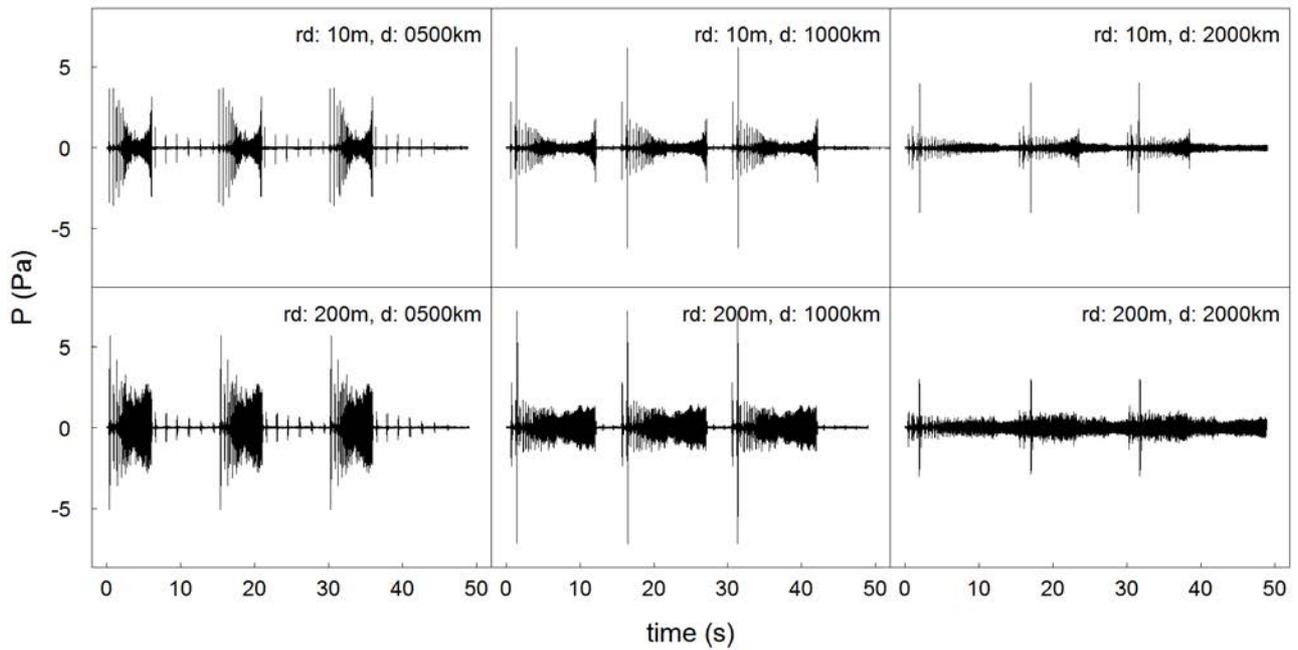
Fig. 2-3 Detailed view of a modelled received signal (at 100 km distance from seismic activity) showing continuous fluctuating and impulsive parts.



A more comprehensive overview of the results of propagation modelling can be found in Fig. 2-4 and Fig. 2-5 for deep conditions (4000 m receiver depth) showing a strong effect of signal stretching, that covers the whole time period between successive airgun shots in 2000 km distance. In shallow areas signal stretching does not have a linear relation to distance, nevertheless it is still considerable. The change of the signal from intermittent to continuous is presumably

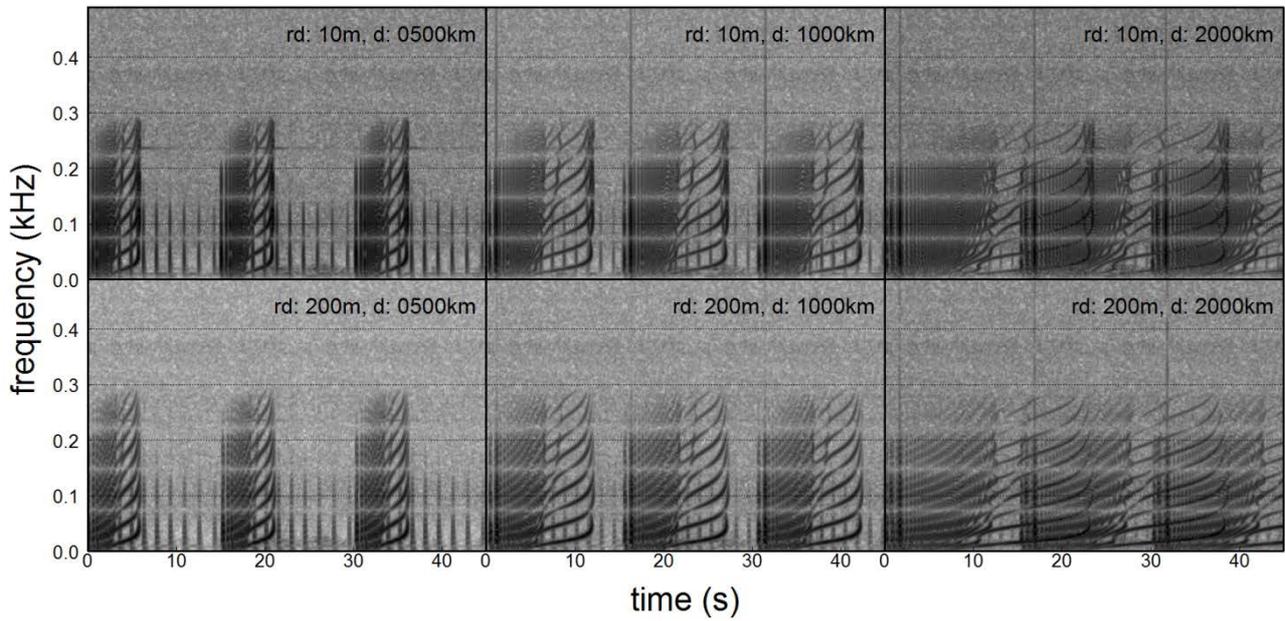
between 1000 and 2000 km. Within this project, we also tested whether masking effects may happen in intermittent noise.

Fig. 2-4 Input Signals (Airgun) for the masking modelling for deep areas (4000 depth), rd: receiver depth, d: distance of modelled impulse from airgun, 8-G gun array with a volume of 8.5 litres each. Three impulses are shown to demonstrate how the beginning and ending of sequences would look like. Only the middle impulse was duplicated and used for further calculations.



Frequency spectra of the received waveforms (example in Fig. 2-5) show that the signals contain strong tonal sweeps either as up-sweeps for deep sea conditions, but to some extent also down-sweeps (not shown, compare Abb. 7-19) for shallow areas. Impulses may overlap with each other and hence the amplitude of the peaks may not drop consistently with distance, in contrast to the general noise level which does.

Fig. 2-5 Spectrograms of input signals (airgun) for the masking modelling for deep areas (4000 m depth), rd: receiver depth, d: distance of modelled impulse from airgun, 8-G gun array with a volume of 8.5 litres each.



Three impulses are shown to demonstrate how the beginning and ending of sequences would look like. Only the middle impulse was duplicated and used for further calculations. The spectrograms show that signals have tonal frequency content and hence a broadband measure is not sufficient for masking calculations.

Masking Modelling

18 different szenarios were modelled with regard to water depth, receiver depth and distance to airgun. The ratio between the natural communication range under natural background noise conditions (“no airgun”) and the communication distances for each case and species (“masked conditions”) give a relative measure for masking.

Results indicate that communication distances for all three species considered are reduced at 500 to 2000 km, but the effect strongly depends upon the frequency of the vocalisations considered. For three tested Weddell seal vocalisations for example the estimated masking potential was highly variable: masked communication distances ranged from 92 % (essentially no masking) to 1 % of the potentially undisturbed communication distance (see Tab. 2-1 for details on communication distances). For blue and fin whales the modelled loss of communication distance was between one and two orders of magnitudes (90 - 99 % loss of communication range).

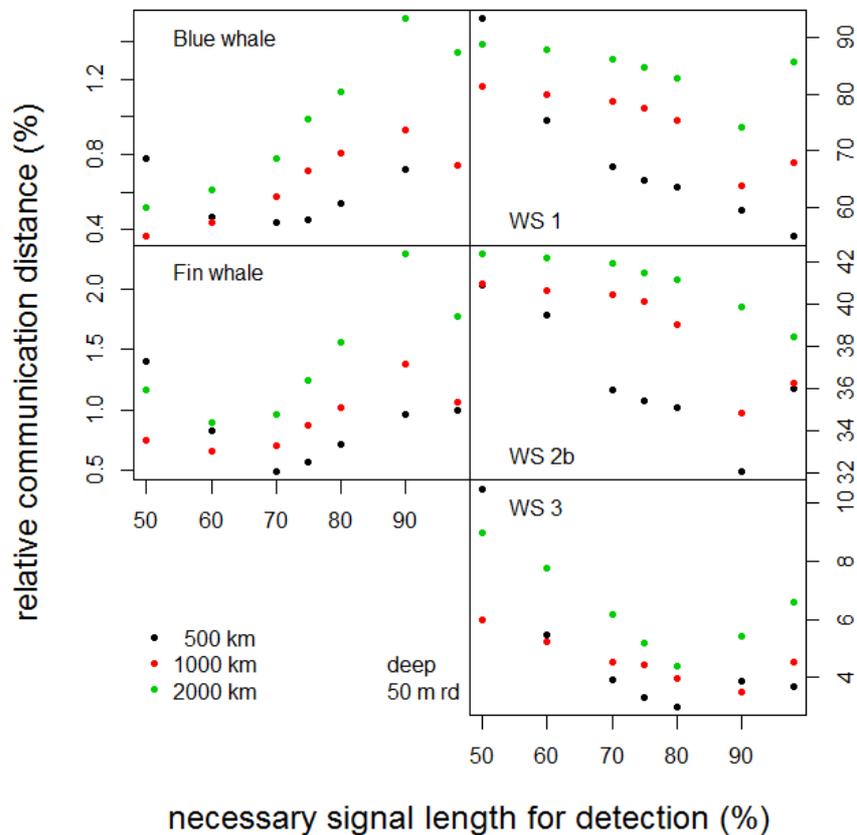
Tab. 2-1 Acoustic communication distances for the five vocalisations considered.

Case	Re ceiver Depth	Distance Airgun Receiver	Wa- ter depth	Loss in acoustic communication distances (ratio of natural and masked communication distance [%])					
				Blue whale	Fin whale	Wed- dell seal Voc. #1	Weddell seal Voc #2a broad band filtered	Weddell seal Voc. #2b Narrow band filtered	Wed- dell seal Voc. #3
1	10	500	deep 4000 m	97.7%	96.2%	97.7%	98.5%	65.8%	99.1%
2	10	1000		97.8%	95.9%	97.8%	97.7%	82.9%	99.2%
3	10	2000		95.8%	91.5%	95.8%	96.5%	76.7%	98.6%
4	50	500		99.3%	98.9%	99.3%	98.4%	82.1%	99.4%
5	50	1000		99.3%	98.9%	99.3%	97.6%	77.7%	99.1%
6	50	2000		98.6%	97.7%	98.6%	96.2%	70.1%	98.7%
7	200	500		99.2%	99.0%	99.2%	96.4%	75.0%	98.5%
8	200	1000		99.0%	98.7%	99.0%	94.3%	77.7%	98.8%
9	200	2000		97.9%	97.3%	97.9%	91.8%	75.7%	98.0%
10	10	500	shallow 500 m	96.6%	95.0%	96.6%	98.5%	62.0%	99.1%
11	10	1000		93.2%	90.4%	93.2%	97.8%	60.3%	98.6%
12	10	2000		88.8%	82.0%	88.8%	96.4%	59.9%	97.7%
13	50	500		99.2%	98.9%	99.2%	98.5%	82.9%	99.5%
14	50	1000		98.5%	97.8%	98.5%	97.7%	75.2%	99.2%
15	50	2000		97.3%	96.0%	97.3%	96.1%	66.6%	98.7%
16	200	500		99.3%	99.3%	99.3%	96.6%	74.8%	98.6%
17	200	1000		98.5%	98.5%	98.5%	93.2%	65.0%	97.1%
18	200	2000		97.1%	96.8%	97.1%	87.0%	60.3%	94.2%

Spherical spreading was used as a model for sound propagation of the vocalisations, when using a time constant (TC) of 200 ms, seawater attenuation and assuming that 100 % free communication time is necessary for a detection. This table is an example for results of masking modelling. Different szenarios were considered and results are summarised in appendix C. Voc. – vocalization. The broad band filter of Weddell seal vocalization 2 included high frequency parts not overlapping with the frequency content of the airgun.

Communication ranges for blue and fin whales are drastically reduced, but the effect is not consistently in- or decreasing with distance. This indicates that masking is in fact happening in intermittent noise (for instance at 500 km, where a complete overlap of airgun signals is not given), as well as in continuous noise. The results for Weddell seals are highly variable and do not show a consistent pattern. Furthermore the Weddell seal vocalisation is a clear example that a better understanding of the hearing processes is crucial for an accurate implementation into the models: it consists of a high frequency part with higher energy content and a low frequency part with lower energy content. It was filtered with two different band pass filters and shows, that if the high frequency content is sufficient for a detection of vocalisation, then masking ranges are considerably reduced.

Fig. 2-6 Necessary signal length for a detection vs available relative communication distance (ratio between masked communication distance and natural communication distance, a relative measure for loss of communication distance). Even when the necessary signal length for a detection is varied between 50 and 100 masking potential is changed only marginally.



For a receiver depth of **50 m**, deep sound propagation model and the tested signals, deep sound propagation model (4000 m water depth), WS-Weddell Seal. While masking expressed as relative available communication compared to natural communication distance decreases with distance towards the airgun array, magnitudes of potential masking are comparable although different necessary signal length for detection is assumed: Fin whales and blue whales have approximately 0.4 to % of their natural communication distance, while the output drastically varies for Weddell seals depending on vocalisation type tested. The relationship is hence highly dependent on the animals' vocalisations and cannot be expressed as a simple model. Graphs for all cases can be found in Appendix C.

Fundamentally we assumed within this study that animals need to receive the full signal unmasked to be able to detect it. Signals of baleen whales are long and hence it could be the case, that they do not need the full signal length for detection. To test whether this assumption has a large influence on the outcome we conducted a sensitivity analysis. Fig. 2-6 shows the relative communication distance (communication distance in masked conditions relative to calculated natural conditions) when we assume that animals do not need the full signal duration for the detection of a conspecifics vocalisation. The interesting outcome is, that while masking ranges do change, when the necessary signal length for detection is varied, it does not change the magnitude of the ratio of masked and natural communication ranges even though animals would be assumed to need much less time to detect the signal of a conspecific if we assume that necessary signal length is e.g. 50 % instead of 100 %. The receiver depth as another input variable does not change those results drastically either.

Discussion

According to our results it is very likely, that

- the modelling results for sound propagation are valid: The modelled received impulses are comparable to real received signals of airgun impulses.
- airguns can considerable mask communication of marine mammals at distances of 500 - 2000 km. This applies for animals preferably using the upper water column (0-200 m) and vocalizing in the low frequency range (< 100 Hz).
- for fin and blue whales communication ranges decrease significantly.
- communication of animals using frequency bands above 300 Hz is most likely not affected to the same extent.
- seals are most likely less affected, but especially the low frequency, long carrying parts of their vocalisations may be masked.
- masking potential is higher for sound propagation in deeper areas.
- fluctuations in the airgun signal result in an intermittent noise in medium distances between 500 and 1000 km.
- communication of blue and fin whales is masked considerably even in intermittent noise in distances modelled between 500 and 1.000 km as variation of the necessary signal length for detection only insignificantly changes the modelled masking results. As the background noise shows similar fluctuations, the natural as well as masked communication ranges does increase, the ratio however does not change much

The results presented here are a first approach to predict loss of acoustic communication range by seismic airguns. Given that all underlying assumptions are valid, the modelled reduction in available communication space would have most probably a serious effect on individual and population level. However, knowledge on baleen whale hearing and data availability for validating sound propagation models is limited. Data are available from large receiver depths (where most mammals do not occur), and recordings made mainly close to the water surface (alike occurrence of baleen whales to about 200m depth) is currently limited in bandwidth. However, a serious model evaluation using real data must be conducted before the quantitative results of this study are used in a conservation context. In the meantime the precautionary principle should be applied. Especially the modelled received levels of the airgun signal have a very strong influence on the masking model outcome and have to be considered as worst case estimates in this study. Hence, masking ranges are most likely overestimates. Critical information on baleen

whale hearing, like for instance critical signal-to-noise ratios and the ability to detect sounds from different angles of incidence in better accuracy, will most probably alter the results as well.

The approach to use a leaky integrator as a model for detection of the received signals has provided much insight due to the possibilities to use different amount of overlap between airgun and vocalisation and the possibility to vary parameters like the time constant of integration. However, restrictions are that the leaky integrator cannot cope (at the moment) with the ability of animals to detect signals from different incidence angles with higher precision (directivity index). This is based on the animals' ability to estimate a bearing towards a sound source. With increasing angle between two sound sources it is much easier to separate them. There are no data available to predict directional hearing in baleen whales. This caveat may be addressed in the context of controlled exposure experiments.

One important point that could not be addressed within this project is passive listening. Animals get much information from listening to their surrounding soundscape for prey, predators and natural sound events. If these sounds are indeed masked, then significant consequences may occur. However, we have no valid assumptions to model these effects at the moment and hence have to restrict our analysis to cases, where valid assumptions can be applied.

It is evident that further research is needed, however, until more information and data are available potential population level effects of masking from seismic sources must be considered in conservation efforts with regard to the precautionary principle. The results of this study show, that masking in very large distances is a possibility and can not be neglected. The developed model can now be adapted according to new research results and can be fitted to other model species.

3 Einleitung

Der Einsatz von impulshaften Schallquellen wie Luftpulsern (Airguns) bringt eine erhebliche Einleitung von akustischer Energie in die Meere mit sich. Dieser Schall breitet sich über große Entfernungen aus und kann gravierende Auswirkungen auf Meereslebewesen haben. Schädliche Auswirkungen durch Unterwasserschall wurden für zahlreiche Arten von marinen Säugetieren gezeigt, wenn sie diesem Schall auf relevanten Pegeln ausgesetzt sind. Diese Auswirkungen reichen von Stress, ernsten Verhaltensreaktionen und Habitatverlust über die Herabsetzung der Fitness und des allgemeinen Gesundheitszustands, sowie der Verschlechterung der Kommunikationsfähigkeit bis zur reversiblen und permanenten Beeinträchtigung des Hörvermögens (bis hin zum Tod) erstrecken.

Der Antarktische Kontinent und das Südpolarmeer südlich von 60°S sind durch den Antarktisvertrag (AV) geschützt. Die Ergänzungen des Umweltschutzprotokolls zum AV stellen insbesondere auch marine Säugetiere unter diesen besonderen Schutz, der sie bereits auf Individuenebene vor Verletzung und Störung schützt. In Deutschland wurde das Protokoll durch das Umweltschutzprotokoll-Ausführungsgesetz (AUG³) in deutsches Recht umgesetzt. Genehmigungen im Sinne des AUG werden durch das Umweltbundesamt (UBA) beschieden. Derzeit existieren noch erhebliche Unsicherheiten zur Bewertung der durch den Einsatz von Airguns verursachten Auswirkungen auf Antarktische marine Säugetiere nach dem AUG. Insbesondere die Maskierung von Kommunikationssignalen, also das Unvermögen unter verschiedenen Lärm- bzw. Geräuscheinflüssen zu kommunizieren, könnte nachteilige Auswirkungen haben. Die potentiellen Auswirkungen beinhalten den Verlust der Fähigkeit kooperativ zu jagen und den Kontakt zwischen Mutter und Kalb aufrecht zu erhalten. Am problematischsten sind jedoch, höchstwahrscheinlich, Einschränkungen beim Finden von Sexualpartnern. Wenn diese Kommunikation in einem hohen Maße maskiert wird, sind Effekte auf Populationsniveau nicht auszuschließen.

Außerdem bestehen derzeit große Lücken im vorhandenen Wissen zu Vokalisationen (und ihrer Funktionen) von marinen Säugern, was Aussagen insbesondere zur Maskierung erschwert. Trotz erheblicher Unsicherheiten sollen in diesem Projekt mögliche schädliche Auswirkungen (in unterschiedlichen Szenarien) auf Basis der gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisse untersucht werden.

Um zu beurteilen, ob seismische Surveys zu einem Verlust an Kommunikationsreichweite (im Sinne von akustischer Maskierung) führen, wurde die Schallausbreitung der Airgun-Impulse über große Distanzen modelliert und so ermittelt, wie das Signal (Zeitsignal und Spektrum) in verschiedenen Entfernungen von der Quelle empfangen wird. Anschließend wurden Vokalisationen von Blauwalen (*Balaenoptera musculus intermedia*), Finnwalen (*Balaenoptera physalus*) und Weddellrobben (*Leptonchotes weddellii*) mit den modellierten empfangenen Airgunsignalen überlagert, um zu berechnen, bis zu welchen Entfernungen die Tiere Vokalisationen von Kommunikationspartner unter diesen gestörten Bedingungen noch detektieren können.

3.1 Schutzstatus der Antarktischen Region und dort heimischer Arten

Der Antarktisvertrag (AV) als internationale Basis für die friedliche Nutzung des antarktischen Kontinents und der Eisgebiete südlich von 60°S legt fest, dass die gegenwärtig 50 Mitgliedssta-

³ Gesetz zur Ausführung des Umweltschutzprotokolls vom 4. Oktober 1991 zum Antarktis-Vertrag (Umweltschutzprotokoll-Ausführungsgesetz) vom 22. September 1994 (BGBl. I S. 2593),

ten verpflichtet sind, die im Rahmen des Antarktisvertragssystems (AVS) festgelegten Vorschriften zu befolgen. Zusätzlich zum AV handelt es sich bei den wichtigsten Dokumenten in diesem System um das *Umweltschutzprotokoll zum Antarktisvertrag* (Kurzform: Umweltschutzprotokoll (USP)), das *Übereinkommen über die Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis* (Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR)) und das *Übereinkommen zur Erhaltung der antarktischen Robben* (Convention for the Conservation of Antarctic Seals (CCAS)). Durch das Gesetz zur Ausführung des Umweltschutzprotokolls zum Antarktisvertrag (AUG)⁴ wurden die Vorgaben des AV und USP in gültiges deutsches Recht überführt. Dementsprechend unterliegen alle in Deutschland oder von deutschem Territorium aus geplanten und organisierten Aktivitäten der Genehmigung durch das Umweltbundesamt. Neben anderen Vorgaben kann eine Lizenz nur erwirkt werden, sofern keine nachteiligen Änderungen in der Verbreitung, Abundanz oder Fortpflanzungsfähigkeit von Tier- und Pflanzenarten oder Populationen derselben entstehen. Weiterhin dürfen gemäß dem Umweltschutzprotokoll keine weiteren Risiken für gefährdete oder bedrohte Arten oder Populationen solcher Arten entstehen.

Das AVS schützt auf Populationsebene alle heimischen Arten von marinen Säugetieren, Pinguinen und anderen Vögeln im sensiblen Ökosystem der Antarktis. Zukünftig werden wirbellose Arten (z.B. Krill und Kopffüßer) gleichermaßen durch das EP geschützt⁵.

Das AVS gewährleistet außerdem den Schutz aller Individuen von einheimischen Arten der marinen Säugetiere und Vögel, einschließlich solcher, die durch natürliche Wanderbewegungen nur zeitweilig im Gebiet vorkommen. Weiterhin ist der Schutz von natürlichen Habitaten ein wesentliches Ziel. Aus Sicht der Autoren dieser Studie gehören hierzu mögliche Habitatverluste durch die Scheuchwirkung von seismischen Aktivitäten auf marine Säugetiere als auch der Verlust an Habitatqualität durch vertriebene Beutearten, sowie eine mögliche Reduzierung der Kommunikationsreichweiten für Säugetiere und Beutearten.

Das für den Schutz und die Erhaltung von Walen verantwortliche Kontrollorgan ist die Internationale Walfangkommission (International Whaling Commission (IWC)). Die IWC „... gewährleistet die ordnungsgemäße Erhaltung von Walbeständen und ermöglicht somit die friedliche Entwicklung der Walfangindustrie.“ (IWC 1946) Die IWC führt im Südsommer jährliche Bestandsaufnahmen südlich von 60°S durch. Die Antarktis ist als Teil der Walschutzzone des Südlichen Ozeans (Southern Ocean Whale Sanctuary (SOWS)) geschützt, die 1994 von der IWC beschlossen wurde (Abb. 3-1 und Abb. 3-2). Die Grenzen der SOWS sind die Schutzzone im Indischen Ozean, südlich des 60°S Breitengrads um Südamerika und im Südpazifik und der 40°S Breitengrad für die verbleibenden Gebiete (Gill und Evans, 2002). Forschung an Robben wird insbesondere von der Robbenexpertengruppe (Group of Specialists on Seals) innerhalb des Wissenschaftlichen Ausschusses zur Antarktisforschung (Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR)) koordiniert.

Arten der antarktischen Region sind in den Rote-Liste-Kategorien der Weltnaturschutz-Union (World Conservation Union (IUCN)) aufgeführt. Die Daten der jüngsten Roten Liste wurden bei Artenprofilen berücksichtigt und müssen als Expertenmeinung zum notwendigen Schutz für eine globalere Perspektive betrachtet werden.

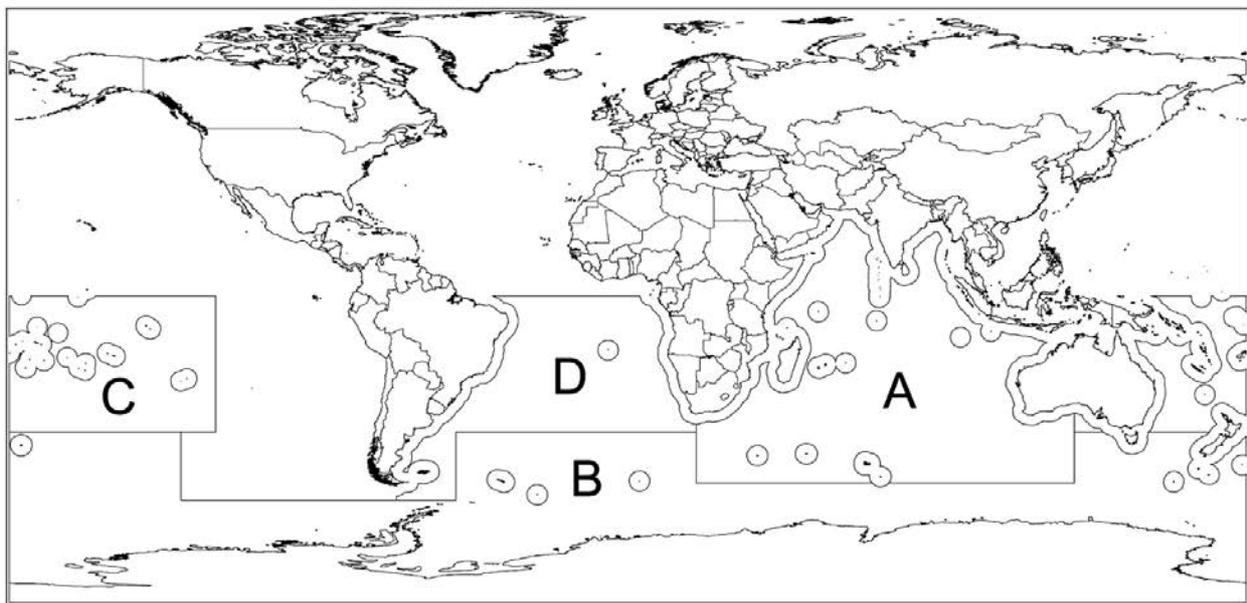
Dieser Bericht konzentriert sich auf Grundlage der Schutzwürdigkeit von Individuen im Rahmen des AVS auf heimische Arten der Antarktis. Ist eine Methodik jedoch nachweislich in der Lage,

⁴ Umweltschutzprotokoll-Ausführungsgesetz vom 4. Oktober 1991 zum Antarktis-Vertrag (AntarktUmwSchProtAG), BGBl. II 1994, 2478; in Kraft getreten: 14. Januar 1998.

⁵ Vergl. erweiterte Version des Annex II zum Umweltprotokoll, Maßnahme 16 (2009)

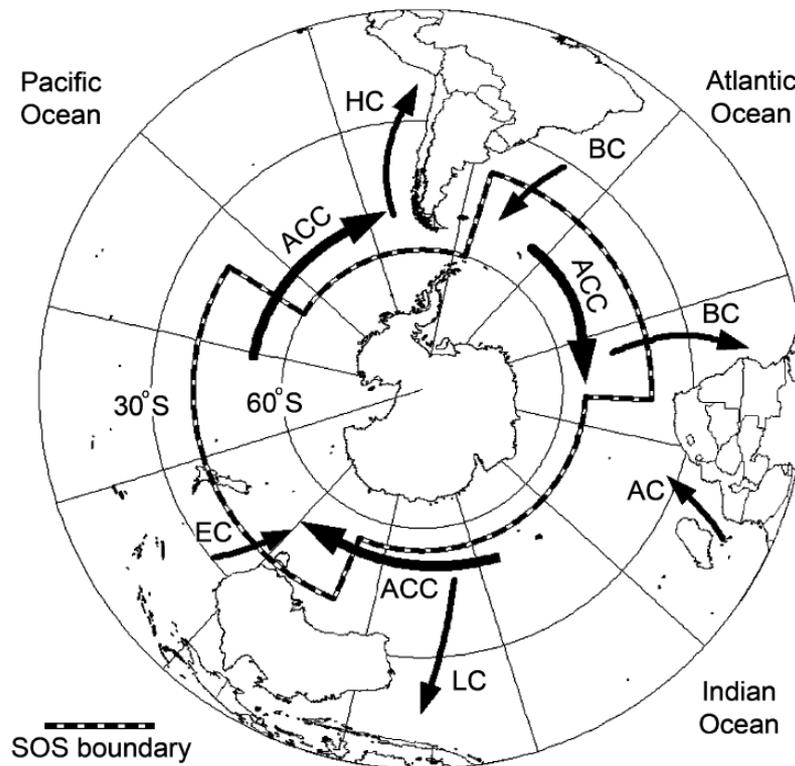
Auswirkungen auf Populationsebene vorherzusagen, muss diese Herangehensweise möglicherweise auf andere Gebiete mit anderen Arten ausgeweitet werden. Der Status gemäß der IUCN wird berücksichtigt, stellt jedoch keinen primären Fokus dar, da das USP alle heimischen Säugtiere unabhängig von Ihrem Status in der IUCN schützt. Das *Übereinkommens zur Erhaltung der wandernden wild lebenden Tierarten* (Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS)) legt einen strengen Schutz der im Anhang I aufgeführten Arten fest, während Anhang II sich auf Arten konzentriert, für die internationale Zusammenarbeit für Schutzmaßnahmen erforderlich ist. Das *Übereinkommen über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen* (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES)) zielt außerdem auf die Regulierung des internationalen Handels mit bedrohten Arten und Populationen.

Abb. 3-1 IWC-Schutzzonen



(A) Indischer Ozean und (B) Südlicher Ozean. Der (C) südliche Pazifik und (D) südliche Atlantik wurden bei der 56. IWC-Konferenz in Sorrento, Italien, nicht aufgenommen (gemäß Zacharius et al., 2006)

Abb. 3-2 Die Walschutzzone des Südlichen Ozeans (SOWS, gestrichelte Linie) und wichtige Meeresströmungen.



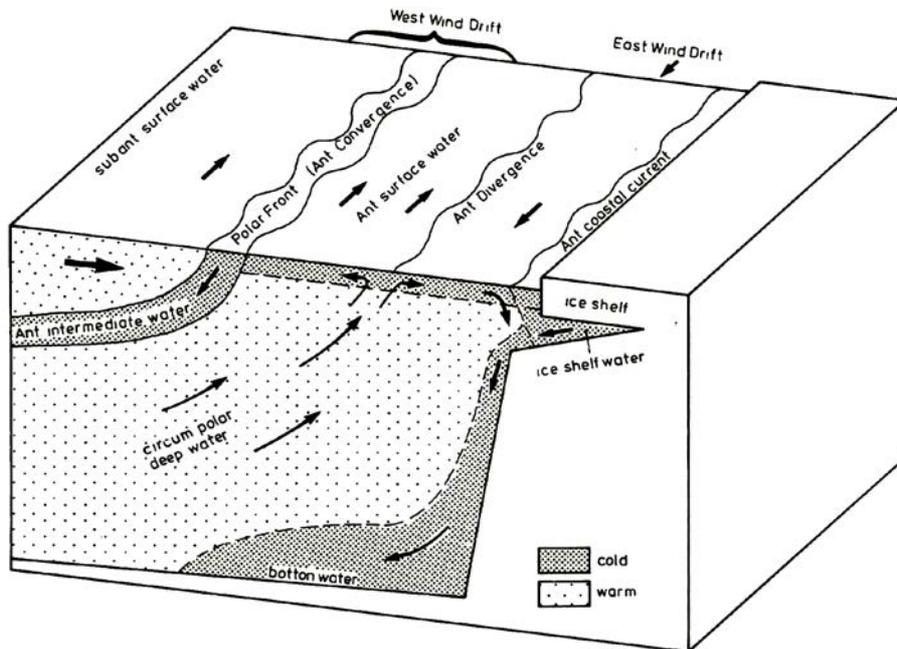
ACC - Antarctic Circumpolar Current (Arktischer Zirkumpolarstrom), BC - Benguela Current (Benguelastrom), HC - Humboldt Current (Humboldtstrom), LC - Leeuwin Current (Leeuwinstrom), BC - Brazil Current (Brasilstrom), EC - East Australian Current (Ostaustralstrom), AC - Agulhas Current (Agulhasstrom) (gemäß Zacharius et al., 2006).

3.2 Untersuchungsgebiet

Gemäß Hempel (1985) kann man das antarktische Ökosystem in drei große geografische Breitenzonen unterteilen, die teilweise starken, jahreszeitlichen Einflüssen ausgesetzt sind (Abb. 3-3):

- Gebiete, die dem Westwinddrift ausgesetzt und folglich während des gesamten Jahres fast eisfrei sind
- Gebiete, die dem Ostwinddrift ausgesetzt und saisonal schwankende Eisdecken haben
- Schelfgewässer, die fast ganzjährlich von Eis bedeckt sind, einschließlich offene Wassergebiete, die von Eis umgeben sind und offene Becken, die von dünnen Eisflächen bedeckt sind

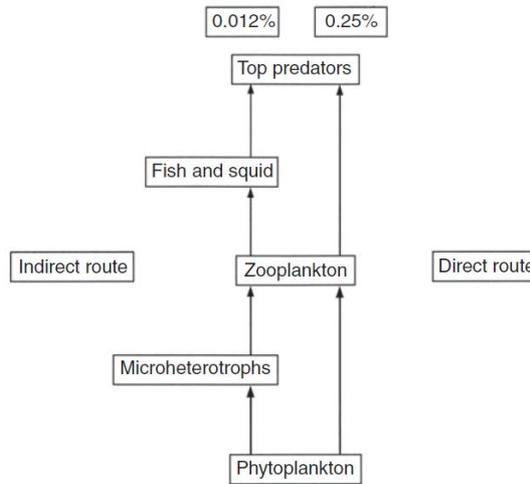
Abb. 3-3 Das antarktische Strömungssystem



Blockdiagramm nach Hempel (1985), modifiziert nach Gordon und Goldberg (1970)

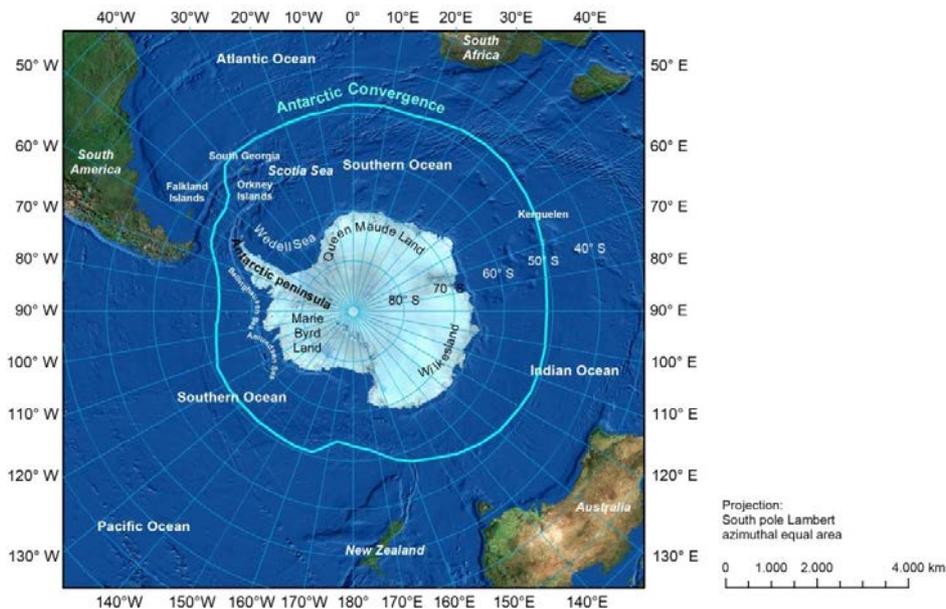
Die meisten Gebiete der Antarktis haben eine niedrige Primärproduktion. Bestimmte Gebiete jedoch, wie Eistränder und die antarktische Konvergenz im Südsommer, weisen eine hohe Primärproduktion mit hohen Konzentrationen von Phytoplankton auf, die als Nahrungsquelle für Zooplankton und Krill dienen oder in tiefere Wasserschichten bzw. zum Meeresboden absinken (Hempel, 1985). Die verhältnismäßig kurze Nahrungskette von Primärproduktion zu Zooplankton bzw. Krill und Bartenwalen (Abb. 3-4) ist vermutlich erheblichen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt, da Krill und Großwale von wirtschaftlichem Interesse sind und seit dem 18. Jahrhundert kommerziell ausgebeutet werden (Hempel, 1985). Ein gesteigertes wissenschaftliches Interesse an der Antarktis außerhalb von wirtschaftlichen Interessen, entwickelte sich erst spät, dennoch führten diese Basisuntersuchungen zu einer guten taxonomischen Grundlage für die zoologische Forschung, auf die sich auch moderne Arbeiten noch stützen (Hempel, 2007). Zusätzlich zur Ausbeutung von marinen Tier- und Pflanzenarten durch den Menschen bis in die sechziger Jahre stellt der Klimawandel eine weitere Bedrohung insbesondere für langlebige Arten dar, die sich noch vom Walfang und der Robbenjagd erholen (Nicol et al., 2000, 2008). Der nördliche Rand des antarktischen Ökosystems wird durch die antarktische Konvergenz oder Meinardus-Linie gebildet, einem ozeanischen Frontensystem, das die Grenze zwischen temperierten nördlichen Gewässern und kalten südlichen Polargewässern darstellt (Boyd, 2009a). Über vergleichbar geringfügige Entfernungen können Temperaturgradienten von 10°C über die Konvergenz hinweg auftreten (Boyd, 2009a). Boehme et al. (2008) vermaßen durch besondere Seeelefanten südlich von Südgeorgien einen Temperaturunterschied von 6°C . In der Nähe der antarktischen Konvergenz befinden sich auch die subantarktischen Inseln (Abb. 3-5). Die Vielfalt an marinen Säugern im Südlichen Ozean ist gering - es finden sich dort ungefähr 20 % der weltweiten Arten - aber die Biomasse ist relativ hoch und beträgt wahrscheinlich 50 % der Biomasse mariner Säuger weltweit (Boyd, 2009a).

Abb. 3-4 Energiefluss von Phytoplankton zu marinen Säugetieren



Aus Boyd (2009a): „Dieses Diagramm zeigt den sehr direkten Pfad des Energietransfers im Südlichen Ozean im Vergleich zu dem eher indirekten Pfad in anderen Regionen. Der prozentuale Anteil der Energie, die von Phytoplankton absorbiert wird und später die Spitzenprädatoren erreicht, wird oben im Diagramm gezeigt.“

Abb. 3-5 Die Antarktis mit wichtigen subantarktischen Inseln und die ungefähre Position der antarktischen Konvergenz



3.3 Die Bedeutung der Kommunikation für marine Säuger

Kommunikation ist ein Prozess der Informationsübermittlung zwischen einem Sender und einem Empfänger. Der erfolgreiche Empfang der gesandten Informationen beeinflusst die Wahrscheinlichkeit einer daraus folgenden Verhaltensweise des Empfängers (Dudzinski et al. 2009) und kann soziales Verhalten auslösen. Das Signal ist das Medium, über welches Informationen ausgetauscht werden und stellt gewöhnlich einen Kompromiss zwischen optimaler Übertragung im Umfeld von Sender und Empfänger und der Erfordernis ein Belauschen durch Artgenossen, Prädatoren oder Beutetiere zu verhindern, dar. Angesichts des äußerst komplexen Sozialverhaltens von vielen marinen Säugern, ist das kommunikative Verhalten für diese Arten zur Regulierung sozialer In-

teraktionen lebenswichtig. Sowohl Sender als auch Empfänger sind zur Fortpflanzung, zur Abwehr von Prädatoren, zur Verteidigung des Reviers, zur Futtersuche, zur Aufrechterhaltung sozialer Bindungen und zur Brutpflege auf die Übermittlung von Signalen angewiesen. Um die Bedeutung der Kommunikation in einer bestimmten Tierart in der Antarktis zu verstehen, ist es daher wichtig, die Funktion der Signale (z. B. Aggression/Unterwerfung, Anziehung von Gefährten, Brutpflege, Revierverteidigung, Futtersuche) zu betrachten, sowie ob Signale multimodal (Dudzinski et al. 2009) sind, d. h. mehrere Kommunikationsmethoden oder -wege quasi-simultan verwenden. Dies ist für die vorliegende Studie jedoch von untergeordneter Bedeutung, da sie sich ausschließlich auf akustische Kommunikation konzentriert.

Marine Säugetiere entwickelten sich im Meeresmilieu, wo Licht schnell abgeschwächt wird, Schall sich jedoch gut ausbreitet. Aufgrund der Leichtigkeit, mit welcher sich Schall im Wasser ausbreitet und des großen Gebiets, über welches Schall übertragen werden kann, haben sich akustische Unterwassersignale als die hauptsächliche Art der Informationsübermittlung von vollständig aquatischen Säugetieren (Wale) und als eine vorwiegende Art von amphibischen marinen Säugetieren (Robben), insbesondere zur weiträumigen Kommunikation, entwickelt. Den Kontext und die Funktion von Lauten festzustellen, ist nicht trivial. Eine Zusammenfassung von Studien, die Wiedergabetechniken zur Untersuchung der Funktion von Lauten in marinen Säugern benutzen, wurde von Deeke (2006) verfasst. Die potentiell negativen Auswirkungen von anthropogenem Unterwasserschall auf die Kommunikationssignale von marinen Säugetieren wurden durch Studien an Zahnwalen (Foote et al. 2004), Bartenwalen (Croll et al. 2002) und Robben (Southall et al. 2000) herausgestellt. Die akustischen Eigenschaften der Kommunikationssignale können stark variieren. Sie reichen von kurzen Pulsen, zu stereotypen Pfeifftönen und komplexen Gesängen. Damit ein Signal für die Kommunikation nützlich ist, muss es auch komplex genug sein, um eine Verschlüsselung der Informationen zu erlauben. Obwohl die Menge an Informationen, die in Kommunikationssignalen von marinen Säugern verschlüsselt sind, zum größten Teil unbekannt ist (mit der möglichen Ausnahme von einigen stereotypen, charakteristischen Pfeifftönen, Alarmrufen von Tümmlern und wahrscheinlich agonistischen Tönen von Delfinen), kann davon ausgegangen werden, dass der Informationsgehalt kontextspezifisch ist und stark vom Verhaltensstatus des Senders abhängt.

Die Kommunikation in einer lauten Umgebung oder über große Entfernungen kann vom Tier eine Änderung seiner Signalgebungsstrategie erfordern. Es kann die Komplexität seiner Signale verstärken, um ausreichende Redundanz bei der Übermittlung der Informationen an den Empfänger zu erzielen (verstärkte Redundanz innerhalb eines Signals), oder es könnte die Informationsrate verlangsamen und sehr einfache Signale über lange Zeiträume übermitteln, um die notwendige Bandbreite des Kommunikationskanals zu reduzieren (vermehrte Redundanz durch Wiederholung; Zimmer (2011)).

Generell unterscheiden sich die Laute von Bartenwalen sehr stark von denen der Zahnwale, wobei es bei den unterschiedlichen Mysticeti-Arten ein breites Spektrum von Typ und Anzahl der Signalformen gibt. Obwohl ein spezifischer Laut nur selten mit einem bestimmten Verhaltensereignis assoziiert wurde, wird vermutet, dass Bartenwallaute sozialen Funktionen dienen. Hierzu gehören die großräumige Verbindungsaufnahme, Versammlungs-Rufe, Anzeige des sexuellen Status, Begrüßung, Abstand, Bedrohung und die individuelle Identifikation (Dudzinski et al. 2009). Bei kooperativen Futtersucheereignissen können sie möglicherweise der Koordination dienen. Es ist wahrscheinlich, dass von Bartenwalen erzeugte Laute dazu dienen, biologische oder Verhaltensaktivitäten der Empfänger zu synchronisieren, die nachfolgend Futteraufnahme oder Fortpflanzung einleiten. Es wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass Bartenwale über große Entfernungen hinweg kommunizieren, was zu einem großen aktiven Kommunikationsraum führt. Der *Aktive Kommunikationsraum* ist dabei die Reichweite oder Entfernung (Radius), über welche

ein Kommunikationssignal, das durch Schallausbreitungseffekte abgeschwächt wird, über der Wahrnehmungsschwelle eines möglichen Empfängers verbleibt (Brenowitz, 1982). Dies kann im ursprünglichen Sinne als ein lineares Maß der maximalen Kommunikationsdistanzen interpretiert werden, wie von Marten & Marler vorgeschlagen (1977).

Zahnwale geben zur Kommunikation eine Vielfalt von Lauten in Form von Pfeiftönen (Ford 1989) und gepulsten Rufen (Payne und Webb 1971; Ford 1989) ab. Sie benutzen zur Informationsübermittlung auch sich wiederholende Muster von Klicks wie zum Beispiel in Form der Codas von Pottwalen (Watkins und Schevill 1977). Pfeiftöne sind generell von vergleichsweise tiefer Frequenz und weniger stark gerichtet als Echoortungssignale und bieten sich somit zur Kommunikation über größere Entfernungen und zur Erzeugung relativ großer aktiver Kommunikationsräume an (Janik 2000; Miller 2006). Echoortungsklicks sind hingegen stark gebündelte und somit gerichtete Signale von hoher Frequenz (Au 1993). Aufgrund der höheren Absorptionsrate bei höheren Frequenzen bieten typische Zahnwalsignale kleinere Kommunikationsreichweiten und -räume im Vergleich zu Bartenwalen und erlauben somit möglicherweise eine direkte und private Kommunikation zwischen Sender und Empfänger.

Die von Zahnwalen abgegebenen Laute können weitgehend in zwei Signaltypen unterteilt werden:

- a) Gepulste Laute werden hauptsächlich zu Echoortung benutzt, d. h. um die Echos eines abgegebenen Tierlauts zu nutzen, um Ort, Entfernung und Richtung eines Objekts abzuschätzen (Zimmer 2011). Diese Echoortungsklicks können eine große Bandbreite haben, wie z. B. bei Schwertwalen (*Orcinus orca*) oder schmalbandig sein, wie dies bei Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) der Falls ist, während Schnabelwale beispielsweise frequenz-modulierte Signale nutzen. Zahnwale nutzen Echoortung zur Futtersuche, Orientierung und zur Vermeidung von Hindernissen und/oder Prädatoren (Au 1993; Tyack und Clark 2000; Morisaka und Connor 2007). Echoortungssignale sind im allgemeinen äußerst direktional: Die von den beschallten Objekten zurückgeworfenen Echos geben Auskunft über die Entfernung zum Objekt, über den Winkel (sowohl Horizontal- als auch Vertikalwinkel), in welchem es sich befindet und in gewissem Maß über die Oberflächenstruktur und das Material des Objekts. Echoortungssignale sind kurze pulsierte Laute, die mit variierender Wiederholungsrate abgegeben werden. Bei der Suche oder beim Versuch, sich über größere Entfernungen zu orientieren, geben Tiere Klicks mit einer geringen Wiederholungsrate ab, während bei der Untersuchung eines Objekts aus der Nähe Raten von über 1000 Klicks pro Sekunde erzeugt werden können. Die Abfolgen von Pulsen mit hoher Wiederholrate können auch soziale Funktionen haben. Bei nichtpfeifenden Tierarten wie dem Schweinswal sind sie die derzeit einzige nachgewiesene Form von aktiven Kommunikationssignalen (Clausen et al. 2010). Pottwale, die ebenfalls nur Klicks erzeugen, sind in diesem Zusammenhang eine Ausnahme, da sie zweckbestimmte Klickarten mit unterschiedlichen Quellcharakteristiken zur Echoortung und zur Kommunikation haben (Madsen et al. 2002 a, b).
- b) Tonale, schmalbandige Geräusche sind kontinuierliche Signale, die als Pfeiftöne bezeichnet werden (Caldwell und Caldwell 1965, 1990; Tyack 1986; Sayigh et al. 1990). Diese Signale können höchst stereotyp sein und können zur Identifizierung von Individuen dienen. Die meisten Pfeiftöne dienen jedoch anderen, überwiegend unbekanntem Zwecken.

Die von Robben erzeugten Laute sind typischerweise frequenz-modulierte oder pulsierte Laute. Mit Ausnahme von männlichen Walrossen erzeugen Robben keine Pfeiftöne (Dudzinski et al. 2009). Die Vokalisationen von Robben stehen in enger Verbindung zur Paarung und dem genutzten Kommunikationsmedium (unter Wasser oder auf dem Land). Während Hundsrobben eher un-

ter Wasser vokalisieren (insbesondere die Arten, die sich im Wasser paaren), vokalisieren Ohrenrobben eher auf dem Land. Polarrobben vokalisieren generell wesentlich mehr unter Wasser als Robben in gemäßigten oder tropischen Gebieten. Insbesondere antarktische Arten vokalisieren, wenn sie sich auf Ihren Liegeplätzen befinden. Stirling und Thomas (2003) stellten charakteristische Unterschiede im Vokalrepertoire von antarktischen Hundsrobben fest. Echoortung wurde bisher bei keiner Robbenart nachgewiesen, obwohl klickartige Signale aufgezeichnet wurden.

3.4 Maskierung im Kontext der allgemeinen wissenschaftlichen Bewertung von anthropogenem Lärm

Dieser Abschnitt dient als Basis für die weiteren wissenschaftlichen Ausführungen zur Modellierung der Maskierung (siehe Diskussion in Kapitel 7). Eine allgemein akzeptiertes Modell der Reaktionen von marinen Säugetieren auf Lärm, wenn auch unvollständig, sind die Zonen der Lärmbeflussung, die von Richardson et al. (1995) beschrieben wurden. Innerhalb dieses theoretischen Rahmens wurden vier Zonen definiert:

1. Zone der Hörbarkeit

- Abhängig vom Hörvermögen des Tieres
- Größte Zone
- Grundsätzlich ist dies keine Zone der Auswirkung, da Hörbarkeit selbst keine Auswirkung darstellt. Sie kann jedoch als äußerst vorsorgende obere Grenze des Bereichs der potentiellen Beeinflussung dienen.

2. Zone der Reaktion

- Der Schall verursacht eine Verhaltens- oder physiologische Reaktion des Tieres
- Kleiner als die Zone der Hörbarkeit.

3. Zone der Maskierung

- Lärmsignale stören die Wahrnehmung anderer Geräusche, die für das Tier wichtig sind: z. B. Kommunikation, Echoortung, Geräusche von Beutetieren oder Prädatoren sowie andere Geräusche, die für die Analyse des akustischen Umfelds wichtig sind.
- Größe der Zone ist sehr variabel und ist sowohl vom maskierenden als auch maskierten Geräusch bzw. Laut abhängig.

4. Zone des Hörverlusts, von leichten Beschwerden oder der Verletzung

- Wahrscheinlich die kleinste Zone, sehr nahe an der Geräuschquelle.

Die Größe der unterschiedlichen Zonen abzuschätzen, ist selbst bei denjenigen, die besser definiert sind, eine schwierige Aufgabe. Die vierte Zone wird zum Beispiel häufig in Verbindung mit einer temporären oder permanenten Hörschwellenverschiebung (engl., temporary/ permanent threshold shift (TTS/PTS)) verwendet, wie diese von Southall et al. (2007), die auf Basis von Vorschriften der USA Expositions-kriterien entwickelt haben, beschrieben wurde. Nichtsdestotrotz wurde die permanente Hörschwellenverschiebung (PTS) nie absichtlich, in einem dafür geplanten Versuchsaufbau, für marine Säugetiere vermessen, wohingegen eine temporäre Hörschwellenverschiebung (TTS) bei manchen Arten von Robben und Zahnwalen tatsächlich gemessen wurde (Finneran et al. 2010, Kastak und Schusterman 1996; Kastak et al. 2005; Lucke et al. 2009; Popov et al. 2011 a, b; Schlundt et al. 2000).

Für die Maskierungszone sind die Unsicherheiten bei der Schätzung wesentlich höher und ihre Größe variiert wahrscheinlich erheblich: von einer annähernden Übereinstimmung mit der Zone der Hörbarkeit (bei sehr lautem, konstanten Lärm in der Nähe des Tieres, Überlappung des Frequenzgehalts vorausgesetzt) bis nahe der Zone von Hörverlust, leichten Beschwerden und Verletzung (bei Impulsgeräusche, keine Überlappung des Frequenzspektrums usw.). Die Größe der Maskierungszone hängt in starkem Maße vom maskierenden Geräusch und dem maskierten Signal ab.

Mehrere Experimente wurden durchgeführt, um die Zone der Reaktion für marine Säuger in der Wildnis zu messen (z. B. Brandt et al. 2011; Frankel und Clark 2000; Madsen et al. 2006; McCauley et al. 1998; Tougaard et al. 2009). Studien zur Maskierung müssen aber das Fehlen einer möglichen Verhaltensreaktion auf ein bestimmtes biologisch relevantes Signal bewerten. Ein experimenteller Ansatz zur Abschätzung dieser Effekte bei Orcas und Schiffslärm wurde von Bain und Dahlheim (1994) vorgelegt, ein anderer von Erbe et al. (2008) für Belugas. Bei den meisten anderen marinen Säugetierarten sind solche Versuche in Gefangenschaft entweder nicht möglich (Bartenwale, Pottwale, Schnabelwale) oder wurden noch nicht durchgeführt. Für eine Bewertung der Hörfähigkeiten verschiedener Tierarten müssen daher Quellpegel sowie die Ähnlichkeit des Frequenzgehalts und Lautstärke des übertragenen Signals sowie die Spektralanteile des Lärms berücksichtigt werden. Die Beziehungen und Auswirkungen unterscheiden sich, je nachdem ob der Sender durch eine nahegelegene Schallquelle oder der Empfänger maskiert wird.

Bei seismischen Airguns ist es wahrscheinlich, dass ein Maskierungspotential vorhanden ist, weil das Signal während der Übertragung über große Entfernungen gedehnt wird (Gedamke und McCauley 2010). Verhaltensänderungen wurden zum Beispiel bei Blauwalen dokumentiert, die kontrollierten Stimuli ausgesetzt wurden (Goldbogen et al. 2013). Solche kontrollierten Expositionsexperimente könnten ebenfalls zur Abschätzung von Maskierungseinflüssen eingesetzt werden.

Ein wichtiger Aspekt ist die Definition der Maskierung, da sich dies auf die durchgeführten Berechnungen auswirkt. Innerhalb des vorliegenden Projekts gilt folgende Definition: MASKIERUNG ist eine durch Lärm verursachte Erhöhung der Detektionsschwelle eines akustischen Signals. Im Endeffekt wird so das Signal-Rausch-Verhältnis (engl., signal-to-noise ratio (SNR)), das dem Tier zur Verfügung steht, reduziert. Solche *Neuronale Maskierung* (Maskierung im engeren Sinne) erfolgt dann, wenn in der Hörbahn dieselben Neuronen gleichzeitig sowohl das Signal, als auch das maskierende Geräusch, weiterleiten müssen. Eine Maskierung erfolgt dann unmittelbar und nur, wenn das Signal und das Geräusch ausreichend Überlappung in Zeit des Auftretens und dem Frequenzgehalt haben sowie das maskierende Signal (ungefähr) mindestens so laut wie das zu übermittelnde Signal ist. Da marine Säugetiere, wie alle anderen Wirbeltiere, zwei Ohren haben, erfolgt eine maximale Maskierung wenn die ungefähre Ausrichtung (Einfallswinkel) zur Lärmquelle und zum Signal sich ähnelt.

Außer der neuronalen Maskierung können auch andere Auswirkungen in eine Definition der *Maskierung im generellen (im weitesten Sinne)* aufgenommen werden. Zu diesen gehören der Stapediusreflex, neurale Anpassung, Aufmerksamkeitseffekte und sogar TTS. Der *Stapediusreflex* schützt das Tier vor Hörschäden durch eine laute Quelle jeglicher Frequenz, zum Beispiel vor den eigenen Vokalisationen des Tieres, indem die Fähigkeit, Oszillationen im Innenohr physisch zu übertragen, reduziert wird. Dies erfolgt über die schnelle Kontraktion des Stapediusmuskels, wodurch die Steifigkeit des Mittelohres erhöht wird. Ein Stapediusreflex erfolgt entweder kurz [ms] nach Beginn eines Impulsgeräuschs oder dann wenn das Tier das Geräusch erwartet (z. B. bei einem rhythmischen Geräusch) und wurde jüngst für Kegelrobben nachgewiesen (Götz et al. 2011). Der Effekt hebt sich mit einer Verzögerung von wenigen zehn Millisekunden wieder auf. *Neuronale Anpassung* ist dem Stapediusreflex ähnlich, erfolgt jedoch im Nervensystem und

ist auf die unempfindliche Zeit von Hörneuronen nach einer starken Stimulierung zurückzuführen. Diese erfolgt ebenfalls in einem Zeitraum von wenigen Millisekunden. Die *Aufmerksamkeit* von Tieren kann sich im Verlauf der Zeit reduzieren, z.B. wenn eine laute Geräuschquelle über einen längeren Zeitraum präsent ist und das Tier entweder seine Aufmerksamkeit von dem maskierenden Geräusch abwendet oder beginnt, seine Aufmerksamkeit auf das maskierende Geräusch zu richten, wodurch sich die Schwelle für den Empfang anderer Signale ändert und der mögliche Maskierungseffekt verstärkt wird. Die *Hörermüdung* im Sinne einer TTS kann zu einem längeren Zeitraum von erhöhten Detektionsschwellen von etwa Stunden oder sogar Tagen nach der intensiven Lärmexposition führen (Lucke et al. 2009). Es liegen Hinweise vor, dass eine TTS nicht vollständig reversibel ist (Kujawa & Liberman 2009; Lin et al. 2011) und zu direkter Zellschädigung führt. Dies bedeutet, dass es sich bei der TTS um eine Form von Maskierung und Verletzung handelt. Der Effekt liegt nicht im Fokus des vorliegenden Forschungsprojekts, kann aber erheblich sein, und muss bei der Bewertung der Zone von Hörverlust, Unwohlsein und Verletzung berücksichtigt werden.

Innerhalb des vorliegenden Berichts wird Maskierung als *neuronale Maskierung* (Maskierung im engeren Sinne) mit der Einschränkung diskutiert, dass wir derzeit den Einfluß verschiedener Einfallswinkeln zwischen Kommunikationssignal und Störsignal (Maskierer) nicht berücksichtigen können: Marine Säugetiere können einschätzen, aus welcher Richtung ein Schallsignal kommt, so dass es mit größer werdendem Winkel zwischen zwei Schallquellen einfacher wird die beiden Quellen zu separieren. Es sind derzeit keinerlei Daten vorhanden die eine Vorhersage über das Richtungshören von Bartenwalen ermöglichen.

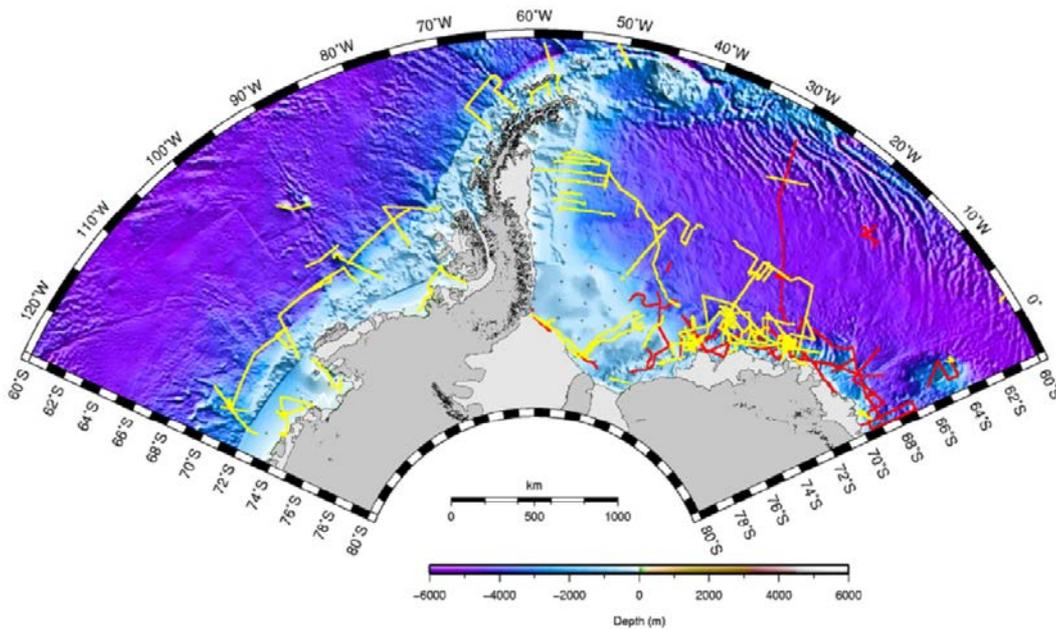
In gleicher Weise können die verwendeten Modelle keine Änderung des Verhaltens des Senders berücksichtigen. Zum Beispiel würde eine Änderung der Rufrate oder eine Anpassung des Quellpegels zu einer höheren Detektionswahrscheinlichkeit beim Empfänger führen. Würden zuverlässige Annahmen für die berücksichtigten Arten entwickelt werden, so könnten diese in einem zweiten Schritt des Modellierungsansatzes einfach umgesetzt werden.

Maskierung führt zu einer effektiven Verringerung des aktiven Kommunikationsraums von marinen Säugetieren. Dies kann auf einen erhöhten Hintergrundlärmpegel, andere natürliche Geräuschquellen wie Sedimentgeräusche in flachen Gebieten und natürlich auf anthropogene Geräuschquellen wie Schiffslärm oder möglicherweise seismische Airguns zurückzuführen sein. Wenn Tiere in der Lage sind, Geräusche unterhalb des natürlichen Hintergrundlärmpegels im Meer wahrzunehmen, dann wird ihr aktiver Kommunikationsraum durch den Hintergrundlärmpegel limitiert und kann selbst unter natürlichen Umständen variieren. Die vorliegende Modellierung untersucht die potentiell weitreichenden Maskierungseffekte von seismischen Airguns auf marine Säuger der Antarktis.

3.5 Verwendung von Airguns zu wissenschaftlichen Zwecken Deutschlands in dem Gebiet des Antarktisvertrages

Vermessungen, bei denen zur seismischen Erkundung Schüsse aus Hochdruck-Airguns eingesetzt werden, wurden vom Forschungsschiff R/V Polarstern in der AV-Region während eines Zeitraums von 22 Jahren von 1985/86 bis 2007 durchgeführt (Boebel et al. 2009). Es erfolgten vierzehn Forschungsfahrten südlich von 60°S mit einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 310 Stunden, bei denen im Mittel 74.476 Schüsse auf einer Transekt-Durchschnittslänge von 1.829 km je Fahrt abgegeben wurden (Boebel et al., 2009). Die hauptsächlichen Zielgebiete während dieser Fahrten waren die Amundsen-, Bellingshausen- und Weddellmeere (Abb. 3-6).

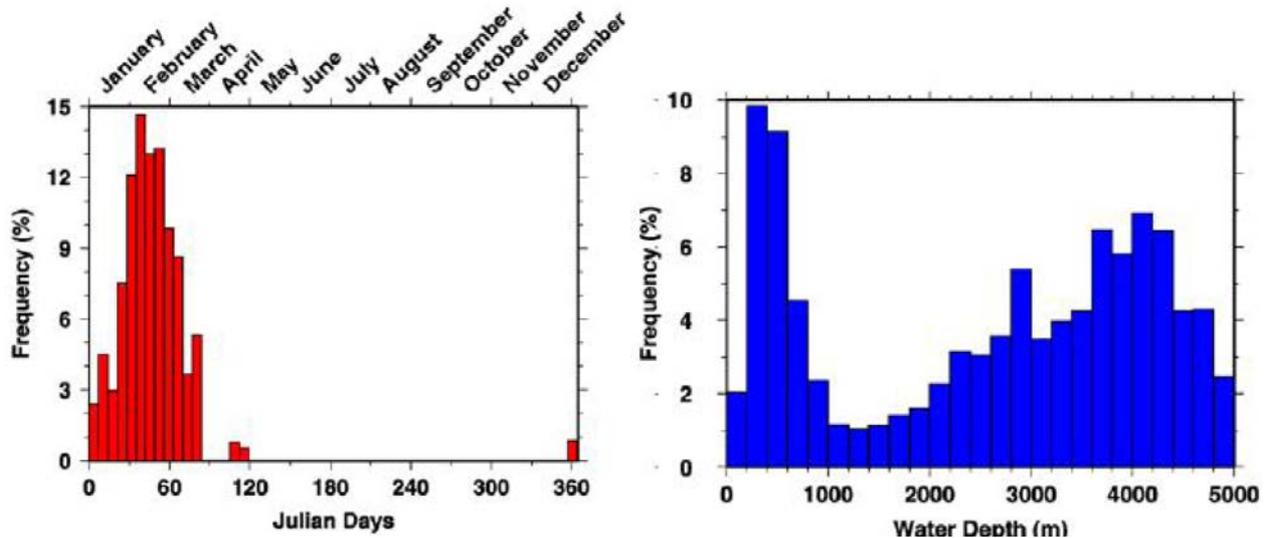
Abb. 3-6 Seismische Untersuchungen der R/V Polarstern von 1985 bis 2007



Vermessungen wurden vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (gelbe Linien) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (rote Linien) durchgeführt. Aus Boebel et al. (2009).

Messungen wurden überwiegend in einer Wassertiefe von über 4.000 m durchgeführt. Die folgenden Angaben dieses Kapitels sind aus Boebel et al. (2009) übernommen. Die längste Fahrt fand im Südsommer 1996/97 mit einer Profillänge von 4.415 km, ca. 477 Betriebsstunden und 114.414 Schüssen statt. Die geschätzte Gesamtzahl der Schüsse im Amundsen-/Bellingshausenmeer auf Basis eines Schussintervalls von 15 s und einer Fahrgeschwindigkeit von 15 Knoten betrug 189.593. 656.735 Schüsse wurden für das Weddellmeer errechnet. Seismische Arbeiten werden während des Südsommers durchgeführt, wenn Treibeis kein erhebliches Risiko für das Forschungsgerät darstellt. Die Messungen im Weddellmeer wurden von Ende Dezember bis Ende März durchgeführt, und die Arbeiten im Bellingshausen- und Amundsenmeer erfolgten von Januar bis Ende April. Fast alle Messaktivitäten konzentrierten sich auf die Julianischen Tagen 0 bis 90 (Abb. 3-7, links). Was die Wassertiefe anbelangt, so zeigt der Airgunereinsatz eine klare Präferenz für die Tiefen zwischen 200 und 600 m und 2.200 und 4.800 m (Abb. 3-7, rechts).

Abb. 3-7 Links: Saisonaler Einsatz von Airguns in der Antarktis durch die R/V Polarstern in den Bellingshausen-/Amundsen- und Weddellmeeren; rechts: Wassertiefenverteilung während seismischen Messungen der R/V Polarstern; beide aus Boebel et. al. (2009)



Seismische Airguns erzeugen Signale, die sich über weite Entfernungen ausbreiten, obwohl nur der Anteil des Signals direkt unter dem Forschungsschiff zu wissenschaftlichen Experimenten und zur geophysikalischen Erkundung genutzt wird. Airguns erzeugen tieffrequente Geräusche, die mit den bevorzugten Frequenzbändern einiger Bartenwal Arten überlappen. Die potentielle schädliche Wirkung von Airguns in geringen Entfernungen wurde mehrfach diskutiert (e.g. Gordon et al. 1998; Yazvenko et al. 2007; Erbe und King 2009; Breitzke und Bohlen 2010). Maskierung, als weiträumiger Effekt, wurde bisher nur teilweise in diesen Untersuchungen und Umweltverträglichkeitsstudien berücksichtigt und nur wenige Studien haben sich direkt mit den potentiell schädlichen Auswirkungen in diesen Entfernungen beschäftigt.

Airgun-Signale, die häufig an der Wasseroberfläche reflektiert werden und in Schallkanälen gebeugt werden, können über dem Hintergrundrauschen noch in erheblichen Entfernungen im Wasser gehört werden (Urick 1983). Durch eine Signaldehnung ändert sich der Frequenzbereich und die Länge des Zeitsignals in höheren Entfernungen - die Geräusche können dann die Gesamtdauer der Pause zwischen zwei Airgun-Schüssen überdecken. Also kann der impulsive Schall der Airgun kontinuierliche Eigenschaften in hoher Entfernung von der Quelle haben und somit zu einer allgemeinen Erhöhung des Hintergrundschalls beitragen. Kontinuierliche Geräusche können dann zu einer Maskierung der Kommunikation mariner Säugetiere beitragen, wenn sie über der Hörschwelle der Tiere liegen.

Innerhalb dieser Studie versuchen wir zu ermitteln in welcher Distanz kontinuierliche Geräusche zu erwarten sind. Außerdem untersuchen wir die Maskierungspotentiale von *pulsierendem*, *unterbrochenem* und *kontinuierlichem* Lärm der Airguns.

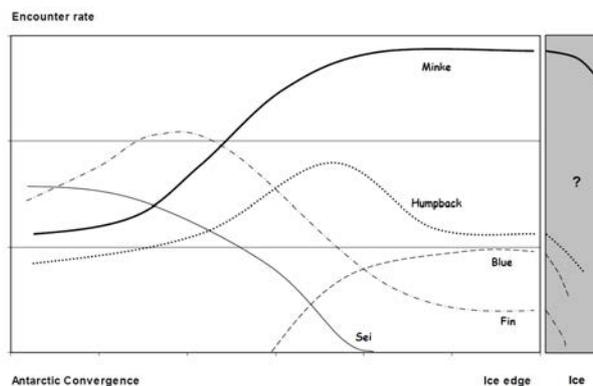
4 Antarktische Marine Säugetiere

Diese Literaturstudie trägt Wissen zu antarktischen Arten auf der Basis von drei zentralen Dokumenten zusammen. Bei diesen handelt es sich um die sechs Bände des *Handbook of Marine Mammals* (Handbuch der marinen Säuger), editiert von Ridgway & Harrison, die Enzyklopädie der marinen Säugetiere (*Encyclopedia of Marine Mammals*, 2009), editiert von Perrin, Würsig & Jefferson und der Forschungsüberblick von Gill und Evans (2002). Aktuellere Informationen werden insbesondere bezüglich der Vokalisation, Abundanz und Verbreitung berücksichtigt. In diese Artenbeschreibungen wurden die Mysticeti (Bartenwale), die Odontoceti (Zahnwale) und Pinnipediae (Robben) aufgenommen.

4.1 Bartenwale (Mysticeti)

Im Rahmen dieses Überblicks haben wir Blauwale (*Balaenoptera musculus*), Finnwale (*B. physalus*), Seiwale (*B. borealis*), Südliche Zwergwale (*B. bonaerensis*) und Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*) aus der Familie *Balaenopteridae* und Südkaper (*Eubalaena australis*) aus der Familie *Balaenidae* berücksichtigt. Überwiegend subantarktische Arten wie Nördliche Zwergwale (*B. acutorostrata*) und Zwergglattwale (*Caperea marginata*) werden, wenn zutreffend, lediglich innerhalb des Profils der vorherrschenden Arten berücksichtigt, da nur sehr geringe Kenntnisse über sie vorliegen (Leaper et al., 2008a) und die Überlappung mit den seismischen Aktivitäten der ‚Polarstern‘ wahrscheinlich geringfügig ist. Alle diese Arten sind weltweit verbreitet und finden sich in den Gewässern südlich von 60° S. Es zeigen sich große Unterschiede im Verhältnis zur Lage des Meereisrands, wobei Zwergwale den Eisrand bevorzugen, während Finn- und insbesondere Seiwale diese Region eindeutig vermeiden (Abb. 4-1).

Abb. 4-1 Auftreten von Mysticeti in der Antarktis im Verhältnis zum Eis Rand



Aus Leaper et al. (2008a) adaptiert nach Kasamatsu et al. (1996).

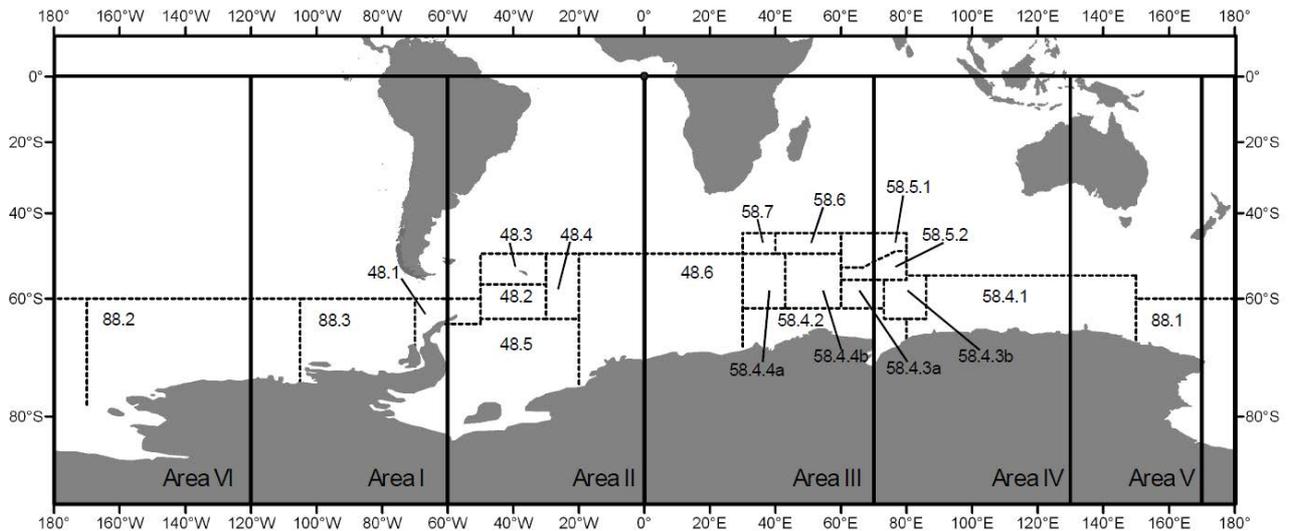
Die aktuellsten Daten zu Auftreten und Abundanz von Walen in der Antarktis wurden von Kasamatsu et al. (1996) und Leaper et al. (2008a) veröffentlicht. Sie fassen hauptsächlich Bestandserhebungen und Fangdaten zusammen⁶, die (zum Teil) vom Büro für internationale Walfangstatistik für die IWC und CCAMLR gesammelt worden waren. Zur Darstellung der geografi-

⁶ Daten aus: International Decade for Cetacean Research (IDCR), Southern Ocean Whale and Ecosystem Research (SOWER), CCAMLR 2000 Survey, Southern Ocean Global Ocean Ecosystems Dynamics (SO-GLOBEC), Forschungsprogrammen auf nationaler Ebene und Japanese Whale Research Program Under Special Permit in the Antarctic (JARPA)

schen Verbreitung wurde das Gebiet in Bewirtschaftungs- oder statistische Gebiete aufgeteilt (Leaper et al., 2008a) (Abb. 4-2).

Mysticeti wurden bis in die sechziger Jahre in der südlichen Hemisphäre massenhaft gejagt (Boyd, 2009a; Gambell, 1993; Leaper et al., 2008a). Für manche Arten wie die Südkaper kann eine Bestandserholung dokumentiert werden (Best, 1993), für andere ist diese jedoch noch ungewiss.

Abb. 4-2 Bewirtschaftungs- oder statistische Gebiete der IWC

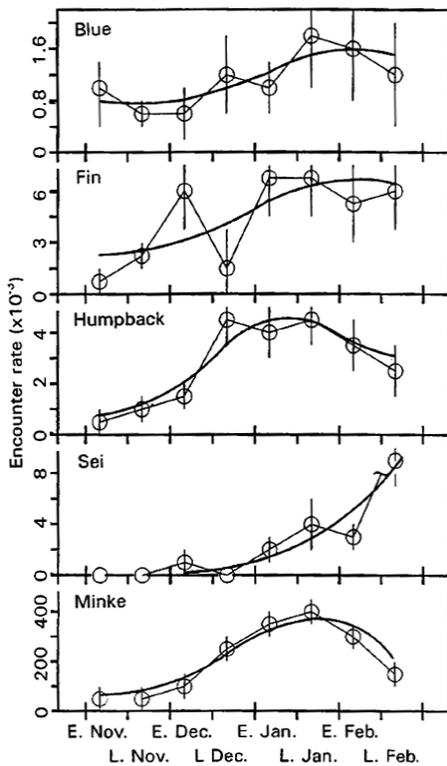


Bewirtschaftungs- oder statistische Gebiete der IWC innerhalb der Antarktis (durchgezogene Linien) und CCAMLR (punktierter Linien), aus Leaper et al. (2008a) reproduziert. Für diese Studie sind Gebiete I und II sowie 88.2 (einschließlich Amundsenmeer), 88.3 (Bellingshausenmeer), 48.1 (Bereich zwischen Bellingshausen- und Weddellmeer) und 48.5 (Weddellmeer) am wichtigsten.

Da Bestandserhebungen kaum durchgeführt werden und bei manchen Arten keine ausreichenden Kenntnisse zur Verbreitung vorliegen, berücksichtigen wir die in Kaschner et al. (2006) beschriebenen und mit neueren Daten aktualisierten Habitatmodelle. Diese Modelle sagen die Wahrscheinlichkeit der Habitateignung auf Basis von bekannten Umweltbedingungen (Temperaturen, Tiefe, Entfernung zum Land und anderen) voraus. Karten und Daten zur Habitateignung finden sich unter <http://www.sealifebase.org/>.

Verschiedene Arten von Bartenwalen weisen in visuellen Bestandserhebungen deutliche Unterschiede in den Antreffraten (Encounterrate) auf, wobei sie von Mitte Dezember bis Mitte Februar am häufigsten beobachtet wurden (Abb. 4-3; Kasamatsu et al., 1996).

Abb. 4-3 Saisonales Auftreten von antarktischen Bartenwalen.



Offene Kreise mit vertikalen Linien geben die Encouerraten auf Halbmonatsbasis und ihre Standardfehler an. Durchgezogene Linien zeigen den gleitenden Durchschnitt der Encouerraten auf Halbmonatsbasis an (aus Kasamatsu et al., 1996).

4.1.1 Blauwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Mysticeti

Familie Balaenopteridae

Art *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758)

Unterart Antarktischer Blauwal *B. m. intermedia*

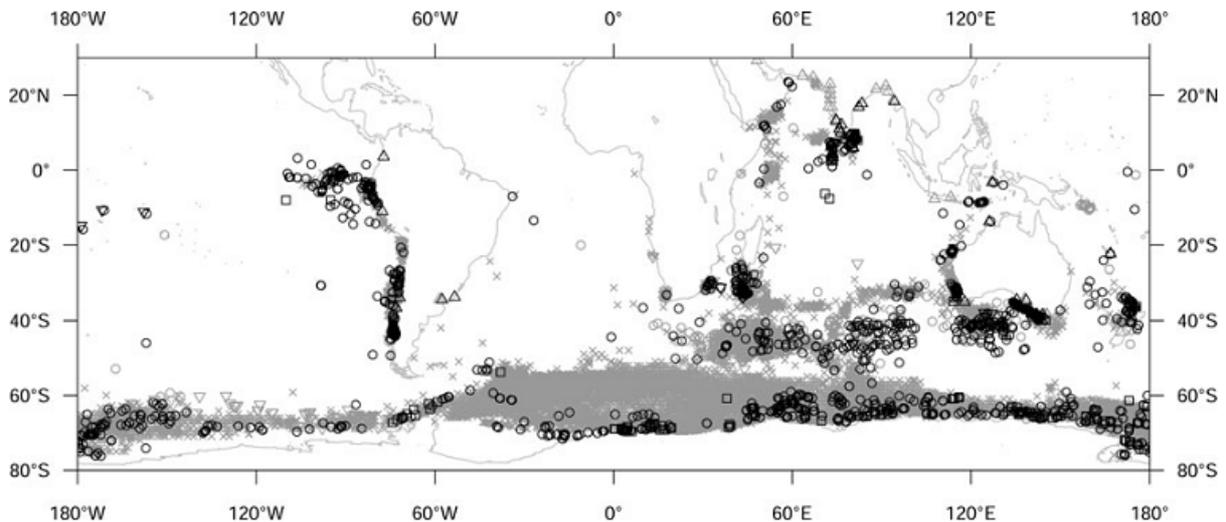
Zwerg-Blauwal *B. m. brevicauda*

Blauwal *B. m. musculus* (Nördliche Hemisphäre)

Blauwale sind weltweit verbreitet (Sears und Perrin, 2009), und ihr Wanderverhalten ist anscheinend sehr unterschiedlich (Reilly et al., 2008a). Von den drei als *B. m.* bezeichneten Unterarten ist *intermedia* die größte. Unterschiede zwischen *B. m. intermedia* und *B. m. brevicauda* wurden innerhalb der verfügbaren Fanginformationen gefunden, was nahelegt, dass Zwerg-Blauwale in niedrigen Breitengraden beobachtet wurden und möglicherweise im südlichen Hochsommer von Antarktischen Blauwalen geografisch getrennt sind, da die zu dieser Zeit in nördlicheren Gewässern angetroffen werden, (Kato et al., 1995). Die Unterarten sind allgemein akzeptiert, obwohl wissenschaftliche Nachweise z.T. noch keine abschließende Klärung erbracht haben (Sears und Perrin, 2009). Durch ihre Analysen von Walfangdaten und genetischer Forschung erbrachten Branch et al. (2007, 2009) und Sremba et al. (2012) einen Teil dieser Nachweise. Zwerg-Blauwal

Aufzeichnungen finden sich in weniger als einem Prozent der Sichtungen südlich von 52°S (Branch et al., 2007; Branch, 2006a), folglich ist die Bewertung dieser Art innerhalb dieses Projekts keine primäre Aufgabe. Dennoch weisen historische Fangdaten darauf hin, dass Zwerg-Blauwal e recht häufig südlich von 60°S gefangen wurden (Review in Gill und Evans (2002)).

Abb. 4-4 Verbreitung von Blauwalen

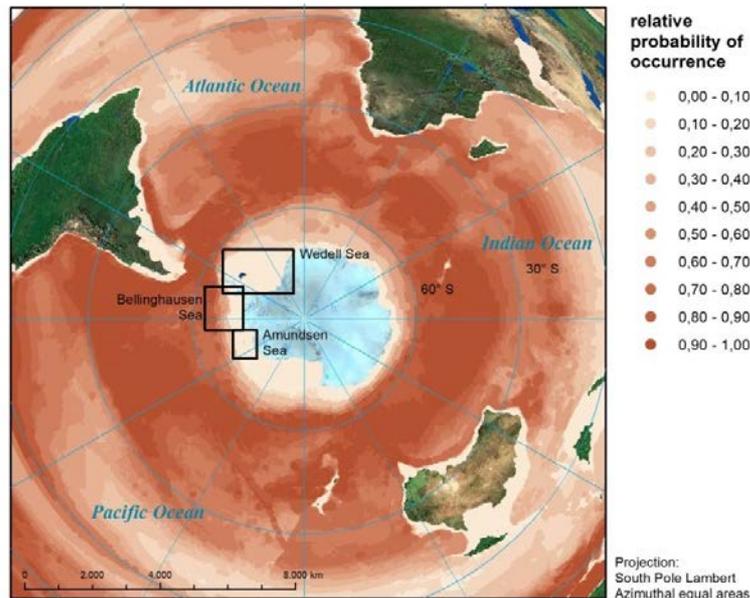


Verbreitung von Blauwalen in allen Monaten auf der Basis von Fängen (x), Sichtungen (O), Strandungen (Δ), akustischen Aufzeichnungen (□) und Kennzeichnungspositionen (individuelle Markierung) (∇). Grau - Positionen bis 1973; schwarz - Positionen nach 1973 (Branch et al., 2007).

Die natürliche Abundanz von Antarktischen oder echten Blauwalen vor dem Walfang wurde auf 239.000 Tiere (202.000 bis 311.000) geschätzt und fiel bis 1973 auf 360 Tiere (150 bis 840) ab (Branch et al., 2004). Branch et al. (2004) zeigten ebenfalls, dass die Population aller Wahrscheinlichkeit nach zwischen 1968 bis 2001 mit einer Rate von 7,3 % pro Jahr angewachsen ist. Dies entspricht Feststellungen von Matsuoka et al. (2006). Die jüngste Abundanzschätzung von 2.249 Tieren (95 % CI 1,140 bis 4.000; Branch, 2007a) zeigt, dass der Antarktische Blauwal gegenwärtig einen Bestand von ca. einem Prozent seiner ursprünglichen Populationsgröße vor der Zeit des Walfangs aufweist.

B. m. intermedia unternimmt nicht nur lange Wanderungen zwischen ihren Nahrungsgründen im Bereich der Antarktis (im Südsommer von Oktober bis April) und ihren Fortpflanzungsgründen im Südwinter, sondern auch entlang der Längengrade. Fortpflanzungsgründe befinden sich vermutlich nördlich von 50°S, wie von Gill und Evans (2002) sowie Yochem und Leatherwood (1985) diskutiert und von Branch (2007a) und Leaper et al. (2008a) für Regionen um Südafrika, im tropischen Ostpazifik, nördlichen Indischen Ozean, Südwestaustralien und nördlich von Neuseeland dargestellt. Rufe, die vor der westlichen antarktischen Halbinsel im Winter langanhaltend zu hören sind, weisen auf eine ganzjährige Präsenz von Antarktischen Blauwalen hin (širović et al., 2004, 2009). Die höchsten Antreffraten wurden zwischen 66 und 70°S aufgezeichnet (Kasamatsu et al., 1996).

Abb. 4-5 Karte der modellierten Verbreitung von Blauwalen im Südlichen Ozean⁷ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Während des Walfangs erfolgten die meisten Fänge innerhalb der antarktischen Polarfront. In jüngerer Zeit finden sich Antarktische Blauwale jedoch häufiger in der Nähe von Packeis (Leaper et al., 2008a). Dies könnte an dem erhöhten Beobachtungsaufwand in den letzten Jahren in den niedrigen Breiten südlich von 60° S liegen (Leaper et al., 2008a), aber auch mit höheren Krillabundanz assoziiert sein (Branch et al., 2007): Blauwale fressen Krill, vorwiegend *Euphausia superba*, sowie anderes krebstierartiges Zooplankton des Mesopelagial (Branch et al., 2007). Murase et al. (2002) berichteten über Sichtungen von Blauwalen in der Nähe des Eisrands, wo eine hohe Krillabundanz vorliegt. Die einzigen Prädatoren von Blauwalen sind höchstwahrscheinlich Große Schwertwale (Sears und Perrin, 2009). Es liegen jedoch nur wenige Berichte von Einzelnachweisen vor (Tarpy 1979 in Yochem und Leatherwood, 1985; Pitman et al. 2007b; zusammengefasst in Ford und Reeves 2008).

Blauwale wandern allein oder in Paaren, aber in Gebieten hoher Produktivität können Gruppen von 50 oder mehr Tieren auftreten (Sears und Perrin, 2009). Blauwale sind als "stark gefährdet A1 (abd)" in der Roten Liste der IUCN eingestuft (Reilly et al., 2008a). Die Populationsstruktur ist weiterhin unklar, jedoch wurden auf der Basis von regionalen Unterschieden des Walgesangs Indexe entwickelt, die über einen Zeitraum von über 30 Jahren große Stabilität nachweisen (McDonald et al., 2006). Das Habitateignungsmodell (Abb. 4-5) zeigt eine zirkumpolare Verbreitung, wobei das Bellinghousenmeer hohe Eignung und das Weddell- und Amundsenmeer, über-

⁷ computer-generierte Karte der modellierten Verteilung von *Balaenoptera musculus* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 27. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Korrelation mit dem bekannten Auftreten der Art. Modifizierung von Temperatur- und Salinitätsbereich zur Erfassung der Verbreitung dieser Art. Prognostizierte Präsenz im Roten Meer, Ochotskischen Meer, Japanischen Meer, in der nördlichen Beringsee und Beaufortsee nicht durch veröffentlichte Daten unterstützt. Prognosen stellen einen Kompromiss zwischen Sommer- und Winterverbreitung dar, und es besteht möglicherweise ein Unterschied in der Habitatnutzung in verschiedenen Meeren (weniger nah am Eisrand in der nördlichen Hemisphäre?). Prognosen würden durch die Verwendung von saisonalen Prognosen verbessert. 21.11.2009, Kristin Kaschner

einstimmend mit Beobachtungsdaten (Abb. 4-4) von Branch et al. (2007), eine niedrige Eignung aufweisen.

Blauwale nutzen unterschiedliche *Gesänge* (Tab. 4-1 Parameter der Vokalisation von Blauwalen). Gesänge werden von verschiedenen Gruppen genutzt und die Vokalisationen können saisonal variieren. Zum Singen benutzen sie stereotypische regelmäßig wiederholte Geräuschtypen. Im Gegensatz dazu benutzen sie zum *Rufen* in unregelmäßigen Abständen individuelle, transiente Signale (McDonald et al., 2006). Ihre Gesänge scheinen sich auch im Verlauf der Zeit graduell zu verändern (Gavrilov et al., 2011, 2012). Blauwale (vorwiegend *B. m. intermedia* aber auch *brevicauda*) reagieren auf tieffrequenten Schall wie z.B. auf aktive Signale (Aburto et al., 1997), Mittelfrequenzsonare (Melcón et al., 2012; Goldbogen et al. 2013) und seismische Messungen (Dilorio und Clark, 2009). Es wurde geschätzt, dass Rufe Antarktischer Blauwale bis zu einer maximalen Entfernung von 80 bis 200 km (Samaran et al., 2010) festgestellt werden können. Bei Zwerg-Blauwalen betrug diese Entfernung bis zu 300 km, die meisten Rufe stammten jedoch aus einer Entfernung von etwa 70 km (Samaran et al., 2010). Diese Ergebnisse entsprechen den Feststellungen von Širović et al. (2007) für Antarktische Blauwale (Reichweite 200 km) und Stafford et al. (1998) für Nördliche Blauwale.

Tab. 4-1 Parameter der Vokalisation von Blauwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
moans	12-390 12-400	 12-25	16-25	 188	Cummings und Thompson, (1971, 1994); Edds (1982); Stafford et al. (1994) Wartzok und Ketten, (1999)
clicks	6,000-8,000 21,000-31,000		6,000-8,000 25.000	130,159	Beamish und Mitchell (1971); Beamish (1979)
downswept tones (calls)	16-100		80-30	188	McDonald et al. (2006b)
calls (multiple parts) A part (AM) B part (downsweep) part (FM) part (up-sweep)	9-90 28 28-19 19-16 60-45	20,25,31.5			Cummings und Thompson, (1971) McDonald et al. (2001) Mellinger und Clark, (2003) McDonald (2006b)
arch sound	70-35				Mellinger und Clark, (2003)
Southern Ocean blue	16-28			189	Širović et al. (2004) Stafford et al. (2004)

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

whale song					McDonald et al. (2006b) Širović et al. (2007)
------------	--	--	--	--	--

4.1.3 Finnwal

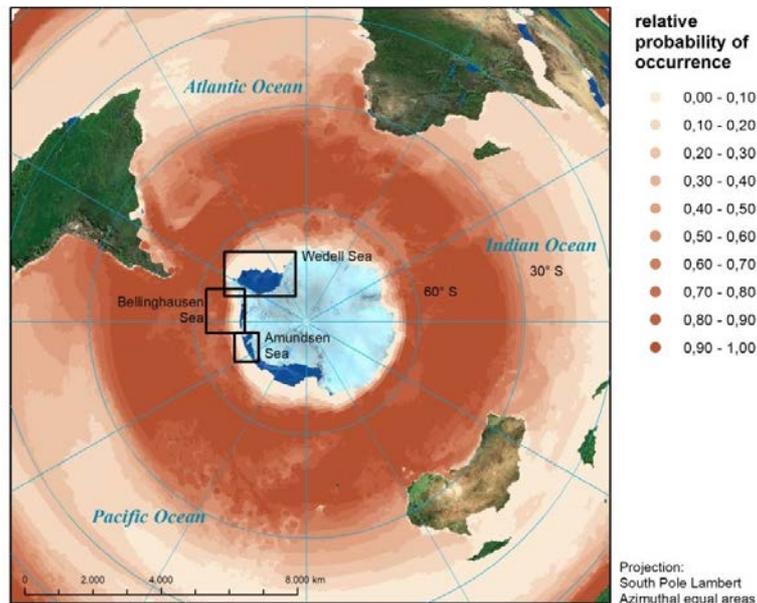
Ordnung	Cetacea
Unterordnung	Mysticeti
Familie	Balaenopteridae
Art	<i>Balaenoptera physalus</i>

Es lassen sich zwei Formen von Finnwalen unterscheiden, *Balaenoptera physalus physalus* in der nördlichen Hemisphäre und *Balaenoptera physalus quoyi* in der südlichen Hemisphäre. Diese Unterteilung ist wahrscheinlich auf eine genetische Isolation von Tieren in den nördlichen und südlichen Hemisphären und ihr wechselndes saisonales Wanderverhalten zurückzuführen. *B. P. quoyi* weist eine zirkumpolare Verbreitung in einem größerem Abstand zum Eisrand auf, als Blau- und Zwergwale. Die Habitatsignung (Abb. 4-6) für diese Art scheint im Bellingshausenmeer hoch zu sein, nicht jedoch im Weddell- und Amundsenmeer.

Während des Südsommers ist das Vorkommen von Finnwalen südlich der antarktischen Konvergenz zum Eisrand hin seltener. Im südlichen Pazifik finden sich die höchsten Dichten zwischen 58°S und 62°S, im Atlantik verschiebt es sich nach Norden mit Ausnahme der Spitze der Antarktischen Halbinsel (Gill und Evans, 2002; Kasamatsu et al., 1996). Im Südwinter wandern die Tiere möglicherweise nach Südafrika (Reilly et al., 2008b). Finnwale fressen im Sommer und fasten und vermehren sich während der Wintermonate (Aguilar, 2009). Gemäß einer Studie von Laws (1961), zitiert in Gill und Evans (2002), werden die Wanderungen von schwangeren Weibchen initiiert. Ihnen folgen sukzessive die adulten Männchen, ruhenden Weibchen und zuletzt die nicht geschlechtsreife Tiere. Sie scheinen länger in der Antarktis zu verweilen als Blau- und Seiwale, und ältere Tiere wandern möglicherweise noch weiter südlich (Gambell, 1985a).

Finnwale orientieren sich während ihrer Wanderung möglicherweise an dem geomagnetischen Erdfeld (Walker et al., 1992). Sie wandern allein oder in kleinen Gruppen von normalerweise bis zu zwei, weniger häufig bis zu sieben Tieren. In Gebieten hoher Produktivität können jedoch größere Ansammlungen festgestellt werden. In den Nahrungsgründen mischen sich Schulen von Finnwalen häufig mit Blauwalen. Dies führt gelegentlich zu zwischenartlicher Konkurrenz und Kreuzungen. Es existiert eine starke soziale Bindung zwischen Kühen und ihren Kälbern (Aguilar, 2009). Die einzigen Prädatoren von Finnwalen sind Große Schwertwale (*Orcinus orca*). Finnwale zeigen häufig Narben von Angriffen, überleben sie jedoch häufig, wahrscheinlich aufgrund ihrer Fähigkeit hohe Schwimmgeschwindigkeiten zu erreichen und beizubehalten (Aguilar, 2009). In der südlichen Hemisphäre ernähren sich Finnwale hauptsächlich von Krill, *Euphausia vallentini*. Ihre Nahrung ändert sich jedoch mit der Jahreszeit und Region, und sie erbeuten auch andere Planktonkrebse (Aguilar, 2009).

Abb. 4-6 Karte der modellierten Verbreitung von Finnwalen im Südlichen Ozean⁸ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Schätzungen der Abundanz vor dem Walfang sind sehr unbestimmt, jedoch halten Gambell (1985a) eine Anzahl von 490.000 Tieren vor Beginn des 20. Jahrhunderts für die südliche Hemisphäre für wahrscheinlich. Weltweit beläuft sich die aktuelle Schätzung auf 84.000 und südlich von 60° S liegen jüngste Schätzungen zwischen 4.300 (CV = 0,46) und 8.800 (CV = 0,56) Tieren, je nach den Annahmen der Datenauswertung (Branch und Butterworth, 2001, und Leaper et al., 2008a). Finnwale sind als „stark gefährdet A1 (abd)“ in der Roten Liste der IUCN aufgeführt (Reilly et al., 2008a).

Finnwale sind vokal aktiv und benutzen ihre relativ einfachen Töne zur sozialen Interaktion (Tab. 4-2 Parameter der Vokalisation von Finnwalen, Aguilar, 2009; Clark, 2002; Croll et al., 2002; Simon et al., 2010). Eine besondere Charakteristik sind pulsierte Töne im 20 Hz Frequenzbereich (Thompson et al., 1992; Watkins et al., 1987). Castellote et al. (2010, 2012) wiesen nach, dass Finnwale ihre Lautäußerungen, während sie Schiffslärm und Airgunsignalen ausgesetzt sind, durch Verkürzen und Verringern der Bandbreite der 20 Hz Töne ändern, während gleichzeitig eine wahrscheinlich länger anhaltende Vergrämung auftritt. Die Gesänge von Finnwalen wurden von Nieukirk et al., (2012) während seismischen Messungen über einen langen Zeitraum von über einem Jahr aufgenommen, was darauf schließen lässt, dass die Tiere über lange Zeit sehr lauten Geräuschen ausgesetzt wurden.

⁸ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Balaenoptera physalus* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen (siehe unten): Gute Übereinstimmung mit der bekannten Verbreitung der Art. Geringfügige Modifizierung von Salinitäts- und Temperaturbereichen zur Erfassung der maximalen Revierausdehnungen dieser Art. Vorhergesagtes Auftreten stellt einen Kompromiss zwischen Sommer- und Winterverbreitung dar. Die von dieser Art bevorzugte Temperatur reicht von polaren zu warmen gemäßigten Gewässern, ein Auftreten in tropischen Gewässern ist selten. Wahrscheinlich falsche prognostizierte Abwesenheit von der Ostsee und falsche prognostizierte Präsenz in der Hudson-Bucht. 10.09.2009, Kristin Kaschner

Tab. 4-2 Parameter der Vokalisation von Finnwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
moans, down-sweeps	14-118	20	20	160-186	Watkins (1981a); Watkins et al. (1987); Edds (1988); Cummings und Thompson (1994)
moans	16-750	20		160-190 ^e	Wartzok und Ketten, (1999)
constant call	20-40				Edds (1988)
moans, tones, up-sweeps	30-750			155-165	Watkins (1981b); Cummings et al. (1986); Edds (1988)
rumble	10-30	<30			Watkins (1981b); Edds (1988)
whistles?, chirps?	1,500-5,000		1,500-2,500		Thompson et al. (1979)
clicks?	16,000-28,000				Thompson et al. (1979)
pulse	40-75 90 18-25 28-15	20		189	Wartzok und Ketten, (1999) Širović et al. (2004); Širović et al. (2007)
ragged pulse	<30				Wartzok und Ketten, (1999)

? Bezeichnet unregelmäßige Aufnahmen und/oder fragliche Zuordnung zur Art

4.1.4 Seiwale

Ordnung Cetacea

Unterordnung Mysticeti

Familie Balaenopteridae

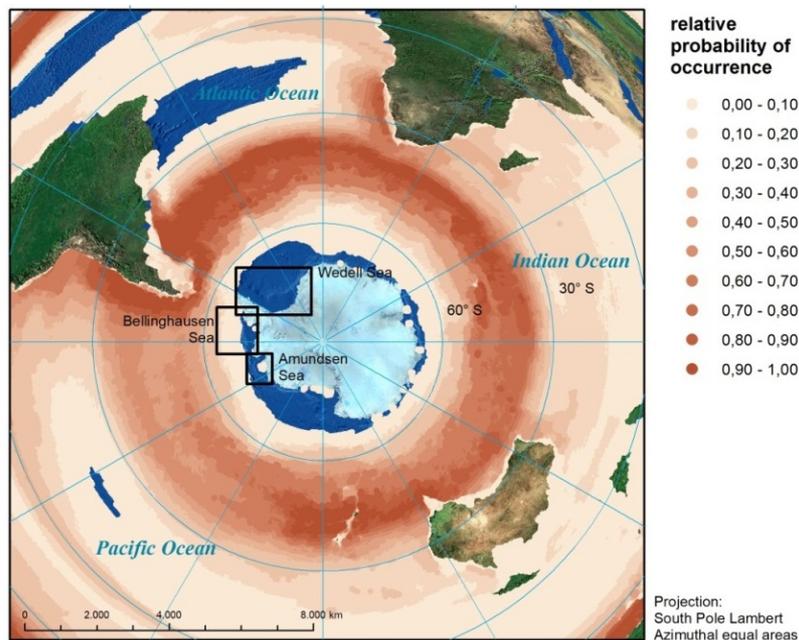
Art *Balaenoptera borealis*

Seiwale kommen in allen ozeanischen Becken vor, jedoch weniger häufig in küstennahen Gebieten (Abb. 4-7 Karte der modellierten Verbreitung von Seiwalen im Südlichen Ozean, ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche. Horwood, 2009). Sie verbringen den Südsommer in der Antarktis und wandern im Winter wieder in ihre Kalbungsgründe. In der Antarktis treffen sie später ein als die anderen Bartenwale, mit einem vermehrten Auftreten ab Januar (Kasamatsu et al., 1996). Sie wandern auch nicht so weit nach Süden wie Blau- oder Zwergwale, sondern bleiben hauptsächlich nördlich und nahe der antarktischen Konvergenz (Horwood, 2009). Im Gegensatz zu anderen Bartenwalen, die lange Wanderungen zwischen Nahrungs- und Kalbungshabitaten unternehmen, konnten gene-

tische oder morphometrische Unterschiede zwischen Seiwalen aus den nördlichen und südlichen Hemisphären bisher nicht festgestellt werden (Kanda et al., 2006).

Seiwale, wie alle anderen großen Wale, wurden während der Zeit des Walfangs stark dezimiert. Ihre Zahl in der südlichen Hemisphäre wurde auf ursprünglich 100.000 Tiere (Horwood, 2009) oder sogar 150.000 bis 225.000 (Leaper et al., 2008a) geschätzt. Schätzungen für Finnwale der für Walfang gesetzlich vorgeschriebenen Mindestgröße (beruhend auf japanischen Walfangsdaten und Erkundungsfahrten) zeigen eine sinkende Bestandszahl von 64.000 Tieren (1960) auf 11.000 Tiere (1979) exklusive des Atlantischen Areals (Leaper et al. 2008a).

Abb. 4-7 Karte der modellierten Verbreitung von Seiwalen im Südlichen Ozean⁹ ausschließlich braun bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Sei-, Grau- und wahrscheinlich Zwergwale können in Gebieten mit niedrigerer Beutedichte sehr nah unter der Wasseroberfläche Nahrung aufnehmen, indem sie die Oberfläche mit feinen Randfasern an den Bartenplatten abschöpfen (Gambell, 1985b). Sie ernähren sich von Ruderfußkrebse (Copepoda) und Leuchtkrebse (Euphausiiden), aber auch Fischschwärmen und Tintenfisch (Gambell, 1985b; Horwood, 2009). Gewöhnlich wandern sie in kleinen Gruppen von etwa sechs Tieren, es können aber auch größere Konzentrationen von 20 bis 100 Tieren in Nahrungsgründen beobachtet werden (Gambell, 1985b; Horwood, 2009).

Seiwale sind als „stark gefährdet A1 (abd)“ in der Roten Liste der IUCN aufgeführt (Reilly et al., 2008a).

⁹ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Balaenoptera borealis* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Modifizierte SST-Hüllkurve, um das gemäßigte Auftreten dieser Bartenwalart widerzuspiegeln. Verlängerte Primärproduktion-Hüllkurve, da Art als Filtrierer wahrscheinlich direkt mit Gebieten hoher Primärproduktion verbunden ist. Jedoch ist die Art als migratorisch bekannt und die prognostizierte Verbreitung stellt einen Kompromiss zwischen Sommer- und Winterauftreten dar und erfasst somit möglicherweise nicht die nördlichsten und südlichsten Revierausdehnungen akkurat. Kristin Kaschner

Baumgartner und Fratantoni (2008) verknüpften die vokale Aktivität von Seiwalen mit einer vertikalen Migration eines wichtigen Beutetiers, dem *Calanus finmarchicus* (Ruderfußkrebs). Seiwale wiesen tagsüber eine vermehrte vokale Aktivität auf, wenn *C. finmarchicus* für die an oberflächennahes Fressen angepassten Wale schwieriger zu erbeuten sind, während *C. f.* in größeren Tiefen möglicherweise schwerer zu fangen sind.

Tieffrequente „downsweeps“ unter 100 Hz wurden Seiwalen im nördlichen Atlantik zugeschrieben (Baumgartner et al., 2008). In antarktischen Gewässern erzeugten Seiwale ebenfalls frequenzmodulierte Rufe (McDonald et al., 2005). Etwa die Hälfte der aufgenommenen tonalen Frequenzmodulationen setzen sich aus mehreren Teilen mit einer Frequenzstufe zusammen. Während eines Experiments im Nordatlantik erzeugten Seiwale Rufe mit hohen Amplituden, die zur passiven akustischen Lokalisation über große Entfernungen hinweg benutzt werden können (Newhall et al., 2012). Wale erzeugen Signale hauptsächlich paarig in mittlerer Wassertiefe und nutzen wahrscheinlich die längeren Empfangsreichweiten im Schallkanal (Tab. 4-3 Parameter der Vokalisation von Seiwalen).

Tab. 4-3 Parameter der Vokalisation von Seiwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
fm sweeps	1,500-3,500	3000			McDonald et al. (2005); Wartzok und Ketten (1999)
broadband calls (growls und whoosh)	100-600				McDonald et al. (2005)
tonal und up-sweep calls	200-600			156	McDonald et al. (2005)
downsweeps	100-44 82-34 39-21				Rankin und Barlow (2007); Baumgartner et al. (2008)

4.1.5 Südlicher Zwergwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Mysticeti

Familie Balaenopteridae

Art *Balaenoptera bonaerensis*

Derzeit werden weltweit drei Unterarten von Zwergwalen oder Minkwalen unterschieden: der südliche und nördliche, sowie die Zwergform der Minkwale. Genetische Nachweise führten in den neunziger Jahren zur Identifizierung des Südlichen Zwergwals als separate Art *Balaenoptera bonaerensis*, während die Nördlichen Zwergwale und ihre südliche ‚Zwergform‘ weiter hin als *B. acutorostrata* betrachtet werden (Rice, 1998).

Südliche Zwergwale weisen eine zirkumpolare Verbreitung im Südlichen Ozean auf. Sie jagen in ozeanischen Nahrungsgründen und haben verstreute Fortpflanzungsgemeinschaften (Kasamatsu

und Joyce 1995). Sie werden gewöhnlich allein oder in kleinen Gruppen von zwei bis drei Tieren angetroffen. In höheren Breitengraden wurden jedoch schon Gruppen mit bis zu 400 Tieren gesichtet (Perrin und Brownell, 2009).

Südliche Zwergwale wechseln zwischen ihren um 10° S - 30° S gelegenen Fortpflanzungsgründen im Südwinter und ihren Nahrungsgründen im Südsommer, wo sie meist im Südlichen Ozean in einem Gebiet zwischen 60° S bis zum Eisrand angetroffen werden (Perrin und Brownell 2009). *B. bonaerensis* tritt auch über den Eisrand hinweg in der Packeiszone auf (Scheidat et al., 2011; Gutt et al., 2010; Shirihai, 2008), jedoch ist der Anteil der innerhalb des Packeis angetroffenen Tiere noch unklar (Murase et al., 2005; Scheidat et al., 2007; Shimada und Kato, 2007; Leaper et al. 2008). Ainley et al. (2011) vertreten die Ansicht, dass sich das Habitat der das Eis bevorzugenden Südlichen Zwergwale erheblich reduzieren wird, wenn die Seeisdecke bei einem Klima-wechselszenario mit steigenden Temperaturen des Oberflächenwassers zurückgeht. Hierdurch könne es potentiellen zu einem Anstieg der inner- und zwischenartlichen Konkurrenz kommen.

Obgleich Sichtungen von Südlichen Zwergwalen während des Südwinters berichtet wurden (z. B. Ribic et al., 1991; Thiele et al., 2004), ist es weiterhin unklar, ob diese gesichteten Tiere wirklich in den Packeisregionen überwintern (Leaper et al., 2008a).

Die aktuelle von der IWC bestätigte Schätzung gilt für die Jahre 1982/83 bis 1988/89 und gibt eine Schätzung von 760.000 Tieren an (95 % Vertrauensintervall: 510.000 bis 1.140.000¹⁰). Diese älteren Schätzungen beruhen auf Ergebnissen der zirkumpolaren IDCR/SOWER Surveys, die unter der Leitung der IWC von 1978/79 bis 1988/89 durchgeführt wurden (Haw 1993, Leaper et al. 2008a). Bisher wurden drei zirkumpolare Surveyreihen durchgeführt. Die geschätzte Anzahl an Zwergwalen ist dabei von der zweiten zur dritten Surveyreihe (1993-2002) auf 574,000 Tiere zurückgegangen (Bravington und Hedley, 2012). Ob diese Zahlen tatsächlich auf einen Rückgang der Zwergwalbestände, eine Verschiebung der Habitatnutzung von eisfreien zu Eisarealen oder durch Änderungen in der Erhebungs- und Auswertungsmethodik zurückzuführen ist, ist derzeit noch nicht abschließend geklärt. Die Feststellung der Abundanz von Zwergwalen in Eisgebieten ist deshalb von hohem Forschungsinteresse.

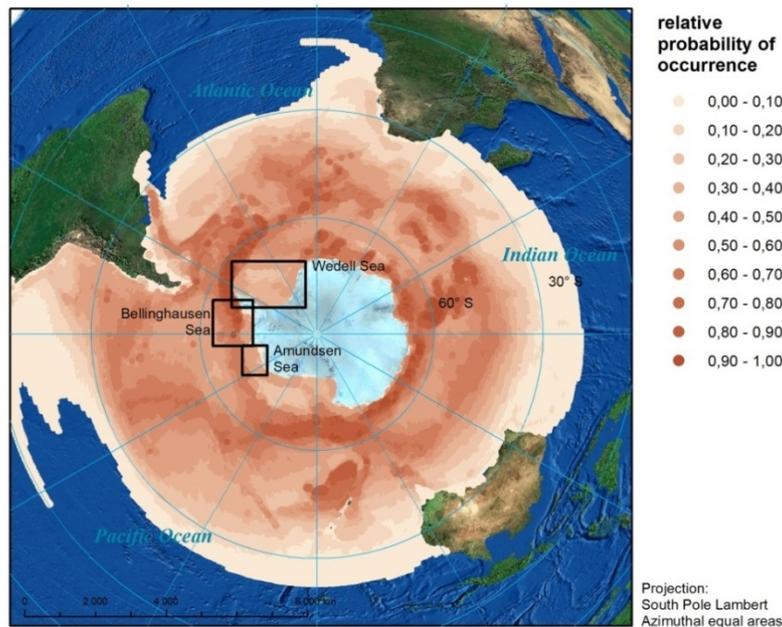
Südliche Zwergwale werden nicht mit einem Schutzstatus in der Roten Liste der IUCN aufgeführt, weil sie der Kategorie „unzureichende Daten“ zugeordnet werden (Reilly et al., 2008d). Die Ergebnisse von Bestanderhebungen deuten auf einen Abundanzrückgang hin. Sollte sich dies als zutreffend erweisen, wären Südliche Zwergwale „stark gefährdet“, falls nicht, würden sie in die Kategorie „nicht gefährdet“ eingestuft werden.

Südliche Zwergwale ernähren sich vermutlich hauptsächlich von Krill, ihre Nahrung ist jedoch saison- und gebietsabhängig. Sie jagen zum Beispiel auch nach Ruderfußkrebse und verschiedenen Fischen (Perrin und Brownell, 2009; Armstrong und Siegfried, 2004). Eine starke Korrelation zwischen Populationen von Zwergwalen und Großen Schwertwalen wurde von Kasamatsu et al. (2000) festgestellt, was darauf hinweist, dass Zwergwale in der Tat eine wesentliche Nahrungsquelle von Großen Schwertwalen darstellen.

Das Habitateignungsmodell (Abb. 4-8) für Südliche Zwergwale sagt eine zirkumpolare Verbreitung mit hoher relativer Wahrscheinlichkeit des Artenvorkommens zwischen ~40° S und dem antarktischen Kontinent vorher.

¹⁰ (www.iwcoffice.org, Zugriff am 24.8.2012)

Abb. 4-8 Karte der modellierten Verbreitung von Zwergwalen im Südlichen Ozean¹¹ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



4.1.6 Zwergform des Minkwals

Ordnung Cetacea

Unterordnung Mysticeti

Familie Balaenopteridae

Art *Balaenoptera acutorostrata subspecies*

Obwohl sich die Zwergform der Minkwale visuell recht leicht durch ein weißes Band am Flipper und eine dunkle Schultermarkierung von Südlichen Zwergwalen unterscheiden lassen, wird die unbenannte Unterart erst seit jüngster Zeit als separat betrachtet (Best, 1985; Arnold et al., 2005). Sie werden vorläufig einer einzigen Art *B. acutorostrata* zugewiesen (Reilly et al., 2008e). Auf See erweist sich die Differenzierung als schwierig und führt bei Bestandserhebungen zu einer hohen Anzahl nicht identifizierter Artzuweisungen (Acevedo et al., 2010). Obgleich ihre Zahlen

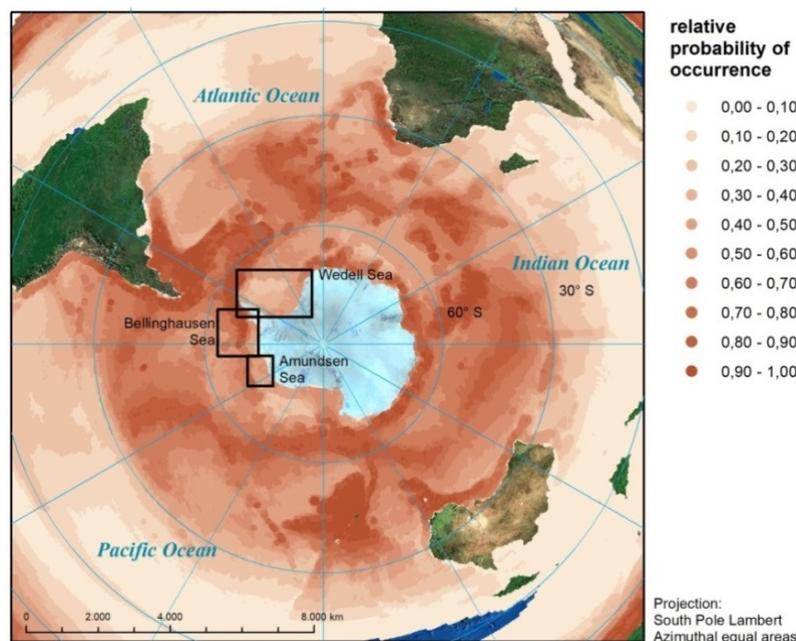
¹¹ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Balaenoptera bonaerensis* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 22. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Übereinstimmung mit dem bekannten Auftreten und maximalen Revierumfang der Art, obgleich die Abgrenzung der Artenverbreitung durch die Schwierigkeiten behindert wird, sie auf See von ihrer verwandten Art, *B. Acutorostrata*, zu unterscheiden. Modifizierung der oberen Grenzen des vorgegebenen SST, Hüllkurven von Salinitäts- und Meereiskonzentration waren nötig, um alle Aspekte des bekannten Revierumfangs zu erfassen. Ursprüngliche Prognosen für die Art, die auf dem RES-Ansatz beruhen, zeigten starke Korrelationen mit dem beobachteten Auftreten (IDCR-SOWER-Schifffahrten, Kaschner et al., 2006), aber AquaMaps-Prognosen, die auf einem leicht modifizierten Algorithmus und etwas anderen Umwelteingabedatengruppen basieren, wurden noch nicht getestet, obgleich visuelle Vergleiche starke Ähnlichkeiten zwischen beiden Prognosegruppen aufweisen. Prognosen stellen einen Kompromiss zwischen Sommer- und Winterverbreitung dar und würden durch die Einbeziehung von saisonalen Aspekten verbessert. 04.09.2010, Kristin Kaschner

im Vergleich zu Südlichen Zwergwalen wesentlich niedriger liegen, wurde die Zwergform der Minkwale z.B. um die südlichen Shetland Inseln, die Gerlache-Straße (im Südsommer) und im Bellingshausenmeer (im Südwinter) und um die Antarktische Halbinsel beobachtet (Acevedo et al., 2010). Dies lässt vermuten, dass die Unterart niedrige Breitengrade nutzt und manche Individuen während des Australwinters in der Antarktis verbleiben.

Minkwale, einschließlich der Zwergform, ernähren sich von Laternenfischen (Myctophidae) und Krill, ihre Nahrung ist aber saison- und gebietsabhängig. Generell nutzen Zwergwale ein breites Spektrum an Nahrungsquellen (Perrin und Brownell, 2009), sie bevorzugen jedoch häufig Fisch gegenüber Plankton und Krill (Skaug et al., 1997). Kato und Fujise (2000) fanden hauptsächlich Myctophiden in 16 Südlichen Zwergwalen, während Secchi (2003) nur *Euphausia similis* im Magen eines Tieres vor der Küste von Brasilien meldete.

Sie werden gewöhnlich allein oder in kleinen Gruppen von bis zu zwei oder drei Tieren angetroffen. Jedoch liegen auch Berichte über Gruppen von bis zu 400 Tieren in höheren Breitengraden vor (Perrin & Brownell, 2009).

Abb. 4-9 Karte der modellierten Verbreitung der Zwergform der Zwergwale im Südlichen Ozean¹², ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Die globale Population von Zwergwalen wird auf 182.000 Tiere geschätzt und ist stabil. Es liegen keine Daten über die Abundanz der Zwergform der Minkwale in antarktischen Gewässern vor,

¹² Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung des *Balaenoptera acutorostrata* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Prognostiziertes Auftreten weist positive Korrelationen mit Sichtungsdaten auf. Geringfügige Modifizierung von Temperatur- und Primärproduktionsgrenzen, um die maximalen Reviere dieser Art zu erfassen. Die Verbreitung ist ein Kompromiss zwischen Sommer- und Winterrevieren (die Art bevorzugt während unterschiedlichen Stadien des Jahreszyklus unterschiedliche Tiefen). Wahrscheinlich falsche prognostizierte Präsenz in der Hudson-Bucht, Nordsee, im Japanischen Meer, Gelben Meer und Ochotskischen Meer. 10.09.2009, Kristin Kaschner

weil die Differenzierung der Art auf See schwierig ist. Zwergwale (*B. acutorostrata*) sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Reilly et al., 2008e).

Tab. 4-4 Parameter der Vokalisation von Zwergwalen einschließlich der Vokalisationen von nördlichen Zwergwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energie (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
sweeps, moans*	60-140			151-175	Wartzok und Ketten (1999)
Downsweeps*	60-130			165	Schevill und Watkins (1972)
moans, grunts*	60-140	60-140	60-140	151-175	Schevill und Watkins (1972); Winn und Perkins (1976)
ratchet*	850-6,000	850	850		Winn und Perkins (1976); Wartzok und Ketten (1999)
clicks*	3,300-20,000		<12.000	151	Beamish und Mitchell (1973); Winn und Perkins (1976)
thump trains (also pulsed trains)*	100-2,000	100-200	100-200		Winn und Perkins (1976);
“boing”	1,300-5,000			150	Ranking und Barlow (2005)
“star-wars”	50-9,400			150-165	Gedamke et al. (2001)

* Allgemeine Daten für Zwergwale

4.1.7 Buckelwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Mysticeti

Familie Balaenopteridae

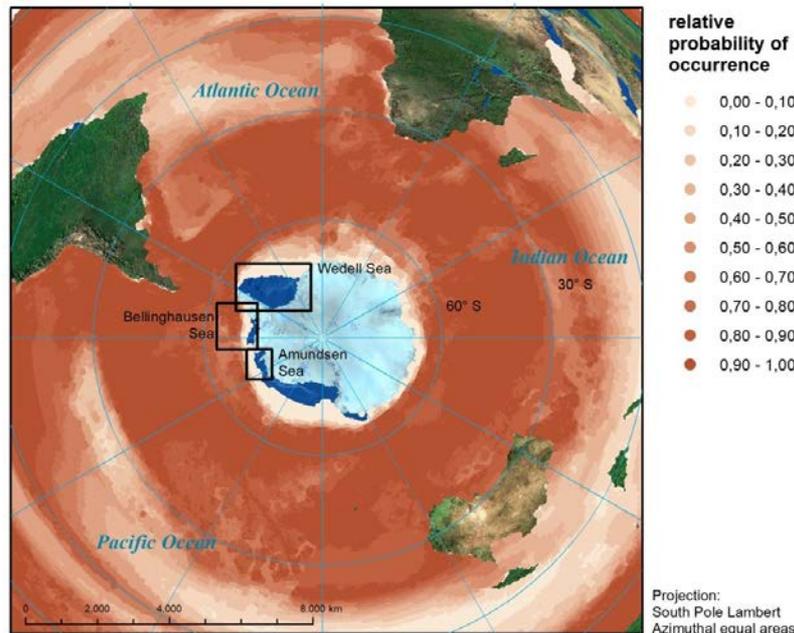
Art *Megaptera novaeangliae*

Buckelwale unternehmen lange saisonale Wanderungen über Entfernungen von mehr als 8.000 km (Stone, 1990) von ihren Sommernahrungsgründen zu ihren Fortpflanzungsgründen (Clapham, 2009; Stevick et al., 2004; Winn und Reichley, 1985). Möglicherweise kommt es zu einer teilweisen Überlappung von Individuen zwischen den nördlichen und südlichen Hemisphären (Acevedo und Smultea, 1995). Obwohl die IWC sieben Fortpflanzungsgründe und sechs mit ihnen verbundene Nahrungsgründe in der südlichen Hemisphäre anerkennt, ist ein Austausch von Individuen zwischen diesen Gebieten wahrscheinlich und die tatsächliche Aufteilung nicht vollständig geklärt (Clapham, 2009). Sie weisen im Südsommer eine zirkumpolare Verbreitung auf, rücken jedoch nicht so stark in das Eis vor, wie Zwerg- und Blauwale (Kasamatsu et al., 1996). Die Encounterraten nehmen ab Anfang November zu und erreichen ihren Höchststand von Ende Dezember bis Januar (Kasamatsu et al. 1996). Die höchsten Encounterraten in antarktischen Gewässern nahe der Antarktischen Halbinsel stammen aus dem Gebiet der 62 bis 66°S und 60 bis 68°W, sie werden jedoch auch näher am Packeis beobachtet (Kasamatsu et al., 1996).

Buckelwale ernähren sich von Euphausiiden und kleinen Schwarmfischen (Clapham, 2009). Sie haben spezialisierte Strategien zur Nahrungsaufnahme entwickelt, u. a. den Einsatz von Netzen

aus Luftblasen, um Schwarmfische zu einzufangen (Baraff et al., 1991; Hain, 1982). Große Aggregationen von Buckelwalen können sich in Gebieten mit hohem Krillvorkommen einfinden (Nowacek et al., 2011).

Abb. 4-10 Karte der modellierten Verbreitung von Buckelwalen im Südlichen Ozean¹³ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Buckelwale bilden Herden aus bis zu sieben Tieren. Innerhalb der Gruppe werden Mutter-Kalb-Paare manchmal von Männchen begleitet (Winn und Reichley, 1985). Baraff (1993) schildert, dass die Trennung zwischen Mutter und Kalb bereits vor dem ersten Winter des Kalbs erfolgen kann.

Die Population der Buckelwale wurde aufgrund des Walfangs stark dezimiert, scheint aber zumindest in Teilen der nördlichen Hemisphäre wieder anzuwachsen (Stevick et al., 2003). Im Südlichen Ozean wurde die Abundanz 1997/98 auf ca. 42.000 Tiere geschätzt (Branch, 2006b). Zu Zwecken des Artmanagements wurden sechs Fortpflanzungsbestände (Breeding Stocks (BS)) festgelegt (A bis G), die anscheinend mit genetischen Daten übereinstimmen (Pastene et al., 2006). BSA (Breeding Stock A) deckt sich mit dem Winternahrungsgrund Weddellmeer, BSG mit dem Amundsenmeer und BSF mit großen Teilen des Bellinghousenmeeres. Derzeit wird die Abundanz für BSA mit 6.250 Tieren berichtet (95 % CI = 4.500 - 8.800) (Andriolo et al., 2006; Leaper et al., 2008a) bei einer geschätzten Wachstumsrate von 7,4 % pro Jahr (95 % CI 0.5 - 14.5 % pro Jahr; Ward et al., 2006). Die Schätzung von 6.250 Tieren entspricht ca. 28 % der Abundanz vor der Bejagung (Zerbini et al., 2006). Für die BSG-Nahrungsgründe bewegt sich die Abundanzschätzung zwischen 1.800 und 6.700 Individuen (Leaper et al., 2008a), aber die meisten Bestandserhebun-

¹³ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Megaptera novaeangliae* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Übereinstimmung mit der bekannten Verbreitung der Art. Wahrscheinlich falsches prognostiziertes Auftreten in der Hudson-Bucht und im Roten Meer. Prognostiziertes Auftreten stellt einen Kompromiss zwischen Sommer- und Winterverbreitung dar. 10.09.2009, Kristin Kaschner

gen haben nur Bruchteile dieser Nahrungsgründe abgedeckt und sind folglich nicht für die Population mit einem derzeit geschätzten Anstieg von 4,6 % repräsentativ (95 % CI -3,4 % - 12,6 % pro Jahr; Branch, 2006b, 2011). BSF wird in zwei Fortpflanzungsbestände unterteilt (Cookinseln - 1 und Französisch-Polynesien - 2; Leaper et al., 2008a). Für BSF1 liegt derzeit keine aktuelle Abundanz Schätzung vor, während die Abundanz für BSF2 auf 3.800 Wale geschätzt wurde (95 % CI 2.500 - 6.000; Leaper et al., 2008a). Die geschätzte Wachstumsrate für BSF hat weite Konfidenzbereiche und weist folglich nicht eindeutig nach, ob ein Wachstum, eine stabile Population oder ein Rückgang vorliegt (Leaper et al., 2008a).

Das äußerst vielfältige vokale Repertoire von Buckelwalen besteht aus *moans*, *groans*, *cries*, *squeals*, *chirps* und *clicks* (z. B. Au et al., 2006; Cato, 1991; Darling et al., 2006; Eriksen et al., 2005; Helweg et al., 1990; Vu et al., 2012; Winn und Reichley, 1985; Winn et al., 1981). Gesänge werden in Fortpflanzungsgründen (Darling et al., 2006) und Nahrungsgründen (Clark und Clapham, 2004) beobachtet.

McCauley et al. (1998) beobachteten Meideverhalten von Buckelwalen gegenüber Airgun-Arrays innerhalb von 1 km für 20 Kubikzoll (0,328 l) Airgun und 3 km für größere Arrays (2.678 Kubikzoll = 43,885 l). Geringe Änderungen des Tauchverhaltens wurden während einer Beschallung mit dem Signal, dass während des ATOC-Projekts (Acoustic Thermometry of the Oceans Climate) benutzt wurde, aufgezeichnet (Frankel und Clark, 2000). Vor kurzem dokumentierten Risch et al. (2012) Veränderungen des Gesangs von Buckelwalen durch ein niederfrequentes Signal (Spitzenfrequenzen: 415, 735 und 950 Hz) des OAWRS-Experimentes (Ocean Acoustics Waveguide Remote Sensing) in einer Entfernung von bis zu 200 km. Gesänge der Buckelwale wurden während der Übertragung des OAWRS-Signals weniger häufig verzeichnet.

Buckelwale (*B. acutorostrata*) sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Reilly et al., 2008f).

Tab. 4-5 Parameter der Vokalisation von Buckelwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energie (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
song	30-8,000	100-4,000	120-4000	144-186 144-174	Thompson et al. (1979); Payne und Payne (1985); Wartzok und Ketten (1999)
social	50-10,000	<3,000			Wartzok und Ketten (1999)
shrieks		750-1,800	750-1,800	179-181	Thompson et al. (1986)
horn blasts		410-420	410-420	181-185	„
moans	20-1,800	35-360	35-360	175	„
grunts	25-1,900			190	„
pulse trains	25-1,250	25-80	25-80	179-181	„
underwater blows	100-2,000			158	Beamish (1979)
fluke & flipper slap	30-1,200			183-192	Thompson et al. (1986)

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

clicks	2,000- 8,200	1,700		143-154 (zero to peak)	Winn et al. (1970); Beamish (1979)
--------	-----------------	-------	--	---------------------------	---------------------------------------

4.1.8 Südkaper

Ordnung	Cetacea
Unterordnung	Mysticeti
Familie	Balaenidae
Art	<i>Eubalaena australis</i>

Südkaper haben eine zirkumpolare Verbreitung und wurden während des Walfangs sehr stark bejagt, weil sie der ‚richtige‘ Wal (engl. right whale) zum Jagen waren: sie sind relativ langsam und leicht zu fangen, treiben nach dem Tod auf und versprechen eine hohe Ausbeute an Öl und Fischbein (Kenney, 2009). Der Raubbau an Atlantischen und Pazifischen Nordkapern führte gegen Ende des 18. Jahrhunderts zu vermehrten Anstrengungen in der südlichen Hemisphäre (Cummings, 1985). Zwischen 1770 und 1900 wurden mehr als 150.000 Glattwale gejagt (Leaper et al., 2008a). Während insbesondere Atlantische und Pazifische Nordkaper zu den am stärksten bedrohten marinen Säugerarten gehören, scheinen sich die Südkaperbestände vom Walfang zu erholen (Leaper et al., 2008a).

Eine Analyse von Flugsurveys zeigt, dass die Verbreitung des Südkapers um Südafrika herum leicht vorhergesagt werden kann, da sie in diesen Fortpflanzungsgründen Schutz suchen. Mutter-Kalb-Paare werden nahe der Küste beobachtet (Elwen und Best, 2004a, 2004b). Südkaper jagen Krill (hauptsächlich *Euphausia superba* (Cummings, 1985)), Ruderfußkrebse und andere Krustentiere (Kenney, 2009).

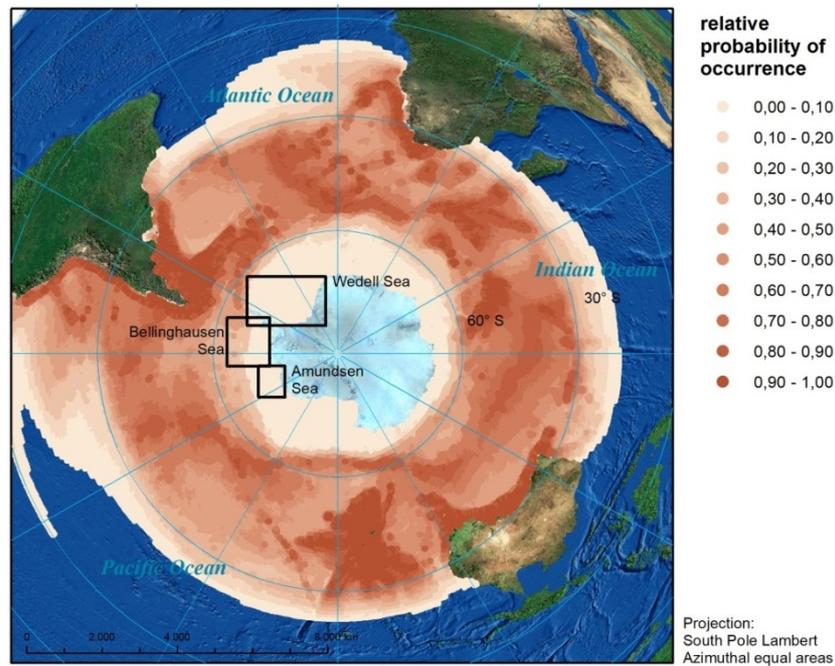
Zur Abundanz liegen nur wenige Daten vor. Die letzte Schätzung, die die gesamte südliche Hemisphäre abdeckte stammt aus dem Jahr 1997 und ergab 7.500 Individuen (Leaper et al., 2008a), während die ursprüngliche Population vor der Bejagung aus 55.000 bis 70.000 Tieren bestanden haben könnte (IWC 2001). Es werden derzeit vier Fortpflanzungskolonien unterschieden: östliches Südamerika, Südafrika, Australien/Neuseeland und westliches Südamerika (Chile/Peru). Die Überwinterungsregionen im Amundsen-/Bellingshausenmeer und Weddellmeer sind wahrscheinlich mit den Fortpflanzungskolonien des östlichen und westlichen Südamerikas verknüpft, aber die modellierte Habitatsignung ist generell niedrig (Abb. 4-11). Abundanzschätzungen für diese Fortpflanzungsgründe liegen durch Flugzählungen (Vermeulen und Cammareri, 2012) und Foto-identifizierung (Brandão et al., 2012) vor, sie enthalten jedoch keine weiteren Informationen zu den Nahrungsgründen näher an der Antarktis. Der Bestand im östlichen Südamerika scheint um 6,9 % pro Jahr anzuwachsen, während die westlichen Bestände mit wahrscheinlich weniger als 50 Tieren und ungewissem Populationswachstum als niedrig anzusehen sind (Review in Leaper et al., 2008a). Ein Austausch von Tieren aus der Schottischen See, die sich gewöhnlich an der argentinischen Küste fortpflanzen und Tieren, die sich an der südafrikanischen Küste fortpflanzen, ist möglich (Review in Gill und Evans, 2002).

Es liegen erhebliche Hinweise vor, dass das globale Klima Einfluss auf die Populationsdynamik von Südkapern ausübt (Leaper et al., 2006). Allgemein steigt die Populationsgröße derzeit an. Südkaper sind daher in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Reilly et al., 2008g). Eine wesentliche Bedrohung der Glattwale ist auf Zusammenstöße mit schnell fahrenden, großen Schiffen zurückzuführen (Kenney, 2009; Vanderlaan et al., 2008; Ward-Geiger et al., 2005).

Glattwale kommunizieren in tiefen Frequenzen (Clark, 1982). In Gebieten mit starkem Schiffsverkehr kann der resultierende Lärm für Atlantische Nordkapern zu chronischem Stress führen

(Rolland et al., 2012). Schiffslärm kann ebenfalls zu einer Verschiebung in der Kommunikationsfrequenz und zu verminderter Nutzung von Vokalisationen führen (Parks et al., 2007).

Abb. 4-11 Karte der modellierten Verbreitung von Südkapern im Südlichen Ozean¹⁴ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Tab. 4-6 Parameter der Vokalisation von Südkapern

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
tonal	30-1,500	160-500			Cummings et al. (1972); Clark (1982), (1983)
tonal, mainly moans	30-1,500	160-500		182	Payne und Payne (1971)
pulsive	30-2,200	50-500		172-187 181-186	Cummings et al. (1972); Clark (1982), (1983) Clark (in Würsig et al. (1982)
broadband (blows und	50-1,000				Clark (1982)

¹⁴ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Eubalaena australis* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Korrelation mit der bekannten Verbreitung der Art. Modifizierung von Temperatur und Meereiskonzentrationsbereich zur Erfassung der maximalen Revierausdehnungen dieser Art. Prognostiziertes Revier ist zu weit südlich an der Westküste von Südamerika, falsche prognostizierte Abwesenheit von der Küste Mozambiques. Es liegen widersprüchliche Informationen über die südliche Grenze des Reviers vor. Prognosen stellen einen Kompromiss zwischen Sommer- und Winterverbreitung dar und würden durch die Verwendung saisonaler Prognosen verbessert. 21.11.2009, Kristin Kaschner

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

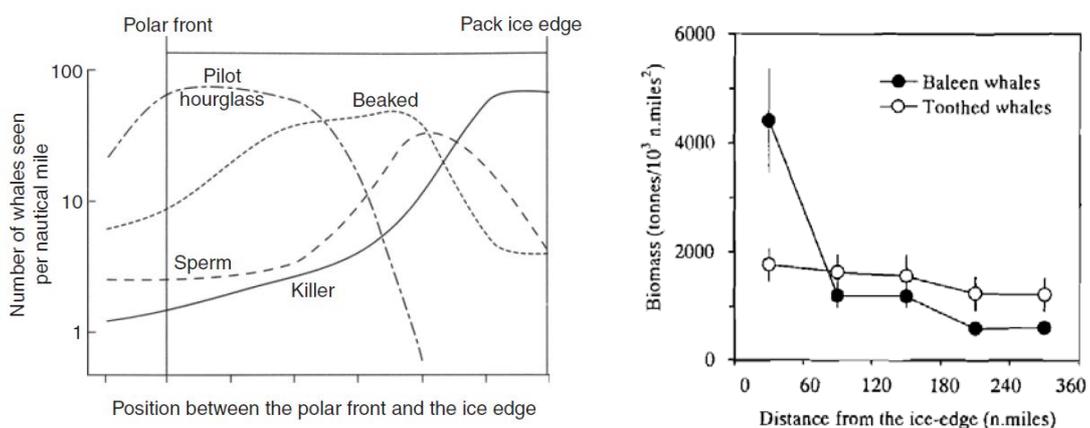
slaps)					
--------	--	--	--	--	--

4.2 Zahnwale

Die in diesem Überblick betrachteten Arten sind Pottwale (*Physeter macrocephalus*), Große Schwertwale (*Orcinus orca*), Südliche Langflossen-Grindwale (*Glopicephala melas edwardii*), Stundenglasdelfine (*Lagenorhynchus cruciger*) und vier Arten von Schnabelwalen: Südliche Entenwale (*Hyperoodon planifrons*), Arnoux-Schnabelwale (*Berardius arnuxii*), Layard-Wale (*Mesoplodon layardii*) und Gray-Zweizahnwale (*Mesoplodon grayi*) gemäß Leaper et al. (2008b). Cuvier-Schnabelwale (*Ziphius cavirostris*) wurden ebenfalls südlich von 60°S beobachtet, aber sehr unregelmäßig (Gill und Evans, 2002), und werden folglich in diesem Überblick nicht berücksichtigt.

Über die Abundanz und Verbreitung von Zahnwalen in antarktischen Gewässern sind insgesamt weniger zuverlässige Angaben als für Bartenwale verfügbar (Leaper et al., 2008b). Dies liegt teilweise daran, dass einige Zahnwale sehr tief tauchen (wie z.B. Schnabelwale, die nur einen Bruchteil ihrer Lebenszeit an der Wasseroberfläche verbringen) oder stark auf Schiffe reagieren (wie z.B. Stundenglas Delfine, die auf Schiffe zu schwimmen), wodurch die Annahmen für Schiffszählungen auf großen Schiffen nach dem Linientranssekt-Distanzverfahren (Sichtbarkeit der Tiere auf der Transektlinie, möglichst keine Reaktion auf die Beobachterplattform) verletzt werden (Leaper et al., 2008b). Einige Vorbehalte, die ursprünglich für Abundanz Schätzungen von Zwergwalen in der Antarktis aufgeführt wurden, werden in Branch (2006c) erörtert. Eine weitere Frage ist, ob die zirkumpolaren Populationsschätzungen südlich von 60°S für Arten mit komplexerem ökologischem Verhalten repräsentativ sind. Hierzu gehört zum Beispiel der Pottwal, bei welchem hauptsächlich Männchen über den 60°S Breitengrad hinauswandern (Leaper et al., 2008b), oder der Großen Schwertwal, für den drei Ökotypen (die in unterschiedlicher Beziehung zum Eisrand stehen) identifiziert wurden (Andrews et al., 2008; Pitman et al., 2007). Nach Angaben von Smith et al. (2005) werden passive akustische Bestandserhebungen mit Schlepp-Hydrofonen zukünftig eine wesentliche Rolle bei Abundanzschätzungen spielen, weil die Detektionsraten gegenüber herkömmlichen Surveys für schwer zu beobachtende Arten erhöht werden können.

Abb. 4-12 Links: Auftreten von Zahnwalen in der Antarktis im Verhältnis zum Packeisrand (aus Boyd (2009a); Reprint aus Kasamatsu und Joyce, 1995); rechts: gesamte Biomasse von Barten- und Zahnwalen im Verhältnis zum Eisrand (aus Kasamatsu, 2000).



Große Schwertwale stehen in enger Verbindung zum Packeisrand (Abb. 4-12). Dies entspricht der anzunehmenden Korrelation zwischen der Verbreitung von Zwergwalen und Großen Schwertwalen (Kasamatsu et al., 2000). Die beiden anderen Delphinidae, der Stundenglasdelfin und der

Langflossen-Grindwal, meiden den Eisrand. Pottwale werden ebenfalls näher am Packeis angetroffen, während Schnabelwale ein intermediäres Auftretensmuster aufweisen.

In der Zeit des Walfangs wurden besonders Pottwale stark bejagt und ihre Zahlen wurden vermutlich von zwei bis drei Millionen Individuen drastisch reduziert (Leaper et al., 2008b). Kleinere Zahnwale wie die Südlichen Entenwale, Arnoux-Schnabelwale und Große Schwertwale wurden ebenfalls gejagt, z.B. von japanischen und russischen Walfängern (Kasuya, 2009a), diese Jagden waren aber eher Gelegenheitsfänge (Leaper et al., 2008b).

Abb. 4-13 Saisonales Auftreten von antarktischen Zahnwalen; Balken geben die durchschnittliche Encounterraten je Monat an; offene Kreise bedeuten die Encounterraten je Halbmonat und Standardfehler (aus Kasamatsu und Joyce, 1995).

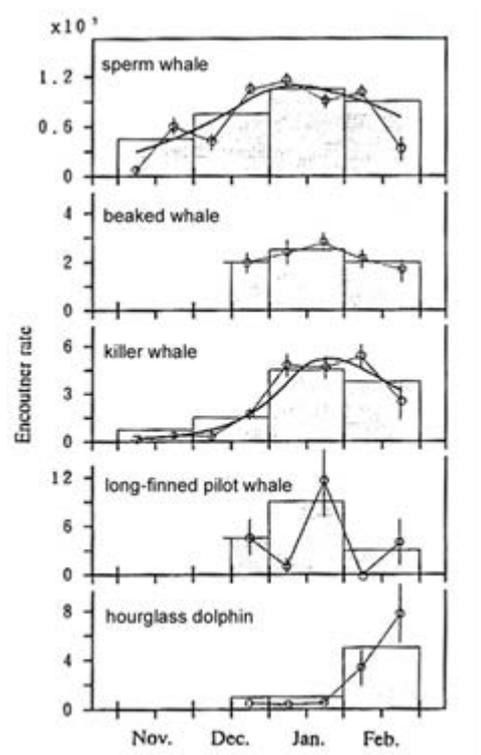
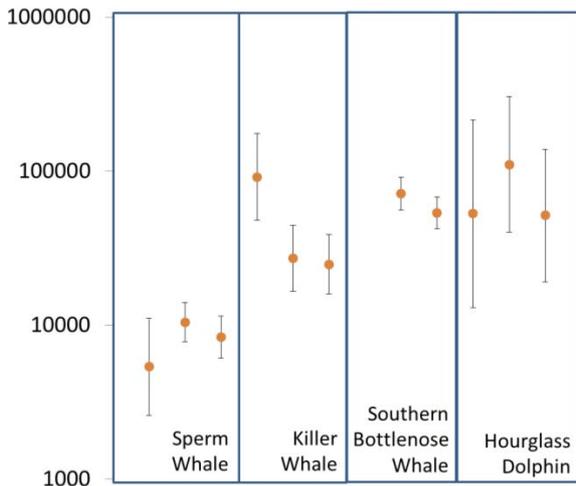


Abb. 4-14 Abundanzschätzungen der drei zirkumpolaren Bestandserhebungen (Branch und Butterworth, 2001; Leaper et al., 2008b), für Pottwale, Große Schwertwale, Südliche Entenwale und Stundenglasdelfine. Pottwale haben die niedrigste Abundanz dieser Arten. Eine Abundanz Schätzung für Südliche Entenwale wurde während der ersten Reihe der Surveys nicht berechnet, da Schnabelwale nicht auf Artebene identifiziert wurden. Daten für Stundenglasdelfine wurden aufgrund von Bedenken bezüglich ihrer Gültigkeit von Branch und Butterworth (2001) ausgeschlossen. Hinweis: Logarithmische Y-Achse.



Zahnwale in der Antarktis weisen unterschiedliche saisonale Verteilungen auf, für die meisten Arten ist die höchste Encounterrate jedoch im Januar zu verzeichnen. Die Ausnahme bilden Stundenglasdelfine, deren höchste Encounterrate im Februar oder wahrscheinlich noch später erreicht wird (Abb. 4-13; Kasamatsu und Joyce, 1995). Auf der Basis der drei zirkumpolaren Abundanzschätzungen weisen nur Große Schwertwale einen signifikanten Rückgang ihrer Abundanz auf. Dies könnte jedoch auf methodischen Unterschieden zwischen der ersten und zweiten Reihe von Surveys zurückzuführen sein (Abb. 4-14, Leaper et al., 2008b).

4.2.1 Schnabelwale

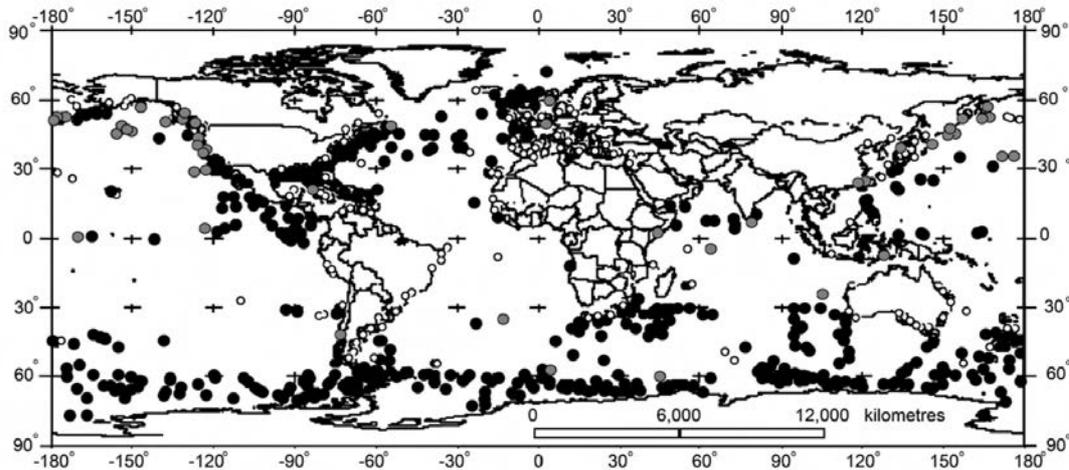
Zählungen von Schnabelwalen sind eine extrem schwierige Aufgabe, da nur geringe Unterschiede zwischen den Arten bestehen. Nach Barlow und Gisiner (2006) werden nur 2 % der Tiere, die sich direkt auf der Transektlinie während seismischer Untersuchungen befinden, tatsächlich durch Beobachter gesehen. Branch und Butterworth (2001) zeigten, dass während der drei zirkumpolaren Surveyreihen der IWC nur 5 %, 60 % und zuletzt 71 % der Sichtungen von Schnabelwalen auf Artebene identifiziert wurden (Leaper et al., 2008b). Eine gängige Praxis ist, alle Schnabelwale in eine einzige Klasse zusammenzufassen (Kasamatsu, 2000) oder nur eine Schätzung der dominanten Art zu erstellen (Branch und Butterworth, 2001). Die durchschnittlichen Sichtungsraten für Schnabelwale mit Ausnahme des Südlichen Entenwals liegen unter einer Gruppe pro Jahr (Leaper et al., 2008b).

Zur Schließung dieser Wissenslücken schlugen Barlow et al. (2005) drei Forschungsthemen für die Zukunft vor:

- Populationsstruktur: Genetik, Morphologie, Fotoidentifikation und langfristige Telemetrie-Studien
- Verbreitung: Schulung von Beobachtern zur akkuraten Artidentifikation auf See und Sammlung von genetischem und anderem Material von gestrandeten Tieren

- Schätzung der Korrekturfaktoren bei Transektzählungen zur Abundanzschätzung.

Abb. 4-15 Verteilung des Auftretens von Schnabelwalen



4.857 Aufzeichnungen, weiß – Strandungen, schwarz – Sichtungen, grau – andere (aus MacLeod und Mitchell, 2006).

Diese Fragestellungen sind nicht nur schwer zu beantworten, sondern verlangen auch erheblicher Zeit zur Bearbeitung mit einem entsprechenden Aufwand. Da Strandungen von Schnabelwalen mit einer Reihe von lauten akustischen Ereignissen wie Schiffslärm, militärischen Tief- und Mittelfrequenzsonaren und seismischen Erkundungen in Verbindung gebracht worden sind, erscheint es, dass Schnabelwale für die Auswirkungen von Lärm besonders empfindlich sind (Soto et al., 2006; Barlow und Gisiner, 2006; Cox et al., 2006; Johnson und Tyack, 2004.; Taylor et al., 2004).

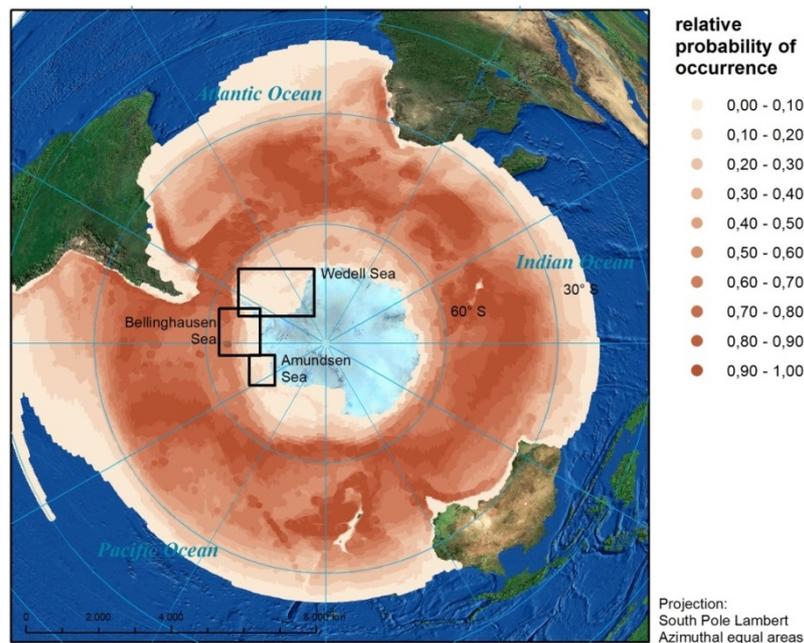
An gestrandeten Schnabelwalen wurden Anzeichen von Dekompressionskrankheit festgestellt (Cox et al., 2006; Fernández et al., 2005; Jepson et al., 2003, 2005), die wahrscheinlich mit einer unüblichen Folge flacherer Tauchgängen verbunden waren (Zimmer und Tyack, 2007). Diese Ereignisse scheinen in enger Verbindung mit Unterwassersonarübungen der Marine zu stehen (Tyack et al., 2011).

Sichtungen von Schnabelwalen sind im Bellingshausen- und Amundsenmeer üblich, nicht jedoch im Weddellmeer (Abb. 4-15). Die am häufigsten beobachtete Art ist der Südliche Entenwal. Schnabelwale wurden nicht als eine Primärzielart gejagt.

4.2.1.1 Arnoux-Schnabelwal

Ordnung	Cetacea
Unterordnung	Odontoceti
Familie	Ziphiidae
Art	<i>Berardius arnuxii</i>

Abb. 4-16 Karte der modellierten Verbreitung von Arnoux-Schnabelwalen im Südlichen Ozean¹⁵ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Arnoux-Schnabelwale und Baird-Schnabelwale wurden lange Zeit als eine Art betrachtet. Durch genetische Analysen ließ sich jedoch eine Trennung auf Artebene nachweisen (Dalebout et al., 2004a; Dalebout, 2002), obgleich genetische und morphologische Unterschiede geringfügig sind (Taylor et al., 2008a). Sie sind in seichten Gebieten der Küstengewässern oder Kontinentalschelfe sowie um Unterseeberge in kalten und tiefen subpolaren Gewässern verbreitet und sie scheinen sympatrisch mit dem Südlichen Entenwal vorzukommen (Taylor et al., 2008a). Sehr wahrscheinlich sind sie zirkumpolar verbreitet (Abb. 4-16) und treten verstärkt zwischen 78°S und 34°S auf (Reeves et al., 2008). Obwohl nur wenig über ihr Wanderverhalten bekannt ist, werden sie im Sommer näher am Eisrand angetroffen, während sie sich wahrscheinlich im Winter weiter entfernen (Culik, 2004). Einige Tiere werden möglicherweise trotzdem vom Eis eingeschlossen und überwintern näher an der Antarktis (Reeves et al., 2008). Sie ernähren sich vermutlich von

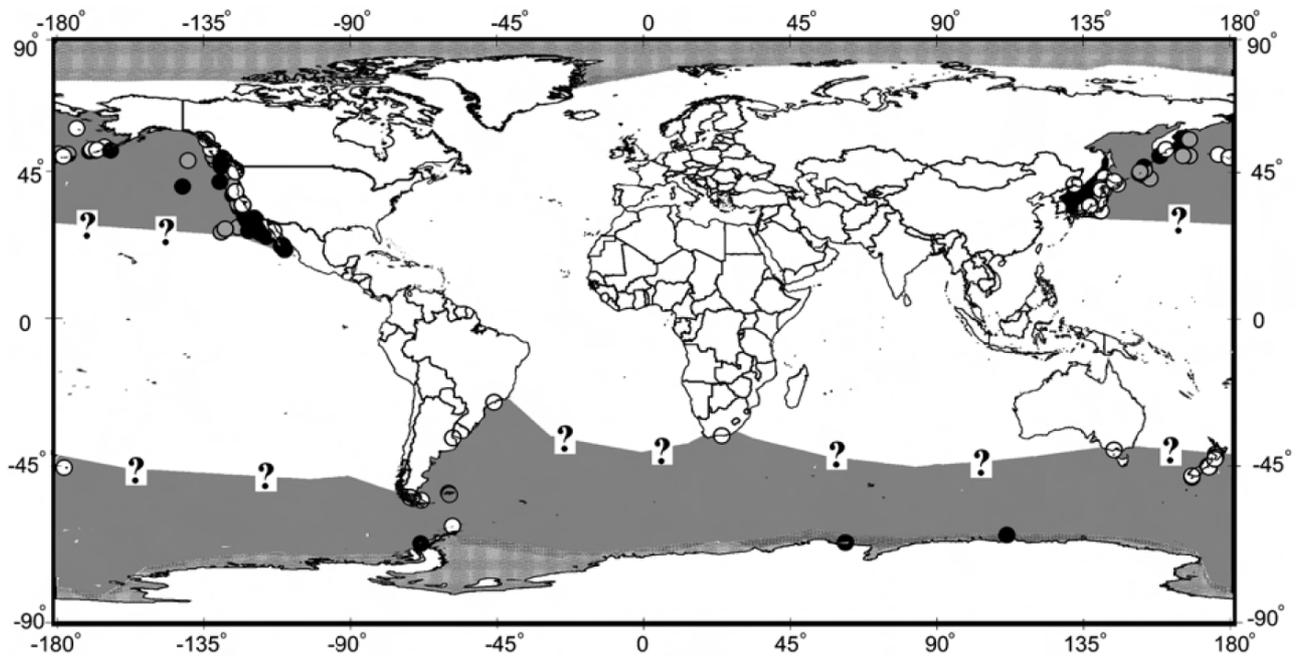
¹⁵ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Berardius arnuxii* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Relativ gute Übereinstimmung mit dem bekannten Auftreten der Art, obgleich große Gebiete potentiell falscher prognostizierter Präsenz vorhanden sind (zu weit nördlich entlang der Küste Südafrikas und Westküste Südamerikas?). Anpassung der maximalen Hüllkurven von Temperatur, Salinität und Meereiskonzentration, um alle bekannten nördlichen Sichtungsaufzeichnungen zu erfassen. 09.04.2010, Kristin Kaschner

Tintenfisch und Tiefseefisch (Reeves et al., 2008) und wurden in größeren Gruppen am Eisrand beobachtet (Ponganis et al., 1995). Wahrscheinlich sind sie durch die Fähigkeit, zwischen weit entfernten Eislöchern Langzeittauchgänge zu machen, dazu in der Lage Beute zu erjagen, die für andere Prädatoren unzugänglich ist (Culik 2004). Arnoux-Schnabelwale leben in Schulen (Kasuya, 2009b). Akustische Aufnahmen im Bereich der Antarktischen Halbinsel lassen vermuten, dass Gruppengrößen um ca. sieben Individuen liegen (Rogers und Brown, 1999).

Es liegen nur wenige Informationen zu Abundanz, Verbreitung und Bestandstrends der Arnoux-Schnabelwale vor, die Art ist jedoch möglicherweise bedroht. Daher sind sie in der Roten Liste der IUCN als „Datengrundlage nicht ausreichend“ aufgeführt (Taylor et al., 2008a).

Sichtungen des *B. arnuxii* sind selten, sie ereignen sich jedoch nahe des Eisrands (Abb. 4-17). Über ihre Vokalisationen ist wenig bekannt (Tab. 4-7).

Abb. 4-17 Aufzeichnungen über *Berardius spp* (aus MacLeod et al., 2006)



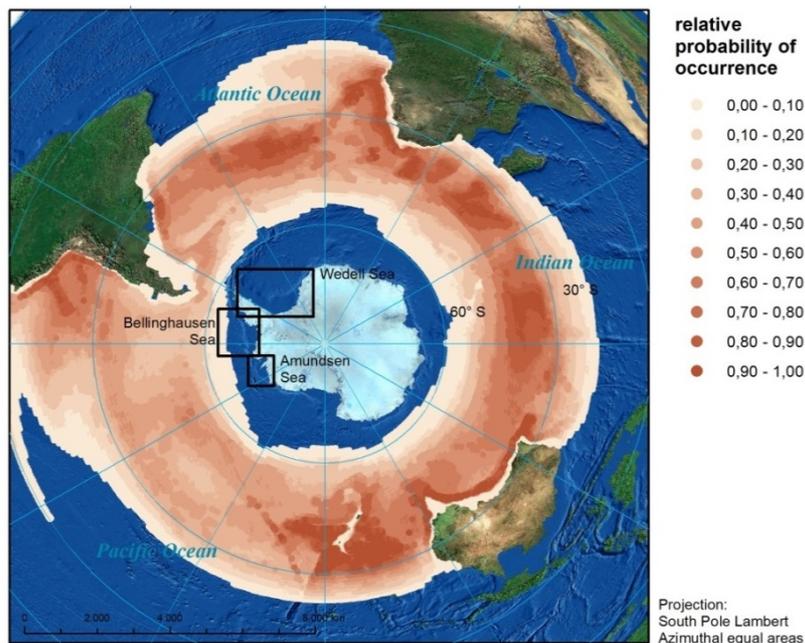
Tab. 4-7 Parameter der Vokalisation von Arnoux-Schnabelwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
amplitude-modulated calls	1,000-8,500	1,500-4,600 5,600			Rogers und Brown (1999)
whistles	2,000-6,000	4,300-4,900 5,200			“
clicks	12,000-18,000				“

4.2.1.3 Layard-Wal

Ordnung	Cetacea
Unterordnung	Odontoceti
Familie	Ziphiidae
Art	<i>Mesoplodon layardii</i>

Abb. 4-18 Karte der modellierten Verbreitung von Layard-Walen im Südlichen Ozean¹⁶ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Layard-Wale weisen eine zirkumpolare Verbreitung zwischen 30°S und der antarktischen Konvergenzzone auf (Abb. 4-18), wandern aber nicht so nah zum Eisrand wie Südliche Entenwale und Arnoux-Schnabelwale. Nach Angaben von Pitman (2009) sind Layard-Wale einer der größten und am weitesten verbreiteten Zweizahnwale in der gemäßigten und subantarktischen südlichen Hemisphäre. Aufgrund der namensgebenden Zähne können sie nur kleinere Tintenfische erbeuten (Reeves et al., 2008). Sie sind vermutlich tiefe Taucher und bevorzugen tiefe Gewässer. Aufgrund der saisonal wechselnden Strandungsmuster ist zu vermuten das sie möglicherweise saisonale Wanderungen unternehmen (Taylor et al., 2008b).

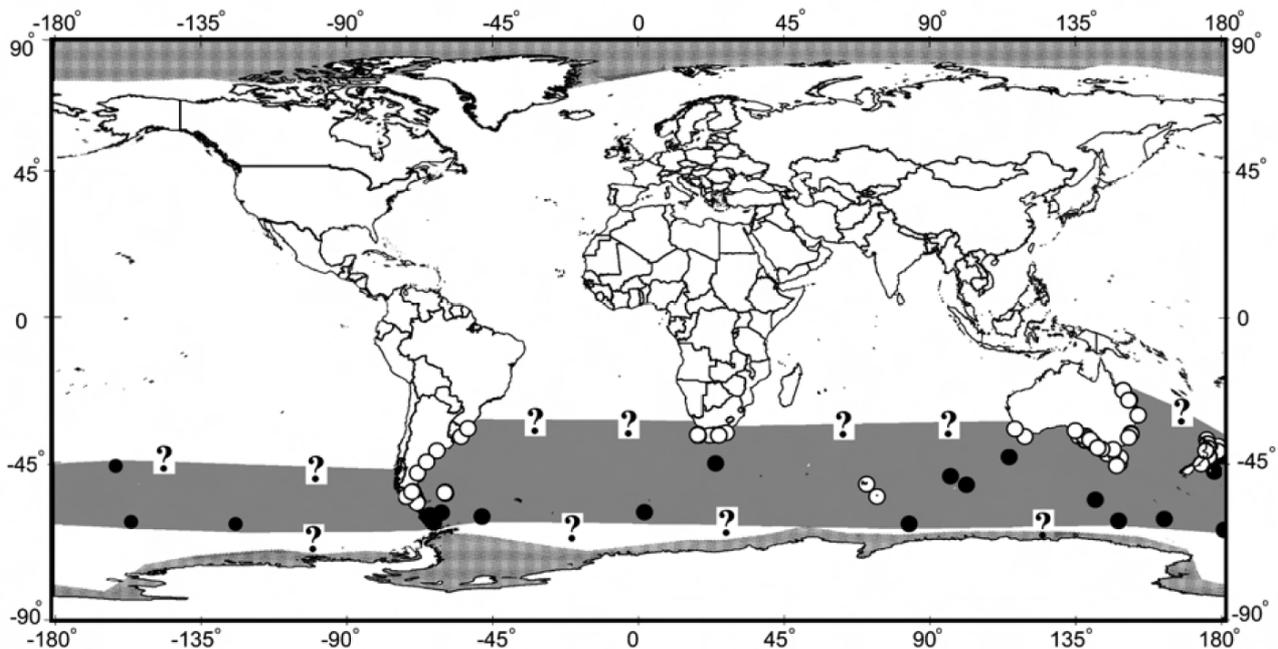
¹⁶ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Mesoplodon layardii* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Prüfung der Prognosen zeigte positive Korrelation mit beobachteten Strandungsmustern, aber die Qualität ist aufgrund der vorhandenen kleinen Stichprobengröße schwer einschätzbar. Prognosen, die auf den neuen SST und Eisdaten basieren, sind auf der Basis von visuellen Vergleichen sehr ähnlich, wurden jedoch nicht neu geprüft. Große Gebiete von wahrscheinlich falscher prognostizierter Präsenz (z. B. Westküste von Südamerika?) oder Abwesenheit (z. B. nicht weit genug südlich?). 23.11.2009, Kristin Kaschner

Über die Abundanz von Layard-Walen liegen nur wenige Informationen vor. Sie sind wahrscheinlich aber weniger selten als es die die raren Sichtungen annehmen lassen. (Abb. 4-19).

Layard-Wale werden nicht mit einem Schutzstatus in der Roten Liste der IUCN aufgeführt, (Kategorie „Datengrundlage nicht ausreichend“; (Taylor et al., 2008b).

Über die Vokalisation von Layard-Walen ist derzeit nichts bekannt.

Abb. 4-19 Aufzeichnungen über Layard-Wale (aus MacLeod et al., 2006)



4.2.1.4 Südlicher Entenwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Odontoceti

Familie Ziphiidae

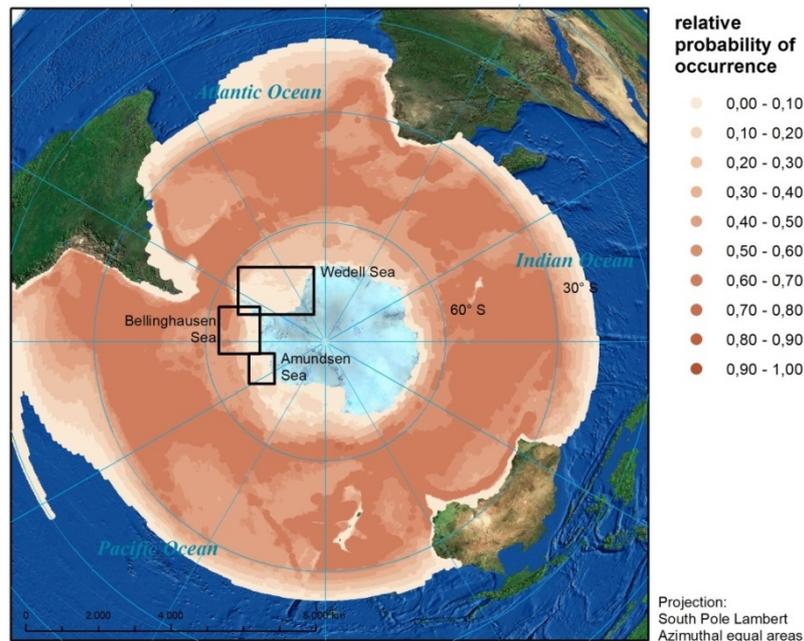
Art *Hyperoodon planifrons*

Südliche Entenwale sind zirkumpolar verbreitet, hauptsächlich südlich von 30° S bis 73° S im Rossmeer (Reeves et al., 2008, Abb. 4-20). Die Erkenntnisse über saisonale Wanderungen sind aus der Zeit des Walfangs überliefert und es ist unklar, ob die aufgezeichneten Muster tatsächliche Variationen des Auftretens der Tiere sind oder indirekt mit den Routen der Walfänger auf dem Weg zur Antarktis in Verbindung stehen (Gowans, 2009). Die Gruppenzusammensetzung wurde hauptsächlich an Nördlichen Entenwalen, der sogenannten ‚Gully‘-Population¹⁷, wissenschaftlich untersucht. Zusammenschlüsse in Fission-Fusion-Gruppen (unstete Gruppenzusammensetzung mit mehrfach wechselnden Individuen) sind meist kurz, jedoch entwickeln ausgewachsene Männchen langanhaltende Gemeinschaften mit unbekannter Funktion (Gowans et al., 2001). Gruppen umfassen gewöhnlich ein bis vier Tiere. Größere Gruppen sind ungewöhnlich, aber oft

¹⁷ „Gully“ ist ein unterseeischer Graben am Rand des Schottischen Schelfs der nordatlantischen kanadischen Küste, wo ein großer Anteil der vorhandenen Population an Entenwalen photographisch identifiziert wurde.

können mehrere Gruppen innerhalb kleinerer Gebiete beobachtet werden (Mead, 1989). Im Gegensatz zu anderen Schnabelwalarten sind diese Tiere neugierig und nähern sich Booten (Mead, 1989).

Abb. 4-20 Karte der modellierten Verbreitung von Südlichen Entenwalen im Südlichen Ozean¹⁸ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Südliche Entenwale sind die einzige Schnabelwalart, für die Abundanzschätzungen vorliegen. Während der zweiten und dritten zirkumpolaren IDCR-/SOWER-Bestandshebungen wurden von 1985 bis 1991 71,560 Tiere geschätzt (95 % CI 56.000 - 91.400) und von 1991 bis 1998 53.743 Tiere (95 % CI 42.400 - 68.100) (Branch und Butterworth, 2001; Leaper et al., 2008b). Diese Berechnungen unterschätzen wahrscheinlich die echte Populationsgröße durch die für die Art typischen ausgedehnten Tauchgänge und damit verbundene Unterschätzung des $g(0)$ -Faktors als Maß für die Sichtungswahrscheinlichkeit auf der Transektlinie (availability bias oder Verfügbarkeitsfehler). Mit einem modellierten $g(0)$ von 0,27 errechneten Kasamatsu und Joyce (1995) 599.300 Tiere. Für diese Art ist keine Information über die Bestandentwicklung verfügbar.

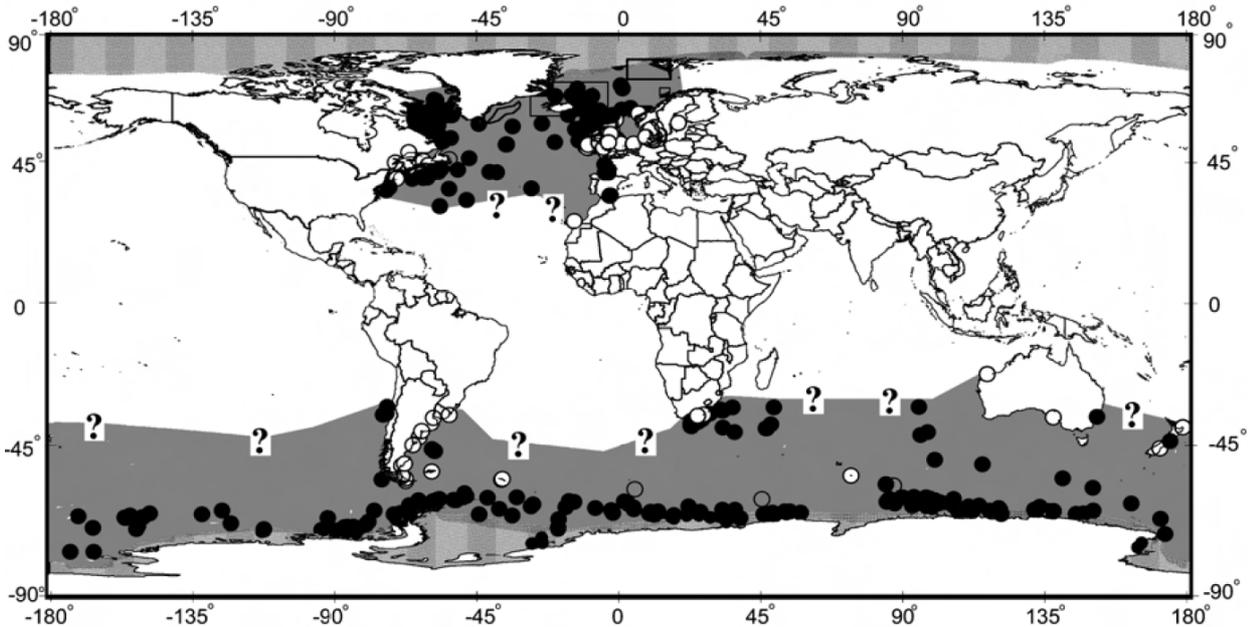
Südliche Entenwale sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ eingestuft (Taylor et al., 2008c).

Sichtungen konzentrieren sich hauptsächlich um den Eisrand, aber Konzentrationen vor der westlichen Antarktischen Halbinsel treten häufig auf (Abb. 4-21; MacLeod et al., 2006).

¹⁸ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung des *Hyperoodon planifrons* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Sehr gute Entsprechung mit dem bekannten Auftreten der Art. Prognosen wurden mittels der IWC-Sower-Sichtungen (Kaschner et al., in der Presse) erfolgreich validiert und weisen eine starke positive Korrelation mit beobachteten Strandungsmustern auf (Kaschner, 2004). Prognosen, die auf dem neuen SST basieren, sind auf der Basis von visuellen Vergleichen sehr ähnlich, wurden jedoch nicht neu geprüft. Anpassung der Hüllkurven von Temperatur, Primärproduktion und Meereiskonzentration. Prognosen würden durch die Verwendung von saisonalen Prognosen verbessert. 23.11.2009, Kristin Kaschner

Über ihre Vokalisation ist wenig bekannt (Tab. 4-8). Es gibt einige Aufnahmen von Nördlichen Entenwalen, es ist jedoch unklar, ob diese auch für Südliche Entenwale repräsentativ sind (Winn, 1970 in Mead, 1989). Sie bewegen sich in einem Frequenzbereich von 3 bis 16 kHz und bestehen aus *whistles*, *chirps*, *burst-pulse tones* und *clicks*.

Abb. 4-21 Aufzeichnungen von Südlichen Entenwalen (aus MacLeod et al., 2006)



Tab. 4-8 Parameter der Vokalisation von Südlichen Entenwalen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
clicks in short bursts	18,000				Leaper und Scheidat (1998)

4.2.1.5 Gray-Zweizahnwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Odontoceti

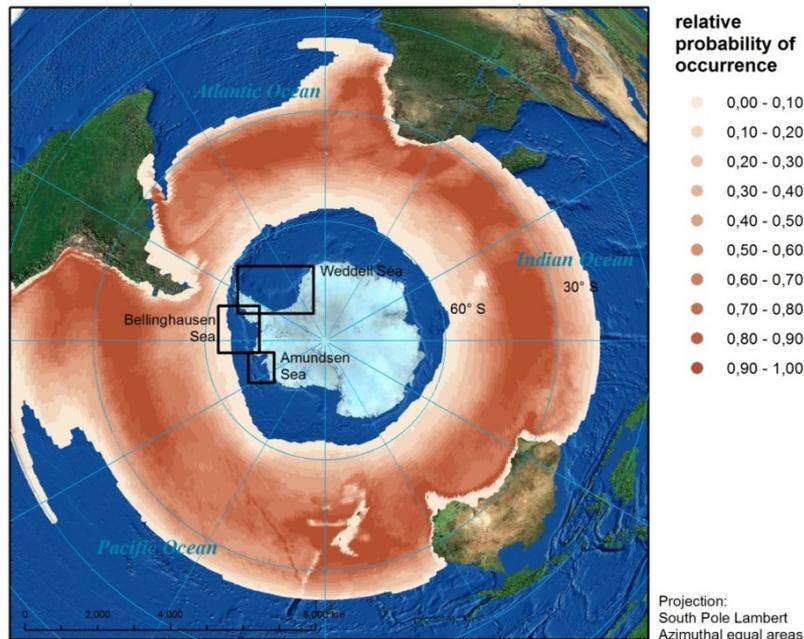
Familie Ziphiidae

Art *Mesoplodon grayi*

Gray-Zweizahnwale kommen allgemein in zirkumpolaren gemäßigten Gewässern der südlichen Hemisphäre vor (Pitman, 2002). Während des Südsommers können sie auch in Küstennähe und im flottierenden Eis beobachtet werden. Auf Basis der Aufzeichnungen und Sichtungen finden sich Gray-Zweizahnwale südlich von 30° S bis hin zu subantarktischen und antarktischen Gebieten (Taylor et al., 2008d). Strandungen und Sichtungen weisen darauf hin, dass die Zone südwestlich der Chatham-Inseln ein Hotspot-Gebiet ist (Dalebout et al., 2004b). Abb. 4-22 zeigt die modellierte Verbreitung von *Mesoplodon grayi*.

Die Hauptnahrungsquelle der Gray-Zweizahnwale sind Kopffüßer in Gewässern von mehr als 200 m Tiefe (Taylor et al., 2008d; Pitman, 2002). Wie bei anderen Schnabelwalarten ist wenig über das Sozialverhalten von Gray-Zweizahnwalen bekannt. Dalebout et al. (2004b) errechneten eine Gruppengröße von $3,3 \pm 1,97$ Tiere aus Sichtungen von 1985 bis 2002 für Gebiete um Neuseeland.

Abb. 4-22 Karte der modellierten Verbreitung von Gray-Zweizahnwalen im Südlichen Ozean¹⁹ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Schätzungen über die Populationsgröße liegen bei Gray-Zweizahnwalen nicht vor, folglich sind Trends ihrer Bestände derzeit nicht bekannt. Sie werden daher nicht mit einem Schutzstatus in der Roten Liste der IUCN gelistet, sondern sind in der Kategorie „Datengrundlage nicht ausreichend“ aufgeführt (Taylor et al., 2008d).

Für den Gray-Zweizahnwal sind derzeit keine Aufzeichnungen der Vokalisationen vorhanden (Erbe, 2004).

¹⁹ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung des *Mesoplodon grayi* (Gray-Zweizahnwal). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 21. Feb. 2013.

4.2.2 Stundenglasdelfin

Ordnung Cetacea

Unterordnung Odontoceti

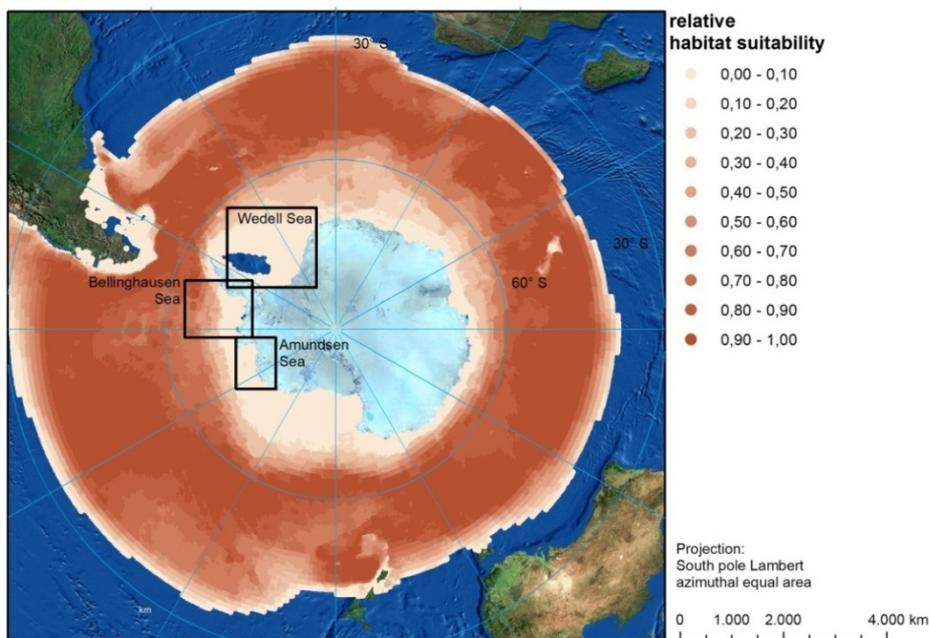
Familie Delpinidae

Art *Lagenorhynchus cruciger*

Stundenglasdelfine sind zirkumpolar verbreitet und werden vom Eisrand bis 45°S, gelegentlich sogar bis 33°S angetroffen (Hammond et al., 2008, Goodall, 2009). Die größte Häufigkeit von Sichtungen liegt zwischen 45 und 60°S (Goodall, 2009).

Ein Survey aus dem Jahr 1995 resultierte in einer Abundanzschätzung von 144.300 Tieren für die Gewässer südlich der antarktischen Konvergenzzone (Kasamatsu und Joyce, 1995). Beobachtungen zufolge steigt die Dichte von Stundenglasdelfinen in antarktischen Gewässern Anfang Februar zeitgleich mit der Oberflächenwassertemperatur an (Kasamatsu und Joyce, 1995).

Abb. 4-23 Karte der modellierten Verbreitung von Stundenglasdelfinen im Südlichen Ozean²⁰ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



²⁰ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Lagenorhynchus cruciger* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 22. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Prüfung der Prognosen zeigt starke positive Korrelation mit beobachteten Sichtungen in antarktischen Gewässern (IWC-SOWER-Bestandserhebung). Prognosen, die auf den neuen SST und Eisdaten basieren, sind auf Basis des visuellen Vergleichs sehr ähnlich, wurden jedoch noch nicht erneut geprüft. Anpassung der Hüllkurven von Temperatur und Meereiskonzentration. Prognostizierte Präsenz im nördlichen Chile wird nicht durch veröffentlichte Daten unterstützt und Verbreitung erstreckt sich möglicherweise zu weit südlich. 23.11.2009, Kristin Kaschner

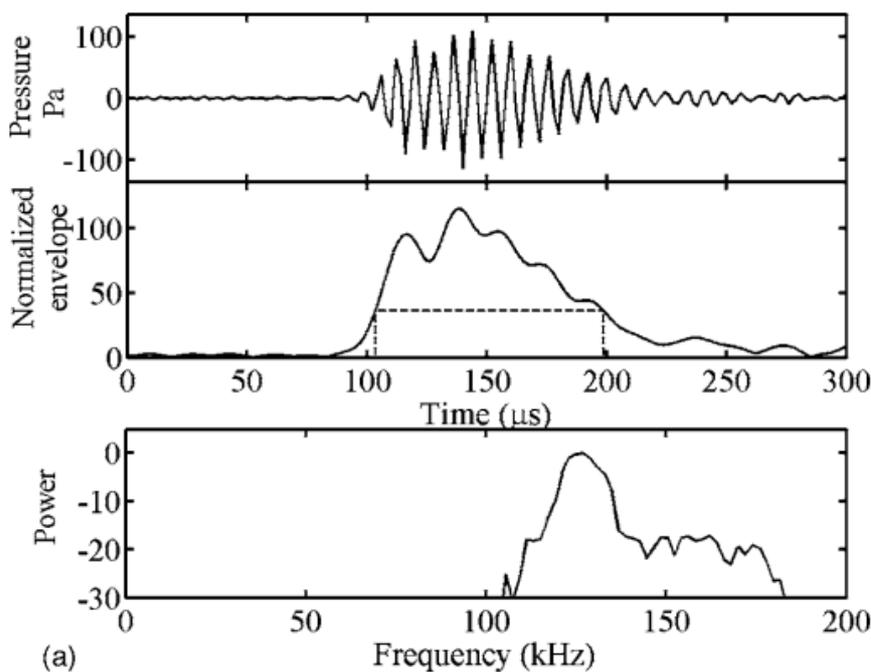
Stundenglasdelfine erbeuten Tintenfische, Krustentiere und kleine Fische (Hammond et al., 2008). Sie jagen häufig in Gebieten mit Ansammlungen von Seevögeln und Planktonswärmen (Goodall, 2009; Hammond et al., 2008). Fernández et al. (2003) beschrieben den Mageninhalt von zwei Stundenglasdelfinen und fanden hauptsächlich Fisch und Kopffüßer, aber auch Krustentiere und zum Teil Polychaeten, die ihrerseits wahrscheinlich von den Beutetieren verdaut worden waren.

Stundenglasdelfine treten in Gruppen von bis zu 60 Individuen auf, normalerweise werden aber nicht mehr als vier bis sieben Tieren zusammen beobachtet. Durch Beobachtungen wurde festgestellt, dass sie andere Arten begleiten, wie zum Beispiel Finnwale, Zwergwale, Große Entenwale, Grindwale und Südkaper (Goodall, 2009).

Stundenglasdelfine sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt, Trends der Abundanz dieser Art sind nicht bekannt (Hammond, 2008; Leaper et al., 2008b).

Wie andere kleine Delfine erzeugen Stundenglasdelfine hochfrequente Klicklaute, um ihre Beute aufzufinden (Abb. 4-24, Tab. 4-9).

Abb. 4-24 Zeitverlauf, Hüllkurve und Powerspektrum eines repräsentativen Stundenglasdelfinklicks.



Das gestrichelte Quadrat in der Hüllkurve bezeichnet die 10 dB Dauer. FFT-Größe von 256, Spektrum interpoliert mit dem Faktor 100, Samplingrate von 500 kHz und Rechteckfenster (Kyhn et al., 2009).

Tab. 4-9 Parameter der Vokalisation von Stundenglasdelfinen

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
click	122-131	126		190-203 pp	Kyhn et al. (2009)

4.2.3 Großer Schwertwal

Ordnung	Cetacea
Unterordnung	Odontoceti
Familie	Delphinidae
Art	<i>Orcinus orca</i>

Große Schwertwale sind in allen Weltmeeren verbreitet (Große Schwertwale jagen ein breites Spektrum von Beutetieren, Ökotypen sind jedoch mit ihrer Beute verbunden, z. B. bevorzugt der antarktische Ökotyp A Zwergwale (Reilly et al., 2008d; Ford, 2009). Es liegen auch Berichte über die Erbeutung von Pinguinen vor (Lauriano et al., 2007).

Die weltweite Population wird, trotz großer Unsicherheiten, auf 50.000 Individuen geschätzt, wobei diese Zahl wahrscheinlich eine Unterschätzung ist (Taylor et al., 2008e). Für den Südlichen Ozean allein wurden auf Basis der jüngsten zirkumpolaren IDCR-/SOWER-Bestandserhebung 24.790 Tiere (95 % CI 15.900 - 38.700) geschätzt (Branch und Butterworth, 2001; Leaper et al., 2008b). Ein Abundanztrend für diese Art ist nicht bekannt. Obwohl unterschiedliche Schätzungen aus den beiden ersten zirkumpolaren Bestandserhebungen abgeleitet wurden, ist es weiterhin unklar, ob diese Unterschiede durch die verschiedenen Erhebungsstrategien oder durch einen tatsächlichen Bestandstrend hervorgerufen wurden (Leaper et al., 2008b). Kasamatsu und Joyce (1995) berichten von einer Verbreitungslücke im Weddellmeer, die, neben einer geringen Eignung für das Amundsenmeer, ebenfalls durch das Habitatmodell vorhergesagt wird. Eine Wintersichtung einer Gruppe von Großen Schwertwalen mit Kälbern weist darauf hin, dass die Fortpflanzung von Großen Schwertwalen in der Antarktis während des Winters in dichterem Eis möglich ist (Gill und Thiele, 1997).

Abb. 4-26), wobei Sie kältere und produktivere Gewässer bevorzugen (Ford, 2009) jedoch auch in Küstennähe vorkommen (Taylor et al., 2008e). Obwohl große Unterschiede in den Beutetieren, im Sozialverhalten und in den Assoziation mit unterschiedlichen Habitaten bestehen, wird derzeit nur eine einzige Art unterschieden (Ford, 2009; Leaper et al., 2008b). Pitman und Ensor (2003) und Pitman et al. (2007) beschreiben drei verschiedene Ökotypen in der Antarktis, die sich aufgrund ihrer Größe, Morphologie, Farbmuster und Ernährung unterscheiden lassen. Typ C kommt in dichtem Packeis vor, ist spezialisiert auf Fisch und wahrscheinlich der kleinste Vertreter von *Orcinus orca* und wird am häufigsten im Ross-Meer gesichtet. Typ A bezieht sich auf größere Tiere im offenen Meer, die sich auf Wale als Beute spezialisiert haben und häufig in eisfreien Gewässern angetroffen werden (LeDuc et al., 2008; Pitman et al., 2007). Typ B ist morphologisch ähnlich, hat jedoch einen größeren Augenfleck als Typ C. Typ B ist auf Robben als Beutetiere spezialisiert und kommt im Packeis vor (LeDuc et al., 2008). Eine genetische Analyse der verschiedenen Ökotypen zeigte signifikante Unterschiede, die auf reproduktive Isolation hinweisen. Eine ebenfalls festgestellte geringe Sequenzdivergenz lässt jedoch auf jüngere und schnelle evolutionäre Veränderungen schließen (LeDuc et al., 2008). Große Schwertwale der Typen B und C überwintern möglicherweise in der Antarktis (Pitman und Ensor, 2003).

Abb. 4-25 Ökotypen der Großen Schwertwale in der südlichen Hemisphäre

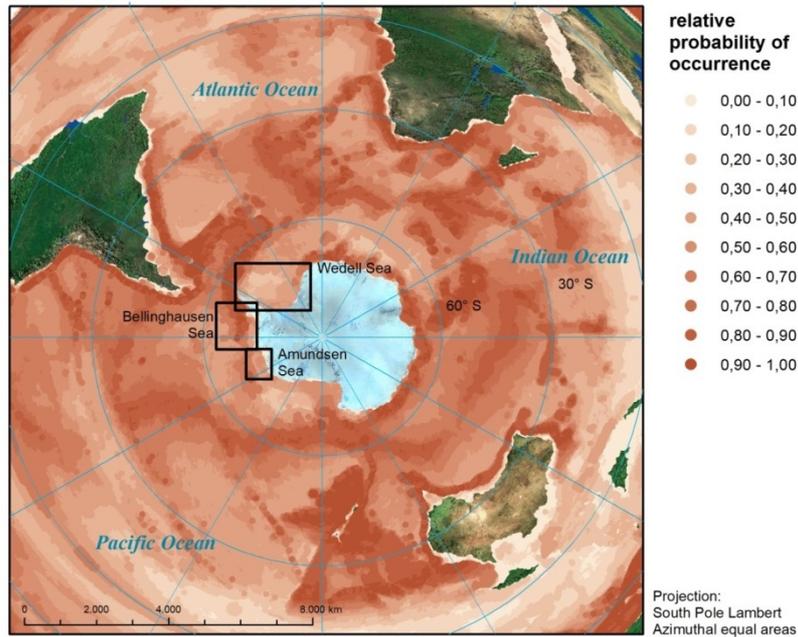


Ökotypen der Große Schwertwale in der südlichen Hemisphäre (Typ A oben, Typ C unten, aus Ford (2009), Illustration von U. Gorker)

Große Schwertwale jagen ein breites Spektrum von Beutetieren, Ökotypen sind jedoch mit ihrer Beute verbunden, z. B. bevorzugt der antarktische Ökotyp A Zwergwale (Reilly et al., 2008d; Ford, 2009). Es liegen auch Berichte über die Erbeutung von Pinguinen vor (Lauriano et al., 2007).

Die weltweite Population wird, trotz großer Unsicherheiten, auf 50.000 Individuen geschätzt, wobei diese Zahl wahrscheinlich eine Unterschätzung ist (Taylor et al., 2008e). Für den Südlichen Ozean allein wurden auf Basis der jüngsten zirkumpolaren IDCR-/SOWER-Bestandsaufnahme 24.790 Tiere (95 % CI 15.900 - 38.700) geschätzt (Branch und Butterworth, 2001; Leaper et al., 2008b). Ein Abundanztrend für diese Art ist nicht bekannt. Obwohl unterschiedliche Schätzungen aus den beiden ersten zirkumpolaren Bestandsaufnahmen abgeleitet wurden, ist es weiterhin unklar, ob diese Unterschiede durch die verschiedenen Erhebungsstrategien oder durch einen tatsächlichen Bestandstrend hervorgerufen wurden (Leaper et al., 2008b). Kasamatsu und Joyce (1995) berichten von einer Verbreitungslücke im Weddellmeer, die, neben einer geringen Eignung für das Amundsenmeer, ebenfalls durch das Habitatmodell vorhergesagt wird. Eine Wintersichtung einer Gruppe von Großen Schwertwalen mit Kälbern weist darauf hin, dass die Fortpflanzung von Großen Schwertwalen in der Antarktis während des Winters in dichterem Eis möglich ist (Gill und Thiele, 1997).

Abb. 4-26 Karte der modellierten Verbreitung von Großen Schwertwalen im Südlichen Ozean²¹, ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Große Schwertwale werden aufgrund der Unsicherheiten bezüglich der Artenfestlegung in der Roten Liste der IUCN mit einem Schutzstatus von „Datengrundlage nicht ausreichend“ eingestuft. Wären Arten bzw. Unterarten zugewiesen, würde sich wahrscheinlich ein höherer Schutzstatus ergeben (Taylor et al., 2008e).

Große Schwertwale nutzen Vokalisation sehr aktiv, diese weisen aber Anpassungen an das Hörvermögen ihrer bevorzugten Beutetiere auf (Foote und Nystuen, 2008). Sie sind weiterhin dazu fähig Stimmuster zu erlernen und Klänge nachzuahmen (Deecke et al., 2005; Foote et al., 2006, 2008; Miller et al., 2004a).

Tab. 4-10 Parameter der Vokalisation von Großen Schwertwalen

Signal typ	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
whistles	1,500-18,000	6,000-12,000	6,000-12,000		Steiner et al. (1979); Ford und Fisher(1983) Morton et

²¹ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Orcinus orca* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Entsprechung zu dem bekannten Auftreten der Art. Geringfügige Modifizierung von Bereichen der Salinität und Primärproduktion zur Erfassung der maximalen Verbreitungsräume dieser Art. Prognostizierte Verbreitung stellt vermutlich einen Kompromiss zwischen unterschiedlichen Subpopulationen mit unterschiedlichen Habitatpräferenzen und zwischen Sommer- und Winterverbreitung dar. Prognostiziertes Auftreten im Roten Meer wird nicht durch veröffentlichte Daten unterstützt. Wahrscheinlich falsche prognostizierte Abwesenheit in der Ostsee. 09.09.2009, Kristin Kaschner

Signal typ	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
					al.(1986)
pulsed calls	500-25,000	1,000-6,000	1,000-6,000	160	Schevill und Watkins (1966); Awbrey et al. (1982) Ford und Fisher (1983) Moore et al. (1988)
clicks	250-500				Schevill und Watkins (1966)
clicks	100-35,000	12,000-25,000		180	Diercks et al. (1971), Diercks (1972)
screams	2,000				Schevill und Watkins (1966)

4.2.4 Langflossen-Grindwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Odontoceti

Familie Delphinidae

Art *Globicephala melas*

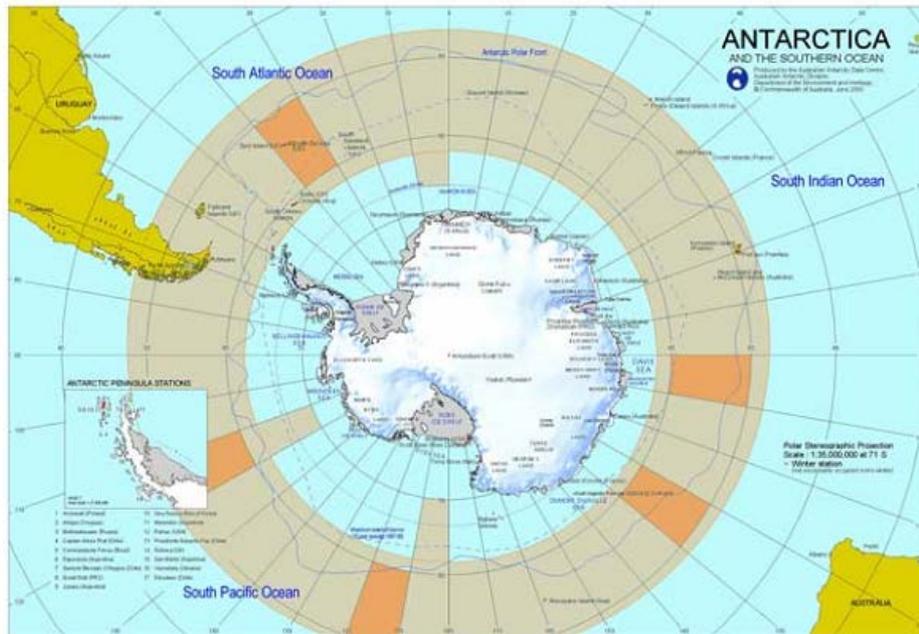
Unterart *Globicephala melas melas* (Nordhalbkugel)

Globicephala melas edwardii (Südhalbkugel)

Langflossen-Grindwale sind in kalten temperierten Gewässern weit verbreitet und treten sowohl in den Ozeanen der Nord- als auch der Südhalbkugel auf (Olson, 2009). *Globicephala melas melas* kommt auf der nördlichen Hemisphäre vor und *Globicephala melas edwardii* auf der südlichen (Olson, 2009). In den antarktischen Gewässern weisen Langflossen-Grindwale eine zirkumpolare Verbreitung auf und scheinen mit der antarktischen Konvergenz verbunden zu sein, bleiben jedoch in weiterer Entfernung vom Eisrand (Olson, 2009; Taylor et al., 2008f; Boyd, 2009a, Abb. 4-27, Abb. 4-28).

Es liegen nur wenige Kenntnisse über ihr Wanderverhalten vor. Es wurde aber beobachtet, dass die Abundanz von Langflossen-Grindwalen in antarktischen Gewässern während der zweiten Januarhälfte leicht ansteigt (Gill und Evans, 2002). Die Population wird auf mehrere hunderttausend Tiere geschätzt, mit ca. 200.000 Tieren, die sich im Sommer südlich der Antarktischen Konvergenzzone aufhalten. Bestandstrends für diese Art sind nicht bekannt (Taylor et al., 2008f).

Abb. 4-27 Verbreitung von Langflossen-Grindwalen während der Sommermonate.



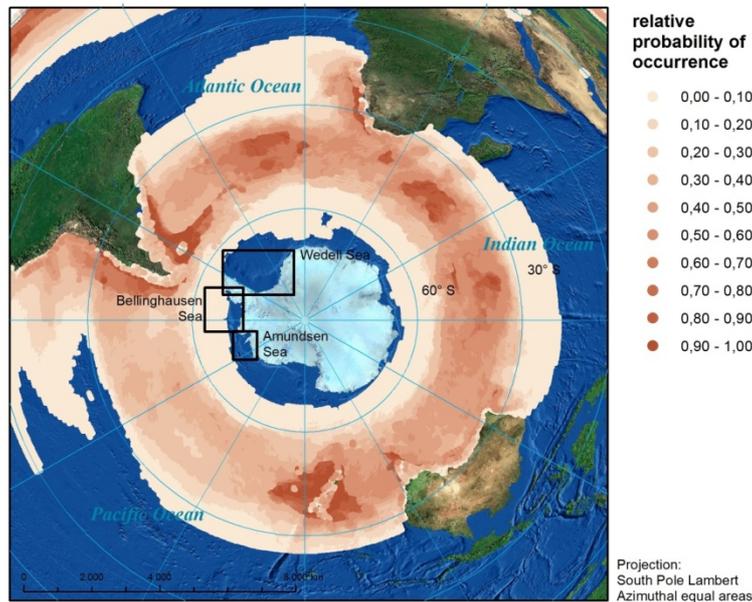
Dunkle Bereiche geben die Regionen mit den meisten Sichtungen an. (Auf Basis der Analyse von Kasamatsu und Joyce (1995) von Bestanderhebungen, welche antarktische Gewässer abdecken, die als südlich der antarktischen Konvergenz definiert wurden.) Die antarktische Konvergenz befindet sich im Südatlantik-/Indischer-Ozean-Sektor bei 50°S zwischen den 60°W und 160°E Längengraden und im Südpazifik-Sektor bei 60°S zwischen den 160°E und 60°W Längengraden (aus Gill und Evans, 2002).

Grindwale führen ein komplexes Sozialleben. Sie bilden Herden, die aus 20 bis 90 Tieren bestehen und wandern, jagen und ruhen gemeinschaftlich (Olson, 2009). Kälber von Grindwalen werden in stabilen Gruppen aufgezogen, obwohl die Bullen sich in anderen Familiengruppen verpaaren (Amos et al., 1993). Langflossen-Grindwale können mit anderen Arten assoziiert sein, zum Beispiel mit Großen Tümmlern, Gewöhnlichen Delfinen, Großen Schwertwalen, Pottwalen und Finnwalen (Olson, 2009).

Langflossen-Grindwale erbeuten überwiegend Tintenfische, sie ernähren sich aber auch von Fisch (Makrelen, Kabeljau, Steinbutt, Hechtdorsch, Dornhai) und teilweise von Garnelen (Taylor et al., 2008f). Grindwale zeigen einen deutlichen Tagesrhythmus im Tauchverhalten mit kurzen und flachen Tauchgängen (1-16 m) am Tag und tieferen Tauchgängen (>100 m) in der Nacht (Olson 2009). Im nordöstlichen Atlantik erreichte ein Langflossen-Grindwal beim Tauchen eine Höchsttiefe von 828 m (Heide-Jorgensen et al., 2002), jedoch stammen diese Daten, ebenso wie die von Baird et al. (2002), die von längeren und tieferen Tauchzügen während der Nacht berichten, von der nördlichen Unterart.

Langflossen-Grindwale werden in der Roten Liste der IUCN unter „Datengrundlage nicht ausreichend“ eingestuft (Taylor, 2008f).

Abb. 4-28 Karte der modellierten Verbreitung von Langflossen-Grindwalen im Südlichen Ozean²² ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Massenstrandungen von Kurzflossen- und Langflossen-Grindwalen wurden mit unterschiedlichen Ursachen wie z.B. möglichen Virusinfektionen oder durch Sozialverhalten begründete Strandungen in Verbindung gebracht, bei welchen kranke Tiere von anderen gesunden Tieren begleitet werden (Review in Olson, 2009).

Langflossen-Grindwale nutzen Echoortung zum Beutefang und Pfeiftöne zur Kommunikation (Olson, 2009, Tab. 4-11). Kurzflossen-Grindwale zeigten Vermeidungsreaktionen auf ein ‚Ramp-up‘-verfahren zur graduellen Steigerung der Lautstärke einer seismischen 2D-Vermessung zur Verminderung der Effekte (Mitigation) der eigentlichen geophysischen Erkundung (Weir, 2008). Die Reaktion war zeitlich und räumlich beschränkt und die Tiere verbrachten möglicherweise längere Zeit an der Oberfläche, um größere Schalldrücke weiter von der Oberfläche entfernt (ungeschützt von der dämpfenden Wirkung des Lloyd Mirror Effektes), also tiefer in der Wassersäule zu vermeiden.

²² Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Globicephala melas* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Relativ gute Übereinstimmung mit den bekannten Revierausdehnungen und Sichtungen, obgleich bezüglich dieser aufgrund von sympatrischem Auftreten mit Kurzflossen-Schwertwalen in manchen Gebieten und den Schwierigkeiten, beide Arten auf See zu unterscheiden, erhebliche Verwirrung besteht. Gewisse Anpassungen der Temperatur-Hüllkurve (PrefMin & Max Grenzen), um das Temperaturauftreten der Art adäquater zu erfassen. Die nördliche Revierausdehnung im Atlantik ist möglicherweise zu weit nördlich. 04.09.2009, Kristin Kaschner

Tab. 4-11 Parameter der Vokalisation von Langflossen-Grindwalen

Signal typ	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
whistles	1,000-8,000		1,600-6,700		Busnel und Dziedzik (1966)
	1,000-8,000	1,600-6,700		178	Wartzok und Ketten (1999)
clicks	1,000-18,000				Taruski (1979) Steiner (1981)
	200-100,000			180	Taruski (1979)

4.2.5 Pottwal

Ordnung Cetacea

Unterordnung Odontoceti

Familie Physeteridae

Art *Physeter macrocephalus* (oder *catodon*)

Pottwale fallen durch einige Extreme unter den Säugetierarten auf. Sie sind die größte Zahnwalart mit dem wahrscheinlich größten Geschlechtsdimorphismus und verfügen über die größten Gehirne in dieser Artengruppe (Whitehead, 2009). Sie tauchen sehr tief (~400-1200 m mit Maximaltiefen von >2000 m) und lang (~15 min - 1h 13 min) (Amano und Yoshioka, 2003; Aoki et al., 2007; Davis et al., 2007; Thode, 2004; Watkins et al., 1993), haben sehr große Reichweiten (Hastie et al., 2003; Jaquet und Whitehead, 1999; Jaquet et al., 2003) und leben in komplexen Sozialgruppen (Coakes und Whitehead, 2004; Drouot et al., 2004; Jaquet und Gendron, 2009).

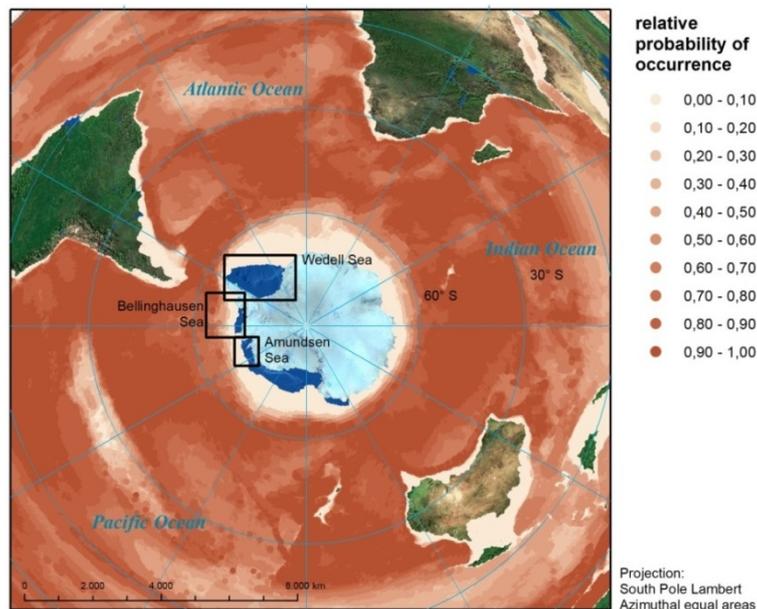
Weiterhin gehören sie zu den lautesten Tieren im Meer und haben die größte Nase (Cranford, 1999; Madsen et al., 2005; Møhl, 2001).

Pottwale wurden im 19. Jahrhundert und verstärkt im 20. Jahrhundert stark bejagt. Schätzungen für die Zeit vor dem Walfang belaufen sich auf etwa 1.100.000 Individuen (95 % CI: 672.000 bis 1.512.000), wohingegen sich die Population um die Jahrhundertwende wahrscheinlich auf 360.000 Individuen belief (Whitehead, 2002).

Die Verbreitung der Pottwale ist hauptsächlich durch notwendige große Wassertiefen bedingt, aber ältere Walfang-, Gründe' wurden für Regionen mit hoher Primärproduktion (Jaquet, 1996) angenommen. Während Weibchen anscheinend über eine Dekade in einem Gebiet von ungefähr 1.000 km² bleiben, wandern Männchen wesentlich weiter, selbst zwischen ozeanischen Becken, was eine mögliche Erklärung dafür ist, warum die genetische Bestandsstruktur generell auf globaler Ebene einheitlich ist (Dufault et al., 1999).

Kasamatsu und Joyce (1995) berichteten die höchsten Dichten von ausgewachsenen Männchen in zwei Gebieten nahe der Küste des Amery-Eisschelfs und um Wilkesland. Die Modellierung der Habitateignung zeigt höhere Eignungen um die Antarktische Halbinsel, ist aber generell niedrig für das Weddellmeer und Amundsenmeer (Abb. 4-29).

Abb. 4-29 Karte der modellierten Verbreitung von Pottwalen im Südlichen Ozean²³ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Weibchen jagen hauptsächlich nach Tintenfisch, sie ernähren sich aber auch von verschiedenen Fischarten. Männchen jagen meist größere Beutetiere und bevorzugen Bodenfische (Whitehead, 2009). Pottwale erzeugen *clicks* und *creaks* zur Echoortung (Miller et al., 2004b; Møhl et al., 2003; Watwood et al., 2006) und zur sozialen Interaktion (Frantzis und Alexiadou, 2008; Madsen et al., 2002a; Marcoux et al., 2006; Rendell, 2004; Rendell et al., 2012; Watkins und Schevill, 1977; Weilgart und Whitehead, 1997).

Pottwale sind als “gefährdet A1 (d)” in der Roten Liste der IUCN eingestuft (Taylor 2008g).

²³ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Physeter macrocephalus* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Entsprechung zum bekannten Auftreten der Art. Prognostizierte Verbreitung umfasst die nördlichen und südlichen bekannten maximalen Revierausdehnungen der Wanderung von großen Männchen. Weibchen und nicht ausgewachsene Tiere verbleiben überwiegend unterhalb von 40°N und oberhalb 40°S. Prognosen wurden in manchen Gebieten mittels unabhängiger Sichtungsdaten erfolgreich validiert (Kaschner et al., 2006). Geringfügige Modifizierung der Salinitätsgrenze zur Erfassung des regelmäßigen Auftretens der Art im Mittelmeer. Auftreten im Roten Meer wird nicht durch veröffentlichte Daten unterstützt. 07.09.2009, Kristin Kaschner

Tab. 4-12 Parameter der Vokalisation von Pottwalen

Signal typ	Frequenz bereich (Hz)	Frequenz der maximalen Energy (Hz)	Dominante Frequenz (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
clicks	100-30,000	2,000-4,000 10,000-16,000	2,000-4,000 ^a 10,000-16,000	160-180 220	Backus und Schevill (1966); Levenson (1974) Watkins (1980) Madsen et al. (2002b) Thode et al. (2002) Mohl et al. (2000)
clicks in coda	16,000-30,000	7,000-9,000		165 peak-peak	Wartzok und Ketten(1999); Madsen et al. (2002b)
pulses				bis zu 162	Madsen et al. (2006)
trumpets	500-15,000	500; 3,000		172 peak-peak	Teloni und Zimmer (2005)

4.3 Robben

Von den sechs antarktischen Robbenarten gehört eine zur Familie *Otariidae* oder Ohrenrobben und fünf zur Familie *Phocidae* oder Hundsrobben (Boyd, 2009a). Im Gegensatz zu den meisten Walarten sind Robben vom Südlichen Ozean und der Antarktis als Primärhabitat abhängig (Boyd, 2009a).

Antarktische Robben unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Verbreitung, ihrer bevorzugten Nahrungsquellen (King, 1983), aber auch durch ihre Verbindung zu Festeis-, Packeis- und Freiwasserhabitaten (Boyd, 2009a). Antarktische Seebären und Seeelefanten können als Freiwasserarten betrachtet werden, wobei antarktische Seebären hauptsächlich im Norden und um die antarktische Polarfront vorkommen (Bonner, 1981; Forcada und Staniland, 2009) und sich Seeelefanten von nördlich der antarktischen Konvergenz bis hin zur Packeiszone bewegen (Hindell und Perrin, 2009; Lewis et al., 2006; Ling und Bryden, 1981). Krabbenfresser durchstreifen die Packeiszone, wobei einzelne Tiere möglicherweise die gesamte antarktische Packeiszone durchwandern (Boyd, 2009a). Ross-Robben bewegen sich wahrscheinlich je nach Saison zwischen dem Packeis und Freiwasser (Boyd, 2009a; Ray, 1981; Thomas und Rogers, 2009a). Seeleoparden sind das ganze Jahr über im gesamten Packeis zwischen der antarktischen Konvergenz und dem Kontinent verbreitet (Kooyman, 1981a). Weddellrobber sind hauptsächlich mit dem Festeis (fast ice) und den subantarktischen Inseln verbunden, verbleiben jedoch hauptsächlich südlich der antarktischen Konvergenz (Kooyman, 1981b).

Weddell-, Ross-, Leoparden- und Krabbenfresserrobber pflanzen sich auf dem Eis fort, während sich Seeelefanten und Antarktische Seebären sich an Land fortpflanzen. Die meisten dem Eis angepassten Robben weisen kontrastierende oder grob gemusterte (disruptive) Farbmuster auf (Berta, 2009). Antarktische Robben ernähren sich hauptsächlich von Fisch und Tintenfischen, Krabbenfresser weisen jedoch eine Anpassung der Zahnstruktur an die vorwiegende Ernährung von Krill auf. Aufgrund der Abhängigkeit der Robben vom Eis ist es wahrscheinlich, dass sich der Klimawandel auf diese Arten auswirken könnte (z. B. Southwell et al., 2008a).

Die Abundanz von Robben wird hauptsächlich durch Zählungen während des Aufenthaltes auf dem Eis oder an Land festgestellt, in der Regel entweder während der Fortpflanzungssaison oder während des Fellwechsels. Bestandserhebungen von Hubschraubern oder Flugzeugen aus sind im Rahmen des antarktischen Packeisrobberprogramms (Antarctic Pack Ice Seal (APIS)) unternommen worden, um ein besseres Verständnis der in der Antarktis lebenden Robben zu erlangen. Dieser multinationale und multidisziplinäre Ansatz wird vom Wissenschaftlichen Ausschuss zur Antarktisforschung (Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR)) - Robberexpertengruppe (Group of Specialists on Seals) - geleitet. Teilergebnisse und Berichte zur Robberabundanz für kleinere Gebiete sind auf deren Webseite²⁴ zu finden.

Der Lebenszyklus von Robben wurde für die antarktischen Robberarten noch nicht vollständig untersucht. Einige Arten, wie die Weddellrobbe zum Beispiel, wurden jedoch hauptsächlich durch Markierungs-Wiederfangstudien untersucht (Boyd, 2009b). Einige Parameter für die besser bekannten Arten werden in Tab. 4-13 aufgeführt.

Bei Robber ist ein wesentlicher Aspekt bezüglich der Maskierungsstudien der saisonale Zyklus der Ernährungsperioden, die sich mit der Geburtsphase, Aufzucht, Paarung und Fellwechsel abwech-

²⁴ <http://www.seals.scar.org> zugänglich (aufgerufen am 04.09.2012)

seln. Während der Fortpflanzung und dem Fellwechsel verbringen Tiere lange Zeiträume auf dem Eis oder an Land, sind aber wahrscheinlich aufgrund von hormonellen Veränderungen und wechselnder Nahrungsaufnahme empfindlicher hinsichtlich von Störungen. Dies muss insbesondere bei sich auf dem Land fortpflanzenden Südlichen Seeelefanten und Antarktischen Seebären berücksichtigt werden, die während der Fortpflanzungssaison unter Wasser keine sehr aktive Kommunikation aufweisen. Weddell-, Ross-, Krabbenfresserrobben und Seeleoparden gehören zu den sich im Wasser fortpflanzenden Robben, die aktiver vokalisieren (Bowen et al., 2009). Bei Weddellrobben muss auch berücksichtigt werden, dass sich die Verbreitung während der Fortpflanzungssaison um Atemlöcher im Eis herum konzentrieren kann (Bowen et al., 2009) und sich Lärm möglicherweise allein durch Zufall und die Position der Atemlöcher auf einen größeren Anteil von Individuen auswirken kann.

Zur Bewertung der Naturschutzaspekte ist es wichtig, dass Antarktische Seebären durch Robben- und Walfangaktivitäten bis 1830 fast ausgerottet worden waren und bis 1920 als ausgestorben galten. Auch Seeelefanten wurden ähnlich intensiv ausgebeutet.

Tab. 4-13 Einige Daten zum Lebenszyklus von vier antarktischen Robbenarten (Boyd 2009b).

Art	Durchschnittliche Körpermasse von Weibchen (kg)	Durchschnittliche Körpermasse von Männchen (kg)	Überlebensrate Jungtiere	Überlebensrate adulter Weibchen	Überlebensrate adulter Männchen	Durchschnitts alter bei der ersten Geburt (in Jahren)	Durchschnittliche Schwangerschaftsrate pro Tier	Quelle
Seeelefanten	400-500	2100	0,98	0,67-0,88	0,50-0,83	3-4	0,88	McCann(1985) Hindell (1991); Galimberti und Boitani (1999)
Weddellrobbe	350-425	-	0,80-0,92	0,76-0,85	-	4-5	0,46-0,79	Testa (1987); Testa und Siniff (1987); Testa et al. (1990); Hastings und Testa (1998)
Krabbenfresser Robbe	220	-	0,21 (Überlebensrate im ersten Jahr)	0,9-0,97	-	2,5	0,95-0,98	Boveng (1993)
Antarktischer Seebär	45	188	0,69-0,96	0,83-0,92	0,5	3	0,68-0,77	Wickens und Yorck (1997)

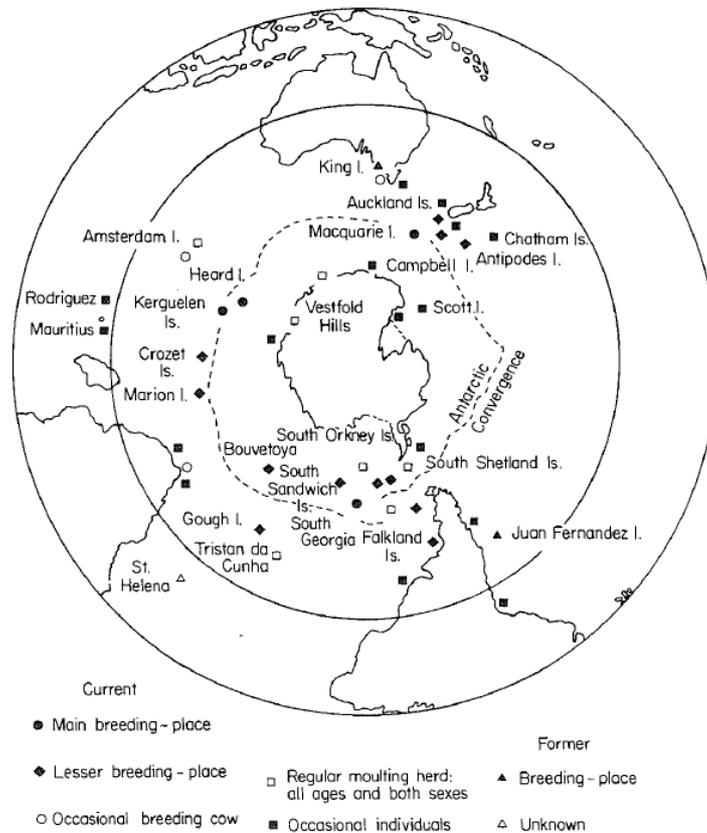
4.3.2 Südlicher Seeelefant

Ordnung	Carnivora
Unterordnung	Pinnipedia
Familie	Phocidae
Unterfamilie	Monachinae
Art	<i>Mirounga leonina</i>

Seeelefanten weisen einen sehr starken Sexualdimorphismus auf: Männliche Tiere sind fünf bis sechs Mal schwerer als die Weibchen (Boyd, 2009a, 2009b). Weiterhin haben Männchen einen verlängerten Rüssel, der eine große Rolle bei der Dominanzbekundung spielt (Hindell und Perrin, 2009). Südliche Seeelefanten wurden insbesondere um Südgeorgien und die Kerguelen gejagt, wo der Wal- und Robbenfang nach 1960 gestoppt wurde (Ling und Bryden, 1981). Bei den hauptsächlich zur Fortpflanzung genutzten Inseln handelt es sich um Südgeorgien, die Kerguelen, Heard-Insel und Marion-Insel (Ling und Bryden, 1981; Abb. 4-30), aber Fortpflanzung wurde auch auf der Antarktischen Halbinsel beobachtet. Aufgrund der genetischen Struktur lassen sich vier Bestände unterscheiden: der des südlichen Pazifiks, des südlichen Atlantiks und des südlichen Indischen Ozeans sowie eine kleinere Population bei der Halbinsel Valdey in Argentinien (Hindell und Perrin, 2009).

Die Population im südlichen Atlantik scheint stabil zu sein oder zu wachsen (Hindell und Perrin, 2009), wohingegen auf den Macquarie-Inseln, Heard-Insel, Kerguelen (Weibchen) und Marion-Insel in den Achtziger Jahren starke Rückgänge verzeichnet wurden (McCann und Rothery, 1988). Nach einem schwerwiegendem Rückgang der Populationsgröße von 1952 bis 1985 um etwa 50 % scheint sich die Population bei der Macquarie-Insel zu stabilisieren (Hoff et al., 2007). Ein Rückgang von sogar 66,3 % wurde zwischen 1977 und 2004 für die relativ kleine Population bei der Prince-Edwards-Insel errechnet (Bester und Hofmeyr, 2005). Die Gründe für die Rückgänge sind derzeit nicht vollverständlich untersucht (Campagna, 2008).

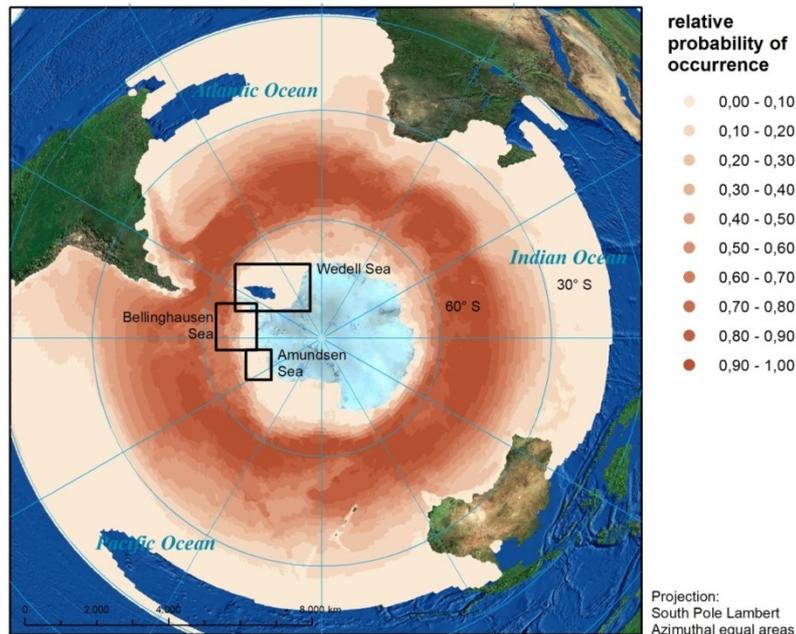
Abb. 4-30 Hauptsächliche Fortpflanzungsinseln der Südlichen Seeelefanten (aus Carrick und Ingham, 1962; zitiert in Ling und Bryden, 1981)



Modelle der Habitateignung zeigen eine zirkumpolare Verbreitung mit der höchsten Eignung zwischen 60°S und 45°S (Abb. 4-31), wobei hohe Werte auch mit dem Bellingshausenmeer und der Antarktischen Halbinsel assoziiert sind. Weibliche Südliche Seeelefanten bleiben näher an den Fortpflanzungsstellen, während Anzeichen vorliegen, dass Männchen große Teile des Südlichen Ozeans südlich (Authier et al., 2012; Bailleul et al., 2007a, 2007b; Bornemann et al., 2000; Tosh et al., 2008), aber auch nördlich der antarktischen Konvergenz (Lewis et al., 2006) nutzen.

Die weltweite Population von *M. leonina* wurde in den Neunziger Jahren auf 650.000 Tiere geschätzt. Wesentliche, sich fortpflanzende Populationen scheinen stabil zu sein oder zuzunehmen (Campagna, 2008). Südliche Seeelefanten sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Campagna, 2008). Nichtsdestotrotz vermerkt die IUCN, dass der Status für bestimmte Populationen und Fortpflanzungsorte einen Rückgang zeigt und auf kleinerer räumlicher bzw. Populationsebene behandelt werden sollte.

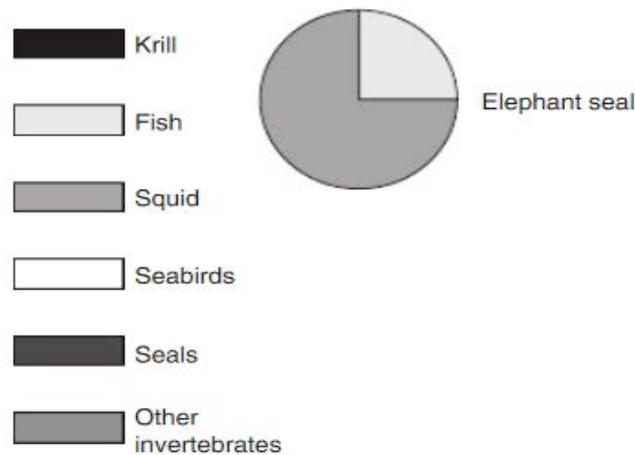
Abb. 4-31 Karte der modellierten Verbreitung von Südlichen Seeelefanten²⁵ im Südlichen Ozean, ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Südliche Seeelefanten jagen hauptsächlich Tintenfisch und in geringerem Maße Fisch (Carlini et al., 2005; Hindell und Perrin, 2009; Hückstädt et al., 2012; Ling und Bryden, 1981; McIntyre et al., 2012; Abb. 4-32). Sie sind effiziente Taucher, die bis zu einer Tiefe von 2.000 m gelangen (Bailleul et al., 2008; Bennett et al., 2001; Campagna et al., 2007; Hindell et al., 1991). Telemetrie wurden an Seeelefanten eingesetzt, um Veränderungen am relativen Anteil des Körperfettes zu verfolgen, indem die Auftriebskraft durch die Driftkomponenten des Tauchvorgangs gemessen wurden (Thums et al., 2008). Dies erlaubte den Schluss, dass Gebiete, in denen Körperfett zunahm, sich gut mit Gebieten deckten, in welchen Robben die meiste Zeit verbrachten.

²⁵ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Mirounga leonina* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Relativ gute Übereinstimmung mit der bekannten Verbreitung der Art, obgleich ihre Verbreitung entlang der Küste der Antarktis nicht gut erfasst ist. Nördliche niedrige Wahrscheinlichkeitsprognosen umfassen viele, jedoch nicht alle der bekannten umherwandernden Aufzeichnungen für die Art. Anpassung der Hüllkurve von Temperatur und Meereis erforderlich, um die Konzentration dieser Art in subpolaren und polaren Gewässern widerzuspiegeln. Prognosen würden durch die Einbeziehung von Saisonalität verbessert. 09.03.2010, Kristin Kaschner

Abb. 4-32 Zusammensetzung der Nahrung von Südlichen Seeelefanten (aus Boyd, 2009a)



Es ist bekannt, dass Große Schwertwale Seeelefanten angreifen, jedoch jagen auch Seeleoparden und große Haie Südliche Seeelefanten. Seeelefanten benutzen Vokalisation hauptsächlich in der Luft, detailliertes Wissen über ihre Unterwasservokalisation liegt noch nicht vor.

Tab. 4-14 Parameter der Vokalisation in der Luft von Südlichen Seeelefanten

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz nah der maximalen Energie (Hz)	Dominante Frequenzen (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
Male in air call	178-1,617				Sanvito und Galimberti (2000a, 2000b); Sanvito et al. (2007a, 2007b)
Female call for calf	50-3,000				

4.3.3 Antarktische Seebären

Ordnung Carnivora
 Unterordnung Pinnipedia
 Familie Otariidae
 Unterfamilie Arctocephalinae
 Art *Arctocephalus gazella*

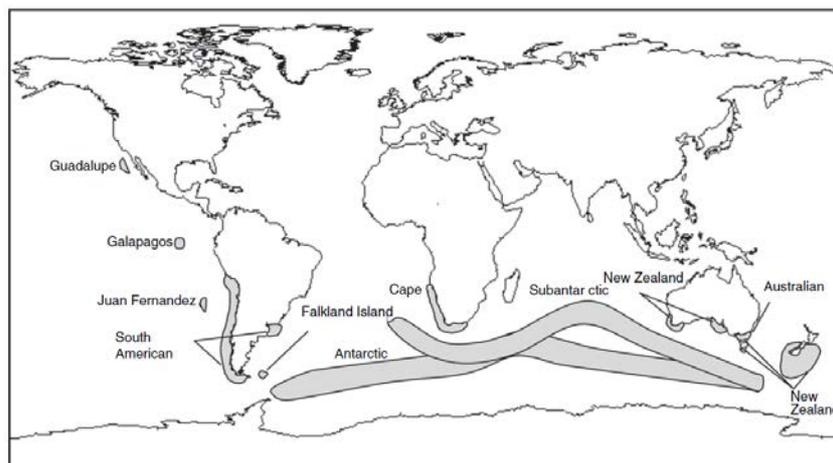
Arctocephalus gazella ist eine von acht Arten des Südlichen Seebären (Thomas und Rogers, 2009b). Während der Robbenjagd wurden Seebären so intensiv gejagt, dass manche der acht Arten einschließlich des *A. gazella* als ausgerottet galten (Arnould, 2009). Antarktische Seebären überlappen sich in ihrer Verbreitung mit Subantarktischen Seebären (*Arcotcephalus tropicalis*, Arnould, 2009; Luque et al., 2008). Nahe der Antarktischen Halbinsel müssen auch die Unterarten *A. australis glacilis* an der Westküste von Südamerika und *A.a. australis* auf den Falklandinseln berücksichtigt werden. Die Unterart der Falklandinseln leidet immer noch unter dem Robbenfang und hat noch nicht die Populationsgröße wie vor der Ausbeutung erreicht. Der Antarktische Seebär weist die größte Reichweite nach Süden zur Antarktis hin auf und ist um die Antark-

tische Halbinsel häufig anzutreffen. Auch ansonsten ist *A. gazella* häufig und tritt meist nördlich von und um die antarktische Konvergenz herum auf (Boyd, 2009a).

Über ihr Wanderverhalten liegen nur wenige Informationen vor. Jedoch ist es bekannt, dass sich etwa 95 % aller Antarktischen Seebären auf der Insel Südgeorgien befinden und sich die meisten dort auch fortpflanzen (Aurioles und Trillmich, 2008, Abb. 4-34). Während der Paarungs- und Fortpflanzungsaison leben Antarktische Seebären in Kolonien zusammen. Sie können auch Kreuzungen mit anderen Seebären zeugen, wie zum Beispiel mit dem Subantarktischen Seebären (Aurioles und Trillmich, 2008).

Die Männchen erreichen die Fortpflanzungsgründe einige Wochen früher (Anfang November) als die Weibchen. Es wurde beobachtet, dass Männchen nach der Paarungsaison große Entfernungen zwischen den Fortpflanzungsgründen zum Eisrand überbrücken. Die Weibchen bleiben zum Säugen mit ihren Jungen bis April zusammen. Im Südwinter treten Männchen und Jungtiere hauptsächlich nahe der Fortpflanzungsgründe auf, während Weibchen zum Eisrand oder darüber hinaus bis zur Polarfront wandern (Forcada und Staniland, 2009).

Abb. 4-33 Verbreitung von Südlichen Seebären in Hinsicht auf die Arten- und Unterartebene (Arnould 2009)



Generell jagen Antarktische Seebären Krill, ihre Nahrungsquellen sind jedoch von Saison und Ort abhängig. In manchen Gebieten (Heard-Insel, Macquarie-Insel) ist kein Krill vorhanden, und die Robben jagen auch nach Cephalopoden, Fisch und sogar Pinguinen (Abb. 4-36, Bailleul et al., 2005; Casaux et al., 2003; Ciaputa und Siciński, 2006; Croxall et al., 1985; Daneri et al., 2005, 2008; Luque et al., 2007; Makhado et al., 2007). Antarktische Seebären tauchen zur Futtersuche meist bei Nacht. Generell sind ihre Tauchgänge kurz und nicht sehr tief (0 bis 40 m) (Aurioles und Trillmich, 2008; Forcada und Staniland, 2009; Boveng, P. L. Walker, B. G. Bengtson, 1996; Boyd et al., 1995; Croxall et al., 1985).

Abb. 4-34 Räumliche Verteilung des Reproduktionserfolges von Antarktischen Seebären (Forcada & Staniland 2009).

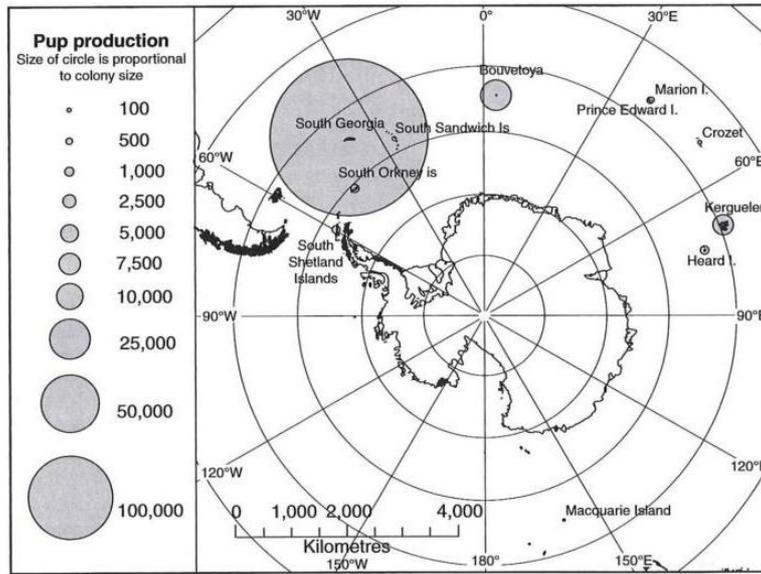


Abb. 4-35 Modelliertes Verbreitungsgebiet von Antarktischen Seebären²⁶ im Südlichen Ozean, ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.

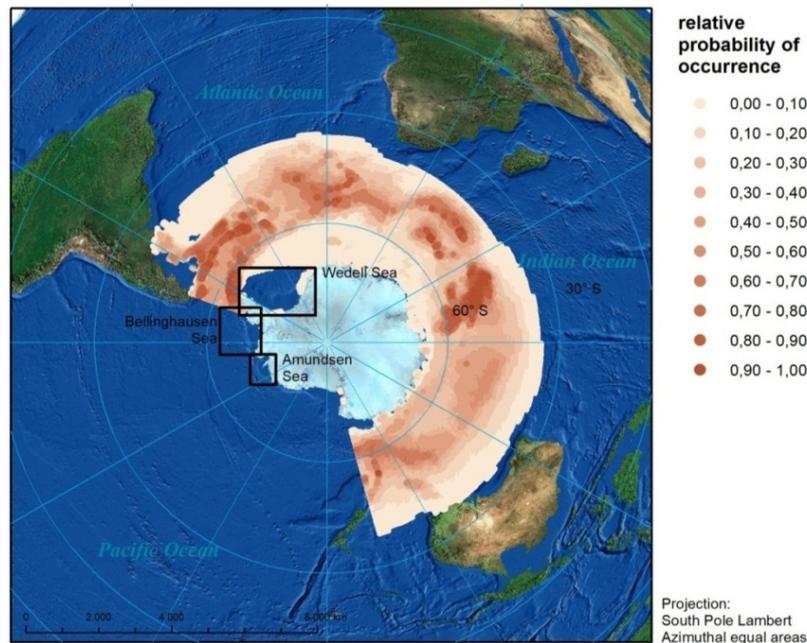
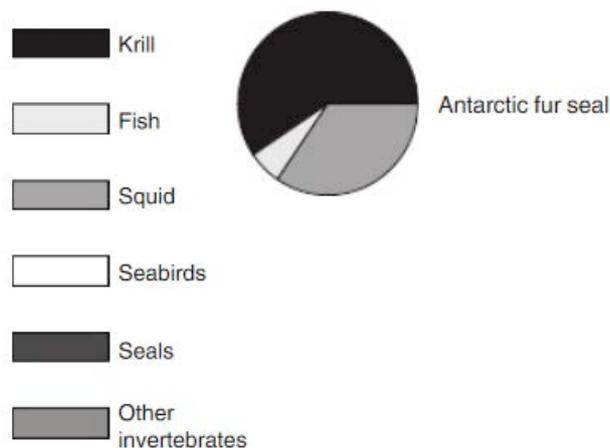


Abb. 4-36 Zusammensetzung der Nahrung von Antarktischen Seebären (Boyd, 2009a)



Die Populationsgröße wird auf 4,5 bis 7 Millionen Individuen geschätzt, und scheint insgesamt zuzunehmen (Aurioules und Trillmich, 2008). Antarktische Seebären haben nur wenige natürliche Feinde. Große Schwertwale und Seeleoparden sind aber für jüngere Tiere gefährlich (Forcada

²⁶ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Arctocephalus gazella* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 22. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Keine gute Übereinstimmung mit bekannten Verbreitungsräumen, dies ist jedoch hauptsächlich den Schwierigkeiten zuzuschreiben, verfügbare Punktdaten mit der veröffentlichten Revierkarte abzustimmen (z. B. vergleiche verfügbare OBIS-Daten mit IUCN-Revierkarte für die Art). Die Temperatur-Hüllkurve musste erheblich nach unten angepasst werden, da die Vorhersagen von Aufzeichnungen um die Küste von Australien bestimmt wurden, wo die Art angeblich nur als umherwandernd auftritt. Eine gewisse Anpassung der Eis-Hüllkurve, um die polare Verbreitung widerzuspiegeln, und eine geringfügige Anpassung der Primärproduktion-Hüllkurve, um „Lücken“ in den Prognosen zu eliminieren. 08.03.2010, Kristin Kaschner

und Staniland, 2009). Antarktische Seebären sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Aurioles und Trillmich, 2008).

Die Lautäußerungen der Antarktischen Seebären sind vom Geschlecht und den sozialen Umständen abhängig (Tab. 4-15). Männchen, wenn sie sich bedroht fühlen oder aggressiv sind, erzeugen ein drohendes Gebrüll (voller Drohruf). Wenn sie jedoch mit anderen Individuen interagieren möchten oder sich in einem Gebiet umherbewegen, produzieren sie einen sogenannten „huffchuff“-Laut. Die Weibchen und ihre Jungen haben ebenfalls besondere Lautäußerungen entwickelt, um sich gegenseitig wiederzuerkennen (Forcada und Staniland, 2009).

Tab. 4-15 Parameter der Vokalisation von Seebären

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz nahe der Maximal Energie (Hz)	Dominante Frequenzen (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
Bark	100-8,000	713			Page et al. (2002)
Voller Drohruf (FTC) (weiblicher Ruf nach Jungen klingt ähnlich wie FTC)	100-3,000	773			Page et al. (2002)

4.3.4 Krabbenfresser

Ordnung Carnivora

Unterordnung Pinnipedia

Familie Phocidae

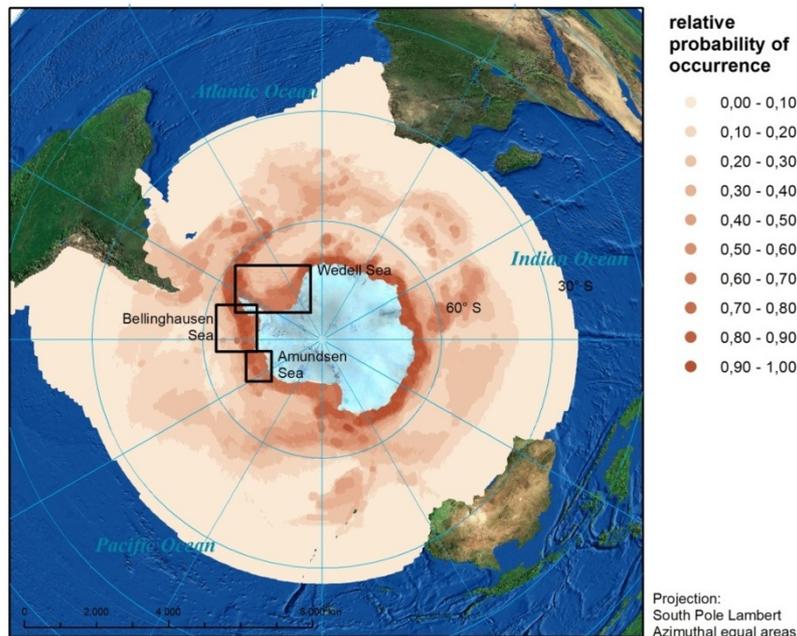
Unterfamilie Monachinae

Art *Lobodon carcinophaga*

Krabbenfresser sind vermutlich die häufigste Robbenart der Welt (Bengtson, 2009). Sie weisen eine panmiktische, zirkumpolare Verbreitung auf, sind mit dem Packeis in seiner saisonal wechselnden Größe eng verbunden und werden gelegentlich in höheren Breitengraden angetroffen (Bengtson, 2009; Kooyman, 1981c, Abb. 4-37). Höhere Dichten von Krabbenfressern finden sich häufig nahe des Kontinentalschelfs und in der Eisrandzone (Burns et al., 2004; Southwell et al., 2005).

Antarktischer Krill (*Euphausia superba*) stellt während des gesamten Jahres die Hauptbeute von Krabbenfressern dar und macht 95 % ihrer Nahrung aus. Während der Jagd tauchen die Robben für Zeiträume von bis zu 16 Stunden nahezu kontinuierlich (Bengtson, 2009). Sie können bis zu 528 m tief tauchen und die meisten Tauchgänge dauern 20 bis 30 Minuten oder kürzer (Bengtson und Stewart 1992; Burns et al. 2008; Nordøy et al. 1995). Krabbenfresserrobben adaptieren ihr Tauchverhalten an die tägliche Vertikalmigration des Krill und somit sind Tauchgänge im Morgenrauen tiefer, als in der Nacht (Southwell 2008a).

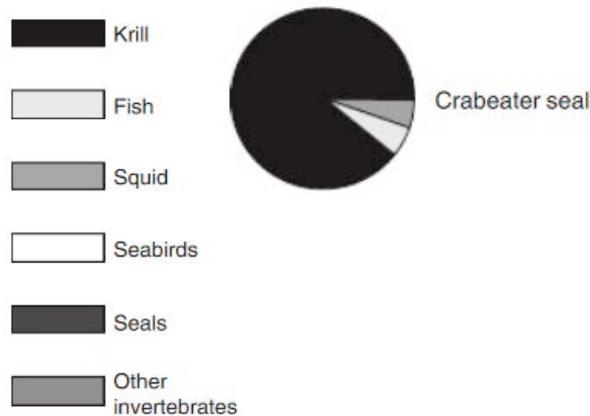
Abb. 4-37 Modelliertes Verbreitungsgebiet von Krabbenfressern im südlichen Ozean²⁷ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Krabbenfresser können sich im Wasser zu großen Gruppen aus bis zu 200 Robben zusammenschließen, die synchron atmen und tauchen (Gales et al., 2004; Wall et al., 2007). Auf ihren Rastplätzen auf Eisschollen werden sie dennoch häufig als Einzeltier oder Paar beobachtet. Es wurde die Hypothese entwickelt, dass Krabbenfresser in großen Gruppen synchronisiert eine koordinierte Strategie zur Nahrungsaufnahme nutzen (Gales et al., 2004). Es ist unklar, wie Kommunikation und Koordination während dieser Ereignisse gesteuert wird, aus unserer Sicht jedoch ist akustische Kommunikation wahrscheinlich. Während der Fortpflanzungssaison bis zum Ende des Säugens bleiben ein Weibchen, ihr Junges und ein begleitendes Männchen als Gruppe zusammen (Bengtson, 2009; Southwell, 2008a).

²⁷ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Lobodon carcinophaga* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Prognosen entsprechen der bekannten Verbreitung gut, einschließlich Gebieten mit niedriger Wahrscheinlichkeit, in welchen die Art hauptsächlich aus Wander-Aufzeichnungen bekannt ist. Die Art ist eng mit dem Meereis verbunden, und große saisonale Verbreitungsunterschiede können daher erwartet werden. Würde durch die Verwendung von saisonalen Prognosen verbessert. 08.03.2010, Kristin Kaschner

Abb. 4-38 Zusammensetzung der Nahrung von Krabbenfressern (Boyd, 2009a)



Die Population wird auf 7 bis 12 Millionen Individuen geschätzt. Ein Trend der Bestandentwicklung liegt nicht vor (Southwell et al., 2008a). Bestandserhebungen aus der Luft (von 1999/2000) zwischen 64 und 150°E ermittelten eine Abundanz von 950.000 Individuen (95 % CI 700.000 - 1.400.000) für diese Region der Antarktis (Southwell et al., 2008a). Das große Konfidenzintervall zeigt an, dass das Monitoring dieser Art aufgrund der Schätzungsungenauigkeit schwierig ist. Krabbenfresser sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Southwell, 2008a). Krabbenfresser weisen häufig Narben auf, die wahrscheinlich von Angriffen von Seeleoparden herrühren (Bengtson, 2009).

Tab. 4-16 Parameter der Vokalisation von Krabbenfressern

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz nahe der maximalen Energie (Hz)	Dominante Frequenzen (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
groan	<100-8,000+		100-1,500	hoch	Stirling und Siniff (1979)
low moan call	250-2,600	612			“
high moan call	990-4,900	1,308			Klinck et al. 2010

4.3.5 Seeleopard

Ordnung Carnivora

Unterordnung Pinnipedia

Familie Phocidae

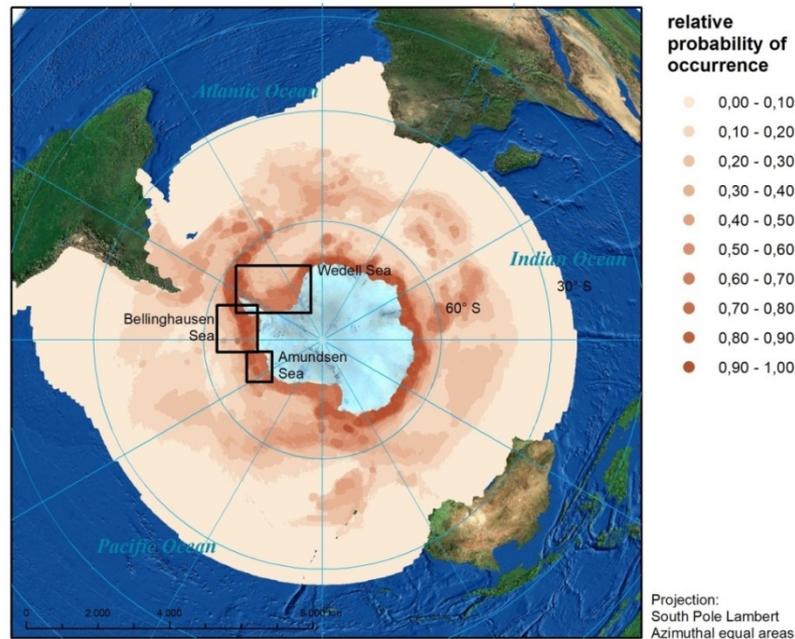
Unterfamilie Monachinae

Art *Hydrurga leptonyx*

Seeleoparden werden hauptsächlich im Umfeld des antarktischen Packeises angetroffen (Rogers, 2009) wo sie den überwiegenden Teil ihrer Zeit verbringen. Die Fortpflanzungsgründe finden sich ebenfalls auf dem Packeis, wobei sich die höchsten Dichten in Regionen finden in denen wenig Packeis als Rastplatz zur Verfügung steht. (Forcada und Robinson, 2006). Hohe Ansammlungen

werden auch um die Heard-Insel und Südgeorgien beobachtet (Kooyman, 1981a) und die Modellierung der Habitateignung (Abb. 4-39) läßt höhere Dichten auch um die Antarktische Halbinsel erwarten.

Abb. 4-39 Modelliertes Verbreitungsgebiet von Seeleoparden²⁸ im Südlichen Ozean, ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Seeleoparden weisen jahreszeitliche Unterschiede in der tageszeitlichen Nutzung der Liegeplätze auf dem Eis auf. Sie verbringen von Juni bis September mehr Zeit während des Tages im Wasser (Kooyman, 1981a). Dies wurde für die Heard-Insel berichtet, und ähnliche Muster wurden auch bei Weddellrobben im McMurdo-Sund beobachtet (Kooyman, 1981a). Wanderungen hängen von saisonalen Wechseln der Eisdecke und der Beutewanderung ab (Forcada und Robinson, 2006). Seeleoparden sind selbst während der Fortpflanzungssaison überwiegend Einzelgänger (Nordoy und Blix, 2009). Studien auf Südgeorgien, die sich auf Fotoidentifikation und Markierung stützten, führten zu der Hypothese, dass ältere Tiere standorttreu sind, während jüngere Tiere weiter verstreut leben und durch hohe Beuteabundanz angezogen werden (Forcada und Robinson, 2006).

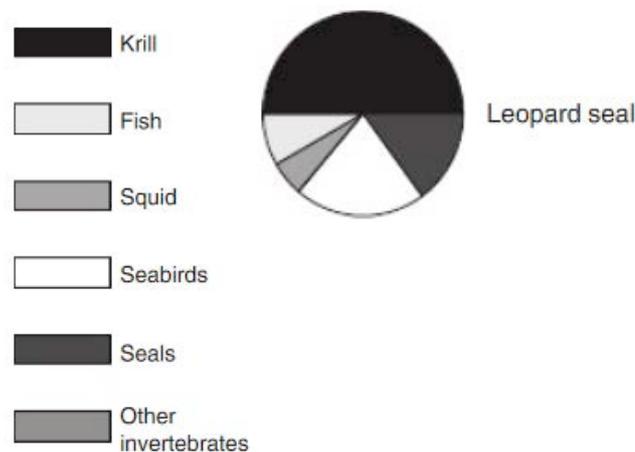
Es wurde beobachtet, dass ihre Tauchgänge kurz und nicht sehr tief sind - in der Regel nicht länger als fünf Minuten und nicht tiefer als 52 m. Seeleoparden können jedoch 300 m tief tauchen und 15 Minuten lang unter Wasser bleiben (Nordoy und Blix, 2009).

²⁸ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Hydrurga leptonyx* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 14. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Prognosen stimmen mit dem bekannten Auftreten der Art überein, einschließlich guter Erklärung der verstreuten Winterverbreitung, obgleich sich niedrige Wahrscheinlichkeitsbereiche möglicherweise zu weit nördlich entlang des südlichen Südamerikas, Afrikas, Australiens und Neuseelands erstrecken. Angepasste Hüllkurven von Temperatur und Eis während der fachlichen Prüfung, um die enge Verbindung der Art mit Meereisgebieten und die Konzentration in antarktischen Gewässern zu erfassen. Kleine Modifizierungen der minimalen und maximalen Hüllkurven-einstellungen von Primärproduktion und Salinität, um ungeklärte „Lücken“ in der Verbreitung zu eliminieren. 08.03.2010, Kristin Kaschner

Seeleoparden ernähren sich insbesondere während der Wintermonate, wenn andere Nahrungsquellen selten sind, hauptsächlich von Krill (Rogers, 2009). Studien mit Satellitensendern scheinen diese Hypothese in Frage zu stellen, da Robben kurze, flache Tauchgänge unternahmen, die nicht die von Krill bevorzugten Tiefen erreichten (Kuhn et al., 2005). Studien auf der Antarktischen Halbinsel zeigen dennoch, dass Krill die häufigste Nahrungsquelle ist, gefolgt von Pinguinen und Fisch (Casaux et al., 2008). Sie jagen auch recht häufig nach anderen Robben (Forcada und Robinson, 2006), insbesondere sind junge Krabbenfresser eine bevorzugte Beute (Rogers, 2009, Abb. 4-40).

Schätzungen der Populationsgröße bewegen sich zwischen 222.000 und 440.000 Individuen. Schätzungen sind schwierig und repräsentieren möglicherweise die Population nicht adäquat (Southwell et al., 2008b). Seeleoparden sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Southwell, 2008b).

Abb. 4-40 Zusammensetzung der Nahrung von Seeleoparden (Boyd, 2009a)



Seeleoparden können abhängig von den Umständen eine Vielfalt von unterschiedlichen Rufarten erzeugen. Unter Wasser vokalisieren sie hauptsächlich vor und während der Fortpflanzungssaison (Rogers et al., 1996). Während dieser Zeit erzeugen die Weibchen akustische Anlocksignale, die über weite Entfernungen hörbar sind (Rogers, 2009). Von November bis Januar erzeugen Männchen über lange Zeiträume stereotype Vokalisationen (Rogers, 2009).

Tab. 4-17 Parameter der Vokalisation von Seeleoparden

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Dominante Frequenzen (Hz)	Quellschallpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
pulses (trills)	100-5,900			Ray (1970); Stirling & Siniff (1979); Rogers et al. (1995)
thump, blast, roar, etc.	40-7,000			Rogers et al. (1995)
ultrasonic	bis zu 164	50-60	niedrig	Thomas et al. (1983a)
ascending trill	200-800			Klinck (2008)
descending trill	300-700			Rogers et al. (1995)
high double trill	2,600-3,500			Rogers et al. (1995); Klinck (2008)
hoot	130-320			Rogers et al. (1995)
hoot single trill	150-300			“
low double trill	200-400			“
mid single trill	1,500-2,100			“
thump pulse	40-180			“
nose blast	1,800-2,700			“
roar	130-4,500			“
Blast	80-6,100			“
growl	35-200			“
snort	100-230			“

4.3.6 Ross-Robbe

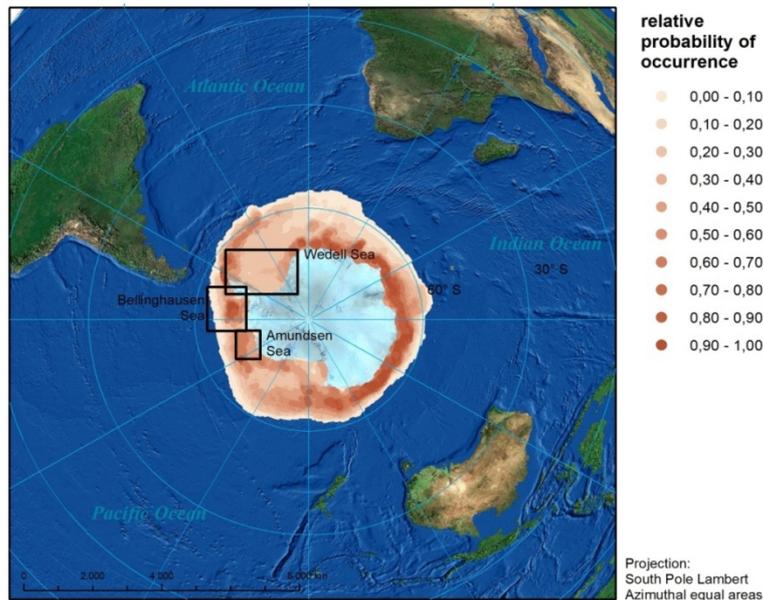
Ordnung	Carnivora
Unterordnung	Pinnipedia
Familie	Phocidae
Unterfamilie	Monachinae
Art	<i>Ommatophoca rossii</i>

Ross-Robben weisen eine zirkumpolare Verbreitung bei höchster Habitateignung um das Ross-Eisschelf und insbesondere die östlichen Bereiche der Antarktis auf. Die Modellierung der Habitateignung zeigt ebenfalls eine hohe Eignung für das Bellingshausenmeer und um die nördliche Spitze der Antarktischen Halbinsel an (Abb. 4-41). Sie bleiben zur Fortpflanzung, zum Fellwechsel und zum Rasten innerhalb des Packeises (Southwell, 2008c). Ross-Robben sind wahrscheinlich die seltenste antarktische Robbenart oder diejenige, für die Abundanzen am schwierigsten zu schätzen sind (Southwell et al., 2008c); möglicherweise sind sie die am wenigsten bekannte Art (Ray, 1981).

Der Fortpflanzungszeitraum beginnt im November, und die Jungen werden ungefähr einen Monat lang gesäugt. Der Fellwechsel erfolgt von Mitte Januar bis Mitte Februar (Ray, 1981; Thomas und Rogers, 2009a). Wenig ist über das Wanderverhalten von Ross-Robben bekannt, sie wurden jedoch nach dem Fellwechsel gelegentlich soweit nördlich wie 50°S beobachtet (Blix und Nordoy, 2007).

Die Population wird auf ungefähr 130.000 Individuen geschätzt und es sind keine Bestandstrends bekannt (Southwell, 2008c). Aufgrund ihrer Gewohnheit, auf dichtem Packeis zu rasten, sind für Abundanzschätzungen Eisbrecher und Flugzeuge mit großer Reichweite erforderlich. In der östlichen Antarktis wurden zwischen 64° und 150°E Bestandserhebungen von Schiffen und aus der Luft durchgeführt, die zu einer Schätzung von 41.300 bis 55.900 Ross-Robben führten (Southwell et al., 2008c). Das 95 % Konfidenzintervall reicht von 20.500 bis 225.000 Tieren, was auf die große Unsicherheit in diesen Abschätzungen hinweist. Generell sind Ross-Robben Einzelgänger (Thomas und Rogers, 2009a).

Abb. 4-41 Modelliertes Verbreitungsgebiet von Ross-Robben im Südlichen Ozean²⁹ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.



Das Tauchverhalten von Ross-Robben variiert im Verlauf des Tages wahrscheinlich abhängig von der Tiefenverbreitung ihrer bevorzugten Beutetiere oder als Prädatoren-Vermeidungsreaktion (Bengtson und Stewart, 1997). Ross-Robben jagen Cephalopoden, sie ernähren sich aber auch recht häufig von Krill und pelagischen Fischen (Thomas und Rogers, 2009a, Abb. 4-42). Ihre natürlichen Feinde sind große Schwertwale und Seeleoparden (Southwell, 2008c).

In Küstennähe dauern gewöhnliche Tauchgänge bis zu 15 Minuten. Wenn sie sich näher am Eisrand aufhalten, tauchen Ross-Robben für kürzere Zeiträume von 5 bis 10 Minuten. Sie können bis zu 400 m tief tauchen, bleiben jedoch meist in einem Tiefenbereich von 52 bis 100 m, während sie weite Entfernungen innerhalb des Packeises überbrücken (Blix und Nordoy, 2007, Southwell, 2005, Abb. 4-43).

²⁹ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Ommatophoca rossii* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 22. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Gute Übereinstimmung mit der bekannten Verbreitung der Art, obgleich zurzeit nur sehr begrenzte Informationen zur Verfügung stehen. Anpassung der maximalen Temperatur- und Eiskonzentrationseinstellungen, um die bekannte Habitatnutzung und sehr polare Verbreitung widerzuspiegeln. Geringfügige Anpassungen der Hüllkurven von Salinität und Primärproduktion, um ungeklärte „Lücken“ in der Verbreitung zu eliminieren. Die Prognosen erfassen nicht migrierende Tiere (Südaustralien, Kerguelen und Heard-Insel). Würde durch die Verwendung von saisonaler Prognose verbessert. 17.03.2010, Kristin Kaschner

Abb. 4-42 Zusammensetzung der Nahrung von Ross-Robben (aus Boyd, 2009a)

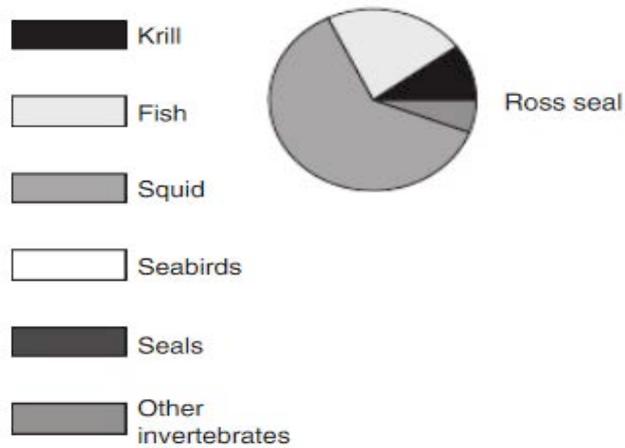


Abb. 4-43 Wanderungen von insgesamt neun ausgewachsenen Ross-Robben, die Mitte Februar 2001 mit SDRs ausgerüstet wurden (aus Blix und Nordoy, 2007).

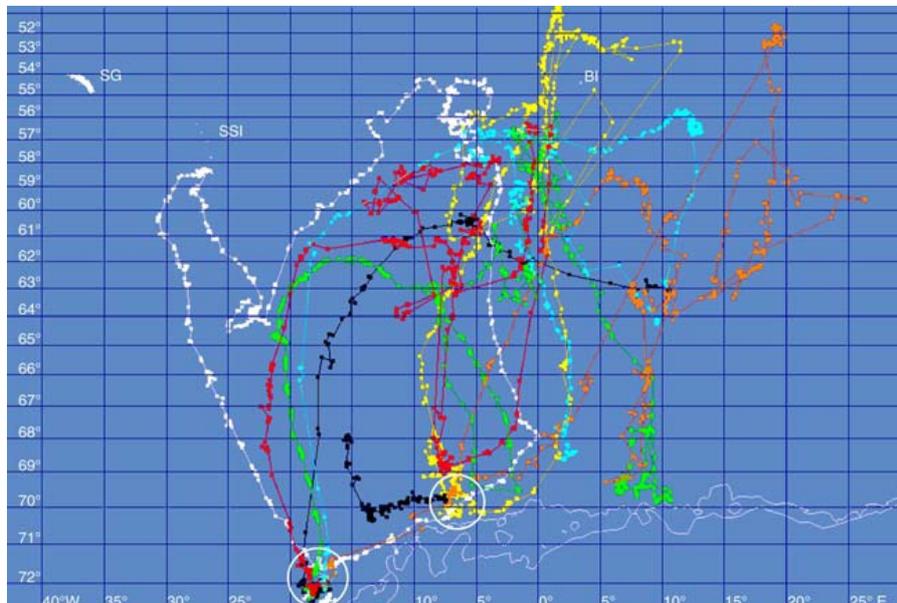
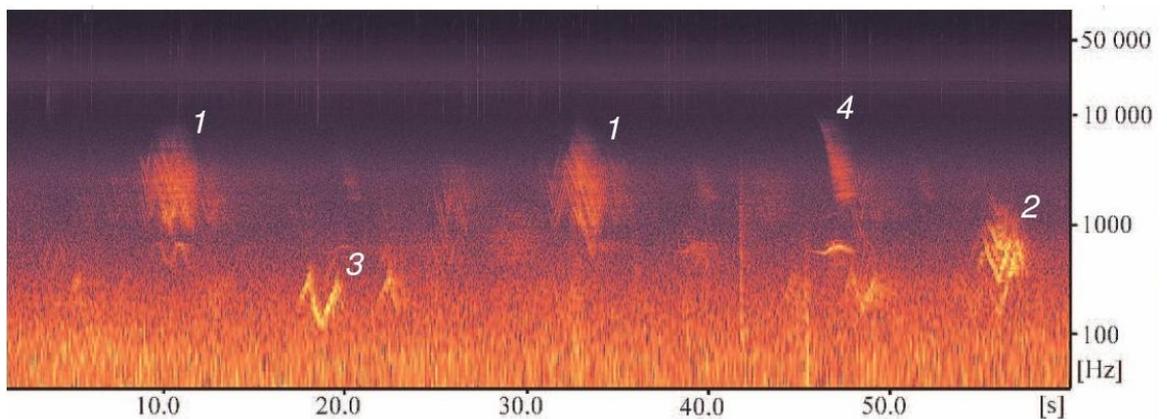


Abb. 4-44 Spektrogramm von Ross-Robben-Aufnahmen

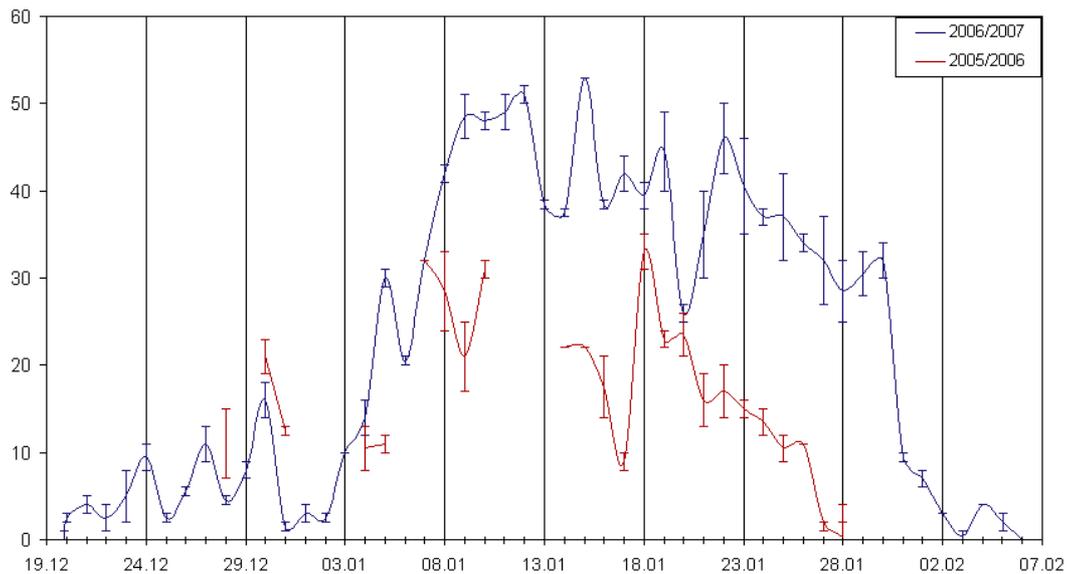


Spektrogramm einer Ross-Robben-Aufnahme, vier Ross-Robben-Ruf Typen wurden identifiziert: *high siren call* (1), *mid siren call* (2), *low siren call* (3) und *the woosh* (4) (nachgedruckt aus Seibert et al., 2007).

Ross-Robben sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Southwell, 2008c).

Im Wasser benutzen Ross-Robben ihre Rufe insbesondere zwischen Dezember und Februar, was der Fortpflanzungssaison entspricht (Oopzeland et al., 2010). Seibert et al. (2007) identifizierten vier unterschiedliche Rufotypen (Abb. 4-44): Rufmuster variieren von Saison zu Saison (Abb. 4-45) und hatten tageszeitabhängige Komponenten. Die Parameter der Vokalisation finden sich in Tab. 4-18.

Abb. 4-45 Anzahl von Ross-Robben-Rufen pro Minute



Anzahl von Rufen pro Minute (Y-Achse) über den gesamten Zeitraum (X-Achse), als Ross-Robben in der Nähe der PALAOA-Hydrophone vokalisiert (rote Linie 2005/6, blaue Linie 2006/7). Die Robben kommen Mitte Dezember an und verlassen das Gebiet Anfang Februar (nachgedruckt aus Seibert et al., 2007).

Tab. 4-18 Parameter der Vokalisationen von Ross-Robben

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz nahe der Maximalenergie (Hz)	Dominante Frequenzen (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
pulses	250-1,000				Watkins & Ray (1985)
siren	4,000 -> 1,000 -> 4,000				“
high siren call	800-4,30	1,590			Seibert et al. (2007)
mid siren call	340-930	500			“
low siren call	140-370	230			“
start-up sound	540-690	610			“

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Frequenz nahe der Maximalenergie (Hz)	Dominante Frequenzen (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa at 1 m)	Quelle
whoosh	1,400-6,700	2,300			“

4.3.7 Weddellrobbe

Ordnung Carnivora

Unterordnung Pinnipedia

Familie Phocidae

Unterfamilie Monachinae

Art *Leptonychotes weddellii*

Die Weddellrobbe ist eine weit verbreitete Robbenart und tritt zirkumpolar in der Antarktis auf. Sie bevorzugt Festeis (Abb. 4-46), wird aber auch gelegentlich auf den subantarktischen Inseln angetroffen. Die Populationsgröße wird auf wenigstens 500.000 geschätzt und der Bestandstrend ist derzeit unbekannt (Gelatt und Southwell, 2008). Weddellrobben pflanzen sich von Ende September bis Anfang November auf dem Eis fort. Während dieser Zeit bilden die Robben Kolonien von bis zu 50 Weibchen mit Jungen (Thomas und Terhune, 2009).

Weddellbullen haben Strategien, um Eislöcher zu finden (Wartzok et al., 1992) und halten ihr Eisloch das ganze Jahr über offen, indem sie mit ihren Zähnen das Eis an den Rändern des Lochs abkratzen (Thomas und Terhune, 2009), und. Sie sind extrem gute Taucher: Sie erreichen Tiefen von etwa 600 m und können etwa 82 Minuten unter Wasser bleiben (Davis et al., 2003; Harcourt und Hindell, 2000; Schreer und Testa, 1996).

Weddellrobben jagen hauptsächlich nach Fisch, zum Beispiel dem Antarktischen Seehecht (Thomas und Terhune, 2009) oder dem Antarktischen Silberfisch (Davis et al. 2013). Große Schwertwale erbeuten Weddellrobben aller Größen, Seeleoparden fressen jedoch wahrscheinlich keine Weddellrobben (Kooyman, 1981b; Thomas und Terhune, 2009). Es wurde beobachtet, dass sie ihre Rufe unterbrechen, wenn Große Schwertwale und Seeleoparden in ihren Gebieten auftauchen (Thomas und Kuechle, 1982).

Weddellrobben sind in der Roten Liste der IUCN als „nicht gefährdet“ aufgeführt (Gelatt und Southwell, 2008).

Abb. 4-46 Modellierter Verbreitung von Weddellrobben im südlichen Ozean³⁰ ausschließlich braune bis weiße Bereiche indizieren Modellergebnisse, blaue Bereiche indizieren nicht modellierte Bereiche.

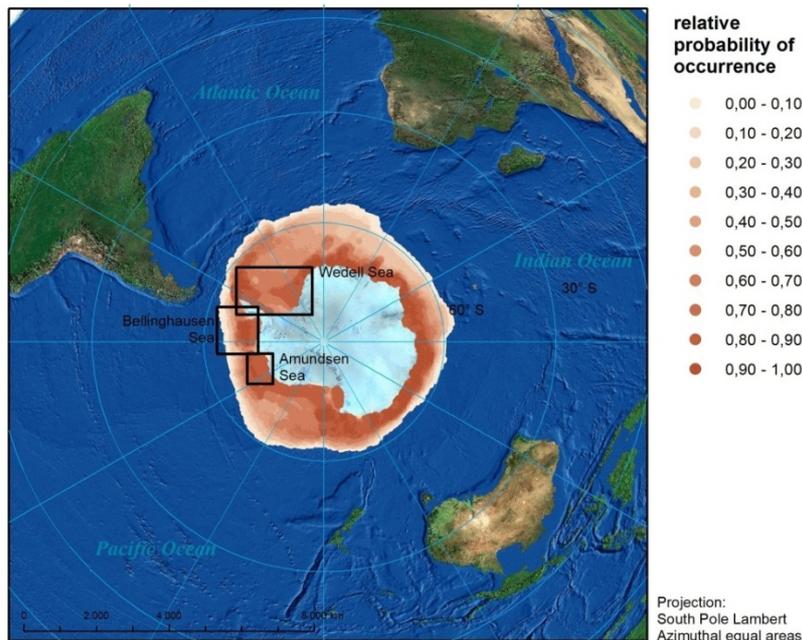
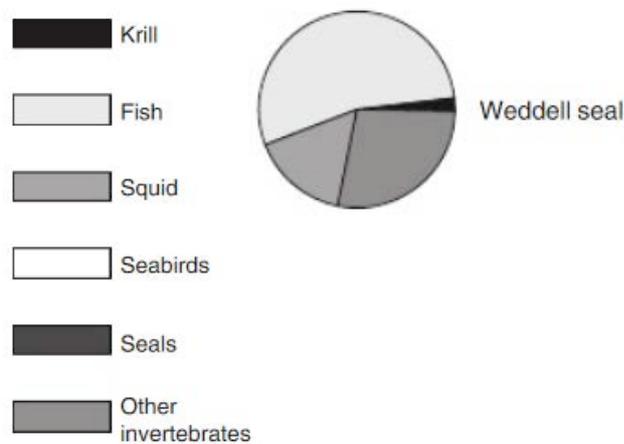


Abb. 4-47 Zusammensetzung der Nahrung von Weddellrobben (Boyd, 2009a)



Es wurde ein Versuch unternommen, das Hörvermögen einer Weddellrobbe mit auditorisch evolvierten Potentialen zu messen, der aber leider fehl schlug (Thomas und Terhune, 2009). Weddellrobben erzeugen eine Vielfalt unterschiedlicher Ruftypen (Kooyman, 1981b; Thomas und Terhune, 2009). Diese ändern sich je nach Saison und Tageszeit und hängen von den sozialen

³⁰ Computer-generierte Karte der modellierten Verbreitung von *Leptonychotes weddellii* (geprüft). www.aquamaps.org, Version vom Aug. 2010. Web. Aufgerufen am 22. Aug. 2012. Fachliche Äußerungen: Sehr beschränkte Informationen über Artenverbreitung, aber Prognosen stimmen mit bekannter Verbreitung relativ gut überein. Sie erfassen jedoch nicht entlang Südamerikas, Südaustraliens, Neuseelands und der Juan-Fernandez-Inseln umherwandernde Tiere. Angesichts der engen Verbindung zum Meereis würden Prognosen wahrscheinlich durch Einbeziehung saisonaler Änderungen verbessert. Geringfügige Anpassung der minimalen und maximalen Hüllkurveneinstellungen von Primärproduktion und Salinität, um ungeklärte „Lücken“ in der Verbreitung zu eliminieren. 08.03.2010, Kristin Kaschner

Umständen ab (Green und Burton, 1988). Männchen benutzen zum Beispiel laute Triller, um ihr Revier zu markieren. Weibchen und ihre Jungen haben ebenfalls besondere Laute entwickelt, um sich gegenseitig wiederzuerkennen (Thomas und Terhune, 2009). Es wurden bereits umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt, um die Vokalisation (Tab. 4-19) zur Kommunikation in der Luft zwischen Mutter und dem Jungen (Collins und Terhune, 2007; Collins et al., 2005, 2006), jährliche und tägliche Variation der Unterwasservokalisation (Green, K. Burton, 1988), sich wiederholende Muster (Moors und Terhune, 2004), saisonale (Rouget et al., 2007) und geografische Variation (Terhune et al., 2008) zu dokumentieren. Des Weiteren wurden Wiedergabe-Experimente durchgeführt (Thomas et al., 1983b).

Tab. 4-19 Parameter der Vokalisation von Weddellrobben

Signaltyp	Frequenzbereich (Hz)	Quellpegel (dB re 1 µPa)	Quelle
34+ call types	100-12,800	153-193	Thomas und Kuechel (1982); Thomas et al. (1983b); Thomas und Stirling (1983)
trill (T), DT223,DT212, DT215, DTC225, CT, W1	100-15,000		Schevill und Watkins (1965); Kooyman (1968); Pahl et al. (1997); Terhune und Dell'Apa (2006)
cricket call (R),DTC205, DL218,LR, HR, MR, W13	700-6,000		Thomas (1979); Pahl et al. (1997); Terhune und Dell'Apa (2006)
guttural glug (G)	100-1,000		Thomas (1979); Terhune und Dell'Apa (2006)
mew (M), DM220	500-2,000		Poulter (1968); Pahl et al. (1997)
eeyoo (E),DWD201	100-8,000		Kooyman (1968); Kaufmann et al. (1975); Pahl et al. (1997)
growl (L)	100-1,000		Thomas (1979)
chirp (P), W5	200-3,000		Schevill und Watkins (1965)
chug (C), DC228,DC222, low single chirp (W6), sequence (W7)	50-1,000		Ray und Schevill (1967); [Terhune und Dell'Apa (2006); Pahl et al. (1997)
click (A)	100-4,000		Thomas (1979)
seitz (Z), pulse sequence (W14)	100-3,000		Thomas (1979);
knock (K)	100-1,000		Thomas (1979)
teeth chatter (H)	1,000-8,000		Kaufmann et al. (1975)
DWA207, DS213,rising tone (W11)	500-8,000		Pahl et al. (1997)
DG230,DWAG241, oomp (W8)	100-300		“
DT221, falling tone (W9, W10)	200-4,000		“
DC202 (rising chirps)	1,500-4,000		Pahl et al. (1997)
DWA248 (rising whistle)	1,000-5,000		“

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

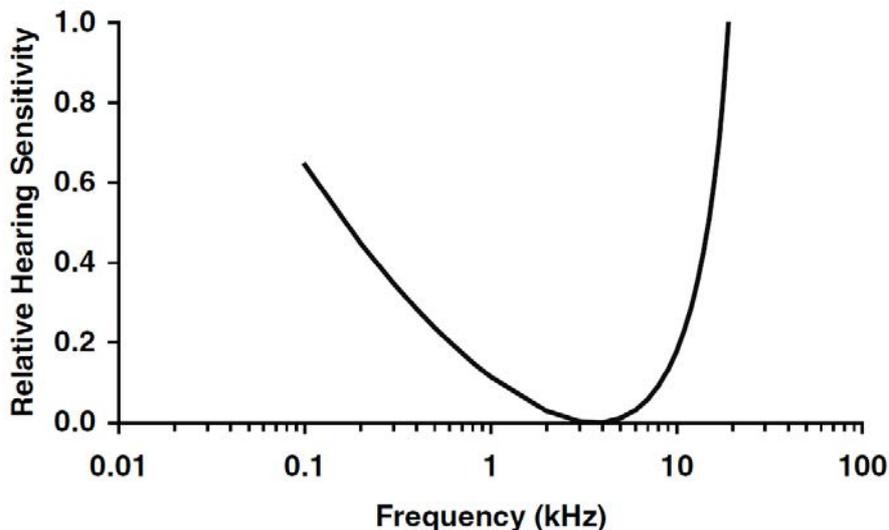
DWD210, descending whistle(WD)	8,000-1,000		Pahl et al. (1997); Terhune und Dell'Apa (2006)
DWA242 (multielement ascending whistle)	100-4,000		Pahl et al. (1997)
DWA235, single ascending whistle (WA)	100-500		Pahl et al. (1997); Terhune und Dell'Apa (2006)
flat tone (O), W11	1,000-3,000		Terhune und Dell'Apa (2006)
WD10, falling chirps (W2, W3, W4)	100-15,000		Moors und Terhune (2004)

5 Hörfähigkeiten der betrachteten Arten

Die Hörfähigkeiten der betrachteten Arten sind von essentieller Bedeutung für die Maskierungsmodellierung. Hörtests wurden an einigen Walarten durchgeführt, allerdings an wenigen antarktischen Arten

Für Bartenwale existieren keine Audiogramme. Allerdings gab es Ansätze die Sensitivität ihres Gehörs durch Auswertungen ihrer Vokalisationen oder Prognosen der optimalen Hörbereiche abzuschätzen. Von Gill und Evans (2002) gesammelte und auf Vokalisationen basierende Ansätze legen nahe, dass einige Bartenwale von tiefen Hz Bereichen bis zu Ultraschall-Bereichen über 20 kHz, vermutlich sogar bis 30 oder 40 kHz hören können. Es handelt sich hierbei erst um grobe Abschätzungen die nur Einblick in einen wahrscheinlichen Hörbereich, aber keine guten Hinweise auf die allgemeine Schallsensitivität der Tiere geben. Jüngere Forschungsarbeiten zur Berechnung der Hörfähigkeiten konzentrierten sich auf 1) Methoden zur Messung von Hörkurven ohne notwendige Kooperation der Tiere zu entwickeln, wie diese für Verhaltensaudiogramme erforderlich sind (Ridgway und Carder 2001) und 2) die Kombination von Erkenntnissen aus anatomischer Forschung mit Modellierungsansätzen (Houser et al. 2001). Eine berechnete relative Hörkurve aus Houser et al. (2001) für einen Buckelwal ist in Abb. 5-1 zu sehen. Tubelli et al. (2012) führten ähnliche Arbeiten bei Zwergwalen (*Balaenoptera acutorostrata*) durch.

Abb. 5-1 Relative Hörempfindlichkeitsfunktion eines Buckelwals, abgeleitet aus einem Bandpass-Filterbank-Modell seiner Hörempfindlichkeit (aus Houser et al. 2001)



Ein anderer Ansatz simuliert oder prognostiziert die beste Hörweite einer Bartenwalart auf Basis eines akustische Energieflussmodells, welches das Hörsystem in drei Komponenten unterteilt: eine für das Außenohr, eine für das Mittelohr und eine für das Innenohr (Rosowski 1991; Ruggero und Temchin 2002; Tubelli et al. 2012). Durch die Berechnung der Übertragungsfunktion des Mittelohrs (unter Verwendung von Finite-Elemente-Modellierungstechniken) unter Beachtung der Eigenschaften der Innenohrschnecke (Cochlea) und der Schalldruckumwandlung, die im Außenohr erfolgt, bietet diese Modellierung eine vollständigere Abschätzung des Audiogramms. Die Bandbreite der besten Hörempfindlichkeit (-40 dB von der maximalen Empfindlichkeit) bei einem Zwergwal deckt sich gut mit dem Vokalisationsbereich dieser Tierart. Ein anderer vergleichbarer Ansatz wurde von Parks et al. (2007b) gewählt, die morphometrische Untersuchungen des In-

nenohrs von Bartenwalen (Atlantische Nordkaper) vornahmen und einen Hörbereich von 10 Hz bis 22 kHz vorhersagten.

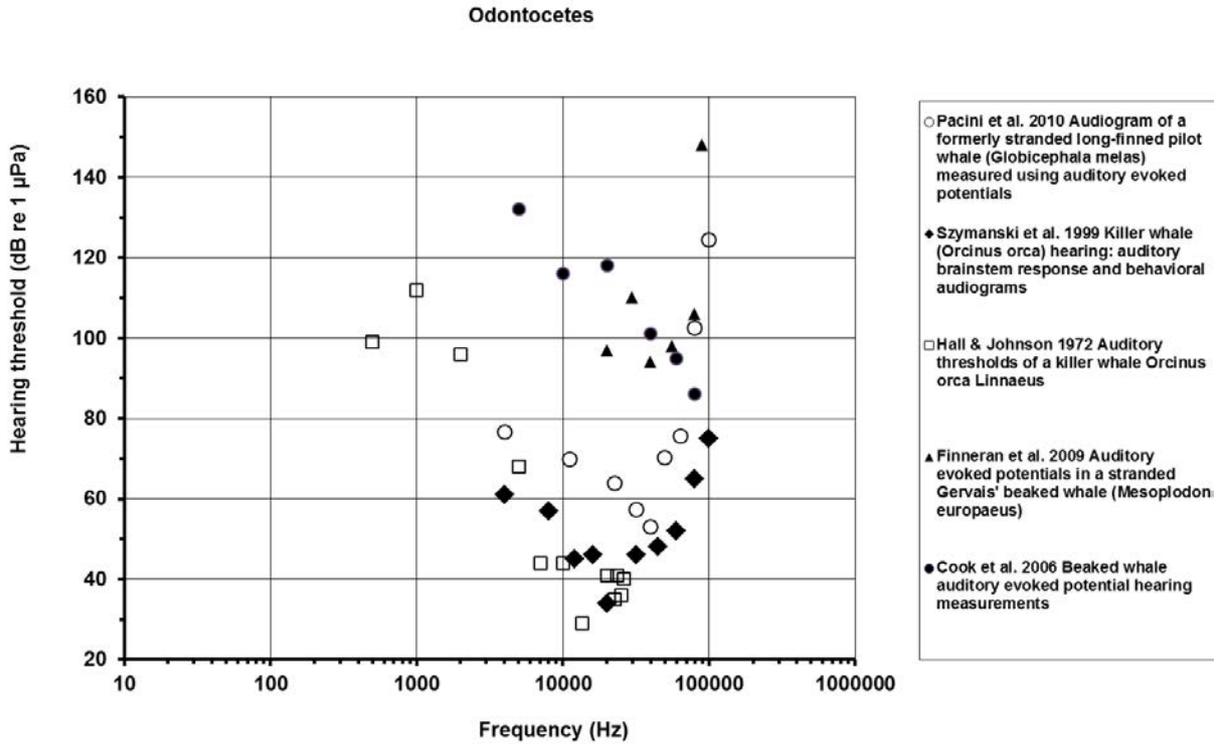


Abb. 5-2 Hörschwellen unterschiedlicher Zahnwalarten (zusammengestellt von TNO)

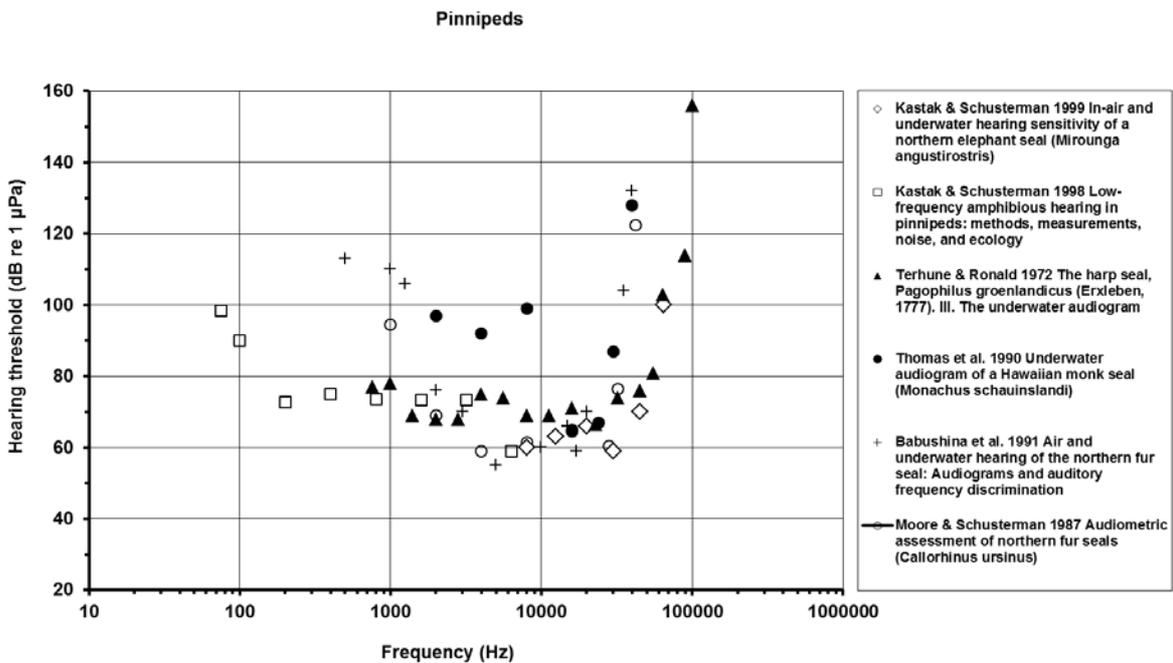


Abb. 5-3 Hörschwellen unterschiedlicher Robbenarten (zusammengestellt von TNO)

Audiogramme von Zahnwalen und Robben aus der Antarktis, gemeinsam mit einigen (den antarktischen marinen Säugetieren) eng verwandten Tierarten wurden zusammengestellt und werden in Abb. 5-2 und Abb. 5-3 wiedergegeben.

Letztendlich können einige Informationen zur Hörempfindlichkeit der Tierarten, die für Tests nicht zugänglich sind, von anderen Tierarten abgeleitet werden. Jedoch weist Gisiner (1998) darauf hin, dass dieser Ansatz möglicherweise nicht adäquat ist. Insbesondere scheint die Extrapolation von terrestrischen Säugern nicht hilfreich zu sein. Ein anderer wichtiger Aspekt ist, dass Robben für Vokalisationen und Hören sowohl unter wie auch über Wasser adaptiert sind. Die Hörfähigkeiten in der Luft und unter Wasser erweisen sich häufig als äußerst unterschiedlich. Es liegen zum Beispiel Hinweise vor, dass das Gehör von Robben unter Wasser für tiefe Frequenzen empfindlicher ist als in der Luft (Kastak und Schusterman, 1995). Speziell Zahnwale zeigen eine typische U-Form des Audiogramms (Wartzok und Ketten, 1999; Reichmuth et al. 2013). Teile eines Audiogramms eines Seeleoparden wurden kürzlich aufgezeichnet, jedoch wurde aufgrund der Situation (die Möglichkeit ergab sich kurzfristig) nur 4 Frequenzen (1 - 4 kHz) getestet (Tripovich et al. 2011).

Es wird davon ausgegangen, dass das Gehör von Bartenwalen generell wie ein 1/3-Oktavbandfilter arbeitet (Payne und Guinee 1983). Folglich fügt der Frequenzgehalt einer Vokalisation weitere Informationen hinzu, wenn das Signal frequenz-moduliert ist - zum Beispiel als „sweep“. Die beste Situation wird erzielt, wenn ein optimierter Filter (Optimalfilter, engl.: „matched filter“) vorausgesetzt werden kann. Ein technischer Optimalfilter vergleicht ein abgegebenes Signal mit dem Eingang zum Beispiel aus einem Hydrophon. Wie effizient der Filter funktioniert - und folglich wie viel Verbesserung im Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to Noise Ratio - SNR) erzielt werden kann, wird dadurch bestimmt, wie viel Variation in dem Unterschied zwischen abgegebenem und empfangenem Signal erlaubt wird. Eine hohe Bandbreite des Signals ist dabei von Vorteil. Die Erhöhung des SNR kann unter Verwendung von Faustformeln abgeschätzt werden, da dieser von der Zeit (Dauer) und Bandbreite (Frequenzbereich) des abgegebenen Signals abhängt. Es ist jedoch derzeit noch unklar, ob das Gehör von Bartenwalen optimierte Filter auf Empfangssignale anwendet. Für diese Studie haben wir vorausgesetzt, dass, wenn das Signal im Frequenzbereich der abgegebenen Vokalisation per Bandpass gefiltert ist, ein optimierter Filter nicht erheblich mehr Informationen für die Bartenwale ergibt, die tieffrequent innerhalb eines engen Frequenzbereiches vokalisieren.

6 Modellierung der Schallausbreitung in der Antarktis für Untersuchungen zur Maskierung

Das Hauptziel dieses Projektes ist eine erste Evaluierung des Maskierungspotentials von Airgun-Impulsen. Der an der Quelle sehr energiereiche und dabei kurze Impuls, wird durch die Schallausbreitung in Bezug auf seinen Schallpegel, Signallänge und den Frequenzgehalt verändert. Zur Bewertung der Effekte durch Schallausbreitung über weite Entfernungen ist es deshalb wünschenswert die Veränderungen des Signals über die Zeit, als auch über die Frequenz zu ermitteln. Insbesondere die frequenzabhängige Dehnung des Signales ist von hohem Interesse. Zu diesem Phänomen gibt es in der aktuellen Literatur keine Beispiele und die derzeitigen Modellierungsmethoden erlauben nur eine sehr begrenzte Erforschung dieser weitreichenden Schallausbreitung.

Auf den ersten Blick scheinen Airgun-Signale, als impulsive Schallquelle mit geringer Signaldauer (unter einer Sekunde) und verhältnismäßig geringer Wiederholfrequenz (alle 6 bis 60 Sekunden), nur ein begrenztes Potential zur Maskierung von biologisch relevantem Schall zu haben, da nur ein geringes Zeitfenster betroffen ist. Aber selbst unter der einfachen Annahme eines geometrischen Ausbreitungsverlusts kann davon ausgegangen werden, dass sich die Distanz in der das Signal noch hörbar ist über mehr als 1000 km erstreckt. Bei diesen Entfernungen kommt der Schall nach der Aussendung erst über 40 min später beim Empfänger an. Für diese extrem langen Signallaufzeiten und die große Zahl der möglichen Schallausbreitungspfade muss von einer graduellen Dehnung des Signals mit steigender Entfernung ausgegangen werden.

Im Folgenden werden die Bedingungen für Schallausbreitung in der Antarktis beschrieben, sowie die Eigenschaften der Schallquellen, der Ausbreitungsverlust und die sich ergebenden Empfangspegel für charakteristische Parameter erläutert.

6.1 Allgemeine Bedingungen

Das betrachtete Gebiet ist der Südliche Ozean um die Antarktis mit einem hohen Anteil sehr tiefer ozeanischer Gebiete. Die Schallgeschwindigkeitsprofile und Bodenverhältnisse sind in Boebel et al. (2009) beschrieben und diese werden als Basis für die Entwicklung eines neuartigen Langstrecken-Ausbreitungsmodells genutzt. Die Schallausbreitung wurde für zwei Schallgeschwindigkeitsprofile (davon eines mit einem ausgeprägten Oberflächenkanal), 4 Airgun-Konfigurationen und für zwei Wassertiefen (500 und 4000 m) modelliert. Die Airgun-Signale sind nur durch ihre Signatur vertikal unter dem Pulser definiert. Für die Berechnungen wäre es günstiger, wenn die Signaturen für nahezu horizontale Abstrahlrichtungen angegeben wären, oder die Effekte der Oberflächenreflexion entfernt worden wären. Das Signal der Airguns liegt als Zeitsignal und als Spektrum vor.

Geologische Daten des Meeresbodens sind verfügbar, es ist jedoch nicht zu erwarten, dass der Boden größere Auswirkungen auf die Schallausbreitung im tiefen Wasser hat, weil die Schallgeschwindigkeitsprofile indizieren, dass sich der größte Teil der Schallenergie an der Oberfläche in den Schallkanälen befindet.

6.1.1 Bodenverhältnisse

Boebel et al. (2009) geben Bodendaten an, die für die dortigen numerischen Berechnungen verwendet wurden. Sie werden auch hier genutzt. Die hauptsächliche Auswirkung des Meeresbodens ist eine Abschwächung der Schallwellen bei der Reflektion am Meeresgrund. Dieser Effekt ist von der Schallgeschwindigkeit des Sediments und seinen Abschwächungswerten abhängig.

Boebel et al. (2009) gibt für die P-Wellen (longitudinale Primär- oder Kompressionswelle) eine Geschwindigkeit von 1600 m/s und für die S-Wellen (transversale Sekundär- oder Scherwelle) von 330 m/s an. Die nasse Schüttdichte (wetbulk density) ist mit 1450 kg/m^3 angegeben und die Dämpfung für die S- und P-Welle mit $Q = 1,5E6$, äquivalent zu $2.73e-5 \text{ dB/Wellenlänge}$. Diese Dämpfungsangabe wird als inkorrekt eingestuft und mit einem typischen Wert von 100 (0,27 dB je Wellenlänge) ersetzt.

Das verwendete Programm verarbeitet keine Scherwellen. Dies wird als akzeptabel angesehen, da auch die Wassertiefe für das „flachere“ Szenario mit 500 m verhältnismäßig tief ist. Das Geschwindigkeitsprofil begünstigt Ausbreitung in der Nähe der Oberfläche. Alle Schallwellen, die den Boden berühren, erfahren eine kleine Dämpfung, so dass auf die großen Entfernungen, die hier betrachtet werden, mit völliger Absorption aller dieser Wellen zu rechnen ist (Abb. 6-11).

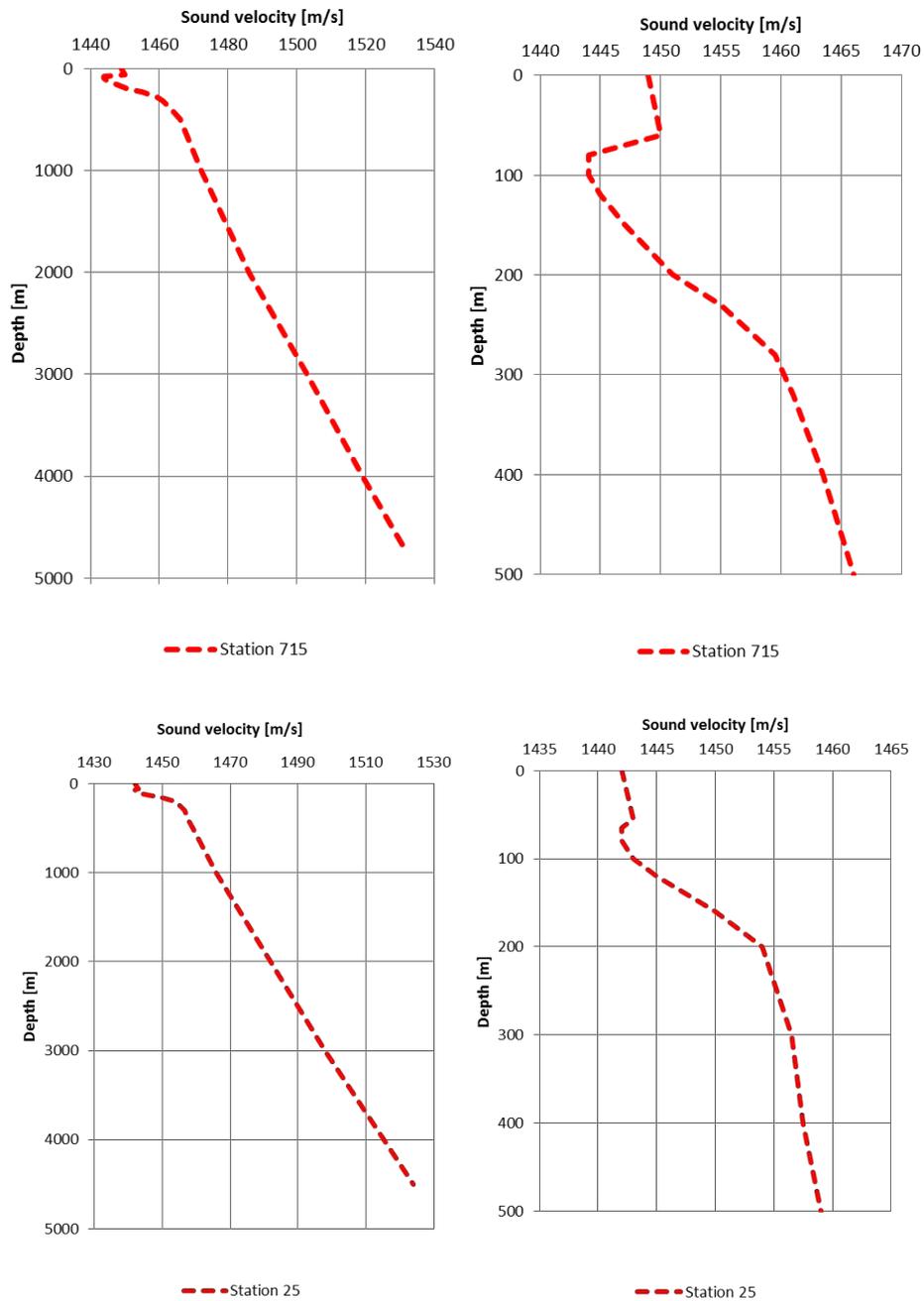
6.1.2 Für die Berechnungen genutzte Schallgeschwindigkeitsprofile

Die hier dargestellten Schallgeschwindigkeitsprofile (Abb. 6-1 und Tab. 6-1) sind die Grundlage für die Schallausbreitungsmodellierung für Airgun-Signale. Die Diagramme stellen eine numerische Anpassung an Messdaten dar.

Tab. 6-1 Schallgeschwindigkeitsprofile aus Boebel et al. (2009)

Station 715		Station 25	
Tiefe [m]	v [m/s]	Tiefe [m]	v [m/s]
0	1,449.0	0	1,442.0
60	1,450.0	55	1,443.0
80	1,444.0	65	1,442.0
100	1,444.0	80	1,442.0
120	1,445.0	100	1,443.0
150	1,447.0	120	1,445.0
200	1,451.0	160	1,450.0
230	1,455.0	200	1,454.0
280	1,459.5	300	1,456.5
320	1,461.0	400	1,457.5
400	1,463.5	500	1,459.0
500	1,466.0	1000	1,466.0
1000	1,472.0	3000	1,498.0
2000	1,486.0	4500	1,524.0
3000	1,503.0		
4000	1,519.0		
4700	1,531.0		

Abb. 6-1 Schallgeschwindigkeitsprofile ermittelt durch eine numerische Anpassung auf Grundlage der Daten der Stationen 715 und 25 in Boebel et al. (2009) als Grundlage für die Schallausbreitungsmodellierung. Rechts: Flachwasserprofil, Links: Tiefwasserprofil.



6.2 Quellschallpegel und Ausbreitungsverlust für Airguns

6.2.1 Erwägungen zum Quellschallpegel

Ziel ist die Generierung eines Quellschallpegels, der sich zur Verwendung in einer numerischen Ausbreitungsrechnung eignet. Es sollte sich vorzugsweise um einen Monopol handeln (weil dies die einzige Quellform ist, die sich in beliebiger Umgebung einsetzen lässt). In der Realität ist eine Airgun kein akustischer Monopol im Nahfeld. Bei den hier betrachteten großen Entfernungen, kann jedoch ein Monopol als geeignetes Modell dienen. Außerdem hat die Wassertiefe ebenfalls einen Einfluss und würde speziell innerhalb der Flachwassermodelle Auswirkungen haben.

Der Quellschallpegel einer Punktquelle (Monopol) ist ein fiktiver Pegel, der sich in einem unbegrenzten und idealen, vom akustischen Nahfeld unbeeinflussten, Ozean in 1 m Entfernung einstellen würde. Das hierzu gehörende virtuelle Signal wird als *notional signature* bezeichnet. Der kurze Impuls einer Punktquelle wird durch ein kontinuierliches Spektrum gekennzeichnet. Dieses stetige Spektrum eines fiktiven Monopols kann dann für Ausbreitungsmodellierungen in verschiedenen Abstrahlrichtungen genutzt werden.

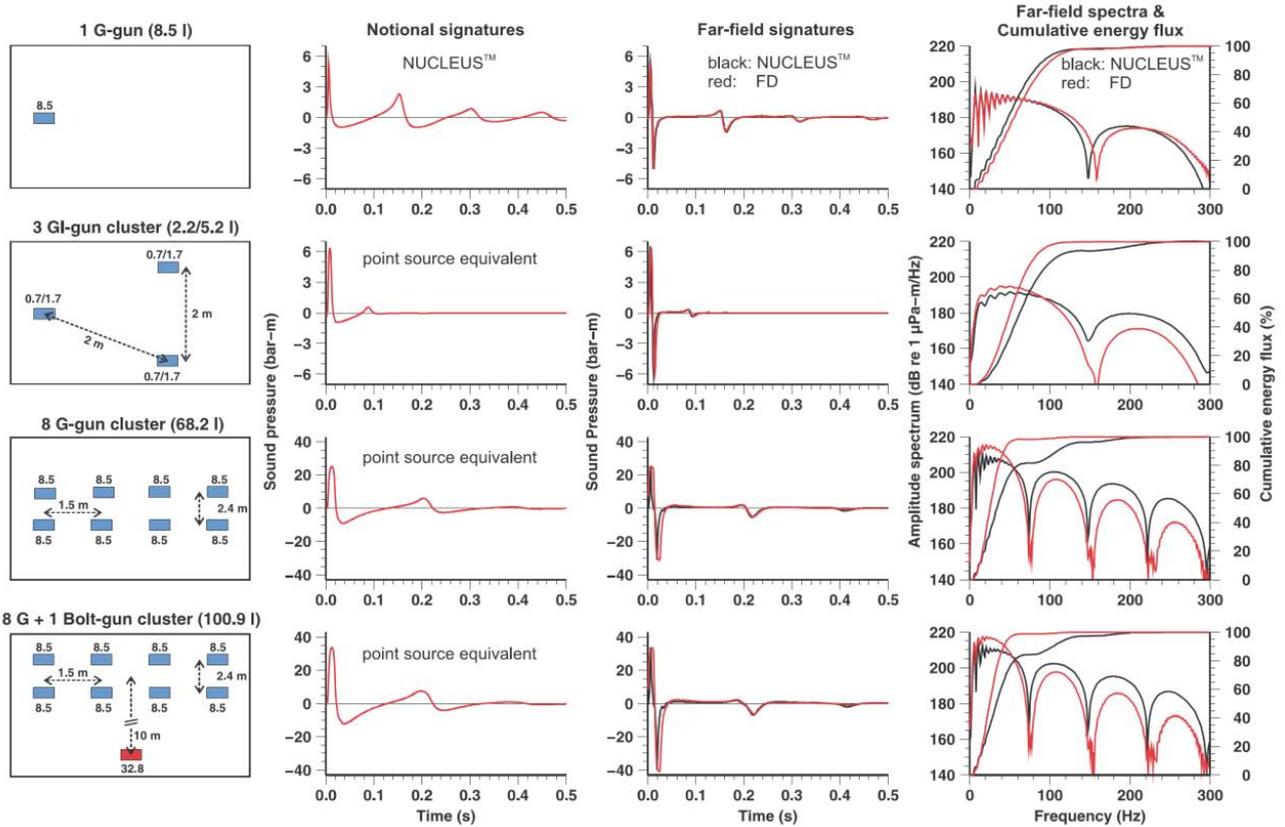
Als Eingangsgrößen dient für jede der 4 berücksichtigten Airgun-Konfigurationen, die sich durch den genutzten Airguntyp, ihre Anzahl und Anordnung, sowie die Eintauchtiefe unterscheiden, eine *notional signature*, die von Breitzke & Bohlen (2010) ermittelt wurden. Die *notional signatures* sind in Abb. 6-2 bis Abb. 6-6 dargestellt. Aus diesen Abbildungen ist ersichtlich, dass die von Breitzke & Bohlen (2010) ermittelten *notional signatures* die Quelle nicht als Monopol (mit Ausnahme der einzelnen G-Gun) modellieren: Es gibt ausgeprägte Minima („Ghost-notches“), die sich durch destruktive Interferenzen des direkt abgestrahlten Schalls der Airgun mit Oberflächenreflexionen („Ghost“) erklären lassen. Idealerweise sollte diese Reflexion aus dem Signal entfernt werden, da sie in der Ausbreitungsmodellierung berücksichtigt wird und somit zweimal erscheinen würde.

Im Verlauf der Untersuchungen versuchten wir die „Ghost-notches“ zu eliminieren, indem eine Korrekturfunktion auf die Oberflächenreflexionen angepasst wurde (Abb. 6-7). Aus Abb. 6-8 ist ersichtlich, dass dieser Versuch keinen vollständigen Erfolg zeigte. Deshalb wurde eine Anpassungsfunktion extrapoliert, um in den folgenden Berechnungen als Repräsentation der Punktquelle an Stelle der *notional signature* zu dienen. Dieses idealisierte Punktquellenspektrum wurde nachfolgend zur Plausibilitätsüberprüfung der modellierten Ergebnisse genutzt.

In den anschließenden numerischen Modellierungsberechnungen wurde dann jedoch die *notional signature* aus Breitzke und Bohlen (2010) genutzt, um zu verhindern, dass die fehlenden Phaseninformationen des idealisierten Punktquellensignals Fehler verursachen. Die „ghost-notches“ des Quellsignals wurden dementsprechend in den anschließenden Berechnungen nicht berücksichtigt. Der Einfluss auf das Modellergebnis ist wahrscheinlich zu vernachlässigen, obwohl die Frequenzinformationen bei exakter Übereinstimmung mit der Frequenz der Oberflächenreflexion (Ghost) fehlen. Diese Vereinfachung ist im Verhältnis zu Ungenauigkeiten durch andere Annahmen und verwendeten Messwerte zu vernachlässigen.

In einem Anschlussprojekt könnten die Ergebnisse der Modellierung des idealisierten Punktquellensignals und der *notional signature* verglichen werden, derzeit ist jedoch die Ermittlung eines von Oberflächenreflexionen unbeeinflussten phasenkorrekten Quellsignales nicht möglich.

Abb. 6-2 Beschreibung der Airgun-Konfigurationen die innerhalb der Studie genutzt wurden.



Eingangsinformationen aus Breitzke & Bohlen (2010). Das Bild ist die Basis für die Quellbeschreibungen der Ausbreitungsberechnungen. Die *notional signature* in der 2. Spalte wurden unter Nutzung des MASOMO-Moduls der NUCLEUS-Software berechnet und vom AWI in digitaler Form zur Verfügung gestellt sowie als Quellpegel verwendet. Das Fernfeldsignal und das Spektrum sind in den beiden linken Spalten dargestellt. Die Minima in den Spektren sind Folge von destruktiver Interferenz des direkten Signals und des an der Oberfläche reflektierten Signals. Diese Interferenz ist auch in der *notional signature* enthalten (bis auf die einzelne G-Gun, die ein echter Monopol ist).

Abb. 6-3 Quellsignatur (Zeitsignal oder “waveform”) in 1 m Entfernung für alle modellierten Airgun-Konfigurationen (nach Breitzke und Bohlen, 2010).

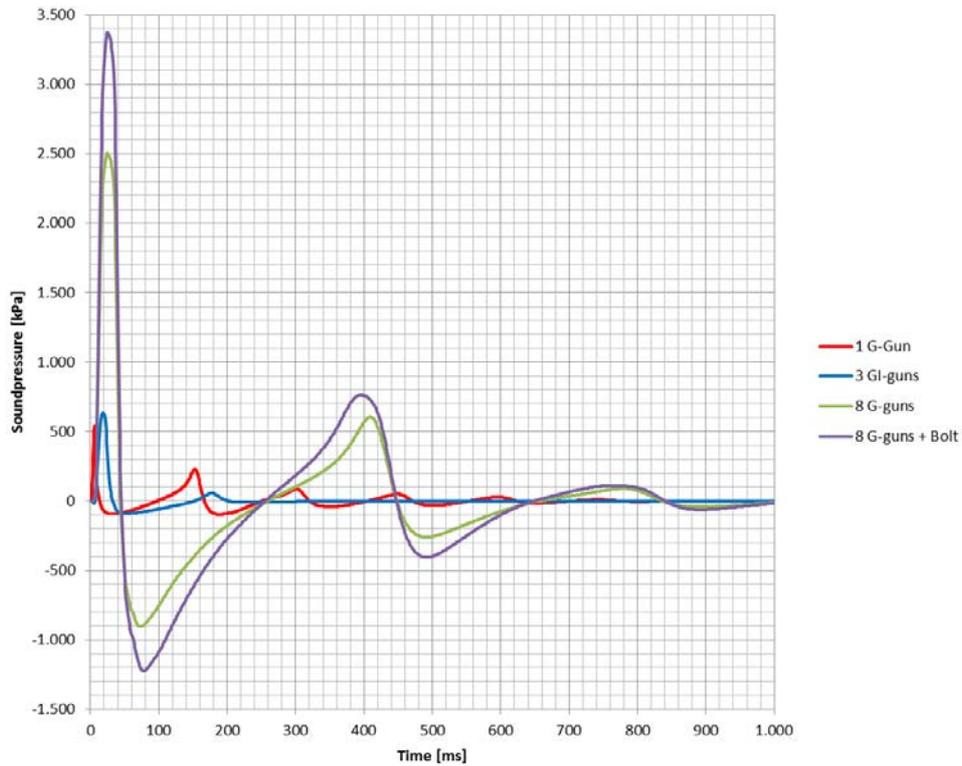


Abb. 6-4 Frequenzspektren für die Zeitsignale aller modellierten Airgun-Konfigurationen.

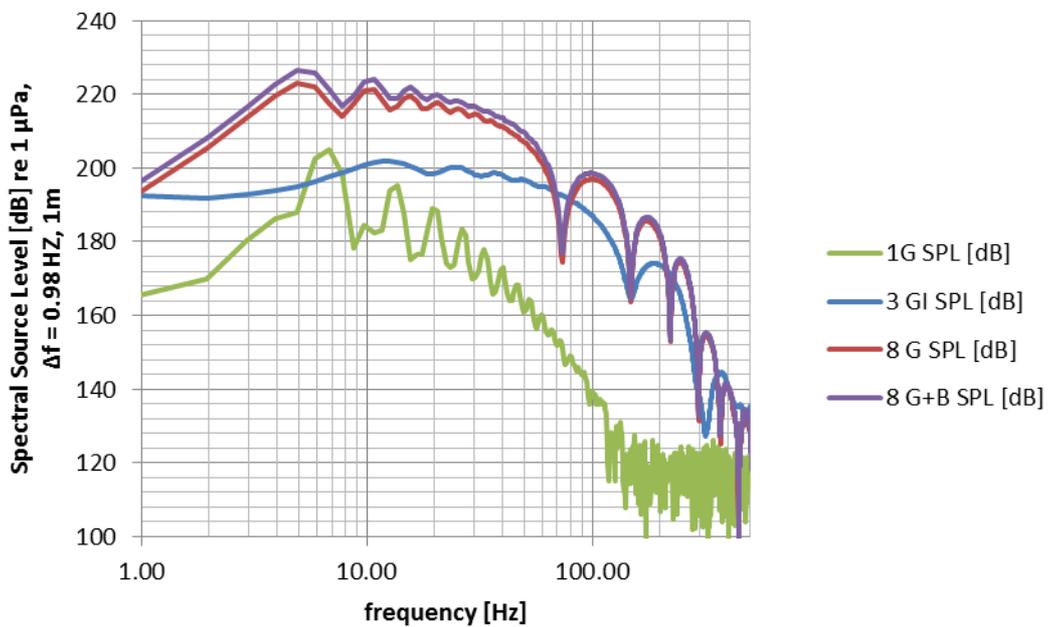
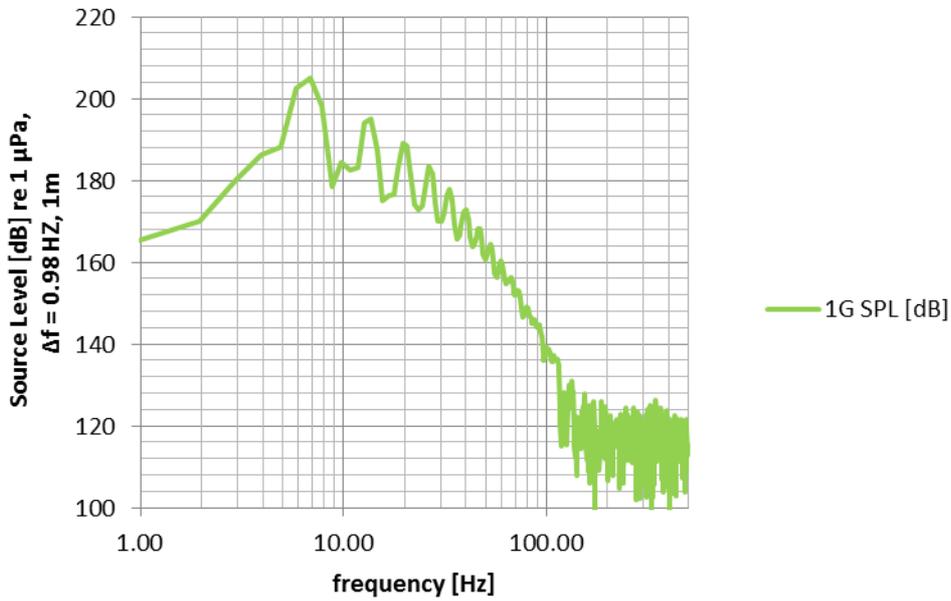


Abb. 6-5 Spektrum der einzelnen G-gun (8,5 l).



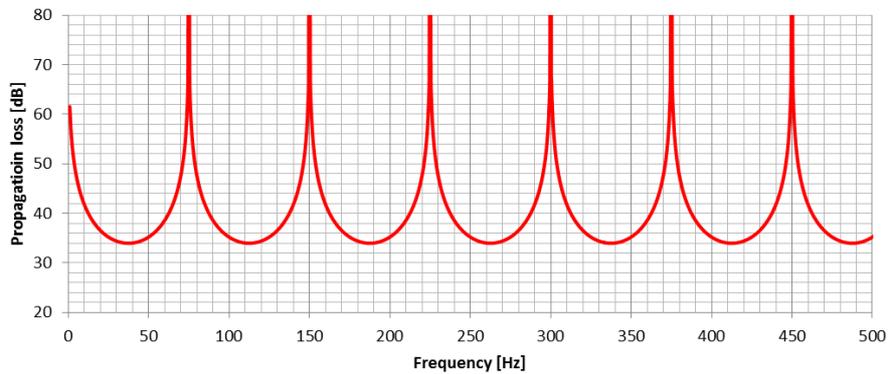
Die Schwankungen im Spektrum sind Folge der Blasenoszillation. Oberhalb von 100 Hz scheint das Geräusch von einem Grundrauschen maskiert zu sein

Abb. 6-6 Spektrum der größten Konfiguration (8 G-guns und 1 bolt gun)



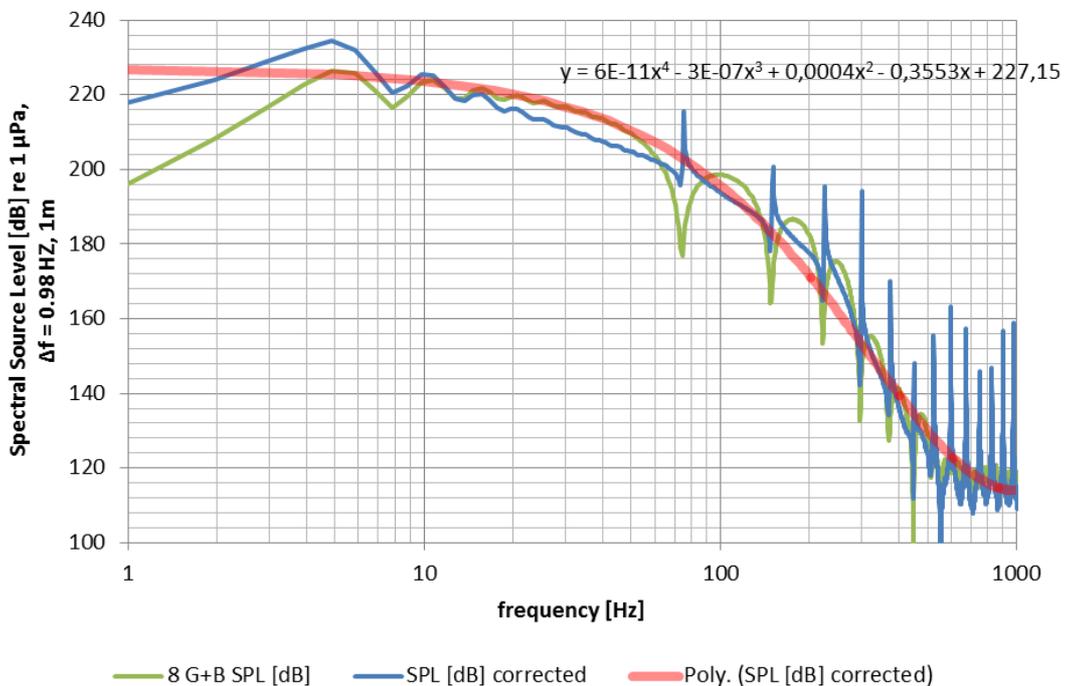
Spektrum einer Konfiguration aus 8 G-guns und 1 bolt-gun mit einer kombinierten Luftmenge von 100,9 l. Es gibt nur geringe Schwankungen aber deutliche Effekte infolge der Oberflächenreflektion.

Abb. 6-7 Ausbreitungsverlust einer Punktquelle 10 m unter der Wasseroberfläche im Abstand von 100 m direkt darunter.



Vom Ausbreitungsverlust in Abb. 6-7 werden mit $20 \log(r)$ der spärliche Ausbreitungsverlust, also 40 dB, abgezogen. Dadurch sollte eine Korrekturfunktion für die *notional Signatur* ohne Oberflächeninterferenz entstehen. Die Korrektur ist nicht perfekt, da die notional signature offenbar nicht denselben Verlauf hat, wie der Ausbreitungsverlust. Die glatte Trendkurve in Abb. 6-8 könnte eine hinreichend genaue Annäherung für den Monopolpegel sein, aber sie ist kein Ergebnis einer Fourier Transformation und enthält somit keine Phaseninformation, die für die Berechnung des Zeitsignals in großer Entfernung wichtig sein könnte. Deshalb kann die Trendkurve nur für Berechnung hinsichtlich der Frequenzdarstellung dienen.

Abb. 6-8 Abgeleiteter Quellpegel unter Nutzung von Abb. 6-7.



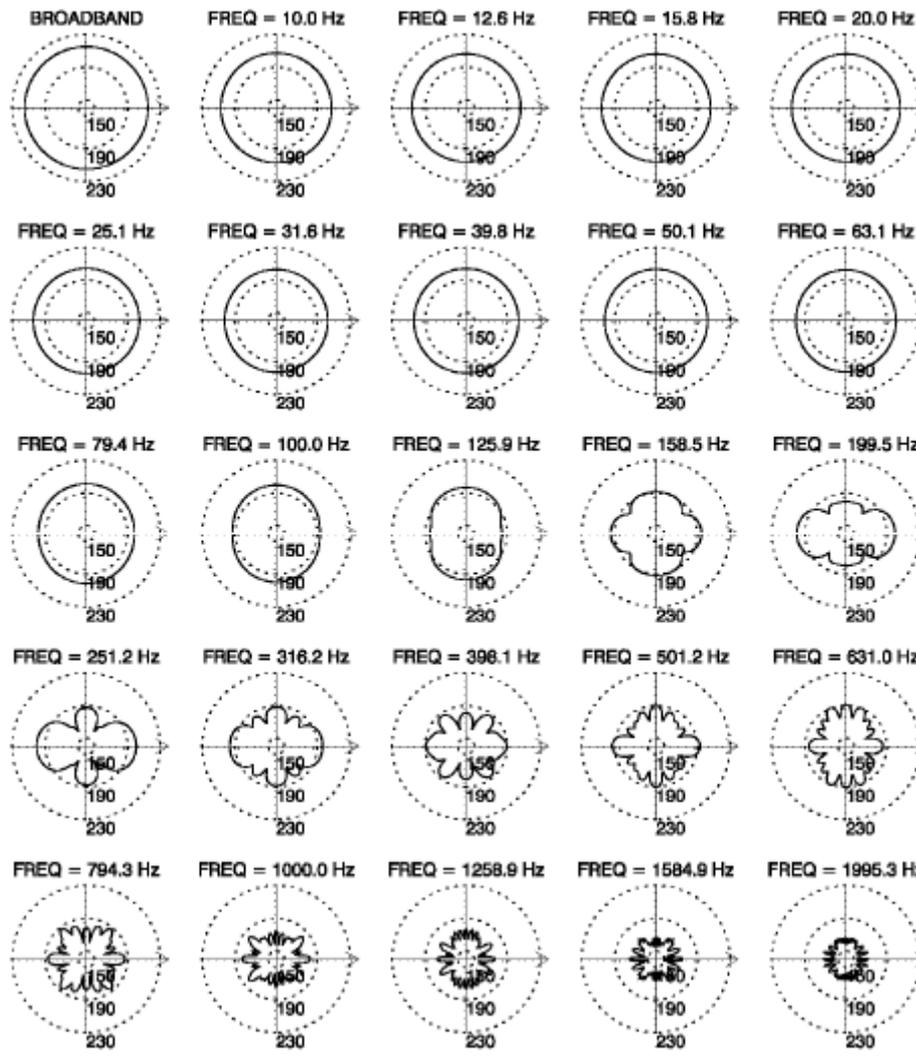
Quellpegel korrigiert für sphärischen Ausbreitungsverlust (minus 40 dB) mit glatter Trendlinie für Nutzung in den folgenden Abschätzungen (Poly.) als Repräsentation des Spektrums, welches für die Plausibilitätsüberprüfung der Schallausbreitungsmodellierung diene.

Airgun-Konfigurationen werden hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Kenngrößen in vertikaler Abstrahlrichtung ausgelegt. Eine Berechnung der Abstrahlung in anderen Richtungen ist nicht möglich, weil zusätzliche Interferenzen durch die zu unterschiedlicher Zeit beim Empfänger ankommenden Signale einzelner Airguns erzeugt werden. Die horizontale Richtwirkung eines Arrays

wie in Abb. 6-9 gezeigt, werden durch ihre lateralen Abstände erzeugt aber hier ebenfalls nicht berücksichtigt.

Wie später ersichtlich wird, stellt diese Vereinfachung ein „worst-case“ Szenario dar. Wenn wir annehmen, dass die in dieser Studie genutzten Airgun-Konfigurationen eine ähnliche Richtcharakteristik, wie in Abb. 6-9 haben, dann ist die Richtcharakteristik ab 120 Hz unrund. Dementsprechend ist die Annahme, dass die Schallquelle nach allen Richtung gleich abstrahlt als konservativ anzusehen.

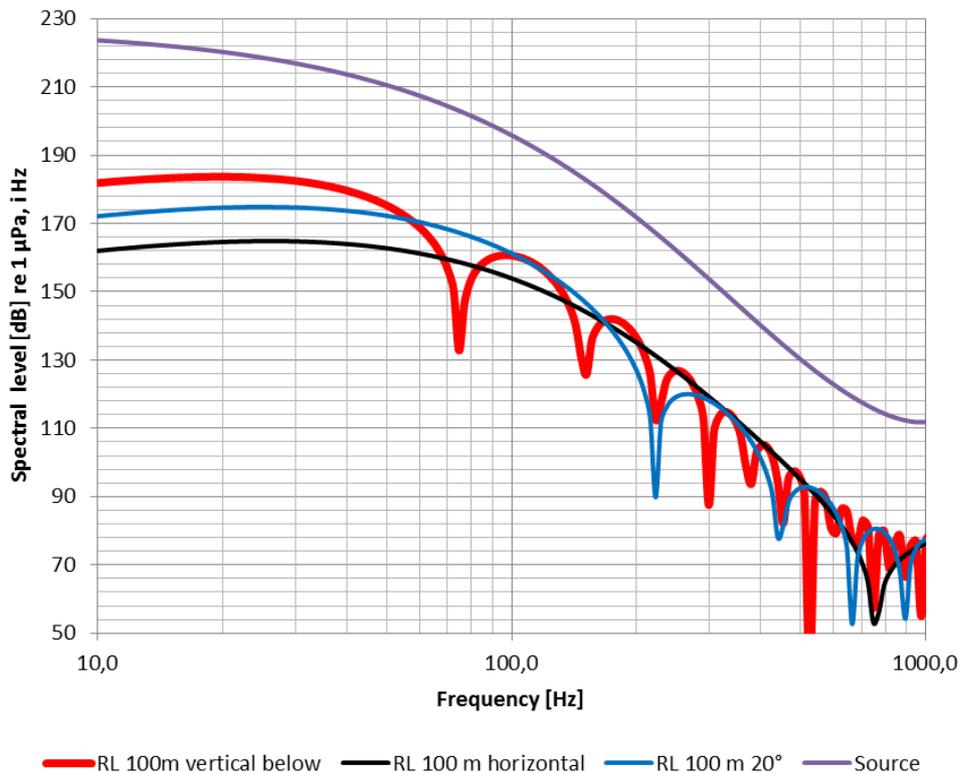
Abb. 6-9 Horizontale Richtcharakteristik einer Airgun-Konfiguration.



Quellpegel in dB re μPa , aus MacGillivray (2006). Dies ist keine Konfiguration, die innerhalb dieser Studie betrachtet wird, aber sie demonstriert die Schwankungen des Pegels in der horizontalen Ebene oberhalb einer bestimmten Frequenz, wo die einzelnen Airguns miteinander interferieren. Diese Richtwirkung wird hier nicht berücksichtigt, weil sie für den Zweck der Studie als nicht ausschlaggebend erachtet wird

Eine einfache Betrachtung wie in Abb. 6-10 zeigt, dass es systematische Unterschiede durch unterschiedliche Richtungswinkel im Empfangspegel nur unter etwa 150 Hz gibt. Darüber kann der Maximalwert aller 3 Spektren als „worst case“ betrachtet werden, wenn das Signal aller Airguns kohärent wäre. Diese Betrachtung beinhaltet nicht, dass es auch Interaktionen zwischen den Airguns gibt, wenn eine Schallwelle auf die Gasblase einer benachbarten Airgun trifft, was zu geringeren Pegeln führen würde.

Abb. 6-10 Quellpegel und Beispiel eines Empfangspegels (received level - RL) für verschiedene vertikale Ausrichtungen.



Der horizontale Quellpegel (SPL - Sound Pressure Level) in Abb. 6-10 folgt der Näherungsformel (f Frequenz in Hz):

$$\text{EQ 1: } SPL[dB]_{re1\mu Pa} = 9 \cdot 10^{-11} \cdot f^4 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot f^3 + 0.00045 \cdot f^2 - 0.3553 \cdot f + 227.16$$

Der SPL aus EQ 1 kann als Eingangsquellschallpegel (in der Frequenzdomain) genutzt werden und dient als Basis für Plausibilitätsüberprüfungen, siehe Fig 6-15. Dieses Spektrum ist nicht durch ein Zeitsignal darstellbar. Die folgenden numerischen Berechnungen sind auf Grundlage der FFT des Zeitsignals abgeleitet, um Probleme durch die fehlende Phaseninformation der EQ1 zu vermeiden. Das komplexe Spektrum wird deshalb Auslöschungen bei den Frequenzen der „ghost-notches“ haben, siehe u.a. Abb. 6-17 bei 75, 150 Hz oder die weißen Bereiche in Abb. 7-19. Für die Vorhersage von Maskierungserscheinungen innerhalb unserer Modelle spielt dies nur eine untergeordnete Rolle, da die Gesamtenergie des Signals kaum verändert wird.

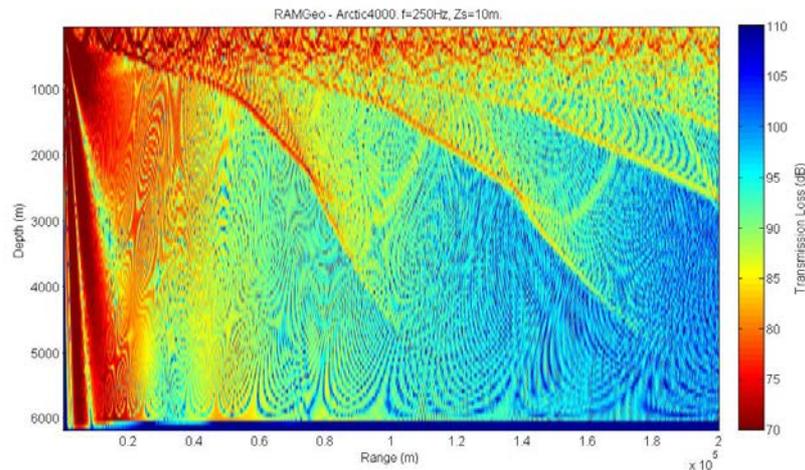
6.2.2 Ergebnisse der Berechnung de Ausbreitungsverlustes (Plausibilitätsüberprüfung)

Das folgende Kapitel zeigt wie der Schallausbreitungsverlust (als Basis für die Plausibilitätsprüfung numerischen Berechnungen) ermittelt wurde. Dies wird durch die Betrachtung der verschiedenen Schallausbreitungsfelder und die Nutzung von einfachen Modellen zur Abschätzung der Empfangsschallpegel unter Nutzung der Quellschallpegel (dargestellt im vorangegangenen Kapitel) realisiert. Im Anhang B sind die Ausbreitungsverluste (Transmission Loss - TL) für Entfernungen bis zu 2000 km dargestellt. Die generellen Beobachtungen sind:

- Über 125 Hz wird ein ausgeprägter Schallkanal beobachtet; außerhalb des Schallkanals werden die sich überlagernden Schallwellen durch Bodenreflexionen und Abschwächung im Substrat ausgelöscht.

- Unter 63 Hz ist TL höher als bei hohen Frequenzen; womöglich infolge der Oberflächennähe (Lloyd-Mirror-Effect).
- Innerhalb des hier betrachteten Frequenzbereichs liegt der TL in der Entfernung von 2000 km in der Größenordnung 90 bis 100 dB, siehe Anhang B.

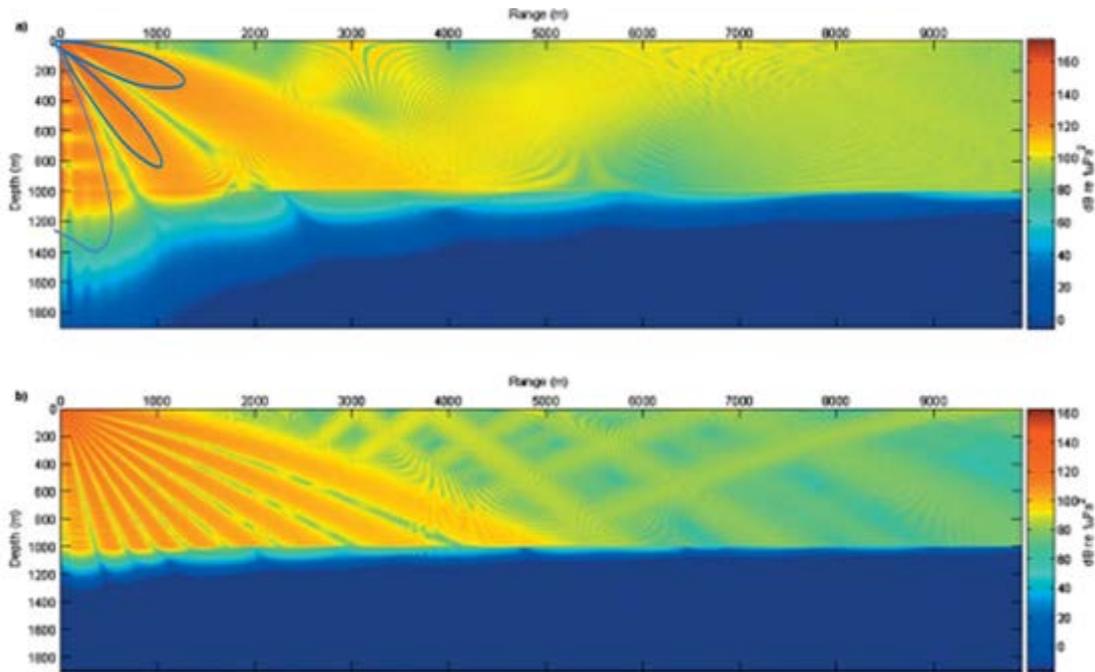
Abb. 6-11 Beispiel für die Schallausbreitung bis 200 km bei 250 Hz.



Beispiel: Der dominierende Ausbreitungsweg ist offenbar der in Oberflächennähe. Dies gilt für beide Schallgeschwindigkeitsprofile.

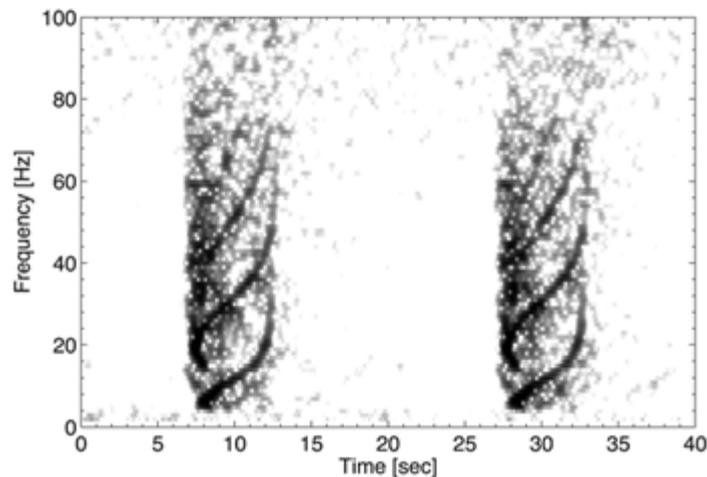
Die folgenden zwei Grafiken zeigen weitere Hinweise hinsichtlich der Natur der Schallausbreitung und den zu erwartenden Ergebnissen auf. Abb. 6-12 zeigt die Richtcharakteristik einer Schallquelle nahe der Oberfläche. Das sich ergebende Schallfeld ist die Konsequenz des Lloyd-Mirror-Effektes. Die Intensität des Schallfeldes nimmt durch die Bodenreflektionen graduell ab. Abb. 6-13 zeigt das Spektrogramm eines empfangenen Signals im Schallfeld. Eine charakteristische Frequenz-Modulation mit zunehmender Frequenz über die Zeit (up-sweep) ist deutlich erkennbar, jedoch sind undeutlicher auch down-sweeps ersichtlich. Dieses Muster bildet sich durch die zu verschiedenen Zeiten ankommenden Moden des Signales am Empfänger heraus. Dieses tatsächlich gemessene Signal von seismischen Untersuchungen ist gut mit den Ergebnissen der Schallmodellierung in diesem Projekt vergleichbar, siehe u.a. Abb. 7-18ff.

Abb. 6-12 Richtdiagramm einer Punktquelle in Oberflächennähe bei höherer Frequenz.



Modellierte Empfangspegel für 300 und 1000 Hz aus Tashmukhambetov et al. (2008), mit Überlagerung (blaue Linie in a.) unseres eigenen Ergebnisses der Ausbreitungsmuster. Beachte: starke Absorption der reflektierten Strahlen am Boden.

Abb. 6-13 Ein mögliches Ergebnis der Schallausbreitungsmodellierung: Airgunschüsse, die in der Chukchi Sea aufgenommen wurden (aus Roth et al. 2012).

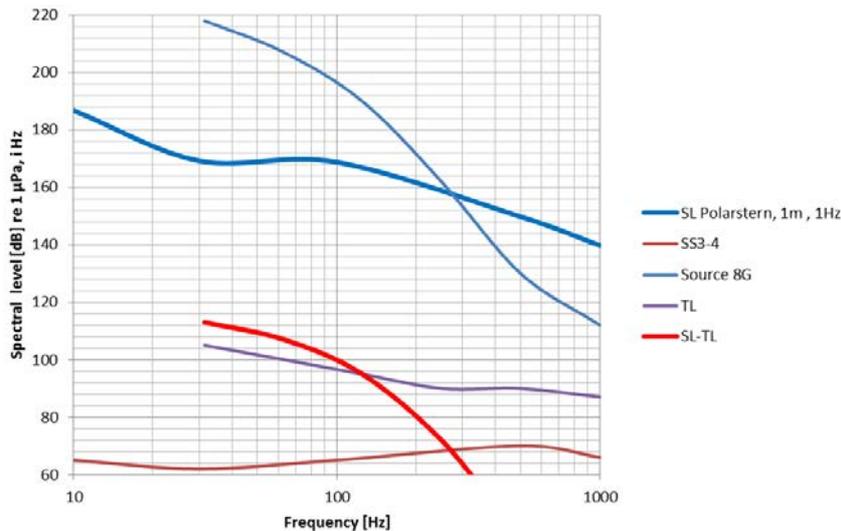


6.2.3 Ergebnisse der Ermittlung der Empfangspegel

Mit den Quellschallpegeln und den Ergebnissen der Ausbreitungsverlustrechnung können grobe Abschätzungen über die bei 2000 km Entfernung zu erwartenden Empfangspegel getroffen werden. Abb. 6-14 zeigt die Quell- und Empfangspegel einer Airgun-Konfiguration und, zum Vergleich, das Eigengeräusch des FS Polarstern (aus Boebel et al. 2009). Obwohl ein Airgunschuss, das kontinuierliche Hintergrundrauschen und die Schiffsemissionen nur schwer vergleichbar sind, entspricht der der Äquivalente Dauerschallpegel (L_{eq}) bei einer Bandbreite von 1 Hz und einem

Signal von 1 s Dauer dem SEL. Der L_{eq} des Empfangssignals der Airgun wäre dann 10 dB geringer, wenn die Dauer 10 s beträgt, aber läge bei einem angenommenen Seegang von 3-4 immer noch deutlich über dem Hintergrundrauschen. Sogar eine einzelne kleine (also ‚leisere‘) Airgun mit einem Quellschallpegel 20 bis 40 dB unter dem hier dargestellten lautesten modellierten Signal wäre immer noch lauter als das Hintergrundrauschen in 2000 km Entfernung.

Abb. 6-14 Empfangspegel in 2000 km Entfernung.



Empfangspegel (Differenz zwischen Quellpegel SL und Ausbreitungsverlust TL) bei 2000 km im Vergleich zu Seastate 3-4. Dies dient dem Plausibilitatsvergleich mit den folgenden Berechnungen

6.2.4 Modellierung von Ausbreitungsverlust und Signalstreckung

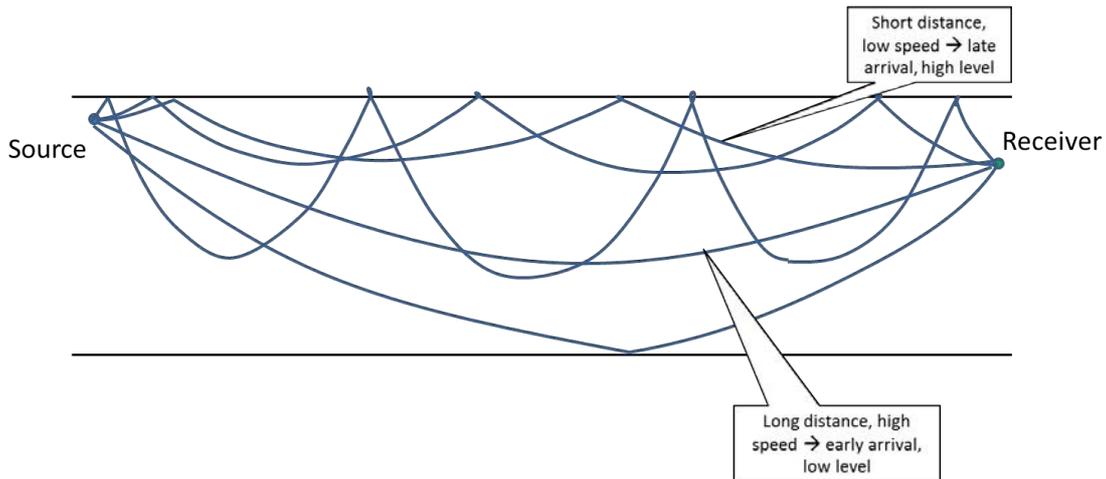
Die Frequenzanteile im Spektrum eines Airgun-Impulses laufen entlang von unterschiedlichen Schallausbreitungspfaden zum Empfänger. Das Schallgeschwindigkeitsprofil in der Antarktis hat einen positiven Gradienten, das heißt die Schallgeschwindigkeit nimmt von oben nach unten zu (Abb. 6-1). Im Sommer tritt eine Schicht mit negativem Gradienten auf, die aber nur kleine Auswirkungen auf die Schallausbreitung hat. Deshalb werden Schallwellen immer zur Oberfläche hin gebeugt, weil die Schallgeschwindigkeit oben geringer ist. Dies führt zu einer Konzentration der Schallenergie nahe der Oberfläche.

Es gibt nur eine begrenzte Zahl von Ausbreitungswegen zwischen einer Quelle und einem Empfänger, sogenannte Moden. Jede Mode ist durch eine andere Schwingungsform des Wasserkörpers gekennzeichnet. Für jede Frequenz ist die Schwingungsform etwas unterschiedlich, mit der Folge, dass sich die hohen Frequenzen etwas schneller ausbreiten als die tiefen Frequenzen (Frequenzdispersion). Außerdem führen verschiedene Ausbreitungswege zu unterschiedlich langen zurückgelegten Strecken durch Gebiete mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Beispielsweise kann sich eine Schallwelle in größere Tiefen hin ausbreiten und legt deshalb einen längeren Weg als nahe der Oberfläche zurück, der aber in Gebieten mit höherer Schallgeschwindigkeit liegt. Durch diese Zusammenhänge kann also eine Schallwelle, (wegen des langen Ausbreitungsweges) mit niedrigem Pegel aber (wegen der im Mittel höheren Schallgeschwindigkeit auf diesem Weg) früh eintreffen. Ebenso kann eine Welle, die sich oberflächennah ausbreitet, mit hohem Pegel aber später ankommen. Dieser Effekt wird Modendispersion genannt.

Frequenz- und Modendispersion nehmen mit zunehmender Distanz ebenfalls zu. Dies führt zu einer Signaldehnung jedweddes kurzen Impulses bis zu einer signifikanten Dauer von über 10 s bei einer Entfernung von 2000 km.

In einer Umgebung, wo die Eigenschaften des Bodens wichtig sind - dies wäre der Fall bei einem Sandboden in 500 m Tiefe - sind die Verhältnisse komplizierter auf Grund des frequenzabhängigen Absorptionsverhaltens des Bodens. In diesem könnte die Signalstreckung nicht proportional mit der Entfernung wachsen.

Abb. 6-15 Modendispersion.

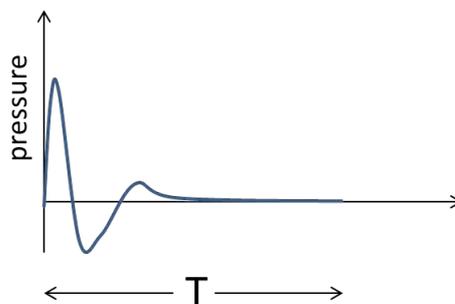


Beispiel für verschiedene Ausbreitungsmoden bei zunehmender Schallgeschwindigkeit mit der Tiefe. Die obere Grenze ist die Wasseroberfläche, die untere der absorbierende Boden. Die oberen Ausbreitungswege legen eine kurze Entfernung bei niedriger Schallgeschwindigkeit zurück, beim unteren Weg ist es umgekehrt.

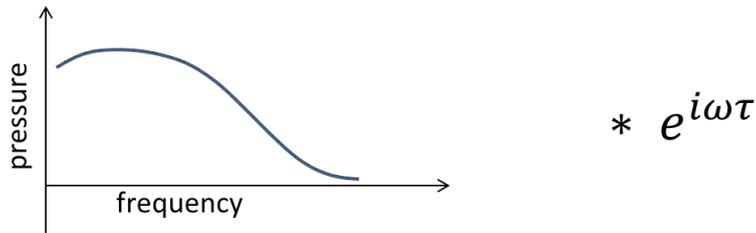
Für die Berechnungen der Schallausbreitung wurde die frei verfügbare Software **AcTUP (Acoustic Toolbo User-interface & Postprocessor)** eingesetzt. In dieser Software wurde ein einheitlicher Prä- und Postprozessor für eine Gruppe von Programmen für die Schallausbreitungsberechnung geschaffen. Erste Hinweise wie stark sich Signalstreckung bemerkbar macht, kann aus Ergebnissen mit AcTUP mit dem Berechnungsmodul gewonnen werden, die die Gruppengeschwindigkeit für jede Mode ausgeben.

Eine sachgerechte Berechnung der Signalstreckung erfordert die folgenden Schritte:

1. Eingabe des Zeitsignals und Berechnung einer FFT (Fast Fourier transform) mit Betrag und Phase. Dafür werden die Original-Zeitsignale aus Abb. 6-15 herangezogen, obwohl sie nicht genau den Monopolquellpegel darstellen.

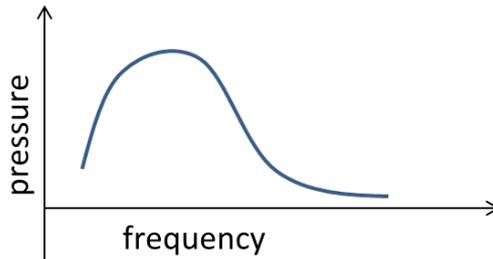


Zeitsignal (wave form) der Quelle



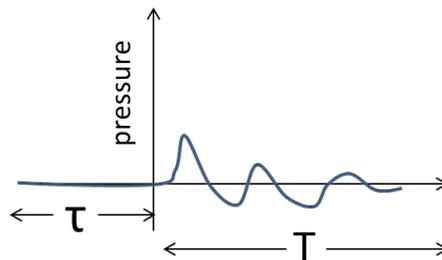
Spektrum der Quelle ermittelt aus dem Zeitsignal durch FFT

2. Berechnung des Ausbreitungsverlusts TL
3. Berechnung des Empfangsspektrum aus dem Quellpegel und dem Ausbreitungsverlust



Spektrum des Empfangssignals in der Distanz x berechnet durch die Schallausbreitungsformeln in ActUP

4. Berechnung der inversen FFT zur Bestimmung des Empfangszeitensignal



Empfangenes Zeitsignal durch inverse FFT des empfangenen Spektrums

Die Berechnungen können sehr aufwendig sein, weil die Frequenzauflösung mit zunehmender Signaldauer immer kleiner wird. Ein 5 Sekunden langes empfangenes Signal benötigt 1/5 Hz Frequenzauflösung, für 1000 Hz Frequenzbereich also 5000 Einzelberechnungen des Ausbreitungsverlusts. Ein weiteres Problem ist die Berücksichtigung der Zeit bis zur Ankunft des Signals, so dass die inverse FFT vom korrekten Zeitabschnitt gebildet wird. Dabei muss ebenfalls beachtet werden, dass die Abtastrate mit der höchsten bestimmbaren Frequenz zusammenhängt.

Die FFT f_m des Zeitsignals x (Betrag bei Frequenz m) ist:

EQ 2:
$$f_m = \sum_{k=0}^{2n-1} x_k \cdot e^{-\frac{2\pi i}{2n} mk} m$$
 $m=0\dots 2n-1$

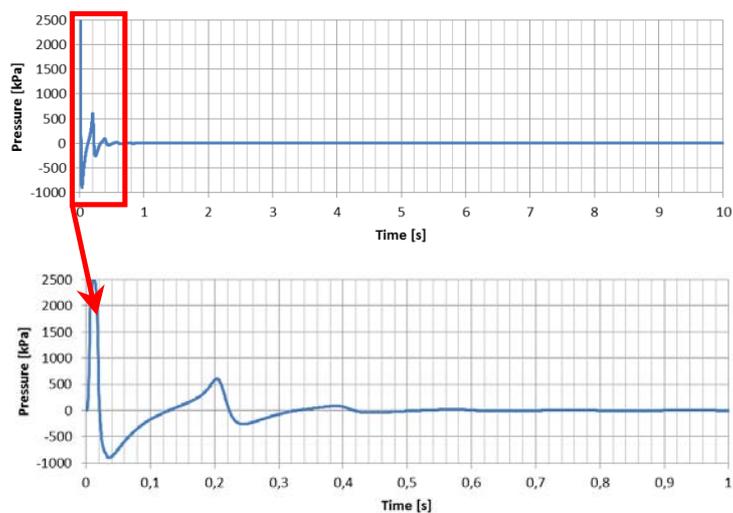
x_k ist der komplexe Schalldruck (z.B. mit Amplitude und Phase) zum Zeitschritt k . Die Gleichung EQ2 ergibt die komplexe Amplitude für jede Frequenz. Für jede Frequenz wird der Ausbreitungsverlust TL mit ActUP berechnet. Das Ergebnis ist ein komplexer Wert der Differenz zwischen dem Schalldruck der Quelle und dem Empfänger. Mit dem Quellspektrum wird das komplexe Empfangsspektrum erzeugt. Hierbei muss dann noch die Zeit bis zur Ankunft des Signals am Emp-

fänger herausgerechnet werden. Wenn dies nicht beachtet wird, ergibt sich das Zeitsignal zu Null, da nur die erste Sekunde des Signals dargestellt wird. Dafür wird f_m mit dem Faktor $e^{i\omega\tau}$ multipliziert wobei i die Quadratwurzel von -1 , ω die Winkelgeschwindigkeit und τ die Zeit bis zur Ankunft des Signals darstellt. Danach wird aus dem Empfangsspektrum durch inverse FFT das empfangene Zeitsignal gewonnen. Im Folgenden sind repräsentative Ergebnisse der Schallausbreitungsmodellierung für Einzelschüsse der Airgun-Konfigurationen für spezifische Parameter dargestellt (s.u.). Die Ergebnisse für alle durchgeführten Berechnungen sind in Anhang B dargestellt. Das Zeitsignal der Quelle ist in Abb. 6-16 dargestellt.

Beachte: Alle Zeitsignale sind als lineare Druck (Pa), alle Spektren in SEL (dB re 1 μ Pa) gegeben. Die Einheit des SEL wird oft auch in dB re μ Pa²s angegeben, die Pegel unterscheiden sich jedoch nicht.

Quelle	8 G-guns
Schallgeschwindigkeitsprofil 715 bis zu einer Tiefe von	500 m
Wassertiefe	500 m
Quelltiefe	10 m
Empfängertiefe	10 m
Geschwindigkeit der Kompressionswelle im Boden	1600 m/s
Dichte des Bodens	1480 kg/m ³
Dämpfung	0.3 dB/ λ
Wasseroberfläche	glatt
Berechnungscode	Modensummutation

Abb. 6-16 Zeitsignal des 8-Gun-Array



6.3 Ergebnisse für Einzelschüsse

Im folgenden Kapitel sind die Ergebnisse der Signaldehnung für alle berechneten Entfernungen aufgeführt.

6.3.1 Ergebnisse für 100 km Entfernung

Abb. 6-17 Quellspektrum und Empfangsspektrum der 8-G-gun Konfiguration nach 100 km

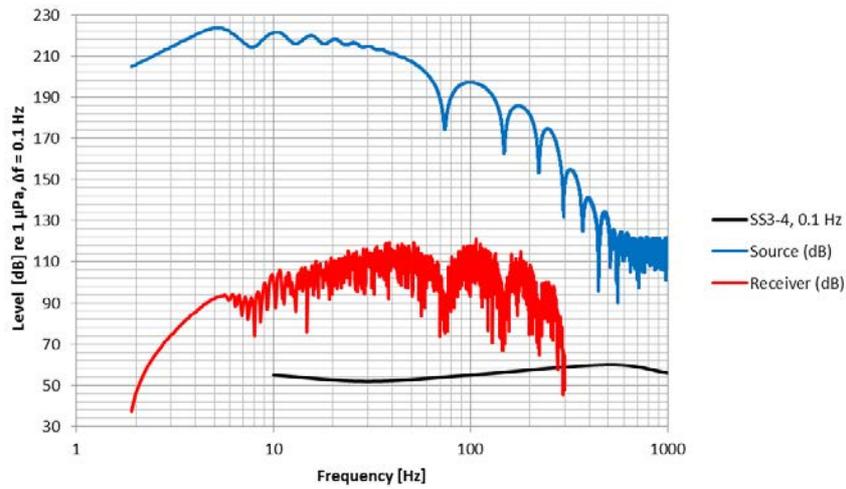
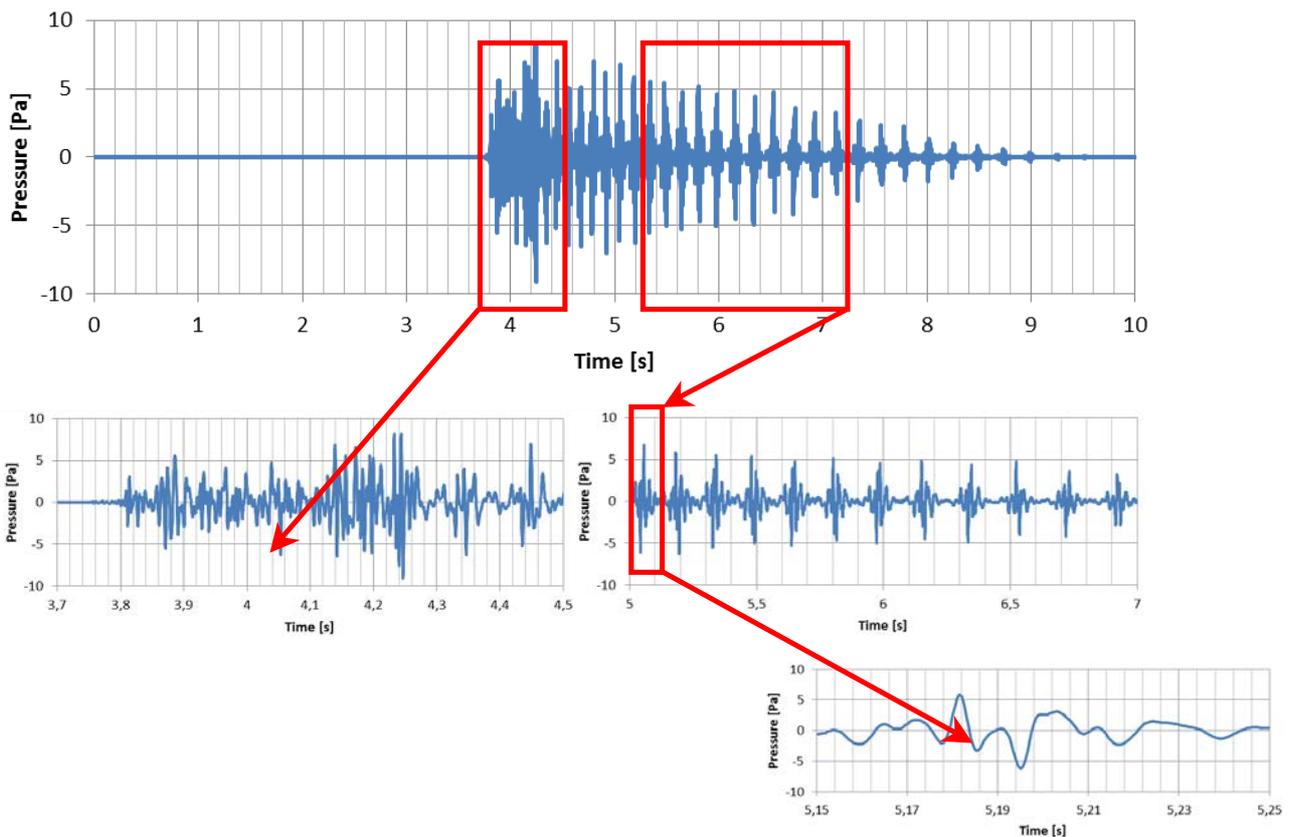


Abb. 6-18 Zeitsignal nach 100 km mit Zoom auf verschiedene Bereiche.

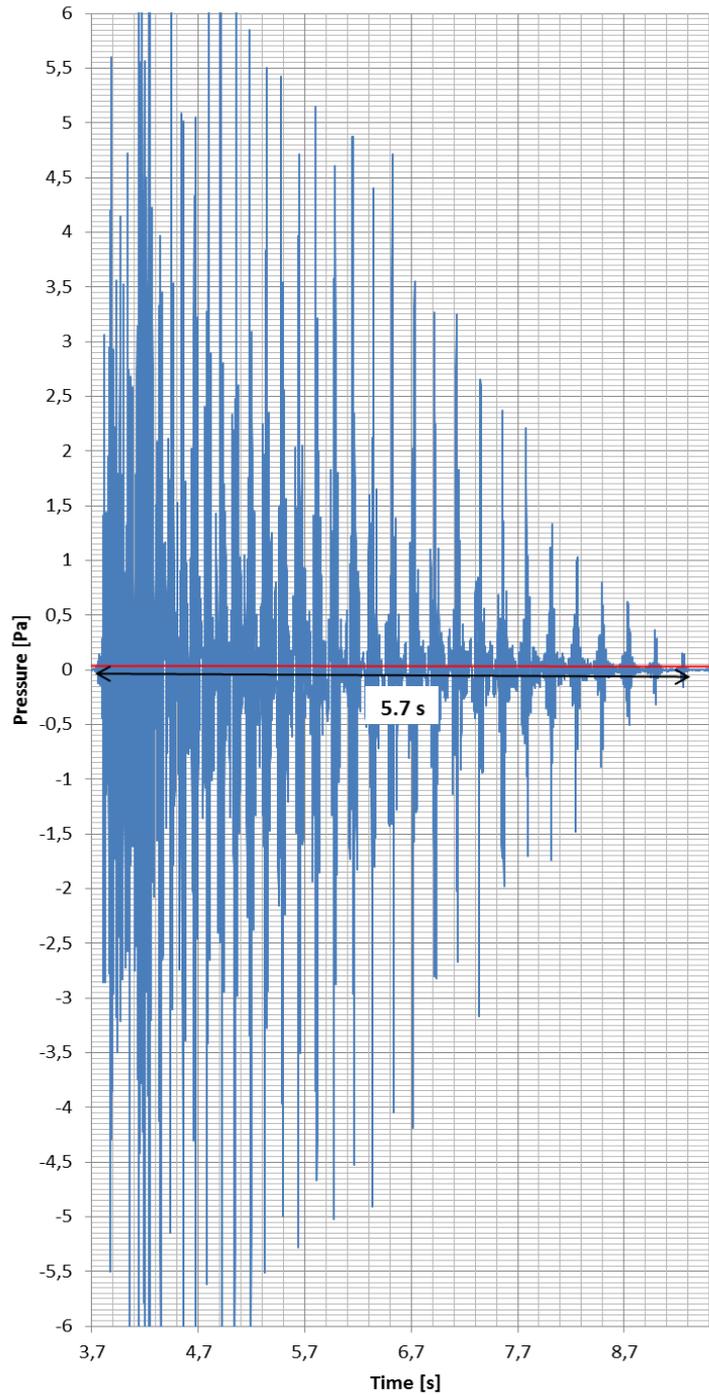


In der Ausschnittsvergrößerung wird deutlich sichtbar, dass das gedehnte Signal bereits Anteile mit quasi kontinuierlichen Sequenzen und andere mit vorherrschend impulshaften Sequenzen zeigt.

Das Zeitsignal nach 100 km ist auf fast 6 Sekunden gestreckt, ist aber immer noch 60 dB über dem Hintergrundrauschen (Abb. 6-17). Allerdings ist das Spektrum des empfangenen Signals aus einem Zeitsignal von 6 Sekunden Länge gebildet. Um abzuschätzen, ob das Hintergrundrauschen die Dauer des empfangenen Signals verkürzt, werden dessen Pegel für alle Frequenzen von 10 bis

300 Hz aufaddiert. Das führt zu einem durchschnittlichen Schalldruck von etwa 0,03 Pascal. Dies ist zu niedrig, um die Dauer des Signals der Airgun nennenswert zu verkürzen.

Abb. 6-19 Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals in 100 km Entfernung.



Das Signal ist 5.7 s lang bevor es unter den Hintergrundpegel fällt (rote Linie mit 0,03 Pa Amplitude unter Summierung der Geräuschanteile von 10 bis 300 Hz).

6.3.2 Ergebnisse für 500 km Entfernung

Abb. 6-20 Quellspektrum und Empfangsspektrum des 8-G-gun arrays nach 500 km.

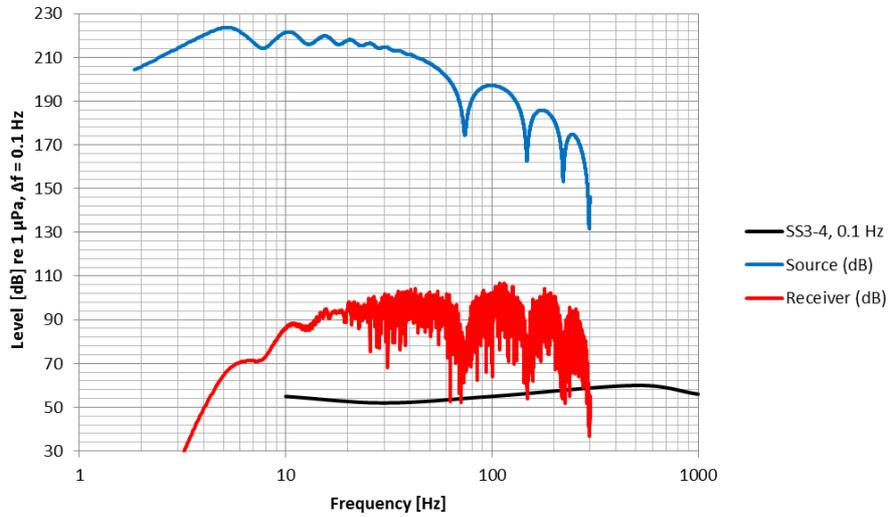


Abb. 6-21 Empfangenes Zeitsignal nach 500 km.

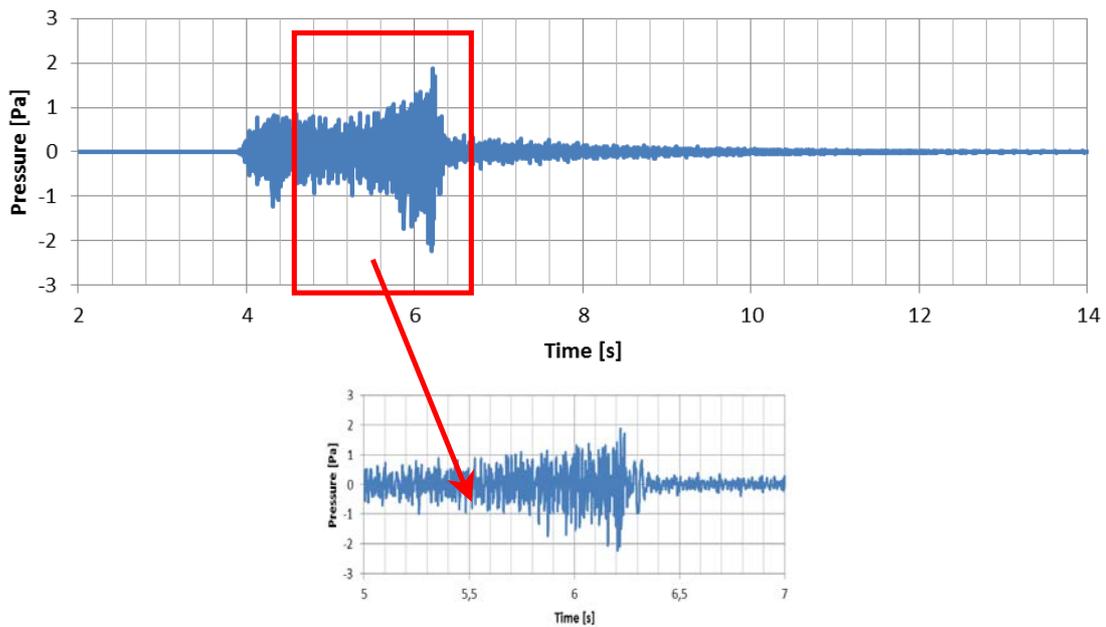
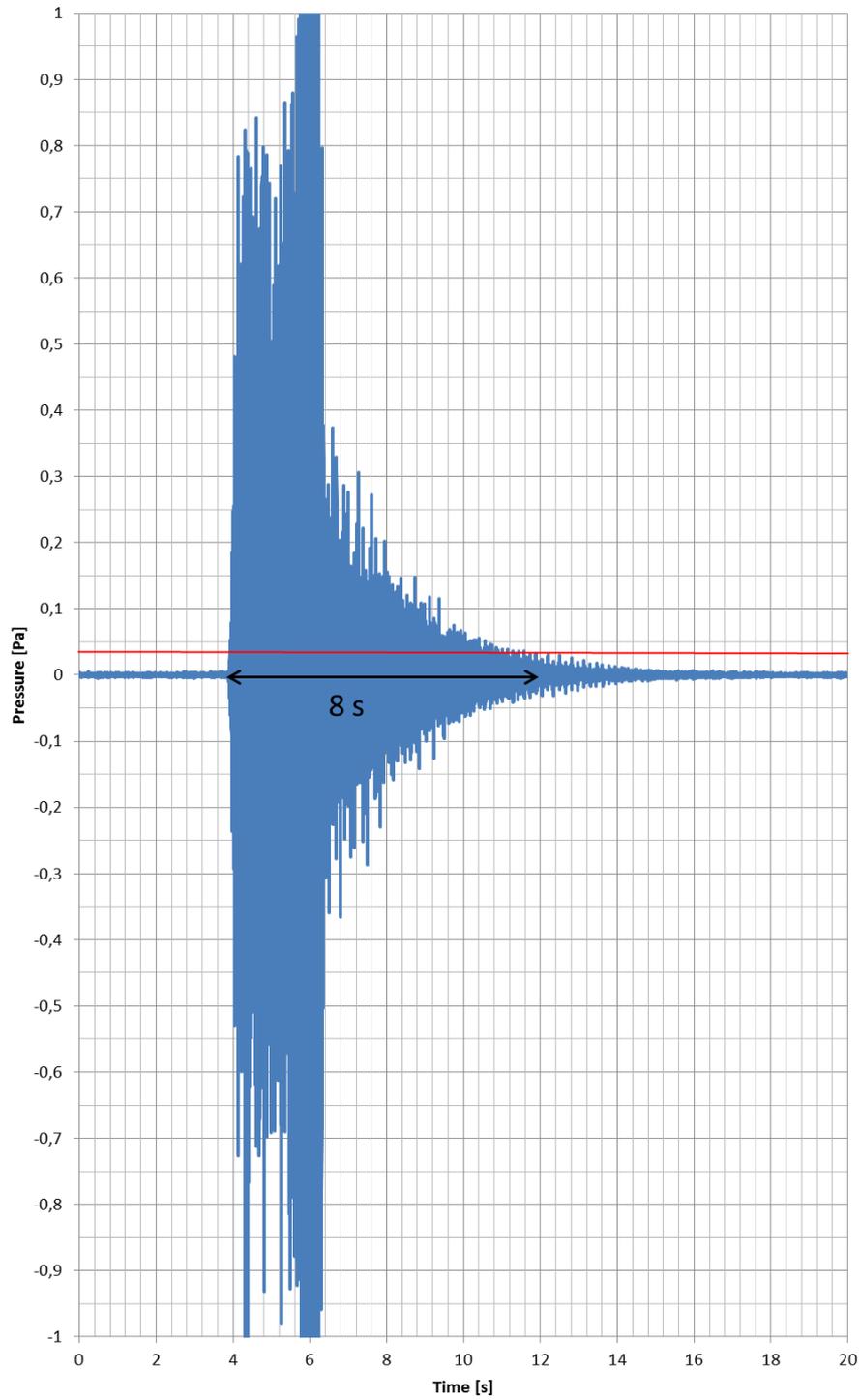


Abb. 6-22 Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals in 500 km Entfernung.



Das Signal ist 8 s lang bevor es unter den Hintergrundpegel von 0,03 Pa fällt (rote Linie)

6.3.3 Ergebnisse für 1000 km Entfernung

Abb. 6-23 Quellspektrum und Empfangsspektrum des 8-Gun arrays nach 1000 km.

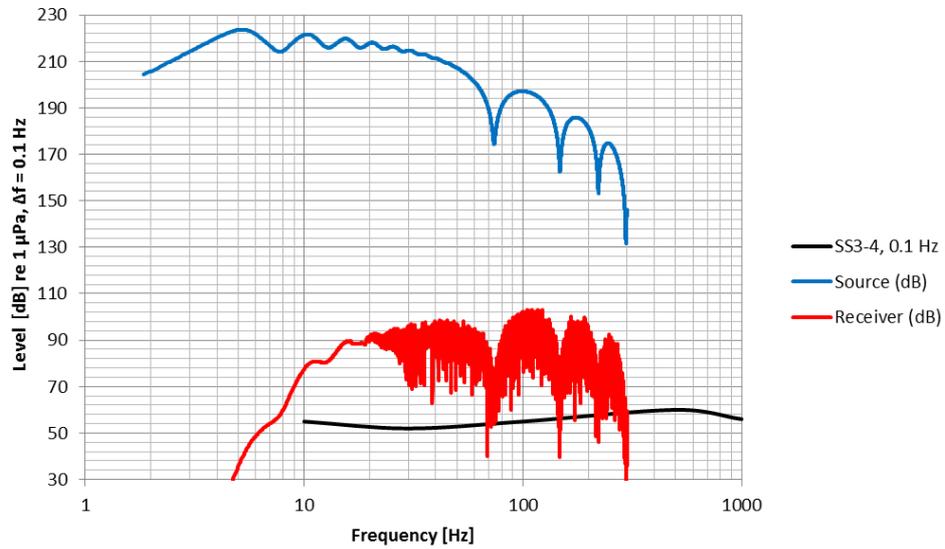


Abb. 6-24 Empfangenes Zeitsignal nach 1000 km

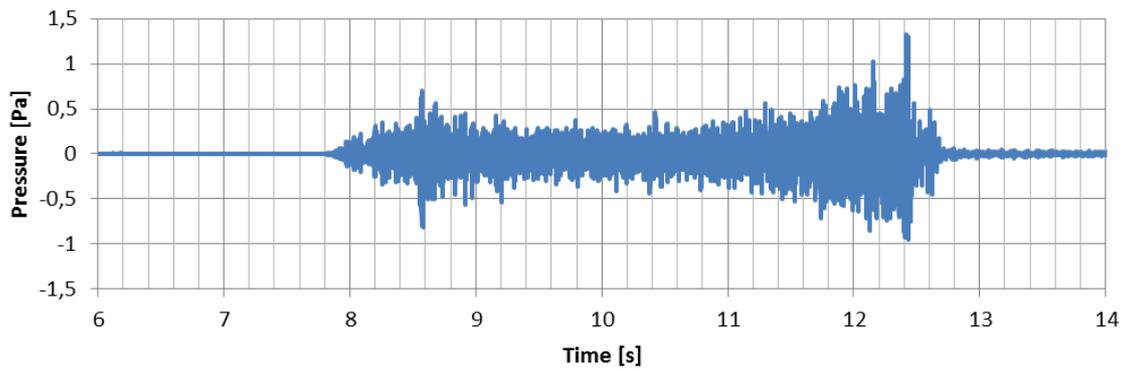
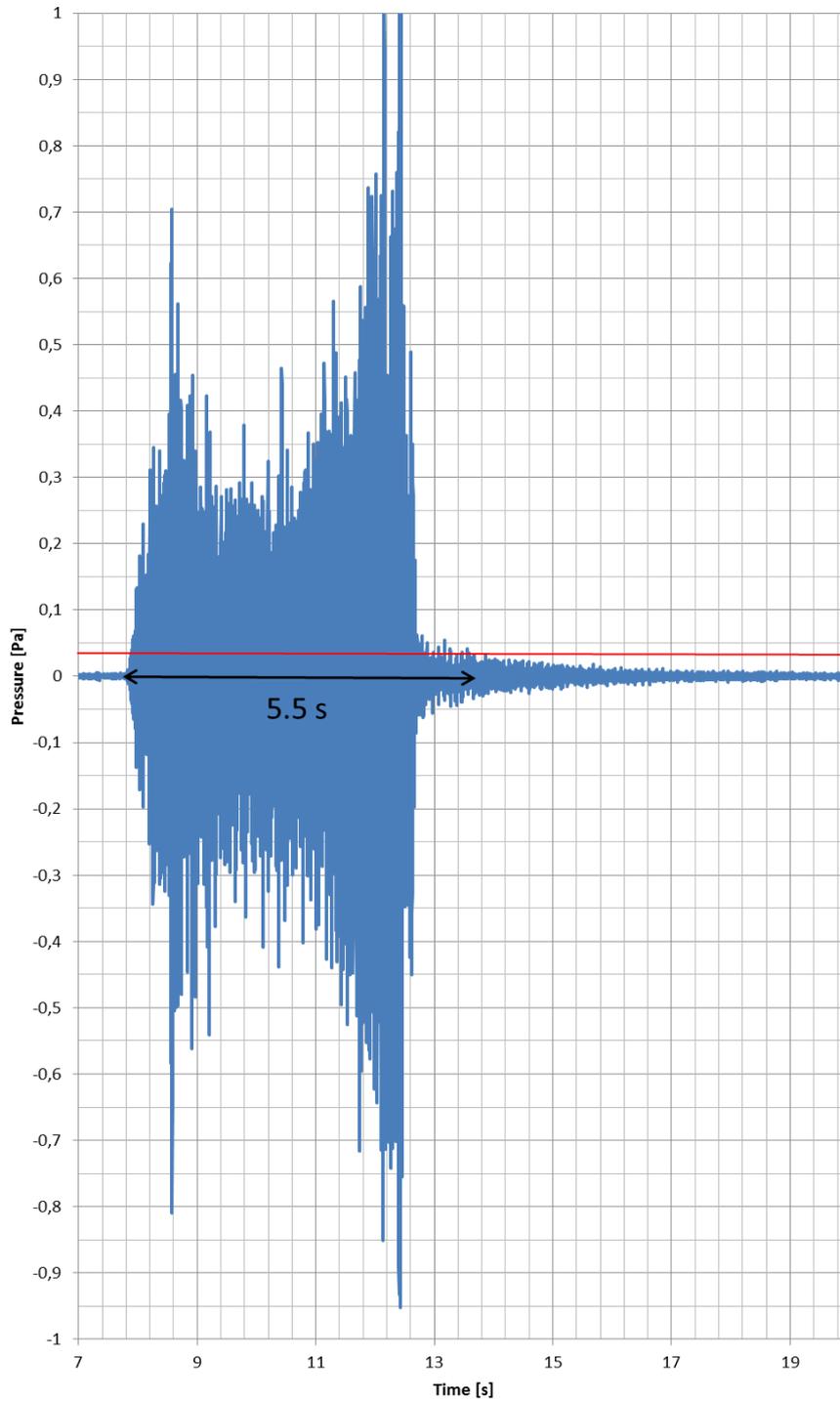


Abb. 6-25 Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals bei 1000 km Entfernung.



Das Signal ist 5,5 s lang bevor es unter den Hintergrunds Pegel von 0,03 Pa fällt (rote Linie).

6.3.4 Ergebnisse für 200 km Entfernung

Abb. 6-26 Quellspektrum und Empfangsspektrum des 8-G-gun arrays nach 2000 km.

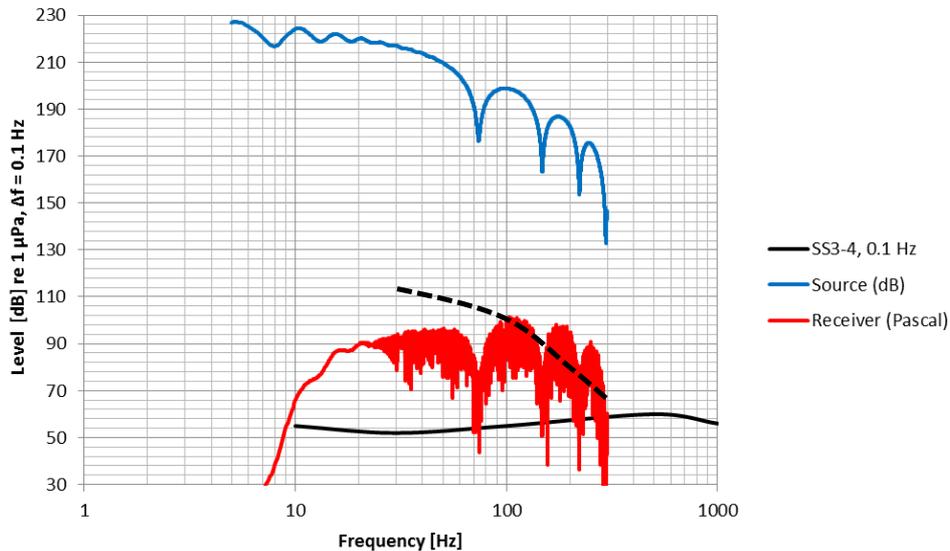
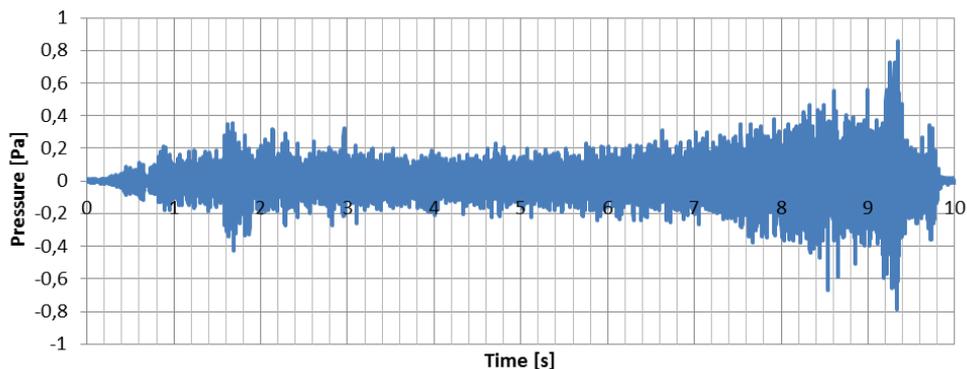


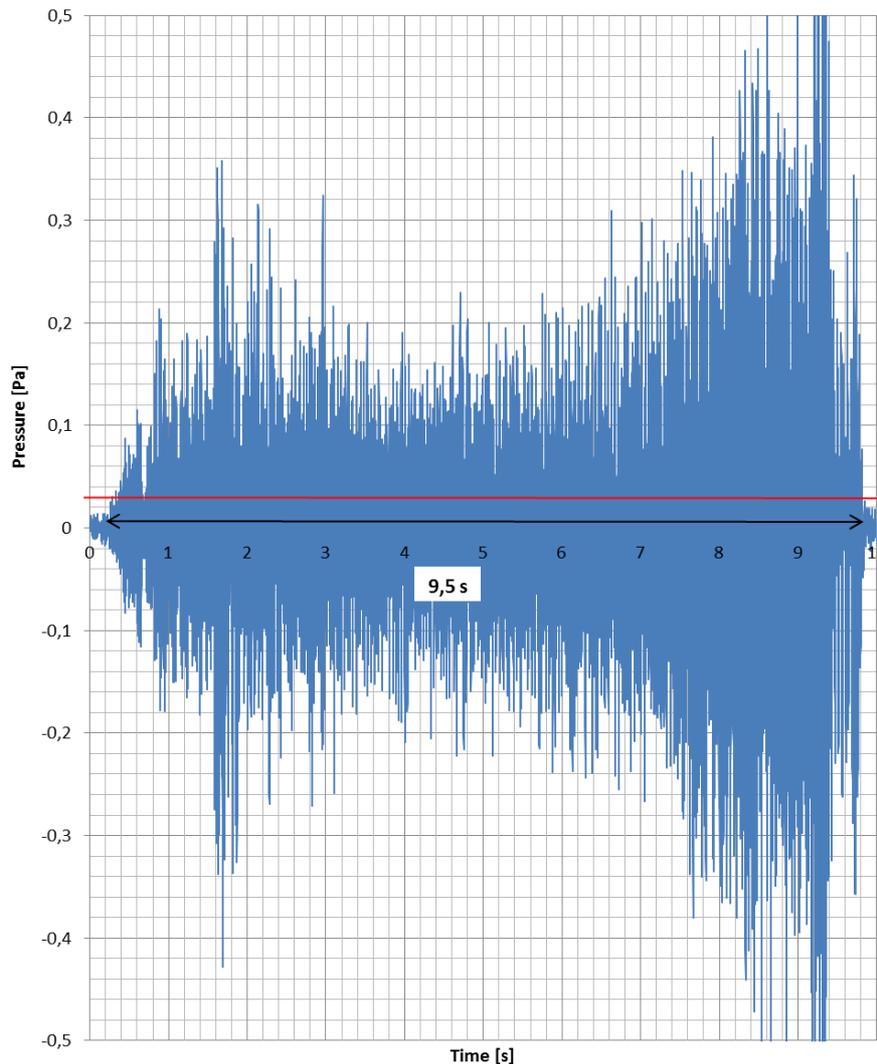
Abb. 6-27 Empfangenes Zeitsignal nach 2000 km.



Das Spektrum in Abb. 6-26 ähnelt dem aus Abb. 6-14 (gestrichelte Linie in Abb. 6-26), also erscheint das Ergebnis plausibel. Die Abweichungen bewegen sich in einem Rahmen von 10 dB, können also im Rahmen der notwendigen stark vereinfachten Annahmen für Abb. 6-14 als ausreichend gelten. Bei tiefen Frequenzen ist die Prognose aus Abb. 6-26 niedriger, weil der Lloyds-Mirror-Effekt in der Nähe der Oberfläche für Tiefen von weniger als $\frac{1}{4}$ der jeweiligen Wellenlängen die Pegel verringert.

Weiterhin verhindern die physikalischen Rahmenbedingungen im Flachwasser-Szenario, dass Schall, der von der Quelle in spitzem Winkel abgestrahlt wird, durch die Absorption im Boden, beim Empfänger ankommt. Die berechneten Pegel in Abb. 6-26 über 200 Hz sind, vermutlich auf Grund des Oberflächenschallkanals, höher als erwartet.

Abb. 6-28 Gestreckte Darstellung des empfangenen Signals bei 2000 km Entfernung.



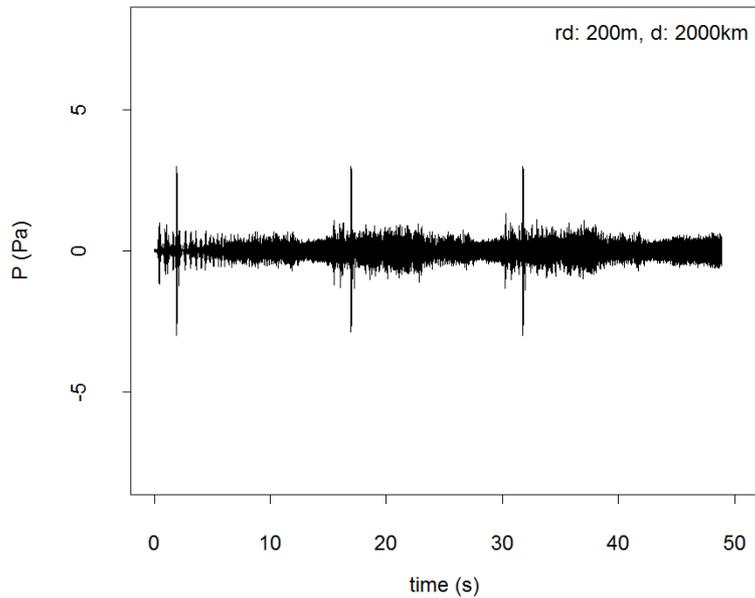
Das Signal ist 9,5 s lang bevor es unter den Hintergrunds Pegel von 0,03 Pa fällt (rote Linie).

Für die Flachwasser-Szenarios kann man erkennen, dass die Streckung des Zeitsignals nicht linear mit der Entfernung steigt. Das ist vermutlich eine Folge der Kombination von Moden- und Frequenzdispersion. Für die Konfigurationen im tiefen Wasser korreliert die Streckung besser mit der Entfernung.

6.4 Beispielhaftes Ergebnis für eine Schussfolge (multiple Airgunschüsse)

Alles bisher Dargestellte galt für einzelne Schüsse. Offensichtlich würde sich ein eher kontinuierliches Signal ergeben, wenn das gestreckte Signal länger ist als der zeitliche Abstand zwischen zwei Schüssen. Dieser Abstand hängt von verschiedenen Parametern des seismischen Surveys ab, aber er mag deutlich kleiner sein, als das Signal lang ist. Beispielhaft ist in Abb. 6-29 das Zeitsignal für ein 8 G-gun array in 2000 km Entfernung für drei Schüsse überlagert, um eine Schussabfolge mit einen Intervall von 15 s zu visualisieren bei dem sich ein kontinuierliches Signal ergibt.

Abb. 6-29 Beispiel für ein Zeitsignal für eine Schussesequenz mit 15 s Wiederholrate bei einer Empfängertiefe von 200 m in 2000 km Entfernung, und 4000 m Wassertiefe.

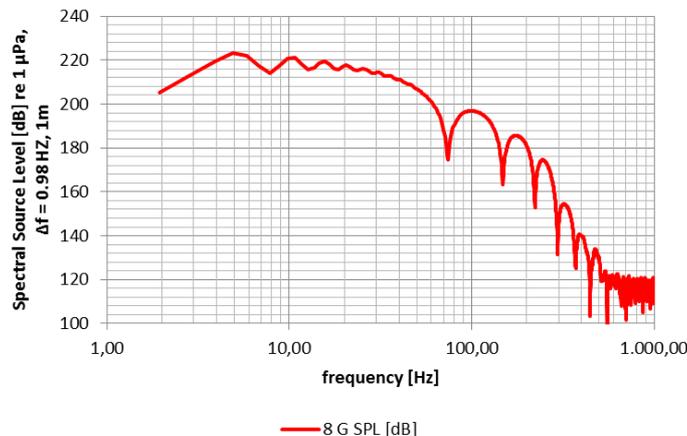


6.5 Betrachtung für höhere Frequenzen

Alle bisherigen Betrachtungen wurden für einen Frequenzbereich bis 300 Hz dargestellt. Abb. 6-4 ist zu entnehmen, dass der höchste Pegel eines Airgun Signals 60 bis 100 dB über den Pegel oberhalb von 300 Hz liegt. Damit ist es gerechtfertigt anzunehmen, dass Frequenzen oberhalb 300 Hz in den hier betrachteten Entfernungen nicht berücksichtigt zu werden brauchen, da sie nur einen geringen Energieinhalt haben. Hinzu kommt, dass oberhalb 300 Hz die Absorption im Wasser deutlich zunimmt. Dennoch wurde eine Berechnung unter Berücksichtigung des Frequenzbereiches bis 1000 Hz erstellt.

Es wurde wieder das 8-G-gun Array (Abb. 6-30) als Schallquelle betrachtet, dessen Spektrum bis 1000 Hz dargestellt wird. Die Entfernung ist 500 km. Bei größeren Entfernungen wären die Beiträge oberhalb 300 Hz durch Dämpfung unter den Störpegel gesunken.

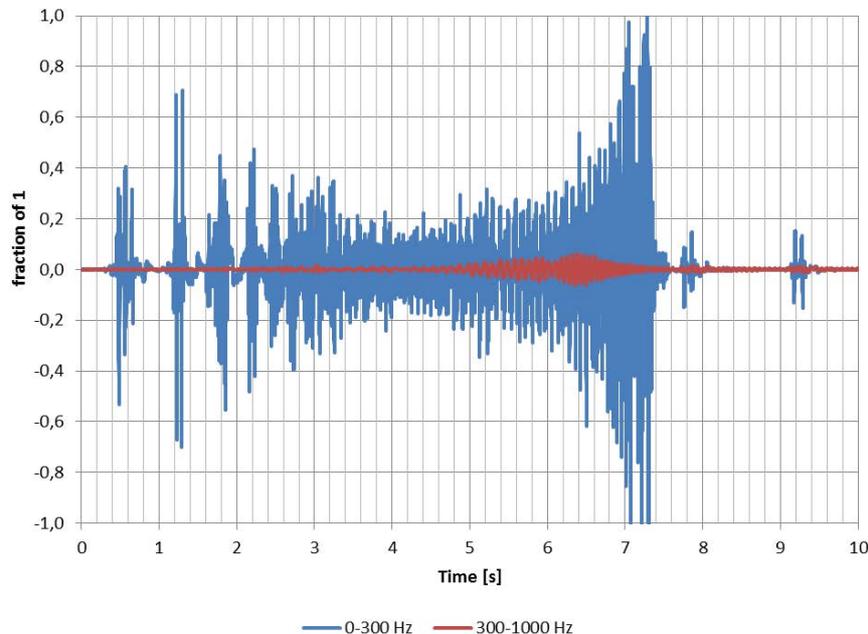
Abb. 6-30 Quellspektrum des 8 G-gun arrays bis 1000 Hz.



Da das empfangene Signal fast vollständig von den tieferen Frequenzen dominiert ist, wird das Zeitsignal für die Frequenzbereiche 0 - 300 und 300 - 1000 Hz getrennt dargestellt.

Abb. 6-31 zeigt, dass die höheren Frequenzen vergleichsweise gering, aber sichtbar in der Grafik hervortreten, wenn keine frequenzspezifische Abschwächung eingerechnet wird. Durch die Frequenzdispersion erscheint die maximale Amplitude über 300 Hz früher, als der tieffrequente Anteil ≤ 300 Hz.

Abb. 6-31 Relative Amplituden des Zeitsignals für den Bereich 0-300 und 300 bis 1000 Hz



6.6 Betrachtungen zur Genauigkeit der Schallausbreitungsmodellierung

Die hier aufgeführten Berechnungen wurden unter der Annahme idealisierter Bedingungen durchgeführt: Dies sind:

1. Bedingungen sind unabhängig von der Reichweite (Schallgeschwindigkeitsprofile, Bodenbeschaffenheit und Bathymetrie sind einheitlich über die gesamte modellierte Distanz)

Es ist unwahrscheinlich, dass die Schallausbreitungsbedingungen über die große Reichweite konstant bleiben. Die Konsequenz ist, dass wahrscheinlich weitere Ausbreitungspfade vorliegen und somit das Signal weiter gedehnt, unterbrochen, abgeschwächt oder verstärkt wird oder insgesamt irregulärer wird. Im Trend wird eine verstärkte Streuung zu geringeren Empfangspegeln führen, da die Schallwellen sich weiter verteilen.

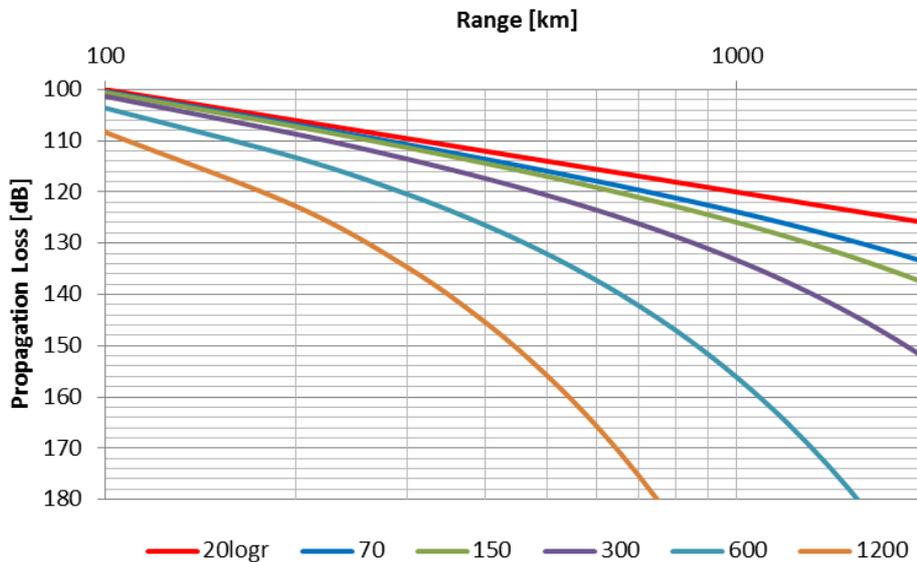
2. Keine Abdämpfung im Wasser

Die Nichtbeachtung der frequenzspezifischen Abdämpfung (Absorption im Meerwasser) hat Auswirkungen auf alle Frequenzen in sehr weiten Distanzen (Abb. 6-32). Es stehen verschiedene Modelle zur Beschreibung der frequenzspezifischen Abdämpfung in diesen Entfernungen zur Verfügung. Jedoch führt der Effekt nur über 300 Hz zu signifikanten Änderungen, wo das Airgun-Signal bereits deutlich im Energieinhalt abfällt. Dementsprechend ist die Nichtbeachtung der Signale (wie hier ausgeführt), die die höchsten Pegel um 100 Hz besitzen gerechtfertigt. Eine der Konsequenzen ist auch, dass der hochfrequente Anteil der Airgun über 300 Hz bereits bei geringeren Reichweiten früher gegenüber den niedrigen Frequenzen gehört werden kann. Trotzdem können Tiere bei höheren Frequenzen eventuell besser hören. Die Dämpfung hat keine Auswirkungen auf die Signallänge, weil diese durch die tieferen Frequenzen dominiert wird.

3. Keine Volumenstreuung (Resonanz)

Volumenstreuung wird durch Grenzflächen, Säugetiere, Fische, Plankton und Schichtungen erzeugt. Sie führt zu Echos oder einem widerhallenden Geräusch nach einem Impuls. Sie ist nicht ausschlaggebend für Ergebnisse in großen Entfernungen. In geringen Entfernungen, wo das Signal der Airguns kurz und erheblich lauter als das Hintergrundrauschen ist, kann es zu einer Verlängerung des Signales mit einem eventuellen Maskierungseffekt führen. Zum Thema Widerhall gibt es aber zu wenige aussagekräftige Quellen, so dass eine generalisierte Aussage zu den Auswirkungen derzeit nicht zu treffen ist. Die Effekte sind jedoch nur im direkten Umfeld feststellbar, wo die Länge des Empfangssignals unter der der Widerhalldauer liegt. Unsere Einschätzung ist, dass diese Distanz kleiner als 100 km ist und sie nur maximal einige Sekunden über dem Hintergrundgeräusch liegt, aber das ist nicht mit Sicherheit zu quantifizieren.

Abb. 6-32 Abschwächung (Absorption) im Meerwasser



Abschwächung (Absorption) im Meerwasser nach Urik (1983). Gezeigt wird der Ausbreitungsverlust mit und ohne Abschwächung für ausgewählte Frequenzen. Der Unterschied zwischen den Kurven und der sphärischen Ausbreitung ($20 \log r$) ist der Effekt der Abschwächung.

Die Programmierung selbst kann als sehr akkurat gelten. Wenn die angenommenen Umweltbedingungen stimmen, wäre das Ergebnis also nahezu exakt. Die Effekte der angenommenen Vereinfachungen einzuschätzen ist sehr schwierig. Es stehen derzeit keine Zeitsignale zur Verifizierung aus den notwendigen Entfernungen mit ausreichender Bandbreite zur Verfügung. Chris Clark (Cornell University, USA) und Alec Duncan (Curtain University, AUS) (pers. Komm.) bestätigen aber, dass das empfangene Signal sich wie eine Sequenz von irregulären “blobs” mit anscheinend sehr niedrigen Frequenzen anhört. Dies ähnelt den modellierten Signalen sehr. Noch realistischer wird die Einschätzung, wenn man sich die hier modellierten Signale in Überlagerung mit Hintergrundgeräuschen vorstellt.

7 Modellierung der Maskierung

7.1 Ansatz der Modellierung der Maskierung

Die meisten in der Vergangenheit durchgeführten Studien konzentrierten sich auf direkt messbare Maskierungseffekte reiner Töne oder auf um eine spezifizierte Frequenz zentrierte Geräusche (Egan und Hake 1950; Greenwood 1971, 1972; Parker et al. 1976) sowie auf die Beziehung zwischen Intensität oder Signal-Rausch-Verhältnis des Maskierers (Egan, 1965; Fletcher und Munson 1937). Anfangs lag der Fokus auf dem Menschen, doch später wurden Studien bei einer Reihe von terrestrischen und aquatischen Säugetieren durchgeführt, die auf *critical ratios* (kritisches Verhältnis zwischen Signal und Rauschen bei dem das Signal noch detektiert werden kann, z.B. Greenwood (1961)) oder *critical bandwidth* (kritische Bandbreite, bei der 2 Töne unterschiedlicher Frequenz noch als Einzeltöne wahrgenommen werden) fokussierten. Studien wurden zum Beispiel an Seekühen (*Trichechus manatus latirostris*) (Gaspard et al. 2012), Weißwalen (*Delphinapterus leucas*) (Erbe 2008), Großen Tümmlern (*Tursiops truncatus*) (Au und Moore 1990) und einigen Robbenarten (Southall et al. 2003) durchgeführt. Während diese Studien sicherlich zu einem besseren Verständnis des Hörprozesses bei unterschiedlichen Tierarten geführt haben, ist es sehr schwierig, diese Ergebnisse direkt auf Tiere in der Wildnis zu übertragen. Dies liegt daran, dass sich der Frequenzgehalt oder die Modulationsraten von Vokalisationen, die von wildlebenden Tieren benutzt werden, nicht wie ein reiner Ton (Sinuston) oder andere künstliche Signale, die innerhalb von Laborstudien verwendet werden, verhalten. Der Maskierer selbst war in vielen Fällen ein künstliches Signal, das echten natürlichen oder anthropogenen Hintergrundgeräuschen unter Wasser nicht unbedingt ähnlich ist (mit der bemerkenswerten Ausnahme von Erbe (2008), die echten Eisbrecher-Lärm innerhalb ihrer Studie nutzte).

Aus diesem Grund konzentrierten sich spätere Studien zur Bewertung von ökologischen Auswirkungen auf die Berechnung des aktiven Kommunikationsraums (Brenowitz 1982; Holt et al. 2011; Lohr et al. 2003; Miller 2006), der den Tieren zur Verfügung steht, einschließlich der Möglichkeit, dass Tiere eventuell die Amplitude ihrer Vokalisationen erhöhen, um dem erhöhten Hintergrundrauschen entgegenzuwirken (der sogenannte Lombard-Effekt) (Scheifele et al. 2005).

Was marine Säuger angeht, so wurden Berechnungen zur Reduzierung des aktiven Raums vorgeschlagen (Møhl 1981; Clark und Gagnon 2006; Clark et al. 2009; Gedamke und McCauley 2010; Hatch et al. 2012; Di Iorio und Clark 2009, 2010). Innerhalb des vorliegenden Projekts konzentrieren wir uns auf einen ähnlichen Ansatz: Es werden aber zusätzliche Algorithmen zur Signalerkennung eingesetzt, um die Zone zu berücksichtigen, in welcher Signale möglicherweise nur teilweise maskiert sind, weil die Zeitdehnung des Airgun-Signals nicht die gesamte Zeitspanne zwischen zwei Pulsen überdeckt und folglich unmaskierte Zeitperioden auftreten. Es ist in diesem Zusammenhang das Ziel, Zonen, in welchen eine Maskierung eintritt, unabhängig davon zu identifizieren, ob diese ‚teilweise‘ oder ‚vollständig‘ ist, da beide möglicherweise erhebliche biologische Konsequenzen haben.

Die in diesem Kapitel verwendete Terminologie folgt der Richtlinie der Technische Untergruppe Lärm der europäischen Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) (Dekeling et al. 2013)³¹.

³¹ Die in diesem Kapitel verwendete Terminologie einschließlich der Referenzwerte für Quellpegel und diesbezügliche Parameter folgt der Terminologie der Unterwasserlärm-Expertengruppe Technical Subgroup Noise (TSG), die eingerichtet wurde, um die Europäische Kommission zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Dekeling et al. 2013) zu beraten. Der von der TSG angenommene Wert für den Quellschallpegel beträgt 1 $\mu\text{Pa m}$.

7.1.1 Methodik Eingangswerte

Wir entschieden uns, zur Modellierung des Ausmaßes der Maskierung ein Modell zu verwenden, das sich auf Signaldetektionstheorie in Kombination mit dem Wissen zur biologischen Maskierung stützt. Die zugrundeliegende Theorie besagt, dass die Erkennbarkeit eines Signals zunimmt, wenn:

- Lärm abnimmt (dies setzt einen konstanten Quellpegel des signalisierenden bzw. sendenden Tiers voraus, d. h. eine Erkennung hängt grundsätzlich vom Signal-Rausch-Verhältnis ab)
- der Anteil der ‚maskierten‘ Zeit in einem intervallartigen (unterbrochenen) Störgeräusch abnimmt (Reduzierung der Redundanz)
- die Zahl der Versuche bei einem wiederholten Signal, bei welchem die Wahrnehmung eines Teils der gesendeten Signale für Tiere ausreicht, um angemessen zu reagieren (auch Reduzierung der Redundanz)

Folglich hat das Modell den Empfänger als Zentrum und kann nicht alle biologischen Variationen und Unterschiede in den Umweltbedingungen vollständig berücksichtigen.

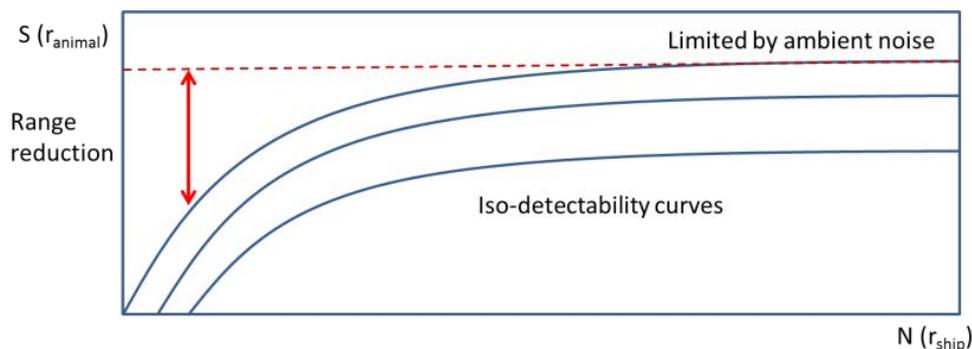
Der zentrale Aspekt des Modells ist ein schmalbandiger Leaky-Integrator kombiniert mit einem einfachen Pegeldetektor. Ein Leaky-Integrator ist ein geeignetes Modell für einen Energiedetektor, der das Integral über dem empfangenen Signal betimmt, während er gleichzeitig ständig einen Teil der Energie ‚leckt‘ oder verliert, quasi „leckgeschlagen“ ist. Es liegen umfangreiche Nachweise vor, dass ein solches Energiedetektormodell in einfachen Detektionsexperimenten ein geeignetes erstes Annäherungsmodell für das Ohr von Säugetieren ist (z. B. Green und Swets 1966) und im weiteren Sinne als Modell der neuronalen Verarbeitung im Gehör dienen kann (Jennings und Colburn 2010). Folglich kann die Wiederholung eines Signals zur Erkennung führen, obgleich keines der empfangenen Einzelsignale vollständig wahrgenommen wurde. Einer der wichtigen Nachteile dieses Ansatzes ist, dass die Detektion das Kriterium ist, obwohl bekannt ist, dass für die meisten Tiere zur Wahrnehmung und Entschlüsselung der in einem Signal enthaltenen Informationen ein höherer Signal-zu-Rausch-Abstand erforderlich ist, als nur zur Detektion allein. Scharf (1971) wies jedoch darauf hin, dass die teilweise Maskierung linear von der Lautstärke des Maskierers abhängt.

Um dieses Modell anzuwenden, ist es erforderlich, den Maskierer innerhalb von 1/3-Oktavbändern oder mit der Bandbreite der übertragenen Signale Bandpass zu filtern. Wiederum gibt es umfangreiche Nachweise, dass eine 1/3-Oktavbandfilterbank bei einfachen Detektionsexperimenten eine angemessene erste Annäherung an das Ohr von Säugern darstellt (Au und Moore 1990), selbst wenn die Bandbreite der einzelnen Bänder bei marinen Säugern nicht exakt dem Drittel einer Oktave entspricht (Lemonds et al. 2011, 2012; Finneran et al. 2002). Beschränkte Informationen liegen zur Erkennung von Breitbandsignalen in Lärm vor, jedoch legen Experimente an Großen Tümmlern nahe, dass die Breite des kritischen Bands vergrößert wird, um der des Signals zu entsprechen, wenn die Bandbreite des Signals über einer Dritteloktave liegt (Au und Moore 1990).

Der Leaky-Integrator wird in diesem Modell auf den Maskierer angewandt, wobei die Zeitkonstante (TC) allein auf die Dauer des übertragenen Signals eingestellt wird, um Fehlalarme auf ein Niveau zu reduzieren, auf welchem nur sehr niedrige Fehlalarmraten auftreten. Die Zeitkonstante des Leaky-Integrators ist entscheidend für das Modell. Die Signalerkennungstheorie besagt, dass die optimale Zeitkonstante mit der Signaldauer identisch ist. Messungen jedoch zeigen Werte im Bereich von 30 ms bis 230 ms für die Zeitkonstante bei Großen Tümmlern (Johnson 1968, Nachti-

gall et al. 2000), die aber für andere Tierarten wie Bartenwale oder Robben größer sein. Insbesondere bei Blauwalen, die sehr lange Signale benutzen, ist die Annahme einer größeren Zeitkonstante spekulativ. Bei den Rufen von Blauwalen führt die Annahme einer optimierten Zeitkonstante (die der Länge der Rufe entspricht) zu einer Überschätzung der Detektion von Signalen und daher wahrscheinlich zu einer Unterschätzung des Maskierungspotentials von Airguns. Trotzdem wurde diese Zeitkonstante auch für den Blauwal verwendet, um methodisch übereinstimmende Resultate zu erreichen und weil diese Annahme die Modellierung erheblich erleichtert. Um dem Problem Rechnung zu tragen, wurde eine zweite Modellierungsreihe durchgeführt, bei der für den Leaky-Integrator eine Zeitkonstante von 200 ms verwandt wurde (siehe auch Kapitel 7.2.1.2).

Abb. 7-1 Modellierte Iso-Erkennbarkeitskurven und assoziierte Reichweitenreduzierung.

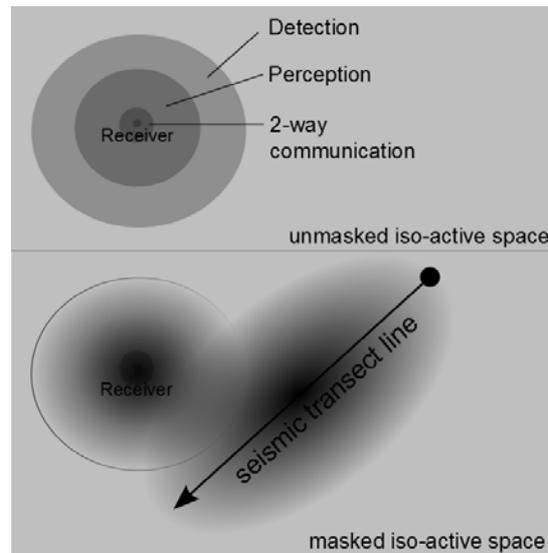


Erkennbarkeit ist offensichtlich eine Funktion der Entfernung zur Geräuschquelle (in diesem Fall ein Schiff, r_{ship}), welche ebenfalls für den von der Quelle abgegebenen Geräuschpegel (N) steht. Der Signalpegel (S) des Tiers andererseits ist der zweite beteiligte Faktor. Wir entschieden uns dazu, bei Bartenwalen einen fixierten Umgebungsgeräuschpegel als Begrenzung für die Erkennung zu verwenden (es wurde echtes Hintergrundrauschen mit einem Breitband-Schalldruckpegel von 80 dB re μPa verwendet).

Der Detektor kann dann grundsätzlich wieder auf das Signal mit einem definierten Signalpegel zusammen mit dem Maskierer angewandt werden und mit die Detektierbarkeit durch die Fehlalarm- und Trefferraten berechnet werden. Iso-Detektionskurven können errechnet werden, wenn mehrere Szenarien, wie in Abb. 7-1 dargestellt, durchgeführt werden. Innerhalb dieser Szenarien kann der Geräuschpegel (N) durch die Entfernung des Schiffs zum Tier (r_{ship}) und der Signalpegel (S) durch die Entfernung des Tiers von der Quelle ersetzt werden. Als ein wesentliches Ergebnis können Bereiche von gleichartiger aktiver akustischer Kommunikationsreichweite (iso-aktiver Raum), wie in Abb. 7-2 dargestellt, errechnet werden.

Innerhalb des vorliegenden Projekts haben wir jedoch die Resultate des Leaky-Integrators verglichen, anstatt Detektionswahrscheinlichkeiten zu errechnen. Dies hat den Hintergrund, dass zur Errechnung der Detektionswahrscheinlichkeit eine ausreichende Variabilität in den verwendeten Signalen vorhanden sein muss. Bei den modellierten Airgun-Signalen liegt jedoch keine natürlich vorkommende Variabilität empfangener Signale vor und bei den verwendeten Tiervokalisationen wurde lediglich eine geringfügige Variabilität beobachtet.

Abb. 7-2 Schematische Darstellung des iso-aktiven Raums oder der iso-aktiven Gebiete



Schematische Darstellung des iso-aktiven Raums oder der iso-aktiven Gebiete unter maskierten und unmaskierten Bedingungen. Wenn wir annehmen, dass die Entfernung zwischen Maskierer und Empfänger wesentlich größer ist als die Entfernung zwischen Sender und Empfänger unter maskierten Bedingungen, können wir das mathematische Problem darauf reduzieren, die mögliche Kommunikationsreichweite unter maskierten und unmaskierten Bedingungen zu schätzen und den Verlust an aktiver akustischer Kommunikationsreichweite zu errechnen.

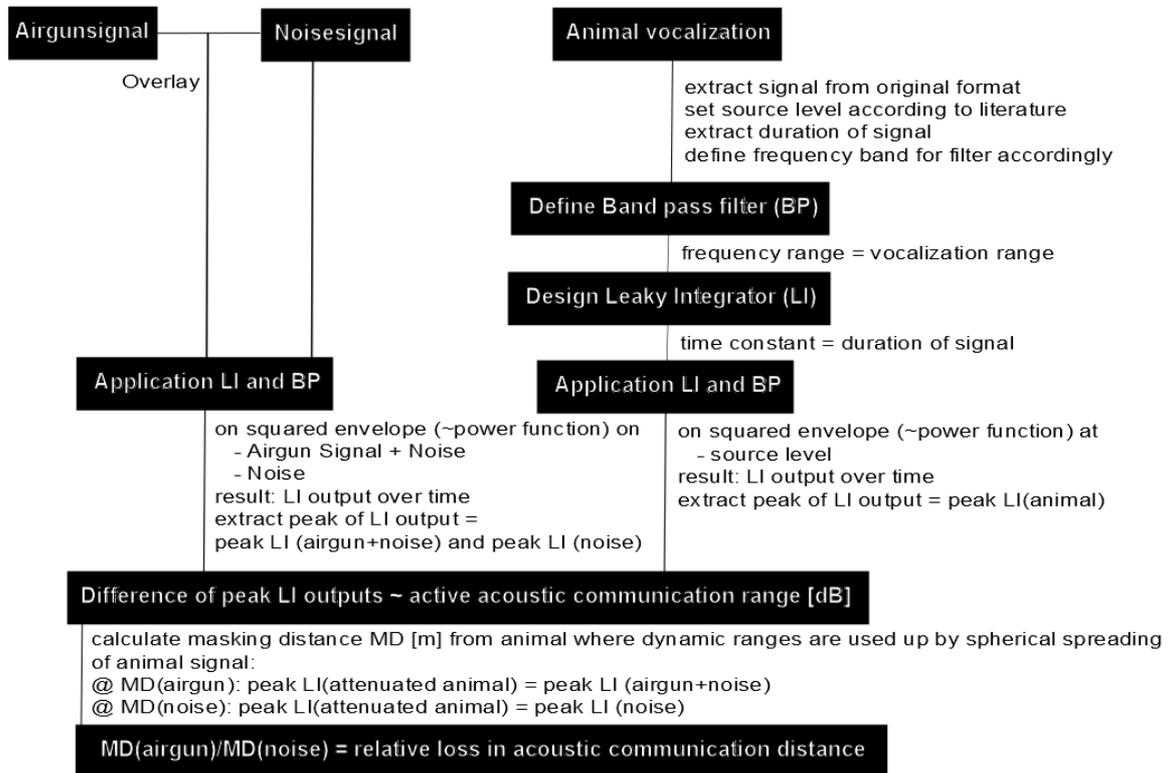
Zur Modellierung der Maskierung wurden drei unterschiedliche Hauptszenarien bezüglich der Entfernung zwischen Tier und Airgun erwogen und ein Schussintervall von 15 s für die Airgun-Impulse vorausgesetzt. Dieses Intervall ist kurz und möglicherweise nur für kleinere Airgun angemessen. Die betrachteten Entfernungen sind:

1. 500 km - empfangene Impulse überlappen nicht und decken ungefähr die halbe Zeit ab, die dem Tier zur Vokalisation zur Verfügung steht
2. 1000 km - Impulse decken annähernd die gesamte Zeit ab, und die Dehnung ist für verschiedenen Tiefen des Empfängers unterschiedlich
3. 2000 km - Impulse werden als Dauergeräusch empfangen

Für jede Entfernung wurden drei Empfängertiefen (10, 50 und 200 m) modelliert. Diese Tiefen decken die meist flacheren Tauchgänge von Bartenwalen gut ab. Sie sind jedoch möglicherweise für die tiefer tauchenden Robben zu flach. Zwei verschiedene Szenarien wurden zur Wassertiefe angelegt, eine flache (500 m) und eine tiefe Situation (4000 m). Eine schematische Darstellung des verwendeten MATLAB-Codes findet sich in Abb. 7-3. Der für den Umgebungsgeräuschpegel gewählte Wert von 80 dB re 1 μ Pa ist aufgrund des Frequenzspektrums des verwendeten Geräusches wahrscheinlich niedriger als der echte Umgebungsgeräuschpegel im Südlichen Ozean. Der Leaky-Integrator (LI) selbst produziert ein Ergebnis, das mittels eines Skalierungsfaktors angepasst werden kann. In diesem Fall entschieden wir, dass die Eingabe eines Dauersignals zu derselben Amplitude wie das Eingangssignal führt. Folglich erzeugt der LI des (Hintergrund-)Geräusches allein ein niedrigeres Ergebnis als zum Beispiel der LI der aufgenommenen Tiersignale, die dem Quellpegel angepasst wurden. Der Unterschied zwischen diesen beiden wird von hier an als ‚Headroom‘ bezeichnet, es handelt sich dabei jedoch grundsätzlich um einen Signal-Rausch-Verhältnis. Dieser Headroom ändert sich, wenn der Airgun präsent ist. Er wird reduziert, wenn der Airgun lauter als das Hintergrundrauschen ist. Der Headroom entspricht dann grundsätzlich der akustischen Kommunikationsreichweite, die entweder in dimensionslosen dB angegeben wird oder als linearer Wert, den das Tier zur Kommunikation nutzen kann. Dieser Wert

kann dann leicht in Reichweiten von natürlichen und maskierten Kommunikationen in Kilometern übertragen werden, indem zum Beispiel Annahmen zu sphärischer Ausbreitung und Absorption (im verwendeten Frequenzband) benutzt werden.

Abb. 7-3 Schema zur Modellierung der Maskierung



Schema zur Modellierung der Maskierung im Kontext in unterschiedlichen Entfernungen zum Airgun als Schallquelle, aber auch in unterschiedlichen Entfernungen zwischen Tieren (Sendern und Empfängern). Dieser Ansatz wurde in MATLAB-Code konvertiert und auf die unterschiedlichen Vokalisationen sowie die propagierten Airgun-Impulse angewandt. Dieses Schema zeigt, dass der ursprüngliche Ansatz, die Erkennbarkeit von individuellen Signalen und Maskiererkombinationen durch einen einfacheren Pegeldetektor ersetzt wurde, um den Beginn der Maskierung zu definieren. Eine Detektion wird definiert, wenn das Ergebnis des Leaky-Integrators entweder den Pegel des Hintergrundrauschens „noise“ („natürliche Bedingungen“) oder den des Airgun-Lärms („maskierte Bedingungen“) übersteigt. Dieser Ansatz berücksichtigt lediglich die Detektierbarkeit des Signals und schließt keine Wahrnehmbarkeit oder die Fähigkeit ein, die empfangenen Informationen zu entschlüsseln. Es wurde Hintergrundrauschen aus echten Aufnahmen genutzt und auf einen Breitband-Schalldruckpegel von 80 dB re μPa rms angepasst. LI – Leaky-Integrator, MD – Maskierungsentfernung, wobei MD(noise) der angenommenen natürlichen Kommunikationsreichweite entspricht. Sphärische Ausbreitung wurde in einem ersten Schritt angenommen, später aber durch einen realistischeren Ansatz ersetzt, der eine sphärische Ausbreitung und frequenzspezifische Absorption verwendet. Die Zeitkonstante wurde ebenfalls in späteren Versuchen auf 200 ms angepasst.

7.1.2 Auswahl der Tierarten für die Modelle

Die Modellierungen in der vorliegenden Studie beschränken sich auf drei Tierarten. Diese Tierarten wurden basierend auf dem vorliegenden Wissen zu folgenden Aspekten ausgewählt:

- Verbreitung und Abundanz der Tierart in Gebieten, die während der letzten 20 Jahre vom deutschen Forschungsschiff ‚Polarstern‘ mit seismischen Airgun-Arrays untersucht wurden
- Wissen und Zugänglichkeit von Vokalisationen

- wahrscheinliche Frequenzüberlappung von Vokalisationen mit den propagierten Airgun-Impulsen (höchster Energieanteil < 300 Hz)
- Status gemäß IUCN wurde einbezogen, war jedoch kein Entscheidungsfaktor, da alle heimischen marinen Säugerarten im Südlichen Ozean auf individueller Basis durch den Antarktisvertrag geschützt sind

Die Artengruppe der Zahnwale (*Odontoceti*) (Tab. 7-1) wurde von der Analyse ausgeschlossen, da die Frequenzüberlappung höchst wahrscheinlich nicht ausreicht, um ein aussagekräftiges Ergebnis der Modellierung zu erlauben. Obwohl es derzeit unklar ist, ob eine Maskierung erfolgt und diese biologisch erheblich ist, wurde deutlich, dass die Frequenzgehalts der Vokalisationen kaum mit den Frequenzen der modellierten Airgun-Impulse überlappen, welche eine Hauptenergie unter 300 Hz zeigen. Sollte es neuere Erkenntnisse zum Beispiel bei Langflossen-Grindwalen geben, so wäre eine Neubewertung dieser Schlussfolgerung erforderlich.

Tab. 7-1 Übersicht der Informationen, die zur Entscheidung über die Zahnwal-Modellierarten benutzt wurden

Art	Überlappung in			Vorwissen über			aktueller IUCN Status
	Raum	Zeit	Frequenzbereich	Vokalisation	Gehör	Abundanz Verteilung	
Südlicher Entenwal	Ja	Ja	Grenze	schlecht	kein	ok	Nicht gefährdet
Arnoux- Schnabelwal	Ja	Ja	Grenze	schlecht	kein	schlecht	Keine ausreichenden Daten
Stundenglasdelfin	Ja	Ja	?	schlecht	proxy	schlecht	Nicht gefährdet
Langflossen-Grindwal	Nein	Nein	Ja	schlecht	proxy	schlecht	Keine ausreichenden Daten
Pottwal	Ja	Ja	Ja /Grenze	Besser als schlecht	proxy	ok	Gefährdet A1 (d)
Großer Schwertwal	Ja	Ja	Ja /Grenze	gut/proxy	ok	schlecht	Keine ausreichenden Daten

Zur Erläuterung: Die Kategorie „Überlappung“ bedeutet eine Überlappung des räumlichen und zeitlichen Vorkommens mit den Gebieten und Jahreszeiten, die durch seismische Untersuchungen mit der Polarstern genutzt wurden. Der Frequenzbereich bezieht sich auf die Überlappung zwischen Tierartvokalisation und Airgun-Frequenzspektrum. In dieser Kategorie bedeutet „Grenze“, dass der Energieinhalt der Vokalisationen an 300 Hz grenzt. Die Tierarten wurden subjektiv in Wissenskategorien eingeordnet je nachdem, ob Erkenntnisse zu Vokalisationen, Gehör, Abundanz und Verbreitung vorliegen (keines, wenig, OK oder gut). Falls ein Stellvertreter (Wissen zu einer anderen Tierart vom gleichen Genus) zugänglich war, ist dies ebenfalls angegeben. Der gegenwärtige Wissensstand zeigt, dass Zahnwalarten, bei denen eine große zeitliche und räumliche Überlappung mit wissenschaftlicher Airgun-Nutzung im Südlichen Ozean besteht, eine Vokalisationen nutzen, deren Energien überwiegend über 300 Hz liegen und die somit wahrscheinlich nur in beschränktem Umfang durch die Airgun-Maskierungseffekte auf große Entfernungen betroffen sind. Für Langflossen-Grindwale die betroffen sein könnten, liegen jedoch nur geringfügige Kenntnisse zu Vokalisationen vor.

Blauwale und Finnwale wurden in der Modellierung der vorliegenden Studie als Stellvertreter für Bartenwale ausgewählt. Bei beiden Tierarten liegt ausreichendes Wissen zu Vokalisationen und hochwertige Audioaufnahmen vor. Außerdem besteht eine ausreichende Überlappung in Frequenzgehalt und Verbreitung. Was ihren IUCN-Status anbelangt, so gelten beide Tierarten als

bedroht, jedoch sind Finnwale, hinsichtlich des Bestandes, Blauwale zahlenmäßig weit überlegen. Folglich ist, falls eine Maskierung auftritt, ein Einfluss auf individueller Ebene bei Finnwalen wahrscheinlicher als bei Blauwalen. Man könnte jedoch spekulieren, dass ein Effekt auf Populationsebene bei Blauwalen wahrscheinlicher ist.

Tab. 7-2 Übersicht der Informationen, die zur Entscheidung über die Mystizeten-Modelltierarten benutzt wurden.

Art	Überlappung in			Wissen über			aktueller IUCN Status
	Raum	Zeit	Frequenzbereich	Vokalisationen	Gehör	Abundanz/Verteilung	
Blauwal	Ja	Ja	Ja	gut	rauschbedingt	schlecht	Stark gefährdet A1 (abd)
Finnwal	Ja	Ja	Ja	gut	rauschbedingt	ok	Stark gefährdet A1 (abd)
Sei Wal	Nein	Nein	Ja	schlecht	rauschbedingt	schlecht	Stark gefährdet A1 (abd)
Südlicher Zwergwal	Ja	Ja	Ja	schlecht	rauschbedingt	schlecht	Nicht gefährdet / Stark gefährdet
Zwergform des Minkwals	Ja	Ja	Ja	schlecht	rauschbedingt	schlecht	Nicht gefährdet
Buckelwal	Ja	Ja	Ja	gut	rauschbedingt	ok	Nicht gefährdet
Südkaper	Grenze	Nein	Ja	ok	rauschbedingt	ok	Nicht gefährdet

Weitere Informationen finden sich unter Tab. 7-1. In der Spalte „Gehör“ bedeutet ‚rauschbedingt‘, dass wir annehmen, dass das Gehör von Bartenwalen auf ihren Vokalisationsfrequenzen besser ist als das Umgebungsrauschen. Es wurde angenommen, dass dieses Umgebungsrauschen durch Wenz-Kurven (Wenz 1962) bei Seegang 3 - 4 charakterisiert ist.

Jedoch haben alle Bartenwal Arten, die eine große zeitliche und räumliche Überlappung mit wissenschaftlicher Airgun-Benutzung im Südlichen Ozean aufweisen, Vokalisationen mit Energien hauptsächlich unter 300 Hz. Sie haben also alle eine Überlappung im Frequenzgehalt ihrer Vokalisationen mit Airgungimpulsen und werden daher ein hohes Potential für Maskierung aufweisen. Eine zeitliche und räumliche Überlappung ist für Seiwale und Südkaper nicht ausreichend nachgewiesen. Bei den anderen Bartenwalen im Südlichen Ozean ist dies jedoch der Fall.

Tab. 7-3 Übersicht der Informationen, die zur Entscheidung über die Robben-Modelltierarten benutzt wurden. NES – Nördlicher Seeelefant.

Art	Überlappung in			Wissen über			aktueller IUCN Status
	Raum	Zeit	Frequenzbereich	UW Vokalisationen	Gehör	Abundanz/Verteilung	
Antarktischer Seebär	Nein	Nein	In Luft	-	proxy	ok	Nicht gefährdet
Südlicher See-elefant	teilweise	Ja	In Luft	ok	proxy (NES)	ok	Nicht gefährdet
Krabbenfresser	Ja	Ja	Ja	schlecht	proxy	ok	Nicht gefährdet
Seeleopard	Ja	Ja	Ja	schlecht	proxy	ok	Nicht gefährdet
Ross-Robbe	Medium	Ja	Ja	wenig	proxy	schlecht	Nicht gefährdet
Weddellrobbe	Ja	Ja	Ja	gut	proxy	ok	Nicht gefährdet

Bei den Robbenarten ist die Datenverfügbarkeit für die Weddellrobbe am besten, und folglich wurde diese Tierart für dieses Modellierungsprojekt gewählt. Jedoch liegt auch bei Krabbenfresser-, Ross-Robben und Seeleopard eine ausreichende Überlappung vor. Daher sollten sich zukünftige Modellierungen auf diese Tierarten konzentrieren. Südliche Seeelefanten und Antarktische Seebären benutzen Vokalisationen hauptsächlich in der Luft und sind daher möglicherweise generell weniger empfindlich für die Effekte von Maskierung unter Wasser.

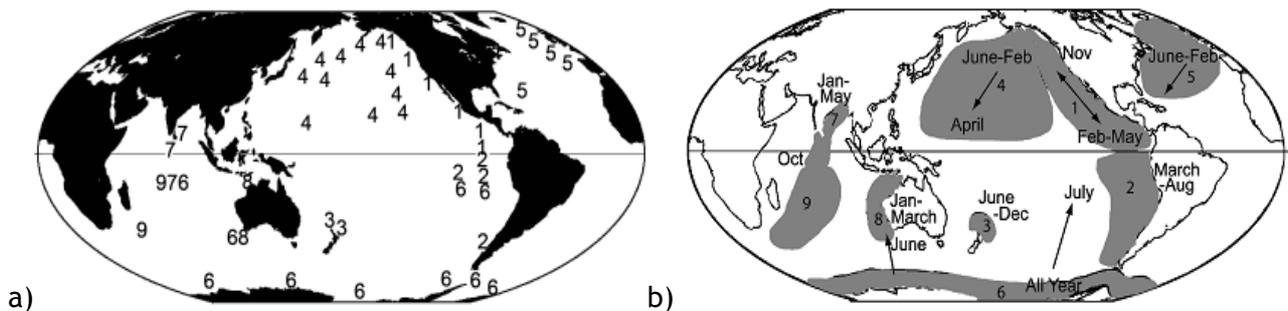
Die Modellierung der Maskierung wurde im Anschluss für Blau- und Finnwale sowie für Weddellrobben durchgeführt. Die Vokalisationen dieser drei Tierarten sind daher in den nächsten Kapiteln eingehender beschrieben.

7.1.3 Detaillierte Vokalisationen der ausgewählten Tierarten

7.1.3.1 Vokalisation de Blauwals

Blauwalvokalisationen wurden im Detail für die meisten Gebiete weltweit beschrieben (McDonald et al. 2006b, Abb. 7-4).

Abb. 7-4 Verbreitung des Blauwalgesanges und Wanderungs- und Aufenthaltsmuster

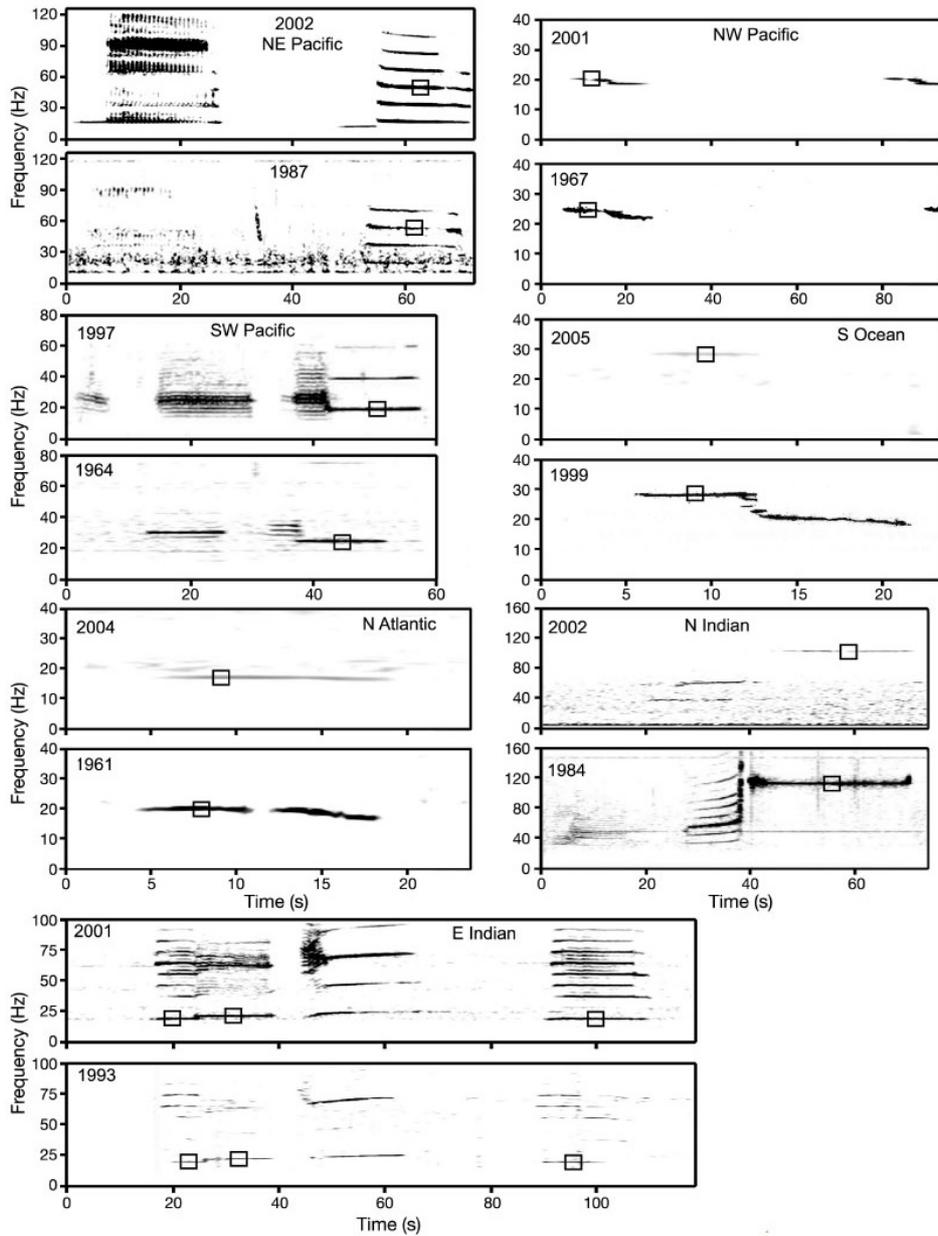


Blauwal a) Verbreitung des Blauwalgesanges, klassifiziert in neun regionale Typen (Nummern), b) Migrationen und Aufenthaltsmuster nach Ruftyp angegeben. (a und b aus McDonald et al. 2006b)

In der Antarktis wird der Ruftyp 6, der sogenannten Z-Ruf (z. B. Stafford et al. 2004), am häufigsten aufgenommen. Diese Art von Vokalisation wird auch im zentralen Indischen Ozean, an der Südwestküste von Australien und in Gewässern des östlichen Pazifiks vor der Küste Südamerikas registriert. Z-Rufe werden in der Antarktis das ganze Jahr über aufgezeichnet (McDonald et al. 2006b). Der Gesang von Blauwalen bleibt über die Jahre erstaunlich konstant, obgleich eine Frequenzverschiebung nach unten um 31 % bei sieben der bekannten Ruftypen festgestellt wurde (McDonald et al. 2009, Abb. 7-5). Dies wurde in unserer Studie insofern berücksichtigt, als jüngere Aufnahmen von Blauwalen bei der Modellierungsübung verwendet wurden. Für den Südlichen Ozean haben McDonald et al. (2009) die Verschiebung der mittleren Frequenz von 1995 bis 2005 auf 28,5 Hz bis 26,9 Hz geschätzt, bei ähnlichen Quellpegeln von 196,2 verglichen mit 195,7 dB re 1 μ Pa m. Gavrilov et al. (2012) setzten diese Arbeiten fort und schätzten eine etwas langsamere Verringerung in der Frequenz der maximalen Intensität (Abb. 7-6). Sie berechneten jedoch keine Quellpegel.

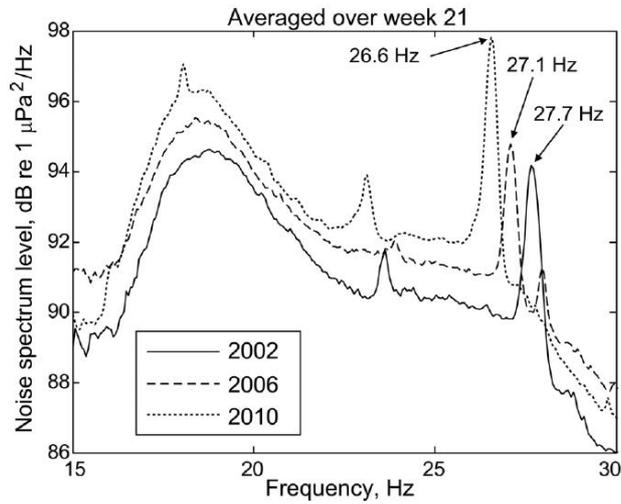
Weitere Arbeiten an Blauwalrufen in der südlichen Hemisphäre wurden von McCauley et al. (2001) durchgeführt. Es ist jedoch ungewiss, ob diese Rufe, die an der Südwestküste Australiens aufgenommen wurden, für diese Modellierungen zur Maskierung eingesetzt werden können, da sie für Gebiete in der Antarktis nur teilweise bestätigt wurden. Gedamke et al. (2007) fanden, dass die meisten Z-Rufe von Mai bis August 2005 und 2006 an Stationen zwischen Australien und dem antarktischen Kontinent verzeichnet wurden. Širović et al. (2004) detektierten das ganze Jahr über Blauwale an der westlichen Antarktischen Halbinsel, mit einem Maximum im März und April und einem sekundären Maximum im Oktober und November. Z-Rufe wurden auch von van Opzeeland (2010) als der vorherrschende Ruftyp an der PALAOA-Station vor Dronning Maud Land an der Nordostspitze des Weddellmeers beschrieben (dort Rufart A). Die Ausdehnung des Meereises ist negativ mit der Erfassung der Rufe von Finn- und Blauwalen korreliert, was auf einen möglichen Rückzug der Wale während des Süd winters hinweist. Schätzungen der Dichte, die von diesen Aufnahmen abgeleitet wurden, kommen auf 0,43 rufende Blauwale je 1000 Seemeilen², eine geschätzte Dichte, die etwa ein Drittel höher liegt als die während visueller Erhebungen beobachtete Dichte.

Abb. 7-5 Vokalisationstypen von Blauwalen



Grafik von McDonald et al. (2009b), die die Vokalisationstypen von Blauwalen in unterschiedlichen biogeographischen Regionen der Erde zeigt und die Mittelwerte hervorhebt (Quadrat), die den Frequenzabfall dokumentieren.

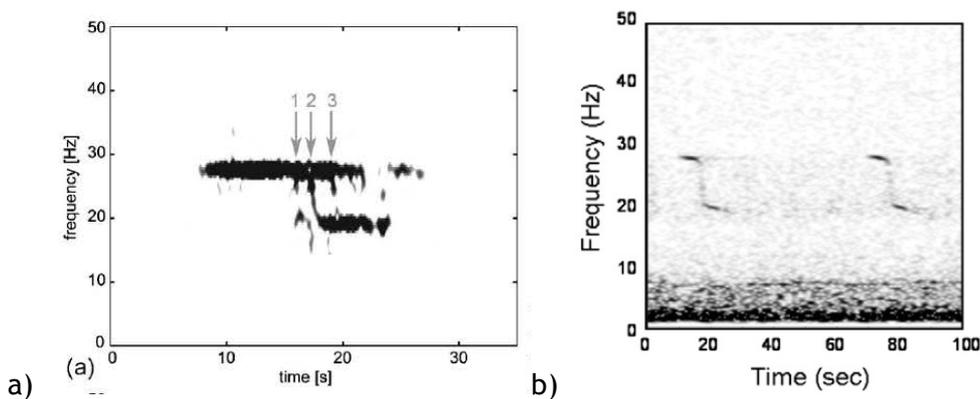
Abb. 7-6 Leistungsspektrum des ozeanischen Hintergrundlärms aus Gavrilov et al. (2012)



Spektrale Dichten des ozeanischen Hintergrundlärms über einen siebentägigen Zeitraum während einer besonders hohen Dichte von Blauwal-Z-Rufen. Scharfe Spitzen geben die Maximalintensitäten an und zeigen den Abfall der Frequenz mit der höchsten Intensität.

Širović et al. (2007) errechneten, dass Quellschallpegel antarktischer Blauwale um die westliche Antarktische Halbinsel für das Frequenzband mit der höchsten Energie des Signals zwischen 25 - 29 Hz bei 189 ± 3 dB re 1 μ Pa m liegen. Ein Beispiel ihrer Aufnahmen mit Mehrwegeankünften ist in Abb. 7-7a gezeigt. Die Autoren vermuten, dass die maximale Rufreichweite von Blau- und Finnwalen bei etwa 1300 km liegt. Samaran et al. (2010a) fanden andere Werte in Aufnahmen aus dem südwestlichen Indischen Ozean, in einem anderen Frequenzband von 17 - 30 Hz mit Quellpegel von 179 ± 5 dB re 1 μ Pa m (Abb. 7-7b). Für die Modellierungsübung verwendeten wir den 179 dB re 1 μ Pa m Wert aus Samaran et al. (2010a), da die dort verwendeten Blauwalrufe aus denselben Regionen stammen, wie die Schätzung des Quellpegels.

Abb. 7-7 Z-Rufe von antarktischen Blauwalen



a) (aus Širović et al. 2007) Spektrogramm eines antarktischen Blauwalrufs mit Mehrwegeankünften in 3000 m Tiefe aus einer Entfernung von 33 km vom Tier, b) (Samaran et al. 2010b) Spektrogramm eines antarktischen Blauwalrufs (FFT 1024 Punkte, 93,75 Überlappung, Hanning-Fenster). Der erste Teil mit höherer Frequenz enthält typischerweise mehr Energie als der nachfolgende Teil mit niedriger Frequenz.

Blauwalvokalisationen wiederholen sich häufig in regelmäßigen Intervallen von ca. 64 s (Širović et al. 2004). Die Rufe von antarktischen Blauwalen und Zwerg-Blauwalen sind sehr stereotyp, so dass Vorlagen für spezifische Detektionsalgorithmen konstruiert werden können (Samaran et al.

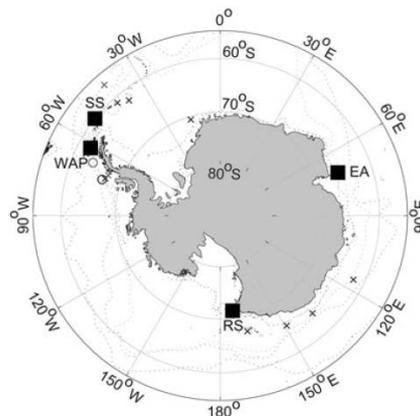
2008). Akustische Aufnahmen wurden z.B. bereits für Anwesenheits- (Branch 2007 b; Gedamke und Robinson 2010) sowie für eine ökologische Modellierung (Širović und Hildebrand 2011) genutzt.

Aufnahmen von Vokalisationen der antarktischen Blauwale wurden freundlicherweise von Flore Samaran und Ana Širović zur Verfügung gestellt.

7.1.3.2 Vokalisation de Finnwals

Bei Finnwalen ist die pulsierte sogenannte 20 Hz Vokalisation einer der hauptsächlich aufgenommene Laute von Finnwalen (siehe Abschnitt 4.1.2). Nach Angaben von Croll et al. (2002) singen nur männliche Finnwale die pulsierten 20 Hz Vokalisationen (Watkins et al. 1987) mit einer Variation zwischen 15 und 30 Hz. Aller Wahrscheinlichkeit nach nutzen Finnwale (genauso wie Blauwale) diesen Ruf im sozialen Kontext als Anlocksignal für Weibchen. Die Vokalisationen von Finn- und Blauwalen innerhalb dieses Frequenzbereichs eignen sich ideal zur Langstrecken-Kommunikations, da sich Individuen nicht in Fortpflanzungsgründen zusammenfinden wie andere Furchenwale, wie z. B. Buckelwale (Croll et al. 2002) und somit eine Kommunikation über große Entfernungen notwendig ist. Folglich kann eine Reduzierung der Kommunikationsreichweite schwerwiegende Auswirkungen auf die Fortpflanzung von Finn- und Blauwalen haben und muss dementsprechend bei diesen, sich noch vom Walfang erholenden, Arten ernsthaft berücksichtigt werden.

Abb. 7-8 Permanente Aufnahmepositionen (schwarze Quadrate), die von Širović et al. (2009) zur Erkennung von Blau- und Finnwalen benutzt wurden

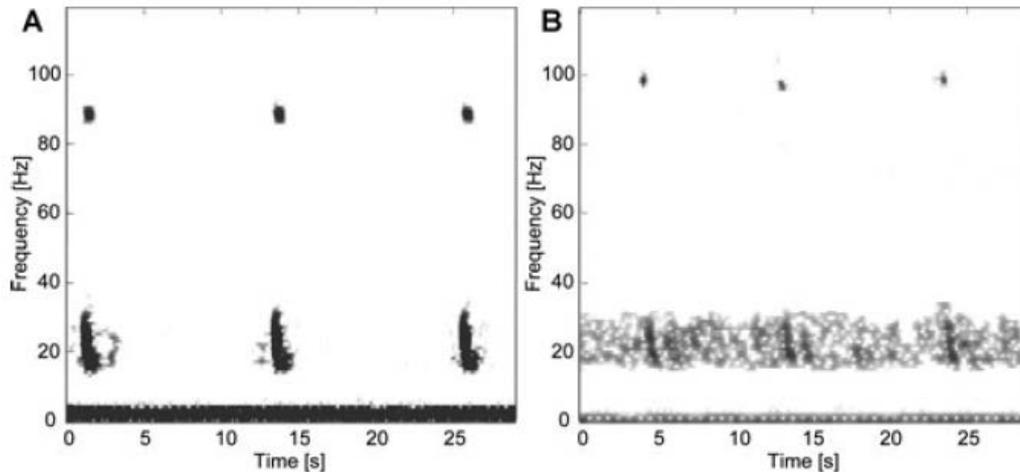


Messungen der Quellpegel für diese Vokalisationen wurden von Weirathmueller et al. (2013) durchgeführt. Die Ergebnisse waren 189 ± 5.8 dB re $1 \mu\text{Pa m}$. Diese Pegel stimmen mit denen von Širović et al. (2007) überein, die Quellpegel von 189 ± 4 dB re $1 \mu\text{Pa m}$ für Finnwale um die Antarktische Halbinsel errechneten. Obwohl in älterer Literatur (Charif et al. 2002) niedrigere Quellpegel im Bereich von 159-184 dB re $1 \mu\text{Pa m}$ unter Berücksichtigung der Oberflächenreflektion errechnet wurden, so haben wir uns dazu entschieden, 189 dB re $1 \mu\text{Pa m}$ als Referenzwert für die Modellierungsübung zu verwenden, da Širović et al. (2007) Signale und Werte direkt aus dem uns interessierenden Gebiet bereitstellten.

Finnwale wurden nur von Februar bis Juli bei vier Aufnahmepositionen erkannt (Širović et al. 2009, Abb. 7-8). Ein deutlicher Unterschied in den Ruftypen wurde in diesen Aufnahmen festgestellt: Rufe, die aus der östlichen Antarktis (EA) und von der westlichen Antarktischen Halbinsel (WAP) bzw. aus der Schottischen See (SS) empfangen wurden, hatten unterschiedliche sekundäre Maxima im Frequenzspektrum, wohingegen im Rossmeer (RS) keine Rufe erkannt wurden (siehe Abb. 7-8), was auf zwei möglicherweise getrennte Populationen hinweist. Zur Modellierung der

Maskierung wählten wir ein Beispiel, das die meiste Energie im 15 - 30 Hz Band enthält. Jedoch werden sich die Modellierungsergebnisse für unterschiedliche Vokalisationen nicht wesentlich unterscheiden, da die Variation im Frequenzspektrum geringfügig ist.

Abb. 7-9 Zwei Typen von Finnwalrufen



Zwei Typen von Finnwal Rufen, die in der Antarktis aufgenommen wurden (aus Širović et al. 2009). Der Unterschied findet sich im sekundären Maximum im Frequenzspektrum bei ~ 89 Hz für die westliche Antarktische Halbinsel bzw. Schottische See und bei ~ 99 Hz für die östliche Antarktis (90 Überlappung, 500 Punkt FFT, Hanning-Fenster).

Wenn man erwägt, dass in der Tat zwei Populationen vorhanden sind, sollte man berücksichtigen, dass der geringfügige Energieinhalt in den höheren Frequenzen für den Empfänger entscheidend sein kann, jedoch lässt der gegenwärtige Wissensstand eine solch anspruchsvolle und fundierte Entscheidung über Wahlmöglichkeiten zu Modellierungsparametern in dieser Hinsicht nicht zu.

20 Hz Pulse von Finnwalen wurden freundlicherweise von Flore Samaran und Ana Širović zur Verfügung gestellt.

7.1.3.3 Vokalisatio der Weddellrobbe

Weddellrobben benutzen unterschiedliche Ruftypen. Ihr großes akustisches Repertoire wurde für Vokalisationen in der Luft und im Wasser im Detail beschrieben (Collins et al. 2005; Moors und Terhune 2004; Pahl et al. 1997; Rouget et al. 2007; Terhune und Dell'Apa 2006; Terhune et al. 1994, 2008; Thomas und Kuechle 1982; Thomas et al. 1983b).

Einige der bekannten Ruftypen sind in Abb. 7-10 dargestellt. Ein weiterer Vokalisationstyp wurde basierend auf den Ähnlichkeiten zu anderen Vokalisationen den Weddellrobben zugeordnet (van Opzeeland, 2010 van Opzeeland et al. 2010). Von den in van Opzeeland et al. (2010) beschriebenen Vokalisationen weisen nur W1, W2, W4, W6, W8, W9, W13 und W14 eine erhebliche Überlappung mit dem spektralen Inhalt von Airgun-Signalen über größere Reichweiten auf (< 300 Hz, auch dargestellt in Abb. 7-11). Es ist jedoch ungewiss, ob die niedrigen Energiekomponenten zur Wahrnehmung des Signals und seines gesamten Inhalts ausreichen, so dass selbst Signale, bei welchen die meiste Energie empfangen wird, möglicherweise, aufgrund von Signalanteilen mit höherer Frequenz (mit eher niedrigem Energieinhalt), maskiert werden könnten.

Terhune und Dell'Apa (2006) fanden, dass ein tauchendes Männchen stereotype Sequenzen abgibt, die möglicherweise zur Identifikation und als Dominanzverhalten benutzt werden.

Abb. 7-10 Unterschiedliche Typen von Vokalisationen der Weddellrobben (aus Thomas et al. 1983b)

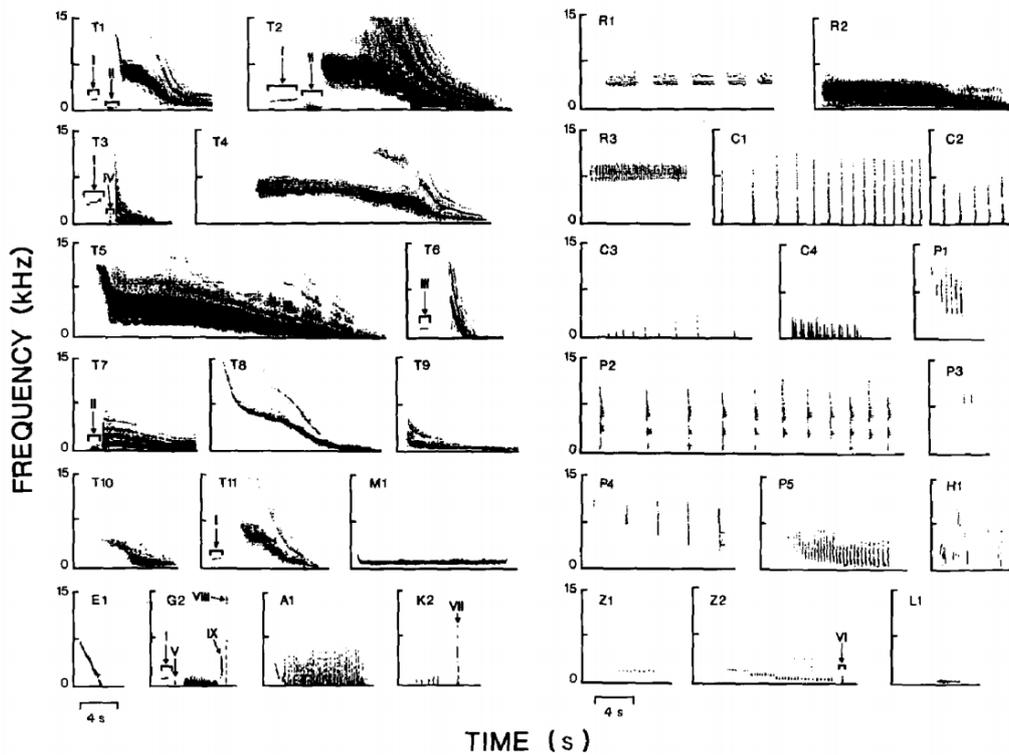
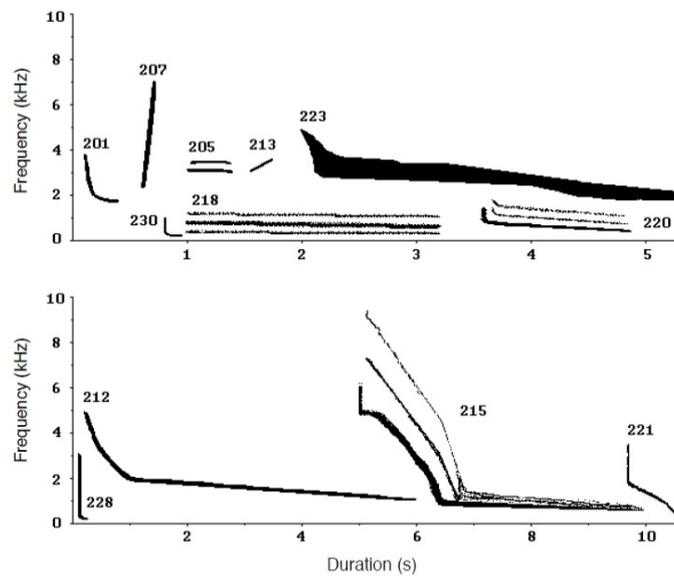


Abb. 7-11 Spektrogramme von gewöhnlichen Vokalisationen der Weddellrobben



Aus Pahl et al. (1997). Die meisten dieser Vokalisationen haben keinen großen Energieinhalt unter 300 Hz.

Zu Modellierungszwecken wurden die Vokalisationen T2 (mit territorialer Markierung assoziiert, nachfolgend W1), T9 (mit territorialer Markierung assoziiert, W2), und P (mit Unterwerfung assoziiert, W3) verwendet (Thomas et al. 1983b).

7.2 Ergebnisse der Maskierungsmodellierung

7.2.1 Eingangswerte

7.2.1.1 Fall 1: Dauer des Signals al Zeitkonstante de Leaky-Integrators

Der bestmögliche Fall für eine Signalerkennung ist, dass die Zeitkonstante des Leaky-Integrators der Dauer des zu erkennenden Signals entspricht. Wir nehmen dafür an, dass die Signalerkennung in diesem Fall ideal ist, was zum besten möglichen Signal-Rausch-Verhältnis führt. Bei den ersten Modellierungsversuchen wurden die Werte in Tab. 7-4 genutzt. Diese Werte basieren auf peer-reviewten Publikationen mit Ausnahme der Weddellrobben, bei denen sich die veröffentlichten Werte nicht direkt auf die innerhalb des vorliegenden Projekts benutzten Rufe beziehen. Der Quellpegel von 173 dB re $\mu\text{Pa m}$ ist der Mittelwert der berichteten höchsten und niedrigsten Werten der Quellschallpegel, die von Weddellrobben erreicht werden können. Bandpassfilter wurden dem Frequenzbereich des Signals angepasst und ein angepasster Quellpegel wurde für als Eingangsgröße den Leaky-Integrators errechnet.

Tab. 7-4 Eingangswerte für die Modellierung der Maskierung. Der Wert „Bandpass-gefilterter Quellpegel des Leaky-Integrator“ ist das Ergebnis des Leaky-Integrators, wenn die genutzte Eingangsvokalisation mit sphärischer Ausbreitung auf 1 m zurückgerechnet wird. Der Wert wird als Eingangswert benötigt um zu errechnen, wie laut der Bandpass-gefilterte Schall beim empfangenden Tier ist.

	Blauwal	Finnwal	Weddellrobbe		
Vokalisation	Z Ruf	20 Hz Puls	W1	W2	W3
Quellpegel [dB re $1\mu\text{Pa m}$]	179 ¹	189 ²	173	173	173
Dauer = Zeitkonstante des Leaky-Integrators [s]	15	1	11	5	0.25
obere Grenze des Bandpassfilters [Hz]	30	25	8000	1000	2000
untere Grenze des Bandpassfilters [Hz]	15	15	3000	200	100
Bandpass-gefilterter Quellpegel des Leaky-Integrators [dB]	175.4	185	162	162.7	163

¹ Samaran et al. (2010a)

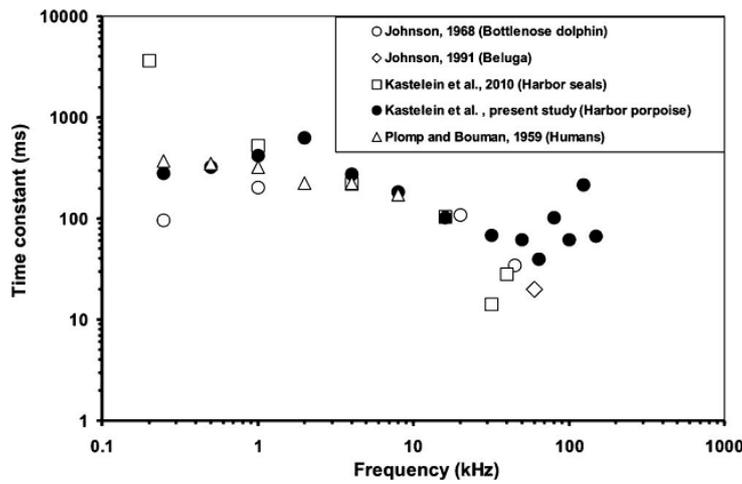
² Širovic et al. (2007)

Für Blauwale wurde der typische Z-Ruf benutzt (Abb. 7-13). Das Signal wurde auf $42^\circ 59,91' \text{ S}$ und $74^\circ 35,84' \text{ E}$ in etwa 3000 m Wassertiefe aufgenommen. Erste genutzte Finnwalrufe stammen aus der Bibliothek von William Watkins (Abb. 7-14). Für weitere Simulationen verwendeten wir jedoch Aufnahmen von Ana Širović, die sowohl die Varianten der westlichen und östlichen Antarktis von 20 Hz Pulsen mit ausreichendem Signal-zu-Rausch-Abstand repräsentieren. Bei Weddellrobben war es am schwierigsten, Aufnahmen von guter Qualität zu erhalten, da die meisten Aufnahmen unter dem Eis gemacht wurden. Wir haben jedoch drei Beispiele ausgewählt, die in Abb. 7-15, Abb. 7-16 und Abb. 7-17 dargestellt sind. Alle diese Vokalisationen haben einen breiten Frequenzbereich und enthalten FM-Schwünge. Vollständige Modellierungsergebnisse befinden sich in Anhang C.

7.2.1.2 Fall 2: 200 ms al Zeitkonstante de Leaky-Integrators

Während der Modellierung stellte sich heraus, dass die Wahl einer Zeitkonstante mit derselben Länge wie die Dauer des Signals in manchen Fällen zu Problemen bei der Signalerkennung führt. Zunächst basiert der Leaky-Integrator und Pegeldetektor auf einem Bandpass-gefilterten Signal und reagiert auf den Airgun-Lärm in der gleichen Weise wie auf die natürliche Vokalisation eines Artgenossen. Folglich löst der Airgun tatsächlich den Pegeldetektor aus. Wenn das natürlich auftretende Signal einen ausreichenden Signal-Rausch-Abstand (als „Headroom“ bezeichnet) hat, wird das Signal nicht maskiert.

Abb. 7-12 Zeitkonstanten verschiedener Säugetiere bei unterschiedliche Frequenzen



(aus Kastelein et al. 2010). Variation liegt zwischen ~ 3.500 ms und ~ 15 ms. Generell sind die Zeitkonstanten im unteren Frequenzbereich (< 10.000 Hz) > 100 ms. Eine TC von 200 ms erscheint folglich als angemessene Annahme für die Zeitkonstante der Signalverarbeitung bei marinen Säugetieren.

Tab. 7-5 Eingabevariablen für die Modellierungsübung zur Maskierung mit der Zeitkonstanten des Leaky-Integrators auf 200 ms

	Blauwal	Finnwal	Weddellrobbe			
Vokalisation	Z Ruf	20 Hz Puls	W1	W2a	W2b	W3
Quellpegel [dB re 1µPa m]	179 ¹	189 ²	173	173	173	173
Zeitkonstante des Leaky-Integrators [s]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
obere Grenze des Bandpassfilters [Hz]	30	25	8000	1000	1000	2000
untere Grenze des Bandpassfilters [Hz]	15	15	3000	200	450	100
Bandpass-gefilterter Pegel des Leaky-Integrators von der Quelle [dB]	187	191.2	176.7	175.5	175.4	167.3

¹ Samaran et al. (2010a)

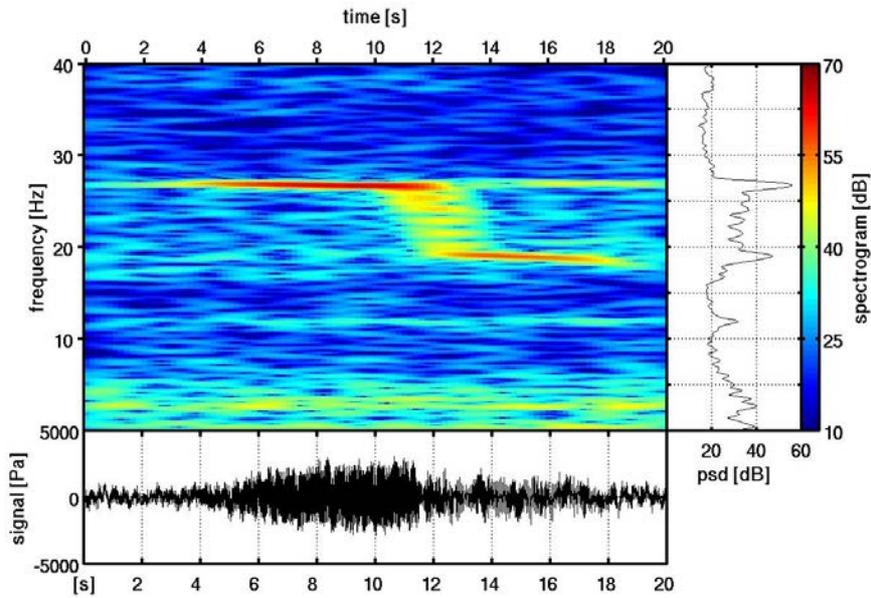
² Širović et al. (2007)

Wenn eine Vokalisation mit einer Amplitude, die dem empfangenden Maskierungsgeräusch gleicht, in die ‚Pausen‘ zwischen aufeinander folgende Airgun-Impulse fällt, wird der Leaky-Integrator nur in manchen Fällen (aufgrund unterschiedlicher Überlappung) durch die Tiervokalisationen ausgelöst, in anderen Fällen jedoch durch die Airgun-Signale selbst. Um diesem Problem Rechnung zu tragen, führten wir eine zweite Simulation durch, bei der eine Zeitkonstante

von 200 ms angenommen wurde, welche für Bartenwale und große Robbenarten möglicherweise realistischer ist (siehe Kastelein et al. 2010, Abb. 7-12).

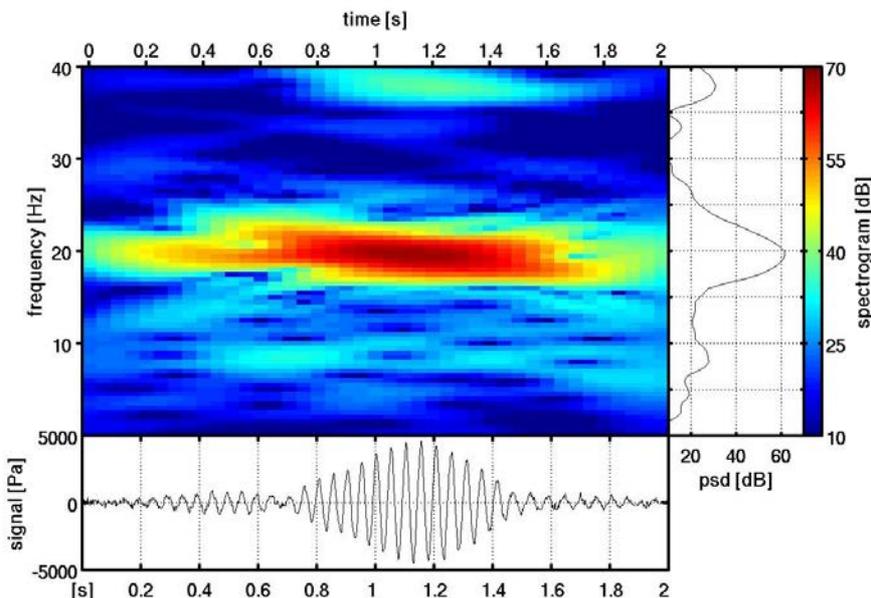
Des Weiteren wurden zwei unterschiedliche Bandpassfilter auf die Vokalisation „W2“ von Weddellrobben angewandt, um die große Bandbreite des Eingangssignals zu berücksichtigen (Tab. 7-5). Signal 2a repräsentiert den gesamten Frequenzbereich, in welchem Energie vorhanden ist, während 2b den Frequenzbereich mit der größten Energie repräsentiert, wodurch die Hörbarkeit entweder des gesamten Signals oder des Signals mit dem größten Energieinhalt, der nicht mit dem Airgun-Frequenzgehalt überlappt, berücksichtigt wird.

Abb. 7-13 Blauwalruf



Ein im südlichen Indischen Ozean aufgenommener Blauwalruf, der für Maskierungsstudien verwendet wurde. Das Signal wurde wiederholt und durch den Leaky-Integrator und Pegeldetektor gesandt. psd - power spectral density (dt. Leistungsspektrum).

Abb. 7-14 Ein einzelner Puls einer Finnwal-Rufsequenz



Das Signal wurde wiederholt und die Maskierung mittels Leaky-Integrator und Pegeldetektor modelliert. psd - power spectral density (dt., Leistungsspektrum).

Abb. 7-15 Weddellrobben-Vokalisation Typ 1, T2 in Thomas et al. 1983b.

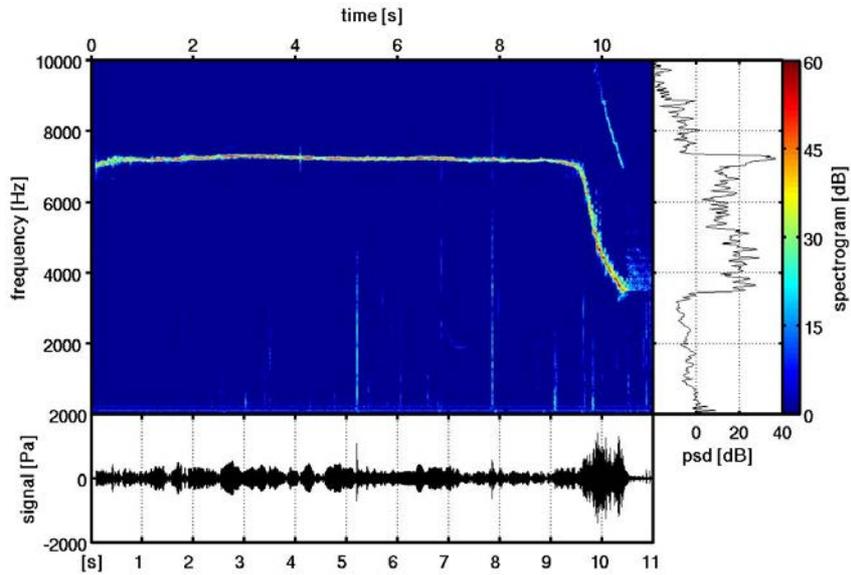


Abb. 7-16 Weddellrobben-Vokalisation Typ 2, T2 in Thomas et al. 1983b.

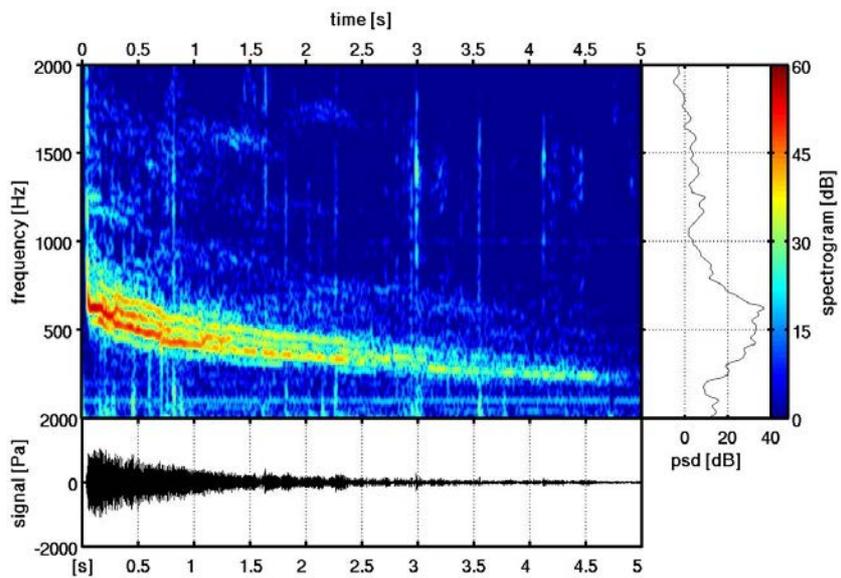
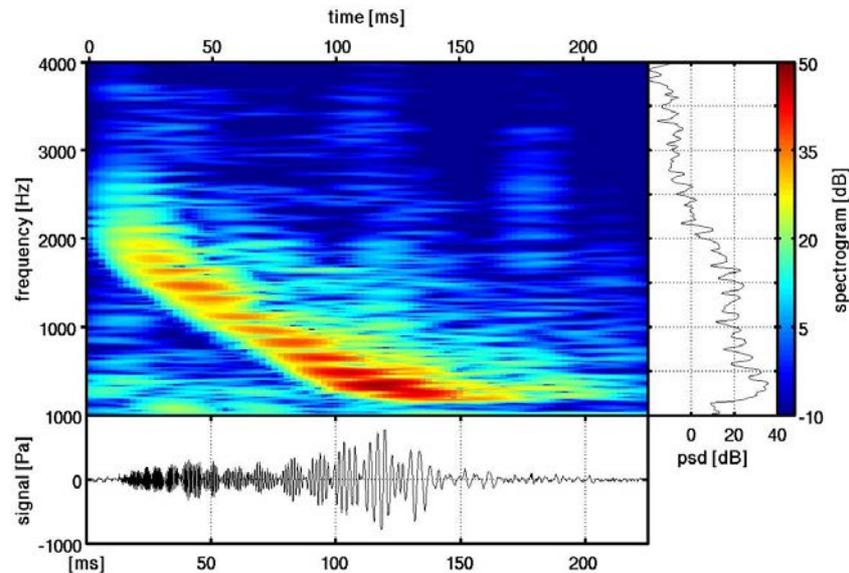


Abb. 7-17 Weddellrobben-Vokalisation Typ 3, ein einzelnes Zirpen von P5 in Thomas et al. 1983b.



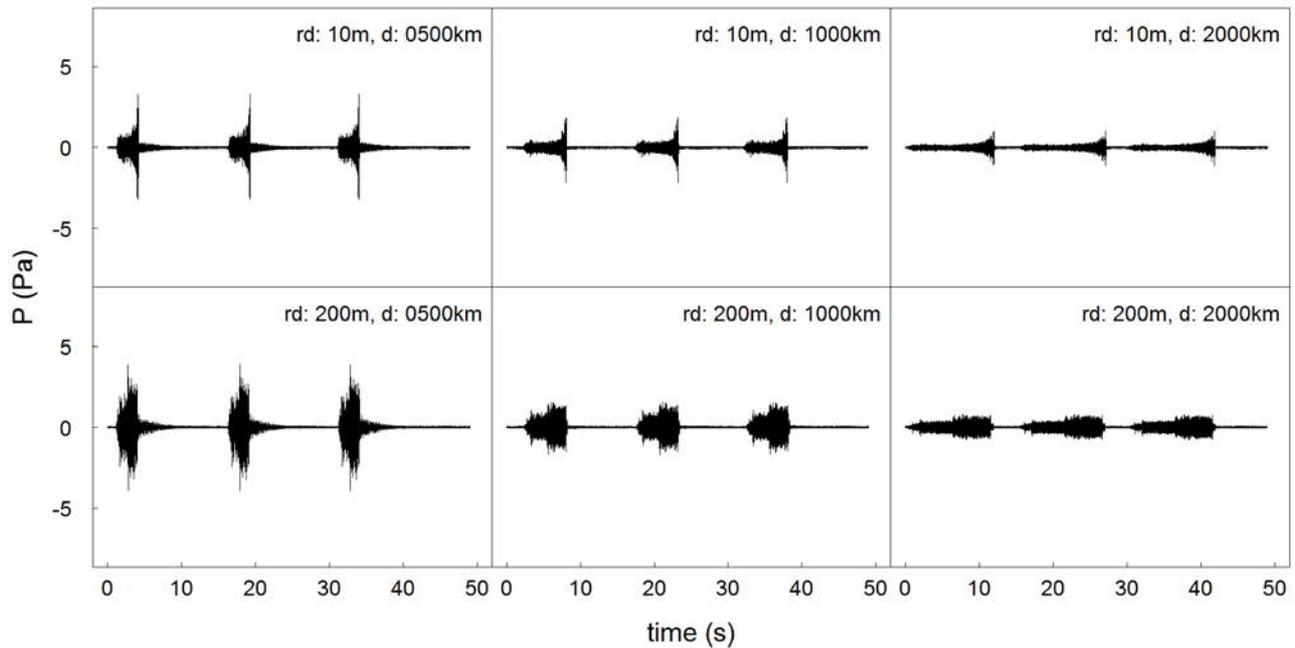
7.2.1.3 Ergebnisse de Schallausbreitungsmodellierung, die als Eingangswerte für die Maskierungsmodellierung dienen

Für die Modellierung der Maskierung wählten wir verschiedene repräsentative Ergebnisse der Schallausbreitungsmodellierung als Eingangswerte aus. Diese sind in Abb. 7-18 und Abb. 7-19 für flache Gewässer und in Abb. 7-20 und Abb. 7-21 für tiefe Gewässer dargestellt. Obwohl es klar ersichtlich ist, dass die berechneten Zeitsignale eine Reduzierung der empfangenen Amplituden mit steigender Entfernung zeigen, so sind einzelne Maxima des Zeitsignals auf größere Entfernungen möglicherweise sogar noch lauter, wie aus den Grafiken für die tiefen Gewässer ersichtlich ist. Nur drei Empfängertiefen (10, 50 und 200 m) wurden berücksichtigt, um die Berechnungen mit einem vertretbaren Aufwand durchführen zu können.

In allgemeineren Worten: Die Schallmodelle ergeben, dass sich in flacheren Gewässern der lauteste Teil des Signals am Ende des empfangenen Airgun-Signals befindet, wohingegen in tieferen Gebieten einzelne empfangene Pulse dominieren, außer in sehr großen Distanzen, bei welchen die Signaldehnung zu einer Überlappung zwischen zwei Airgun-Impulsen führt, die durch ein Schussintervall von 15 s getrennt sind.

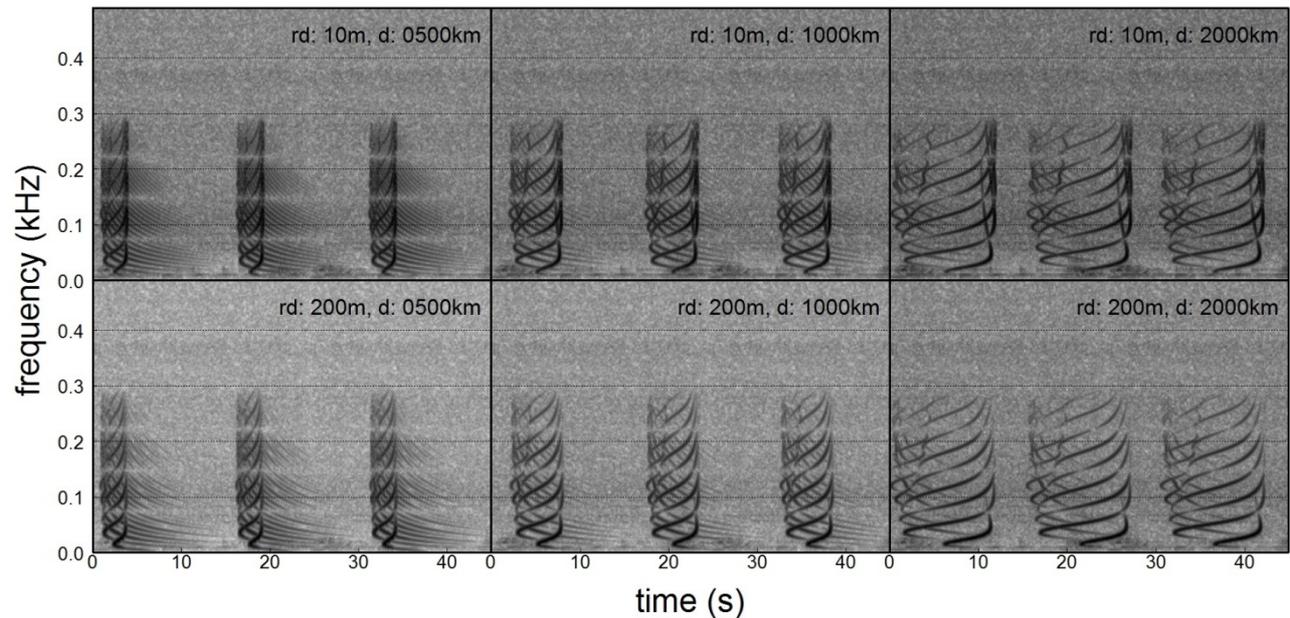
In den Flachwassermodellen ist die Reduzierung des empfangenen Drucks offensichtlicher. Keines der empfangenen Signale weist eine vollständige Überlappung mit dem folgenden Airgun-Impuls auf. Die Spektrogramme der Tiefwasser-, als auch der Flachwasser-Impulse zeigen einige Frequenzen, die ausgelöscht sind. Dies liegt höchstwahrscheinlich am Einfluss von Lloyd's-Mirror-Effekt. Jedoch zeigen die Signale sehr starke tieffrequente Komponenten, wobei die meiste Energie unter 150 Hz liegt und graduell zu 300 Hz hin abnimmt. Alle Berechnungen zur Maskierung wurden für die mit der potentiell höchsten Reichweite (8-G gun Array) unter den betrachteten Airgun-Konfigurationen durchgeführt.

Abb. 7-18 Eingangssignale (berechneter Airgun-Schalldruck vs. Zeit) für die Modellierung der Maskierung in flachen Gebieten (500 m Tiefe)



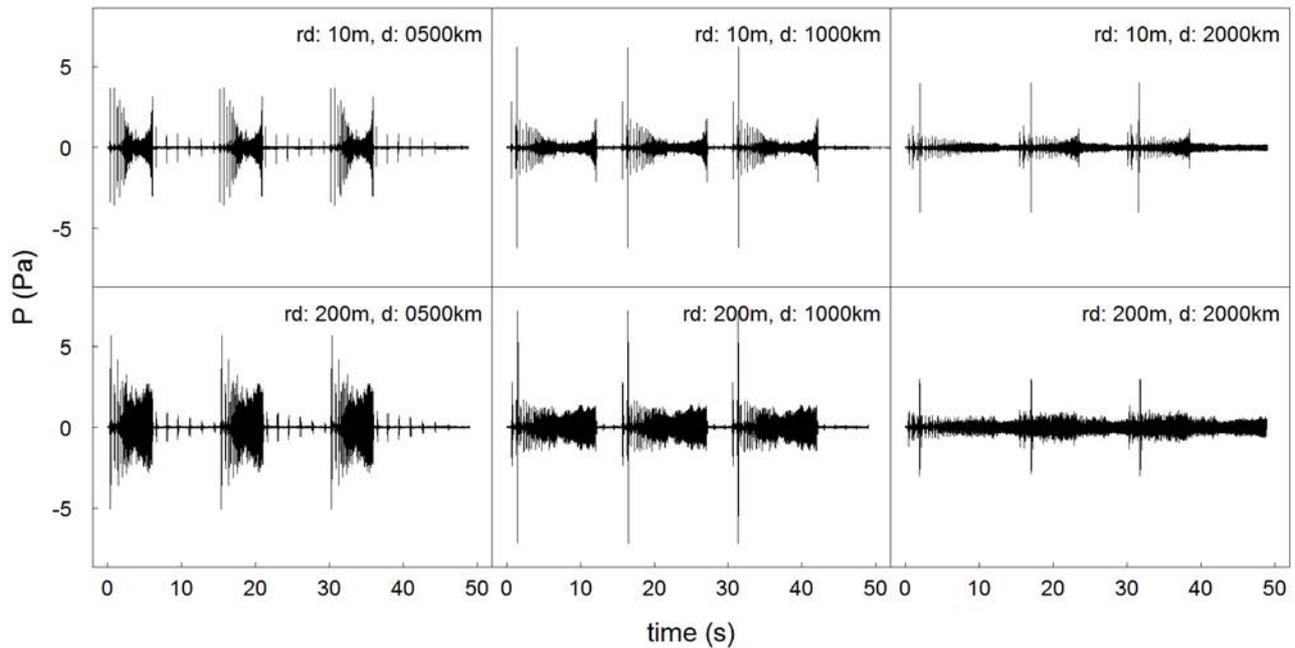
rd: Empfängertiefe, d: Entfernung des modellierten Impulses vom Airgun (8-G gun Array, je 8,5 L Kammervolumen). Drei Impulse werden gezeigt um zu demonstrieren, wie Anfang und Ende der Sequenz aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde dupliziert und für weitere Berechnungen genutzt.

Abb. 7-19 Spektrogramme der Eingangssignale (Airgun) für die Modellierung der Maskierung in flachen Gewässern (500 m Tiefe)



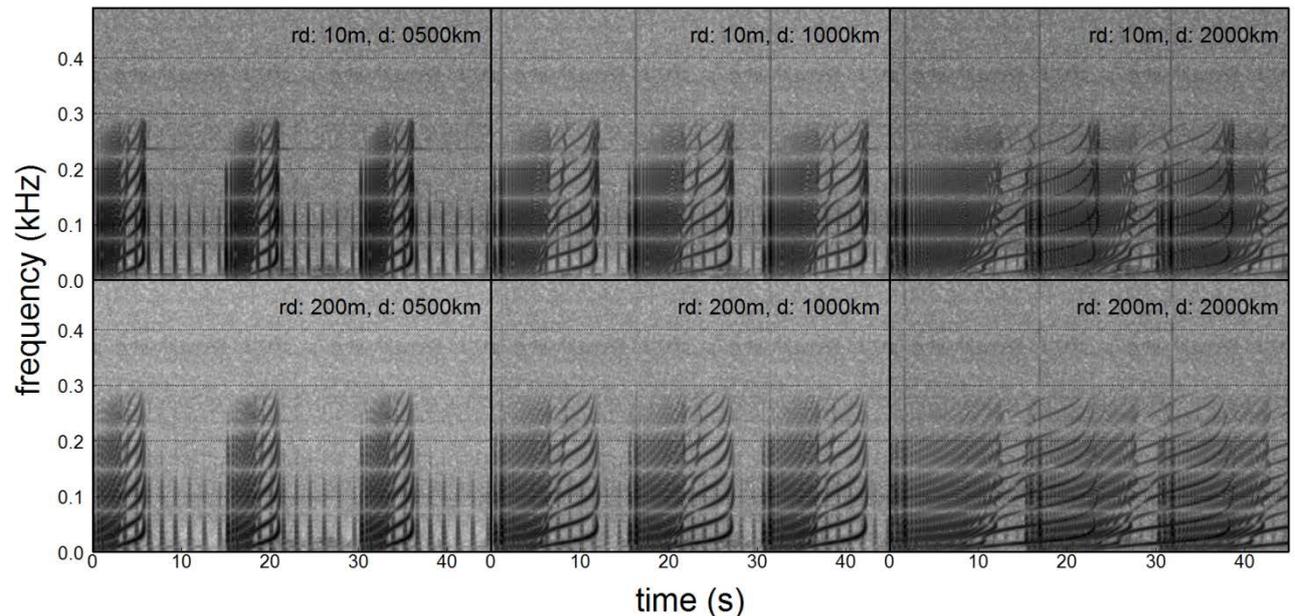
rd: Empfängertiefe, d: Entfernung des modellierten Impulses vom Airgun (8-G Gun-Array, je 8,5 L Kammervolumen). Drei Impulse werden gezeigt um zu demonstrieren, wie Anfang und Ende der Sequenz aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde dupliziert und für weitere Berechnungen benutzt. Die Spektrogramme zeigen, dass die Signale einen tonalen Frequenzgehalt haben und folglich eine Breitbandpegel zur Errechnung der Maskierung nicht ausreicht.

Abb. 7-20 Eingangssignale (berechneter Airgun-Schalldruck vs. Zeit) für die Modellierung der Maskierung in tiefen Gebieten (4000 m Tiefe)



rd: Empfängertiefe, d: Entfernung des modellierten Impulses vom Airgun, 8-G Gun-Array, je 8,5 L Kammervolumen. Drei Impulse werden gezeigt um zu demonstrieren, wie Anfang und Ende der Sequenz aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde dupliziert und für weitere Berechnungen benutzt.

Abb. 7-21 Spektrogramme der Eingangssignale (Airgun) für die Modellierung der Maskierung in tiefen Gewässern (4000 m Tiefe)



rd: Empfängertiefe, d: Entfernung des modellierten Impulses vom Airgun, 8-G Gun-Array, 8,5 L Kammervolumen. Drei Impulse werden gezeigt um zu demonstrieren, wie Anfang und Ende der Sequenz aussehen würden. Nur der mittlere Impuls wurde dupliziert und für weitere Berechnungen benutzt. Die Spektrogramme zeigen, dass die Signale einen tonalen Frequenzgehalt haben und folglich eine Breitbandpegel zur Errechnung der Maskierung nicht ausreicht.

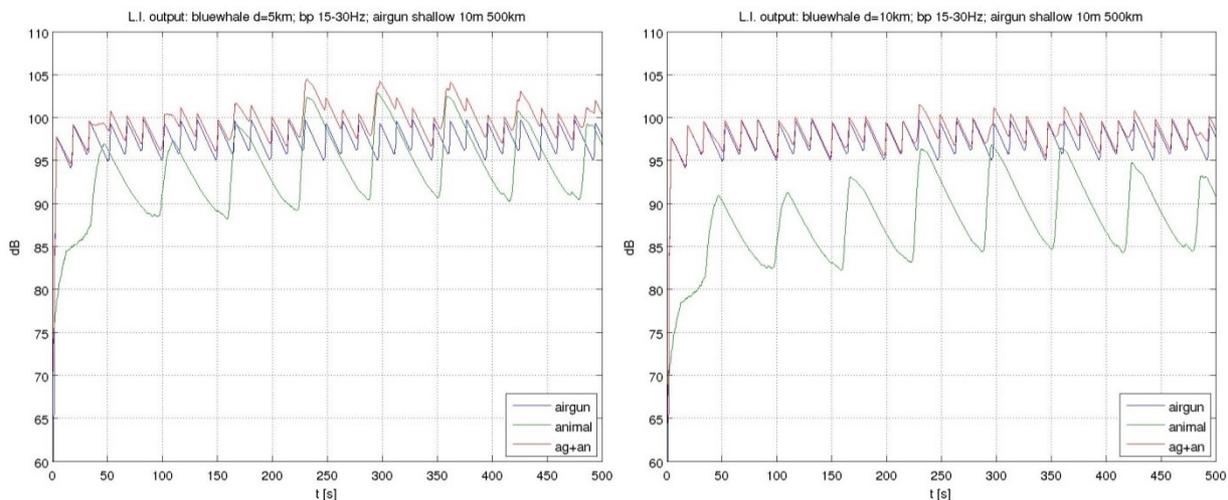
7.2.2 Ergebnis de Leaky-Integrators für Blauwale

Die Abbildungen für das Beispiel in Abb. 7-22 zeigen das Ergebnis des Leaky-Integrators im Zeitverlauf. Das Tiersignal wird erkannt, wenn der Pegel des Leaky-Integrators entweder den Pegel des Leaky-Integrator-Ergebnisses des Hintergrundrauschens oder des empfangenen Airgun-Signals erreicht. Die in diesem und dem nächsten Kapitel gezeigten Beispiele von Blau- und Finnwalen sollen der Erläuterung der verwendeten Methodik dienen. Grafiken von Weddellrobben fügen keine nennenswerten Informationen hinzu und sind deshalb nicht aufgeführt.

Das Beispiel in Abb. 7-22 für das Ergebnis eines Leaky-Integrators und Pegeldetektors zeigt, dass das Leaky-Integrator-Ergebnis bei großen Entfernungen zwischen Sender und Empfänger (rechter Teil der Abbildung, Entfernung von 10 km zwischen den Tieren) vollständig vom Airgun-Signal dominiert wird. Folglich, sind die blauen und roten Kurven mit wenigen Ausnahmen identisch. Im linken Teil der Abbildung ist die Entfernung zwischen Sender und Empfänger reduziert. Folglich ist der Pegel des Tiersignals erhöht. Der Leaky-Integrator zeigt Maxima, die durch die Überlappung von Blauwalkommunikationen mit dem Airgun-Signal verursacht werden. Diese Bilder ändern sich bei unterschiedlicher Entfernung der Tiere zueinander drastisch, jedoch auch mit der Entfernung eines empfangenden Tiers von der Airgun, aufgrund der unterschiedlichen Eingangsfunktion für das modellierte Airgun-Signal.

Man muss beachten, dass diese Darstellung nur eine kleine Bandbreite des empfangenen Signals der Airguns zeigt. Lärm mit einer großen Bandbreite und großen Amplituden, wie Airgun-Signale auf große Entfernung, haben möglicherweise einen Effekt auf benachbarte Frequenzen entsprechend der *kritischen Bandbreite* dieser Tierarten, der Fähigkeit verschiedene Frequenzen zu unterscheiden.

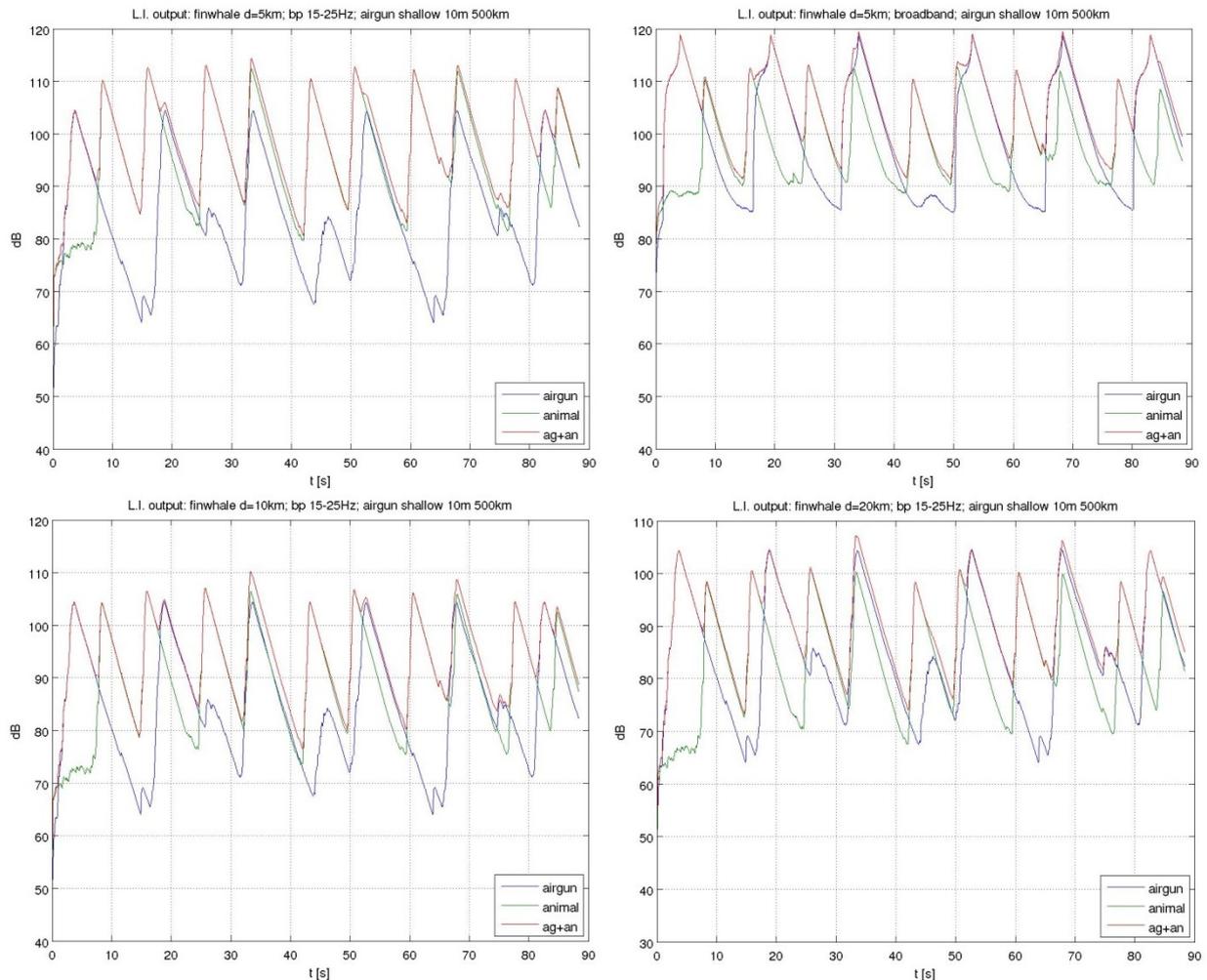
Abb. 7-22 Ergebnis des Leaky-Integrators und Pegeldetektors für Blauwale



Links: Ergebnis des Leaky-Integrators und Pegeldetektors (blaue Linie - Airgun + Umgebungsrauschen, grün - vokalisierendes Tier allein (unmaskierte Bedingungen), rot - Airgun + Umgebungsrauschen + Tiervokalisation (maskierte Bedingungen)) für eine **Entfernung von 5 km** zwischen einem vokalisierenden Blauwal und einem Empfänger, der sich 10 m unter der Oberfläche in flachen Gebieten (~ 500 m) und auf 500 km Entfernung zum Airgun aufhält. **Rechts:** Wie links, jedoch eine **Entfernung von 10 km** zwischen Sender und Empfänger. Es wird vorausgesetzt, dass der Airgun Schüsse in Intervallen von 15 s abgibt und dass das Tier Vokalisationen im Zeitverlauf bei einer natürlichen Wiederholungsrate von ungefähr 50 s wiederholt. Bei allen Kommunikationen (auch bei Robbenvokalisationen) wurde eine Wiederholung entsprechend den in der Literatur angegebenen Werten angenommen.

7.2.3 Ergebnis de Leaky-Integrators für Finnwale

Abb. 7-23 Ergebnis des LI und Pegeldetektors



Oben links: Ergebnis des Leaky-Integrators und Pegeldetektors bei einer **Entfernung von 5 km** zwischen einem vokalisierenden Finnwal und einem Empfänger, der sich 10 m unterhalb der Wasseroberfläche in flachen Gebieten (~500 m Wassertiefe) und in einer Entfernung von 500 km vom Airgun aufhält. **Oben rechts:** Wie links, jedoch im Frequenzbereich der Vokalisation **nicht gefiltert**. **Unten links:** Wie oben links, jedoch bei einer **Entfernung von 10 km** zwischen Sender und Empfänger. **Unten rechts:** Wie **oben rechts**, jedoch bei einer **Entfernung von 20 km** zwischen Sender und Empfänger.

Ein Beispiel für das Ergebnis eines Leaky-Integrators und Pegeldetektors bei Finnwalen findet sich in Abb. 7-23. Die oberen beiden Graphen vergleichen die gleiche Situation mit Eingangssignalen, die (linke Seite) auf den Frequenzbereich des Finnwal Pulses Bandpass-gefiltert sind, während rechts kein Bandpassfilter angewendet wurde. Während die linke Seite zeigt, dass Detektionen erfolgen und (in einigen Fällen) von Finnwal-Vokalisationen verursacht werden, ist die rechte Seite vom Airgun-Signal dominiert und zeigt auf, dass keine Detektion des Finnwal-Signals möglich ist. Wir gehen davon aus, dass das Gehör von Bartenwalen im Allgemeinen wie ein 1/3 Oktavbandfilter funktioniert (Payne und Guinea 1983). Folglich würde die Nichtberücksichtigung des Frequenzgehalts in der Berechnung zu verzerrten Ergebnissen führen. Die Beispiele unterstreichen, dass eine Modellierung der Maskierung frequenzspezifisch ist und somit der Filterungsprozess entscheidend ist. Wir benutzten einen Bandpassfilter, der auf den Frequenzgehalt der verwendete-

ten Vokalisation angepasst ist, aber ein Optimalfilter („matched filter“) würde wahrscheinlich bessere Detektionsraten erzielen.

Ein matched Filter würde das Signal-Rausch-Verhältnis verbessern (erläutert in Clark et al. (2009)). Der Optimalfilter würde bei Finnwalen zu einer Verstärkung des Signal-Rausch-Verhältnis von ungefähr 10 dB, bei Blauwalen von 12 dB und bei Weddellrobben, aufgrund der höheren Bandbreite des Signals, zu wesentlich höheren Werten führen, wenn wir davon ausgehen, dass die Signalverstärkung dem dB-Wert des Produkts von Lautdauer und Bandbreite entspricht (Clark et al. 2009). Innerhalb des Zeitrahmens des vorliegenden Projekts haben wir weder eine matched Filter Analyse noch eine Korrektur der Detektionsschwelle, wie von Clark et al. (2009) vorgeschlagen, durchgeführt. Die Detektionsschwelle, die in Clark et al. (2009) mit 10 dB angenommen wurde, würde der Signalverstärkung entgegenwirken: Selbst wenn man deren Methodik angewandt hätte, würden diese Ergebnisse den hier präsentierten sehr ähneln. Die beiden unteren Kurven zeigen, dass die Detektion der Vokalisation analog mit dem Empfangspegel der Vokalisation abnimmt und folglich auch mit der Entfernung von Sender und Empfänger abnimmt.

7.2.4 Ergebnisse der Modellierung der Maskierung

Wie erwartet, weisen Signale mit einer großen Überlappung im Frequenzbereichs mit dem propagierten Airgun-Impuls aufgrund des reduzierten Headrooms (Pegel des Signals minus entweder Pegel des Hintergrundrauschens oder Pegel des Maskierers) das größte Potential der Maskierung für akustische Kommunikation auf (Tab. 7-6). Insbesondere für die Vokalisation W1 von Weddellrobben (Typ T2 von Thomas et al. 1983b, Kapitel 7.1.3) zeigt sich nur eine geringfügige Auswirkung auf den Headroom, obgleich die geschätzte Reduzierung des Headrooms in tiefen Gewässern bis zu 18 dB erreichen kann, wenn sich ein Empfänger in einer Tiefe von 50 m und einer Entfernung von 500 km vom Airgun aufhält.

Für Blauwale reicht die Reduzierung des Headrooms von 42 bis 19 dB je nach Wassertiefe und Entfernung zum Airgun. Der Verlust des Headrooms nimmt mit der Entfernung bei allen getesteten Vokalisationen ab (außer bei tiefen Gewässern und einer Empfängertiefe von ≤ 50 m), was höchst interessant ist, da dies zeigt, dass selbst intervallartiger (unterbrochener) Lärm ein hohes Potential für Maskierung hat, wenn die Schalldruckpegel groß genug sind und ein ungünstiges Verhältnis von Signal (empfangene Vokalisation) zu Lärm (Airgun-Impulse + Meeresrauschen) existiert.

Für Finnwale bewegte sich die Reduzierung des Headrooms in einer ähnlichen Größenordnung von 43 bis 15 dB. Dies überrascht nicht, da das genutzte Signal einen ähnlichen Frequenzbereich abdeckt. Das Maskierungspotential ist auch hier näher an der Quelle größer. Eine Signaldehnung führte bei diesen Entfernungen nicht zu einer vollständigen Überlappung zwischen einzelnen Airgun-Impulsen.

Typ W1 der Vokalisationen von Weddellrobben zeigte einen Verlust an Headroom um 18 dB bis 3,5 dB, während die Vokalisationstypen W2a und W3 einen drastischen Abfall des Headrooms jeweils um 37 dB bis 18 dB (Typ 2a) und um 45 dB bis 25 dB (Typ 3) aufwiesen. Typ W2b zeigt mit einer Reduzierung um 15,4 dB bis 8 dB keine starke Reduzierung des Headrooms. Gründe für diese großen Unterschiede finden sich im abgedeckten Frequenzbereich und den Frequenzen mit dem größten Energieinhalt der Vokalisationen sowie den resultierenden unterschiedlichen Bandpass-Filtereinstellungen. Wird die Filterfrequenz der Vokalisation W2 an die Region der größten Energie (W2b) angepasst, wird der Headroom nur um 15 dB bis 8 dB reduziert. Dies zeigt, dass die Wahl des Bandpassfilters für das Ergebnis dieser Modellierung entscheidend ist, wenn Signale von großer Bandbreite gewählt werden.

Tab. 7-6 **Potentieller Headroom** für akustische Kommunikation, der mithilfe des Leaky-Integrators (LI) und Pegeldetektors errechnet wurde, wobei eine Zeitkonstante (TC) von 200 ms und Meereswasserdämpfung benutzt und vorausgesetzt wird, dass 100 % freie Kommunikationszeit für eine Erkennung erforderlich ist. WR –Weddellrobben Vokalisation

Fall	Empfänger tiefe	Entfernung Airgun Empfänger	Wasser tiefe	Headroom (modelliert als Ergebnis des Bandpass gefilterten Leaky Integrators [dB])					
				Blauwal	Finnwal	WR 1	WR 2a	WR 2b	WR 3
1	10	500	tief	73.2	81.6	93.9	60.9	91	45.7
2	10	1000		72.8	82.3	91	64.5	85	45.2
3	10	2000		78.5	88.7	95.7	68.4	87.6	49.6
4	50	500		63.2	70.7	86.3	61.5	85.3	41.7
5	50	1000		62.6	70.6	88.9	64.9	87.2	45.4
6	50	2000		68.7	77.5	93.8	69	89.8	49
7	200	500		64.2	69.8	90.3	68.5	88.2	50.4
8	200	1000		65.5	72.4	89.8	72.5	87.3	48.4
9	200	2000		72.3	78.9	95	75.7	88	52.5
10	10	500	flach	76.5	84.1	93.6	60.6	91.9	45.4
11	10	1000		82.5	89.8	97.6	64.1	92.3	49.5
12	10	2000		86.9	95.2	101	68.4	92.3	53.8
13	50	500		63.7	71	85.8	61.1	84.9	41.4
14	50	1000		69.5	76.9	90.1	64.7	88.2	45.2
15	50	2000		74.6	82.3	94.1	69.2	90.8	49
16	200	500		63.1	67.5	90.7	67.9	88.3	49.7
17	200	1000		69.2	73.5	96.5	74	91.2	56
18	200	2000		75.1	80.3	100.6	79.6	92.3	62
keine airgun	NA	NA	NA	105.9	110.1	104.5	97.4	100.3	86.7

Die obigen Berechnungen können als Schätzung der oberen Grenze der wahrscheinlichen Auswirkung betrachtet werden, weil ein niedriger Wert für das Umgebungsrauschens gewählt (SPL = 80 dB re 1 µPa) und für die tieffrequente Absorption für das Airgun-Signal verwendet wurde.

Die für Kommunikation verfügbaren Entfernungen wurden durch Errechnung des Schallausbreitungsverlustes (TL) für sphärische Ausbreitung bestimmt. Der geschätzte Verlust des Headrooms (Tab. 7-6) ergibt erhebliche Verluste der potentiellen akustischen Kommunikationsreichweiten (Tab. 7-7), die bei Blauwalen von einer 99 % Reduzierung im schlimmsten Fall (tiefe Gewässer, Entfernung von 100 km zum Airgun, Reduzierung von 197,9 km Reichweite bei natürlichen Bedingungen auf 1,3 km unter maskierte Bedingungen) zu 89 % im besten Fall reichen. Bei Finnwalen beträgt die Reduzierung ungefähr 99 % (für flaches Wasser, Entfernung von 500 km zur Airgun, Reduzierung von 320,8 km auf 2,4 km) bis 82 %. Überraschenderweise sind die akustischen Kommunikationsentfernungen bei Vokalisationen von Weddellrobben des Typ 3 bis auf ein Maximum von 1,3 km reduziert und lassen in extremen Fällen nur eine Kommunikationsdistanz von 100 bis 300 m gegenüber der errechneten natürlichen Kommunikationsreichweite von 21,6 km übrig. Die

Reichweiten der Vokalisationen des Typs W1 und W2b sind verringert, weisen jedoch nicht die extreme Reduzierung von Typ W3 auf.

Tab. 7-7 **Akustische Kommunikationsreichweiten** für die fünf betrachteten Vokalisationen unter Verwendung der sphärischen Ausbreitung als Modell der Schallausbreitung der Vokalisationen, wobei eine Zeitkonstante (TC) von 200 ms und Meereswasserdämpfung benutzt und vorausgesetzt wird, dass 100 % freie Kommunikationszeit für eine Erkennung erforderlich ist. WR-Weddellrobbe

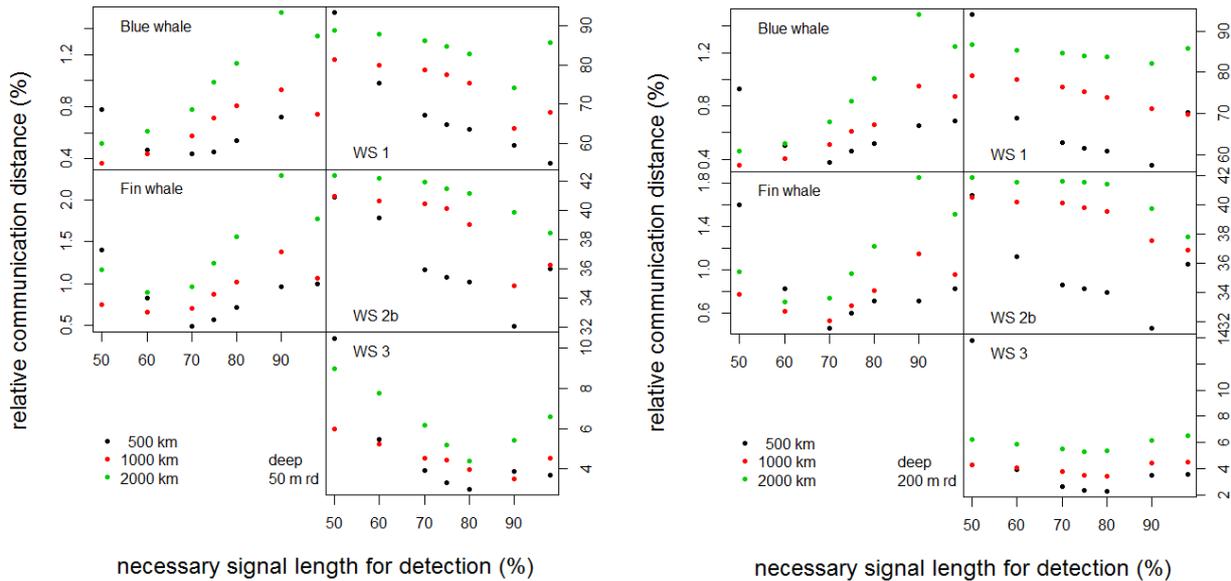
Fall	Empfänger tiefe	Entfernung Airgun Empfänger	Wasser tiefe	Headroom (modelliert als Ergebnis des Bandpass gefilterten Leaky Integrators [dB])					
				Blauwal	Finnwal	WR 1	WR 2a	WR 2b	WR 3
1	10	500	tief	4.6	12.0	49.8	1.1	35.3	0.2
2	10	1000		4.4	13.1	35.5	1.7	17.7	0.2
3	10	2000		8.4	27.3	61.2	2.6	24.1	0.3
4	50	500		1.4	3.4	20.7	1.2	18.5	0.1
5	50	1000		1.3	3.4	27.9	1.8	23.0	0.2
6	50	2000		2.7	7.5	49.2	2.8	30.9	0.3
7	200	500		1.6	3.1	32.8	2.6	25.8	0.3
8	200	1000		1.9	4.1	31.0	4.2	23.1	0.3
9	200	2000		4.1	8.8	56.0	6.1	25.1	0.4
10	10	500	flach	6.7	16.0	47.9	1.1	39.2	0.2
11	10	1000		13.4	30.9	75.5	1.6	41.0	0.3
12	10	2000		22.2	57.6	112.4	2.6	41.4	0.5
13	50	500		1.5	3.5	19.5	1.1	17.7	0.1
14	50	1000		3.0	7.0	32.0	1.7	25.6	0.2
15	50	2000		5.4	13.0	51.0	2.9	34.5	0.3
16	200	500		1.4	2.4	34.2	2.5	26.0	0.3
17	200	1000		2.9	4.7	67.2	5.0	36.1	0.6
18	200	2000		5.7	10.4	107.3	9.6	41.0	1.3
keine airgun	NA	NA	NA	197.9	320.8	168.4	73.9	103.3	21.6

Wenn die hohe Energie über 450 Hz der Weddellrobbe-Vokalisation 2b als zur Detektion ausreichend betrachtet wird, erhöht sich die Kommunikationsreichweite drastisch. Zurzeit verhindert daher die fehlende detaillierte Kenntnis der Art und Weise, wie die Geräusche wahrgenommen werden, eine größere Genauigkeit.

Es ist möglich, dass Tiere für eine Detektion nicht das gesamte Vokalisationssignal benötigen. Folglich ist eine Überlappung mit intervallartigem (unterbrochenem) Lärm eine weitere Variable, die berücksichtigt werden muss. Wir führten eine Sensitivitätsanalyse durch, um herauszufinden, ob die Maskierungsreichweiten von nur teilweise überlappendem intervallartigem Lärm reduziert werden, wenn wir annehmen, dass Tiere zur Erkennung nicht die vollständige Dauer des Signals benötigen (zusammengefasst in Anhang C (Tab. 12-1 to Tab. 12-7). Diese Sensitivitätsanalyse variierte die für eine Detektion notwendige Signallänge relativ zur Signallänge des natürlichen Vokalisationssignals (Abb. 7-24). Diese Analyse stellt daher die Frage, ob sich der Grad der maskier-

ten Kommunikationsdistanz drastisch ändert (Verlust an Kommunikationsreichweite), wenn wir annehmen, dass die Tiere nur einen Teil des Signals benötigen und folglich Signale bei unterbrochenem Lärm, wie empfangenen Airgun-Impulsen, effizienter erkennen können.

Abb. 7-24 Notwendige Signallänge für eine Detektion gegenüber der verfügbaren relativen Kommunikationsdistanz (Verhältnis zwischen maskierter und natürlicher Kommunikationsdistanz, als relatives Maß für den Verlust an Kommunikationsreichweite). Obwohl die notwendige Signallänge für eine Detektion zwischen 50 und 100 % verändert wurde, ändert sich das Maskierungspotential nur geringfügig.



Verfügbare relative Kommunikationsentfernung (Verhältnis zwischen maskierter und natürlicher Kommunikationsentfernung, ein relatives Maß des Verlusts an Kommunikationsreichweite) gegenüber der für eine Erkennung notwendigen Signallänge. **Links:** Bei einer Empfängertiefe von **50 m**, Modell der tiefen Schallausbreitung und der getesteten Signale. **Rechts:** Für eine Empfängertiefe von **200 m**, Ausbreitungsmodell für tiefe Bedingungen (4.000 m Wassertiefe) und die getesteten Signale. WS-Weddellrobbe. Während das Maskierungspotential (hier ausgedrückt als relativ vorhandene Kommunikationsreichweite unter Airguneinsatz im Vergleich zur natürlichen Kommunikationsreichweite) sich mit abnehmender Distanz zum Airgunarray verringert, sind trotzdem die Größenordnungen vergleichbar, obwohl die notwendige Signallänge für eine Detektion stark variiert wurde: Finn- und Blauwale haben ca. 0,4 bis 2 % ihrer natürlichen Kommunikationsdistanz. Für Weddellrobben sind die Ergebnisse - abhängig vom getesteten Vokalisationstypen - aber viel variabler. Das Verhältnis ist demzufolge hochgradig abhängig von der Vokalisation der Tiere und kann somit nicht in einem vereinfachten Modell ausgedrückt werden. Graphen für alle Szenarien sind in Appendix C zu finden.

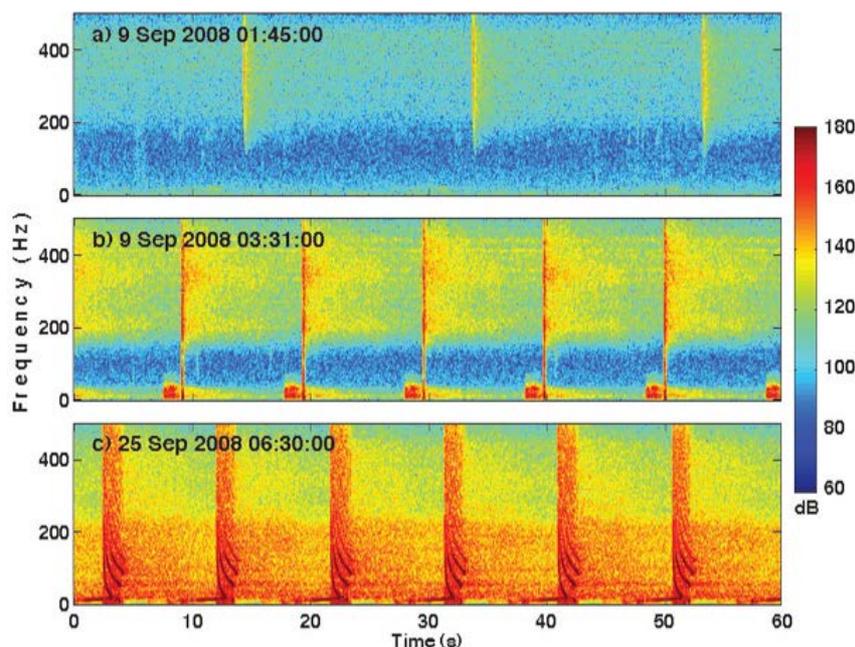
Es ergibt sich, dass bereits kleine Amplitudenfluktuationen (geringfügige Variationen des Frequenzspektrums und der Amplitude des verwendeten Signals) des Umgebungsrauschens, das für die Berechnungen benutzt wurde, zu einer Erhöhung sowohl der berechneten natürlichen Kommunikationsreichweite, als auch der berechneten maskierten Kommunikationsreichweite führen können, wenn die für eine Erkennung notwendige Signallänge reduziert wird. Das Verhältnis zwischen diesen beiden ändert sich jedoch nicht drastisch. Wenn wir also annehmen, dass Tiere in der Lage sind, Signale in intervallartigem Lärm effizient wahrzunehmen, ändert dies die Wirksamkeit der Kommunikation generell, führt jedoch nicht zu einer wesentlichen Reduzierung des Maskierungseffekts.

8 Diskussion

8.1 Modellierung der Schallausbreitung

Die Modellierung der Schallausbreitung im Südlichen Ozean zeigt, dass berechnete empfangene Schalldruckpegel selbst in einer Entfernung von 2000 km über dem angenommenen Wert des Hintergrundrauschens liegen. Folglich besteht selbst in diesen sehr großen Entfernungen ein Maskierungspotential. Die Ergebnisse müssen jedoch mit Vorsicht behandelt werden, bis weitere gemessene Daten von Airgunsignalen südlich von 60° S in der erforderlichen Empfängertiefe mit ausreichender Bandbreite vorliegen, um zu bewerten, wie akkurat das Schallausbreitungsmodell den Übertragungsverlust in diesen großen Entfernungen vorhersagt. Zur Erlangung derartiger Daten schlagen wir eine langfristige Beobachtung des Hintergrundrauschens vor, bei der die Aufnahmegeräte gleichzeitig Vokalisationen von marinen Säugern im tiefen Frequenzbereich aufzeichnen können. Entfernungen zu den seismischen Untersuchungsschiffen und die genutzte Konfiguration müssen bekannt sein, um die Modellierungsergebnisse zu bestätigen. Falls große Unterschiede zwischen modellierten und gemessenen Daten auftreten, muss der Modellierungsansatz angepasst werden und, falls erforderlich, ein komplexerer Ansatz entwickelt werden.

Abb. 8-1 Airgun-Impulse in unterschiedlichen Entfernungen von der Quelle



Die unterste Abbildung zeigt ein vollständiges Airgun-Array mit Signaldehnung bei 17,5 km zur Quelle. Sie enthält abwärts geschwungene Komponenten. Ursprüngliche Überschrift: „Repräsentative Spektrogramme der seismischen Aktivität von der M/V Gilavar: (a) AbschwächungsAirgun in 18,5 km Entfernung aufgenommen bei DASAR 1 A (der flachste DASAR am Standort 1) am 9. September 2008 um 1.45 Uhr; (b) vollständiges Airgun-Array in 6,5 km Entfernung, bei DASAR 1 A am 9. September 2008 um 3,31 Uhr (c) vollständiges Airgun-Array in 17,5 km Entfernung bei DASAR 4G (der tiefste DASAR am Standort 4) am 25. September 2008 um 6.30 Uhr. Das unter 50 Hz liegende Vorsignal das vor Ankunft des Hauptpulses in (b) sichtbar ist, stammt von einer Vorwelle, die aus dem Substrat emittiert, und die frequenz-modulierten Abwärtsschwünge, die in (c) sichtbar sind, stammen aus der geometrischen Streuung verschiedener normaler Modenkünfte.“ (aus Guerra et al., 2011).

Nichtsdestotrotz übersteigen die vorhergesagten Airgunpegel das Hintergrundrauschen um bis zu 45 dB in der modellierten Entfernung von 500 bis 2000 km. Dies deutet darauf hin, dass, selbst wenn Pegel aufgrund eines angepassten Schallausbreitungsmodells abnehmen, dies wahrschein-

lich nicht zu einem Nullpotential für Maskierung führt. Weiterhin zeigen Messungen bei der Himmelfahrtsinsel, dass das Umgebungsrauschen bei 63 Hz im Jahresdurchschnitt durch Airgun-Signale von entfernten seismischen Untersuchungen um etwa 3 dB erhöht wird (van der Schaar et al. 2013).

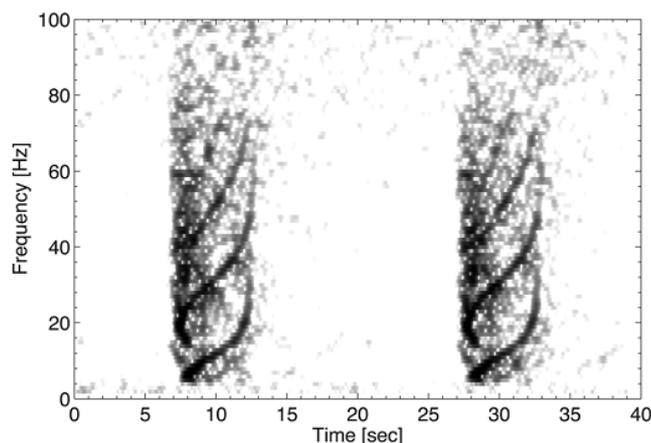
Diese Ergebnisse stimmen zumindest teilweise mit der Erwartung von hohen Schalldruckpegeln überein, die in große Entfernungen von seismischen Untersuchungen bezüglich der Bildung von gedehnten Signalen mit möglichen tonalen Komponenten, wie diese von Guerra et al. (2011) (Abb. 8-1) beobachtet und von MacGillivray & Chapman (2006) modelliert wurden. MacGillivray und Chapman (2006) sagten jedoch vorher, dass sich die größte Energie des Signals in den Frequenzbändern unter 500 - 600 Hz befindet, abhängig von den Schallgeschwindigkeitsprofilen auf 25 m Empfängertiefe für das Queen Charlotte Becken (Britisch-Kolumbien, Kanada), im Vergleich zu der Obergrenze von 300 Hz, die in unserer Studie ermittelt wurde. Die Vorhersagen beider Studien stimmen darin überein, dass

- Schallausbreitungseffekte in flachen Gebieten zu höherem Übertragungsverlust führen
- in tieferen Gebieten Oberflächenkanäle zu einem geringeren Übertragungsverlust führen und somit zu höheren empfangenen Schalldruckpegeln in großen Entfernungen

Folglich ist das Maskierungspotential in tiefen Gebieten höher, es ist jedoch auch in flachen Gebieten nicht unerheblich.

Spektrogramme der hier modellierten empfangenen Airgun-Impulsen weisen weiterhin sehr große Ähnlichkeiten mit Airgun-Impulsen auf, die 10 m über dem Meeresboden in der Tschuktschensee in einer Wassertiefe von 235 m aufgezeichnet wurden (Roth et al. 2012, Abb. 8-2). Dies bestärkt das Vertrauen in die Zuverlässigkeit der modellierten Frequenzgehalt und dass die Maskierungsberechnungen folglich unter Verwendung korrekter Frequenzinformationen durchgeführt wurden.

Abb. 8-2 In der Tschuktschensee aufgezeichnete Airgun-Schüsse



In der Tschuktschensee aufgezeichnete Airgun-Schüsse weisen große Ähnlichkeiten zum modellierten Airgun-Frequenzgehalt in der vorliegenden Studie auf. Ursprüngliche Überschrift: „Modendispersion zweier Airgun-Schüsse, die vom Hydrophon 10 m über dem Meeresboden empfangen wurden. Die Schüsse, die 20 s voneinander abgegeben wurden, enthalten jeweils vier Moden, die als Frequenz-Aufwärtsschwünge beobachtet wurden. Die Moden sind über mehr als 5 s mit einer Energie zwischen 7 und 80 Hz auseinandergezogen (aus Roth et al. 2012).

Die höchsten, von Roth et al. (2012) dargestellten Frequenzen sind niedriger als unser Modell-ergebnis, jedoch ist dies möglicherweise auf Einschränkungen des Aufnahmegeräts oder Unter-

schiede in den Umweltbedingungen, die wir bei unserer Modellierungsübung angenommen haben, zurückzuführen.

8.2 Bedeutung von Maskierung aufgrund von Airgun-Impulslärm

Obwohl eine Reihe von Fragen noch unbeantwortet sind (nachfolgend erläutert), zeigt das Ergebnis der vorliegenden Studie, dass Maskierung durch Airgun-Impulslärm sehr wahrscheinlich ist und ein Populationseffekt nicht ausgeschlossen werden kann. Auf Basis der Annahmen die für unser Ausbreitungs- und Maskierungsmodell getroffen wurden (insbesondere, dass die Detektionsschwelle, die Signalverstärkung und der Richtindex null sind und der Leaky-Integrator ein für das Gehör von Bartenwalen und Robben geeignetes Modell ist), kommen wir zu folgenden Schlüssen:

- Ein Modell zur Vorhersage potentieller Maskierung durch periodische Geräusche wurde etabliert. Dieses Modell basiert auf einem Leaky-Integrator und Pegeldetektor, kombiniert mit einem einfachen Modell für die Schallausbreitung von Tiervokalisationen. Erforderliche Eingangsgrößen sind die Wellenformen der empfangenen Airgun-Signale und qualitativ hochwertige Aufnahmen der betroffenen Tierarten, und des Hintergrundrauschens sowie den notwendigen Anteil von unbehinderter Kommunikationszeit für eine Detektion. Angesichts der starken Variation im Kommunikationsverlust je nach gewählter Vokalisation und Tierart empfehlen wir im Augenblick nicht, von diesen Ergebnissen auf andere Tierarten zu schließen, die nicht innerhalb des vorliegenden Projekts modelliert wurden. Bei den modellierten Tierarten können wir schlussfolgern, dass für Blau- und Finnwale der Verlust an Kommunikationsreichweite höchstwahrscheinlich schwerwiegend ist und eine Auswirkung auf Populationsebene haben kann. Bei den vokal äußerst aktiven Weddellrobben wäre eine Modellierung aller bekannten Vokalisationen erforderlich, um Schlussfolgerungen zu potentiellen Effekten von Airgun-basierten Maskierungseffekten auf Populationsebene zu ziehen.
- Wir haben kein Populationseffektmodell aufgestellt, da die Ungewissheiten innerhalb der Schallausbreitungsmodellierung für diese großen Entfernungen groß sind. Die Modellierungsergebnisse müssen nun durch reale Felddaten bestätigt werden, indem Aufnahmen mit ‚sub-sea-noise‘-Hydrophonen (Hydrophone mit extrem geringem eigenem elektronischen Rauschen) und verlässliche Entfernungsschätzungen zwischen Empfänger- und seismischen Untersuchungsschiffen durchgeführt werden. Die meisten verfügbaren Daten stammen jedoch von am Boden ausgebrachten Hydrophonen. Die wahrscheinlich am stärksten betroffenen Bartenwale nutzen hingegen überwiegend die obere Wassersäule bis zu ~200 m Tiefe und unternehmen keine tiefen Tauchgänge. Folglich sind Daten von Aufnahmegeräten am Meeresboden von beschränkter Aussagekraft für die Abschätzung der Auswirkungen auf Bartenwale. Weiterhin wird in der Praxis beobachtet, dass der gemessene Schallübertragungsverlust eher höher ist, als mit numerischen Modellen wie z.B. in dieser Studie ermittelt, da eine überdimensionale Absorption der tiefen Frequenzanteilen im Ozean erfolgt. Die Ursache der Abschwächung dieser tiefen Frequenzen ist unbekannt (Kibblewhite & Hampton, 1980). Der Unterschied steigt mit der Entfernung.
- Das Maskierungspotential ist für tiefe Frequenzen unter 300 Hz am größten. Folglich sind Bartenwale und antarktische Robbenarten wahrscheinlich die am stärksten betroffenen Tierarten. Vokalisationen und andere für Biota relevante Signale mit dem höchsten Energieinhalt über 300 Hz sind wahrlich nicht oder nur geringfügig betroffen, Zahnwale sind daher vermutlich grundsätzlich weniger stark betroffen.
- Das Maskierungspotential ist bei der Schallausbreitung in tieferen Gebieten größer. Folglich sind Tiere möglicherweise über größere Entfernungen betroffen, wenn sie sich südlich des

60 °S Breitengrades aufhalten, selbst wenn seismische Untersuchungsschiffe nördlich des 60 °S Breitengrades arbeiten.

- Das Maskierungspotential kann selbst bei Entfernungen hoch sein, bei denen die Signaldehnung nicht zu einem so stark verlängerten Empfangssignal führt, dass das gesamte Airgun-Schussintervall abdeckt. Insbesondere bei langen Vokalisationssignalen, wie denen von Blau- und Finnwalen, wird ein Maskierungspotential vorhergesagt, das bei 500 km höher liegt als bei 2000 km. Die Größenordnung des Kommunikationsverlustes ist aber ähnlich.
- Die geschätzte Reduzierung der Kommunikationsreichweite aufgrund der Präsenz von Airgun-Geräuschen ist bei Blau- und Finnwalen am höchsten. Da diese geschätzte Reduzierung um etwa zwei Zehnerpotenzen niedriger als die geschätzte Kommunikationsreichweite ohne die Airgun-Geräusche ist, kann ein Effekt auf Populationsebene nicht ausgeschlossen werden. Dies hängt jedoch stark davon ab, wann die Airgun eingesetzt werden (saisonale Abundanz, Nutzung von Lauten für die Nahrungsaufnahme, Paarung oder Prädatorenvermeidung usw.) und wie lang und gut die Tiere den Maskierungseffekt (zum Beispiel durch Redundanz ihrer Rufe oder erhöhte Schalldruckpegel) abschwächen können. Eine Frequenzverschiebung ist bei Blau- und Finnwal Rufen höchstwahrscheinlich nicht effektiv, da die empfangenen Airgun-Signale Breitbandcharakteristik haben. Z-Rufe von Blauwalen werden in der Antarktis das ganze Jahr über aufgezeichnet. Daher kann Maskierung für diese bereits dezimierte Tierart, von der nur noch wenige tausend Individuen vorhanden sind, die stärkste Auswirkung haben, weil sie über große Entfernungen von wahrscheinlich bis zu 1.300 km hinweg kommunizieren müssen. Es ist wahrscheinlich, dass eine theoretische Kommunikationsentfernung die für einzelne Wale notwendigen Kommunikationsentfernungen überschätzt. Jedoch sind für eine bereits dezimierte Tierart, wie den Blauwal, die notwendigen Kommunikationsreichweiten höchstwahrscheinlich bereits erhöht im Vergleich zu natürlichen Bedingungen in denen Blauwale zahlreicher waren. Folglich ist die Anwendung des Vorsorgeprinzips notwendig, solange die tatsächlichen Auswirkungen der durch den Einsatz von Airgunn verursachten Kommunikationsmaskierung auf Populationsebene für Blauwale und andere bedrohte marine Säugetiere in der Antarktis nicht durch weiterführende Forschungsprojekte analysiert worden sind.
- Robben sind höchstwahrscheinlich weniger betroffen, aber insbesondere die weit tragenden tieffrequenten Anteile ihrer Vokalisationen könnten maskiert werden. Dies betrifft meist nicht das volle Spektrum eines frequenzmodulierten Signales; folglich sind Teile der Vokalisationen nicht maskiert. Die biologische Bedeutung dieser ‚teilweisen‘ Maskierung ist also davon abhängig, ob die Tiere zur Detektion stark vom tieffrequenten Anteil der Vokalisation abhängig sind. Gleiches gilt für den oberen Frequenzbereich der Finnwalvokalisation: Ist der Unterschied zwischen 90 und 100 Hz für die Tiere wichtig (falls sie zum Beispiel die Informationen benötigen, um den korrekten Sexualpartner zu finden), dann ist die Wahrnehmung dieses schwachen Signals von biologischer Bedeutung und daher entscheidend. Solche Verhaltensaspekte wurden in den Modellierungsansatz nicht einbezogen.
- Der Ansatz, den Leaky-Integrator als Modell zur Detektion der empfangenen Signale zu verwenden, hat aufgrund der Möglichkeiten, unterschiedliche Überlappungsdauern zwischen Airgun und Vokalisation zu nutzen und Parameter wie die Zeitkonstante der Integration zu variieren, wichtige Einblicke in das Maskierungspotential von Airguns ermöglicht. Einschränkungen ergeben sich jedoch aus der Tatsache, dass der Leaky-Integrator (gegenwärtig) nicht mit der Fähigkeit der Tiere umgehen kann, Signale aus unterschiedlichen

Einfallswinkeln mit höherer Präzision wahrzunehmen (Richtindex). Dies basiert auf der Fähigkeit des Gehörs eine Richtung zur Schallquelle zu abzuschätzen. Mit wachsendem Unterschied des Einfallswinkels zwischen zwei Schallquellen wird deren Trennung erheblich erleichtert. Es liegen keine Daten vor, um das directionale Hörvermögen von Bartenwalen vorherzusagen und diese nachfolgend als einen Parameter für diese Modellierungsübung zu verwenden. Diese Einschränkung könnte im Kontext von kontrollierten Expositionsexperimenten ausgeräumt werden.

- Passives Hören (Hören von nicht-innerartlichen Geräuschen, die für das Tier wichtig sind) sowie mögliche Maskierungseffekte natürlicher Quellen, die auch große Auswirkungen haben könnten, wurden innerhalb des vorliegenden Projekts nicht berücksichtigt. Prior et al. (2011, 2012) haben zum Beispiel hervorgehoben, dass die Verwendung von langfristigen Datensätzen aus Hydrophonstationen auf große Einflüsse durch Eislärm (Station Kap Leuwin, Westaustralien) und natürliche seismische Aktivität (Juan Fernandez, Chile) hinweisen. Diese natürlichen Geräusche überlappen sich im Frequenzgehalt ebenfalls mit den Vokalisationen mariner Säugetiere und müssen bei der Bewertung auf Populationsebene berücksichtigt werden, um ihre möglichen Maskierungseffekte in ein Verhältnis zum zusätzlichen Effekt durch seismische Airgunn zu setzen.
- Natürliche Schallquellen einschließlich der Vokalisationen von entfernten Bartenwalpopulationen könnten ebenfalls zur Maskierung beitragen. Diese Möglichkeit wurde jedoch innerhalb des vorliegenden Projekts nicht berücksichtigt. Die Einführung von zusätzlichen natürlichen Geräuschquellen erhöht das Hintergrundrauschen und reduziert folglich die geschätzte Kommunikationsreichweite ohne Airgun-Signale. Das Signal-Rausch-Verhältnis von Tiervokalisationen gegenüber einem derartig erhöhten Hintergrundrauschen reduziert sich und führt zu einer Reduzierung des Verlustes an Kommunikationsreichweite durch die Präsenz von Airgun-Signalen.

Die Ergebnisse stützen sich auf die Annahme, dass das verwendete Modell geeignet ist, das Sinnessystem des Gehörs zu beschreiben. Die Verwendung eines anderen Modells kann sich auf unsere Schlussfolgerungen auswirken. Es wird jedoch allgemein davon ausgegangen, dass das Gehör von Säugetieren wie Energiedetektor wirkt, und folglich scheint der Leaky-Integrator ein geeignetes erstes Modell zu sein, solange andere, detailliertere Kenntnisse über die betrachteten Tierarten nicht vorliegen.

Das entwickelte Modell der Schallausbreitung erlaubt eine zuverlässige Schätzung der Signaldämpfung und kann anderen Umweltbedingungen angepasst werden. Das Maskierungsmodell erlaubt derzeit die Schätzung des Verlusts an akustischer Kommunikationsreichweite und weist auf Basis der verwendeten Annahme auf eine hohe Wahrscheinlichkeit von Maskierungseffekten bis zu Entfernungen von 2000 km hin. Für die betrachteten Bartenwal-Vokalisationen wurde ein hohes Potential für Maskierung demonstriert, dass unter dem Vorsorgeprinzip beachtet werden sollte. Obwohl es notwendig erscheint eine Bewertung der Auswirkungen auf Populationsebene vorzunehmen, sind die Unsicherheiten zur Schallausbreitung und Modellierung der Maskierung bei diesen Modellen noch zu groß. Sie könnten noch in einer Größenordnung liegen, die sich wahrscheinlich auf das Ergebnis einer Bewertung auf Populationsebene auswirkt. Vor einer Bewertung auf Populationsebene müssen deshalb weitere Daten zu den empfangenen Airgun-Signalen und, wenn möglich, zu Hörmechanismen und dem Sinnessystem von Bartenwalen und Robben gesammelt werden, um die in der vorliegenden Studie beschriebenen Zusammenhänge zu untermauern.

9 Quellen

- Aburto, A., Rountry, D., and Danzer, J. (1997). "Behavioural response of blue whales to active signals," Technical report 1746, San Diego, pp. 96.
- Acevedo, A., and Smultea, M. (1995). "First record of humpback whales including calves at Golfo Dulce and Isla Del Coco, Costa Rica, suggesting geographical overlap of northern and southern hemisphere populations," *Mar Mammal Sci* **11**, 554-560.
- Acevedo, J., Olavarría, C., Plana, J., Aguayo-Lobo, A., Larrea, A., and Pastene, L. A. (2010). "Occurrence of dwarf minke whales (*Balaenoptera acutorostrata subsp.*) around the Antarctic Peninsula," *Polar Biol* **34**, 313-318.
- Aguilar, A. (2009). "Fin whale – *Balaenoptera physalus*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals*, (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 437.
- Ainley, D. G., Jongsomjit, D., Ballard, G., Thiele, D., Fraser, W. R., and Tynan, C. T. (2011). "Modelling the relationship of Antarctic minke whales to major ocean boundaries," *Polar Biol* **35**, 281-290.
- Amano, M., and Yoshioka, M. (2003). "Sperm whale diving behaviour monitored using a suction-cup-attached TDR tag," *Mar Ecol Prog Ser* **258**, 291-295.
- Amos B., Schlotterer, C., and Tautz, D. (1993). „Social structure of pilot whales revealed by analytical DNA profiling," *Science* **260**, 670-672.
- Andrew, R.K., Howe, B. M., Mercer, J. A., and Dzieciuch, M. A. (2002). "Ocean ambient sound: comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast," *Acoust Res Lett Onl* **3**:65-70.
- Andrews, R. D., Pitman, R. L., and Ballance, L. T. (2008). "Satellite tracking reveals distinct movement patterns for Type B and Type C killer whales in the southern Ross Sea, Antarctica," *Polar Biol* **31**, 1461-1468.
- Andriolo, A., Kinas, P., Engel, M., and Albuquerque Martins, C. (2006). "Monitoring humpback whale (*Megaptera novaengliae*) population in the Brazilian Breeding ground, 2002 to 2005," *Rep Int Whal Commn* **SC/58/SH15**, 12.
- Aoki, K., Amano, M., Yoshioka, M., Mori, K., Tokuda, D., and Miyazaki, N. (2007). "Diel diving behaviour of sperm whales off Japan," *Mar Ecol Prog Ser* **349**, 277-287.
- Armstrong, A. J., and Siegfried, W. R. (2004). "Consumption of Antarctic krill by minke whales," *Antarct Sci* **3**, 13-18.
- Arnold, P., Birtles, R., and Dunstan, A. (2005). "Colour patterns of the dwarf minke whale *Balaenoptera acutorostrata* sensu lato: description, cladistic analysis and taxonomic implications," *Memoirs of the Queensland Museum* **51**, 277-307.
- Arnould, J. (2009). "Southern fur seals *Arctocephalus spp.*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 1079-1084.
- Au, W. W. L. (1993). "The Sonar of Dolphins" Springer Verlag.
- Au, W. W. L., and Moore, P. W. B. (1990). "Critical ratio and critical bandwidth for the Atlantic bottlenose dolphin," *J Acoust Soc Am* **88**, 1635-1638.

- Au, W. W. L., Pack, A. A., Lammers, M. O., Herman, L. M., Deakos, M. H., and Andrews, K. (2006). "Acoustic properties of humpback whale songs," *J Acoust Soc Am* **120**, 1103.
- Aurioles, D. and Trillmich, F. (IUCN SSC Pinniped Specialist Group) (2008). "*Arctocephalus gazella*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 27, 2012.
- Authier, M., Dragon, A. C., Richard, P., Cherel, Y., and Guinet, C. (2012). "O' mother where wert thou? Maternal strategies in the southern elephant seal: a stable isotope investigation," *Proc Biol Sci* **279**, 2681-90.
- Awbrey, F. T., Thomas, J. A., Evans, W. E., and Leatherwood, S. (1982), "Ross sea killer whale vocalisations; Preliminary description and comparison with those of some northern Hemisphere killer whales," *Rep Int Whal Commn* **32** 667-670.
- Babushina, Ye.S., Zaslavskij, G.L. and Yurkevich, L.I. (1991). "Air and underwater hearing characteristics of the northern fur seal: audiograms, frequency and differential thresholds," *Biophysics* **36**, 909-913.
- Backus, R. H., and Schevill, W. E. (1966), "Physeter clicks," In K. S. Norris (Ed) *Whales, dolphins, and porpoises*. Univ. Calif. Press, Berkeley. pp. 510-528.
- Bailleul, F., Charrassin, J. B., Ezraty, R., and Girard-Arduin, F. (2007a). "Southern elephant seals from Kerguelen Islands confronted by Antarctic Sea ice Changes in movements and in diving behaviour," *Deep-Sea Res PT II* **54**, 343-355.
- Bailleul, F., Charrassin, J. B., Monestiez, P., Roquet, F., Biuw, M., and Guinet, C. (2007b). "Successful foraging zones of southern elephant seals from the Kerguelen Islands in relation to oceanographic conditions," *Philos T Roy Soc B* **362**, 2169-81.
- Bailleul, F., Luque, S., Dubroca, L., Arnould, J., and Guinet, C. (2005). "Differences in foraging strategy and maternal behaviour between two sympatric fur seal species at the Crozet Islands," *Mar Ecol Prog Ser* **293**, 273-282.
- Bailleul, F., Pinaud, D., Hindell, M., Charrassin, J. B., and Guinet, C. (2008). "Assessment of scale-dependent foraging behaviour in southern elephant seals incorporating the vertical dimension: a development of the First Passage Time method," *J Anim Ecol* **77**, 948-57.
- Bain, D.E., and Dahlheim, M.E. (1994). „Effects of masking noise on detection thresholds of Killer whales," In: *Marine Mammals and the Exxon Valdez*. Academic Press, San Diego, 243-256.
- Baird, R., Borsani, J., Hanson, M., and Tyack, P. (2002). "Diving and night-time behaviour of long-finned pilot whales in the Ligurian Sea," *Mar Ecol Prog Ser* **237**, 301-305.
- Baraff, L. (1993). "Separation of humpback whale mothers and calves on a feeding ground in early autumn," *Mar Mammal Sci* **9**, 431-434.
- Baraff, L., Clapham, P., and Mattila, D. (1991). "Feeding behavior of a humpback whale in low-latitude waters," *Mar Mammal Sci* **7**, 197-202.
- Barlow, J., and Gisiner, R. (2006). "Mitigating, monitoring and assessing the effects of anthropogenic sound on beaked whales," *J Cetacean Res Manage* **7**, 239-249.
- Barlow, J., Ferguson, M., Perrin, W., Ballance, L., Gerrodette, T., Joyce, G., MacLeod, C., et al. (2005). "Abundance and densities of beaked and bottlenose whales (family *Ziphiidae*)," *J Cetacean Res Manage* **7**, 263-270.

- Baumgartner, M. F., and Fratantoni, D. M. (2008). "Diel periodicity in both sei whale vocalisation rates and the vertical migration of their copepod prey observed from ocean gliders," *Limnol Oceanogr* **53**, 2197-2209.
- Baumgartner, M. F., Van Parijs, S. M., Wenzel, F. W., Tremblay, C. J., Carter Esch, H., and Warde, A. M. (2008). "Low frequency vocalisations attributed to sei whales (*Balaenoptera borealis*)," *J Acoust Soc Am* **124**, 1339-49.
- Beamish, P. (1979), "Behaviour and significance of entrapped baleen whales," In H.E. Winn and B.L. Olla (Eds.) *Behaviour of marine mammals, Vol 3: Cetacean* (Plenum, New York), pp. 291-309.
- Beamish, P., and Mitchell, E. (1971), "Ultrasonic sounds recorded in the presence of a blue whale *Balaenoptera musculus*," *Deep-Sea Res* **18**(8) 803-809.
- Beamish, P. and Mitchell, E. (1973). "Short pulse length audio frequency sounds recorded in the presence of a minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*)," *Deep-Sea Res* **20**(4) 375-386.
- Bengtson, J. L. (2009). "Crabeater seal," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals*(Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 290-292.
- Bengtson, J. L., and Stewart, B. S. (1992). "Diving and haulout behavior of crabeater seals in the Weddell Sea, Antarctica, during March 1986," *Polar Biol* **12**, 635-644.
- Bengtson, J. L., and Stewart, B. S. (1997). "Diving patterns of a Ross seal (*Ommatophoca rossii*) near the eastern coast of the Antarctic Peninsula," *Polar Biol* **18**, 214-218.
- Bennett, K. A., McConnell, B. J., and Fedak, M. A. (2001). "Diurnal and seasonal variations in the duration and depth of the longest dives in southern elephant seals (*Mirounga leonina*): possible physiological and behavioural constraints," *J Exp Biol* **204**, 649-62.
- Berta, A. (2009). "Pinnipedia, overview," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 878-885.
- Best, P. B. (1985). "External characters of southern minke whales and the existence of a diminutive form," *Sci Rep Whales Res Inst* **36**, 1-33.
- Best, P. B. (1993). "Increase rates in severely depleted stocks of baleen whales," *ICES J Mar Sci* **50**, 169-186.
- Bester, M., and Hofmeyr, G. (2005). "Numbers of elephant seals at Prince Edward Island, Southern Ocean," *S Afr J Wildl Res* **35**, 85-88.
- Blix, A. S., and Nordøy, E. S. (2007). "Ross seal (*Ommatophoca rossii*) annual distribution, diving behaviour, breeding and moulting, off Queen Maud Land, Antarctica," *Polar Biol* **30**, 1449-1458.
- Boebel, O., Breitzke, M., Burkhardt, E., and Bornemann, H. (2009). "Strategic assessment of the risk posed to marine mammals by the use of airguns in the Antarctic Treaty area," Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Germany, 269p.
- Boehme, L., Meredith, M. P., Thorpe, S. E., Biuw, M., and Fedak, M. (2008). "Antarctic Circumpolar Current frontal system in the South Atlantic: Monitoring using merged Argo and animal-borne sensor data," *J Geophys Res* **113**, 1-19.
- Bonner, W. (1981). "Southern fur seals *Arctocephalus* (Geoffroy Saint-Hilaire and Cuvier, 1826)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 1: The Walrus, Sea Lions, Fur Seals and Sea Otter* (Academic Press, London), pp. 161-208.

- Bornemann, H., Kreyscher, M., Ramdohr, S., Martin, T., Carlini, L., Sellmann, L., and Ploetz, J. (2000). "Southern elephant seal movements and Antarctic sea ice," *Antarct Sci* **12**, 3-15.
- Boveng, P. L. (1993). "Variability in a crabeater seal population and the marine ecosystem near the Antarctic Peninsula," Unpublished PhD thesis, Montana State University, Bozeman, MT, 122 pp.
- Boveng, P. L., Walker, B. G., and Bengtson, J. L. (1996). "Variability in Antarctic fur seal dive data: implications for TDR studies," *Mar Mammal Sci* **12**, 543-554.
- Bowen, W., Beck, C., and Austin, D. (2009). "Pinniped ecology," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 852-861.
- Boyd, I. L. (2009a). "Antarctic marine mammals," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), pp. 42-46.
- Boyd, I. L. (2009b). "Pinniped life history," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 869-873.
- Boyd, I. L., Reid, K., and Bevan, M. (1995). "Swimming speed and allocation of time during the dive cycle in Antarctic fur seals," *Anim Behav* **50**, 769-784.
- Branch, T. A. (2006a). "Abundance of Antarctic blue whales south of 60°S from three complete circumpolar sets of surveys," *Rep Int Whal Commn* **SC/59/SH9**, 1-17.
- Branch, T. A. (2006b). "Humpback abundance south of 60°S from three completed sets of IDCR / SOWER circumpolar surveys," *Rep Int Whal Commn* **SC/AO6/HW6**, 14.
- Branch, T. A. (coordinator, and many IA subcommittee members) (2006c). "Possible reasons for the appreciable decrease in abundance estimates for Antarctic minke whales from the IDCR/SOWER surveys between the second and third circumpolar sets of cruises," *Rep Int Whal Commn* **SC/58/IA4**, 1-8.
- Branch, T. A. (2007a). "Abundance of antarctic blue whales south of 60°S from three completed circumpolar sets of surveys," *J Cetacean Res Manage* **9**, 87-96.
- Branch, T. A. (2007b). "Current status of Antarctic blue whales based on Bayesian modelling," *Rep Int Whal Commn* **SC/60/SH7**, 10.
- Branch, T. A. (2011). "Humpback whale abundance south of 60°S from three complete circumpolar sets of surveys," *J Cetacean Res Manage* **Special Is**, 53-69.
- Branch, T. A., and Butterworth, D. S. (2001). "Estimates of abundance south of 60°S for cetacean species sighted frequently on the 1978/79 to 1997/98 IWC/IDCR-SOWER sighting surveys," *J Cetacean Res Manage* **3**, 251-270
- Branch, T. A., Matsuoka, K., and Miyashita, T. (2004). "Evidence for increases in Antarctic blue whales based on baysian modelling," *Mar Mammal Sci* **20**, 726-754.
- Branch, T. A., Mikhalev, Y. a., and Kato, H. (2009). "Separating pygmy and Antarctic blue whales using long-forgotten ovarian data," *Mar Mammal Sci* **25**, 833-854.
- Branch, T. A., Stafford, K. M., Palacios, D. M., Allison, C., Bannister, J. L., Burton, C. L. K., Cabrera, E., et al. (2007). "Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the southern hemisphere and northern Indian Ocean," *Mammal Rev* **37**, 116-175.

- Brandão, A., Butterworth, D. S., Müller, A., and Best, P. B. (2012). "Application of a photo-identification based assessment model to southern right whales in South African waters," Rep Int Whal Commn **SC/64/BRG**, 15.
- Brandt, M., Diederichs, A., Betke, K., and Nehls, G. (2011). "Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea," Mar Ecol Prog Ser **421**, 205-216.
- Bravington, M., and Hedley, S. (2012). "Abundance estimates of Antarctic minke whales from the IWC IDCR/SOWER surveys, 1986-2002," Rep Int Whal Commn **SC64/IA13**, 1-17.
- Breitzke, M., and Bohlen, T. (2010). "Modelling sound propagation in the Southern Ocean to estimate the acoustic impact of seismic research surveys on marine mammals," Geophys J Int **181**, 818-846.
- Brenowitz, E. A. (1982). "The active space of red-winged blackbird song," J Comp Physiol **147**, 511-522.
- Burns, J. M., Costa, D. P., Fedak, M. A., Hindell, M. A., Bradshaw, C. J. A., Gales, N. J., McDonald, B., et al. (2004). "Winter habitat use and foraging behavior of crabeater seals along the Western Antarctic Peninsula," Deep-Sea Res Pt II **51**, 2279-2303.
- Burns, J. M., Hindell, M. A., Bradshaw, C. J. A., and Costa, D. P. (2008). "Fine-scale habitat selection of crabeater seals as determined by diving behavior," Deep-Sea Res **55**, 500-514.
- Busnel, R. G. and Dziedzic, A. (1966). "Caracteristiques physiques de certains signaux acoustiques du delphidide *Sterno bredanensis*," Lesson C R Acad Sci, Paris, Ser. D **262**, 143-146.
- Caldwell, M.C., and Caldwell, D.K. (1965). "Individualized whistle contours in bottlenosed dolphins (*Tursiops truncatus*)," Nature **207**, 434-435.
- Caldwell, M.C., Caldwell, D.K., and Tyack, P.L. (1990). "Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic Bottlenose Dolphin," In: S. Leatherwood and R.R. Reeves (Eds.), *The Bottlenose Dolphin* (Academic Press, New York) pp. 199-234.
- Campagna, C. (IUCN SSC Pinniped Specialist Group) (2008). "*Mirounga leonina*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Campagna, C., Piola, A. R., Marin, M. R., Lewis, M., Zajaczkovski, U., and Fernández, T. (2007). "Deep divers in shallow seas: southern elephant seals on the Patagonian shelf," Deep-Sea Res Pt I **54**, 1792-1814.
- Carlini, A. R., Daneri, G. A., Márquez, M. E. I., Bornemann, H., Panarello, H., Casaux, R., Ramdohr, S., et al. (2005). "Food consumption estimates of southern elephant seal females during their post-breeding aquatic phase at King George Island," Polar Biol **28**, 769-775.
- Carrick, R., and Ingham, S. E. (1962). "Studies on the southern elephant seal, *Mirounga leonina* (L.). I. Introduction to the series," CSIRO Wildl Res **7**, 89-101.
- Casaux, R., Baroni, A., Arrighetti, F., Ramon, A., and Carlini, A. (2003). "Geographical variation in the diet of the Antarctic fur seal *Arctocephalus gazella*," Polar Biol **26**, 753-758.
- Casaux, R., Baroni, A., Ramón, A., Carlini, A., Bertolin, M., and DiPrinzio, C. Y. (2008). "Diet of the Leopard Seal *Hydrurga leptonyx* at the Danco Coast, Antarctic Peninsula," Polar Biol **32**, 307-310.

- Castellote, M., Clark, C. W., and Lammers, M. O. (2010). "Potential negative effects in the reproduction and survival on fin whales (*Balaenoptera physalus*) by shipping and airgun noise," Rep Int Whal Commn **SC/62/E3**, 12.
- Castellote, M., Clark, C. W., and Lammers, M. O. (2012). "Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise," Biol Conserv **147**, 115-122.
- Cato, D. H. (1991). "Song of Humpback Whales: The Australian Perspective," Memoirs of the Queensland Museum **30**, 277-290.
- Charif, A., Mellinger, K., Dunsmore, K. M., and Clark, C. W. (2002). "Estimated source levels of fin whale (*Balaenoptera physalus*) vocalisations: Adjustment for surface interference," Mar Mammal Sci **18**, 81-98.
- Ciaputa, P., and Siciński, J. (2006). "Seasonal and annual changes in Antarctic fur seal (*Arctocephalus gazella*) diet in the area of Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands," Pol. Polar Res **27**, 171-184.
- Clapham, P. (2009). "Humpback whale – *Megaptera novaengliae*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 582-585.
- Clark, C. W. (1982). "The acoustic repertoire of the southern right whale, a quantitative analysis," Anim Behav **30**(4), 1060-1071.
- Clark, C. W. (1983). "Acoustic communication and behavior of the southern right whale (*Eubalaena australis*)," In R. Payne (Ed) Communication and behavior of whales. AAAS Sel. Symp. **76**. Westview Press, Boulder, pp. 163-198.
- Clark, C. W. (2002). "Vocal activity of fin whales *Balaenoptera physalus*, in the Ligurian sea," Mar Mammal Sci **18**, 286-295.
- Clark, C. W., and Clapham, P. J. (2004). "Acoustic monitoring on a humpback whale (*Megaptera novaengliae*) feeding ground shows continual singing into late Spring," Proc R Soc B **271**, 1051-7.
- Clark, C. W., and Gagnon, G. C. (2006). "Considering the temporal and spatial scales of noise exposures from seismic surveys on baleen whales," Rep Int Whal Commn **SC/58/E9**, 9.
- Clark, C. W., Ellison, W. T., Southall, B. L., Hatch, L., Van Parijs, S., Frankel, A., and Ponirakis, D. (2009). "Acoustic masking in marine ecosystems as a function of anthropogenic sound sources," Rep Int Whal Commn **SC-61 E10**, 19.
- Clausen, K. T., Wahlberg, M., Beedholm, K., Deruiter, S., and Madsen, P. T. (2010). "Click communication in harbour porpoises *Phocoena phocoena*," Bioacoustics **20**, 1-28.
- Coakes, A. K., and Whitehead, H. (2004). "Social structure and mating system of sperm whales off northern Chile," Can J Zool **82**, 1360-1369.
- Collins, K. T., and Terhune, J. M. (2007). "Geographic variation of Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) airborne mother-pup vocalisations," Polar Biol **30**, 1373-1380.
- Collins, K. T., Rogers, T. L., Terhune, J. M., McGreevy, P. D., Wheatley, K. E., and Harcourt, R. G. (2005). "Individual variation of in-air female 'pup contact' calls in Weddell seals, *Leptonychotes weddellii*," Behaviour **142**, 167-189.

- Collins, K. T., Terhune, J. M., Rogers, T. L., Wheatley, K. E., and Harcourt, R. G. (2006). "Vocal individuality of in-air Weddell seal (*Leptonychotes Weddellii*) pup 'primary' calls," *Mar Mammal Sci* **22**, 933-951.
- Cook, M. L., Varela, R. A., Goldstein, J.D., McCulloch, S.D., Bossart, G.D., Finneran, J.J., Houser, D. and Mann, D. A. (2006). "Beaked whale auditory evoked potential hearing measurements" *J Comp Physiol A* **192**(5), 489-495
- Cox, T. M., Ragen, T., Read, A., Vos, E., Baird, R., Balcomb, K., Barlow, J., et al. (2006). "Understanding the impacts of anthropogenic sound on beaked whales," *J Cetacean Res Manage* **7**, 177-187.
- Cranford, T. W. (1999). "The Sperm Whale's nose: Sexual Selection on a Grand Scale?," *Mar Mammal Sci* **15**, 1133-1157.
- Croll, D. A., Clark, C. W., Acevedo, A., Tershy, B., Flores, S., Gedamke, J., and Urban, J. (2002). "Only male fin whales sing loud songs," *Nature* **417**, 809.
- Croxall, J., Everson, I., Kooyman, G., Ricketts, C., and Davis, R. (1985). "Fur seal diving behaviour in relation to vertical distribution of krill," *J Anim Ecol* **54**, 1-8.
- Culik, B. M. (2004). "Review of small cetaceans - distribution, behaviour, migration and threats," UNEP/CMS Secretariat, Bonn, Germany, pp. 343.
- Cummings, W. (1985). "Right whales *Eubalaena glacialis* (Müller, 1776) and *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 3: The Sirenians and Baleen Whales* (Academic Press, London), pp. 275-304.
- Cummings, W., and Thompson, P. (1971). "Underwater Sounds from the Blue Whale, *Balaenoptera musculus*," *J Acoust Soc Am* **50**, 1193-1198.
- Cummings, W. C., and Thompson, P. E. (1994). "Characteristics and seasons of blue and finback whale songs along the U.S. west coast as recorded at SOSUS stations," *J Acoust Soc Am* **95**(5 pt 2), 2853.
- Cummings, W. C., Fish, J. F., and Thompson, P. O. (1972). "Sound production and other behavior of southern right whales, *Eubalaena [sic] glacialis*," *Trans San Diego Soc Nat Hist* **17**(1), 1-13.
- Cummings, W. C., Thompson, P. O., and Ha, S. J. (1986). "Sounds from Bryde, *Balaenoptera edeni*, and finback, *B. physalus*, whales in the Gulf of California," *Fish Bull* **84**(2), 359-370.
- Dalebout, M. L. (2002). "Species identity, genetic diversity & molecular systematic relationship among the *Ziphiidae* (beaked whales)," PhD thesis, School of Biological Sciences, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- Dalebout, M. L., Baker, C. S., Mead, J. G., Cockcroft, V. G., and Yamada, T. K. (2004a). "A comprehensive and validated molecular taxonomy of beaked whales, family *Ziphiidae*," *J Hered* **95**, 459-73.
- Dalebout M.L., Kirsty G. Russell, Murray J. Little & Paul Ensor (2004b). "Observations of live Gray's beaked whales (*Mesoplodon grayi*) in Mahurangi Harbour, North Island, New Zealand, with a summary of at-sea sightings," *J Roy Soc New Zeal*, **34**:4, 347-356
- Daneri, G. A., Carlini, A. R., Harrington, A., Balboni, L., and Hernandez, C. M. (2008). "Interannual variation in the diet of non-breeding male Antarctic fur seals, *Arctocephalus gazella*, at Isla 25 de Mayo/King George Island," *Polar Biol* **31**, 1365-1372.

- Daneri, G. A., Carlini, A. R., Hernandez, C. M., and Harrington, A. (2005). "The diet of Antarctic fur seals, *Arctocephalus gazella*, at King George Island, during the summer–autumn period," *Polar Biol* **28**, 329-333.
- Darling, J. D., Jones, M. E., and Nicklin, C. P. (2006). "Humpback whale songs: Do they organise males during the breeding season?," *Behaviour* **143**, 1051-1101.
- Davis, R., Fuiman, L., Williams, T., Horning, M., and Hagey, W. (2003). "Classification of Weddell seal dives based on 3-dimensional movements and video-recorded observations," *Mar Ecol Prog Ser* **264**, 109-122.
- Davis, R., Jaquet, N., Gendron, D., Markaida, U., Bazzino, G., and Gilly, W. (2007). "Diving behavior of sperm whales in relation to behavior of a major prey species, the jumbo squid, in the Gulf of California, Mexico," *Mar Ecol Prog Ser* **333**, 291-302.
- Davis, R. W., Fuiman, L. a., Madden, K. M., and Williams, T. M. (2013). "Classification and behavior of free-ranging Weddell seal dives based on three-dimensional movements and video-recorded observations," *Deep Sea Res Pt II* **88-89**, 65-77.
- Deecke, V. B. (2006). "Studying marine mammal cognition in the wild: A review of four decades of playback experiments," *Aquat Mamm* **32**, 461-482.
- Deecke, V., Ford, J., and Slater, P. (2005). "The vocal behaviour of mammal-eating killer whales: communicating with costly calls," *Anim Behav* **69**, 395-405.
- Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Ainslie, M.A., Andersson, M., André, M., Castellote, M., Borsani, J.F., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Liebschner, A., Pajala, J., Robinson, S.P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., Van der Graaf, A.J., Werner, S., Wittekind, D., Young, J.V. (2013). "Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas," - 2nd Report of the Technical Subgroup on Underwater noise (TSG Noise). Part III Background Information and Annexes. Interim Guidance Report. May, 2013.
- Diercks, K. J., (1972). „Biological sonar systems: A bionics survey", Final report 1 Nov 1971-31 Aug 1972, Texas Univ at Austin Applied Research Labs.
- Diercks, K.J., R.T. Trochta, R.L. Greenlaw, and W.E. Evans. (1971). "Recordings and analysis of dolphin echolocation signals", *J Acoust Soc Am* **49**:1729-1732.
- Drouot, V., Gannier, A., and Goold, J. (2004). "Summer social distribution of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea," *J Mar Biol Assoc UK* **84**, 675-680.
- Dudzinski, M. K., Thomas, J. A., and Gregg, J. D. (2009). "Communication in marine mammals," In: W.F. Perrin, B. Würsig and J.G.M. Thewissen (eds.): *Encyclopedia of marine mammals*, (Academic Press, Amsterdam) p.260-269.
- Dufault, S., Whitehead, H., and Dillon, M. (1999). "An examination of the current knowledge on the stock structure of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) worldwide," *J Cetacean Res Manage* **1**, 1-10.
- Edds, P. L. (1982). "Vocalisations of the blue whale *Balaenoptera musculus* in the St Lawrence River," *J Mammal* **63**, 345-347.
- Edds, P. (1988). "Characteristics of finback *Balaenoptera physalus* vocalisations in the St Lawrence estuary," *Bioacoustics* **1**, 131-149.
- Egan, J. P., and Hake, H. W. (1950). "On the masking pattern of a simple auditory stimulus," *J Acoust Soc Am* **22**, 622-30.

- Egan, J. (1965). "Masking-level differences as a function of interaural disparities in intensity of signal and of noise," *J Acoust Soc Am* **38**, 1043-9.
- Elwen, S., and Best, P. (2004a). "Environmental factors influencing the distribution of southern right whales (*Eubalaena australis*) on the south coast of South Africa I: Broad scale patterns," *Mar Mammal Sci* **20**, 567-582.
- Elwen, S., and Best, P. (2004b). "Female southern right whales *Eubalaena australis*: Are there reproductive benefits associated with their coastal distribution off South Africa?," *Mar Ecol Prog Ser* **269**, 289-295.
- Erbe, C. (2000). "Detection of whale calls in noise: performance comparison between a beluga whale, human listeners, and a neural network," *J Acoust Soc Am* **108**:297-303.
- Erbe, C. (2004). "The Acoustic Repertoire of Odontocetes as a Basis for Developing Automatic Detectors and Classifiers," *Cpcontract Report DRDC Atlantic CR 2004-071*. Defence R&D Canada -Atlantic. 47 pp.
- Erbe, C. (2008). "Critical ratios of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) and masked signal duration," *J Acoust Soc Am* **124**, 2216-23.
- Erbe C, and King A. R. (2009). "Modelling cumulative sound exposure around marine seismic," *J Acoust Soc Am* **125**, 2443-2451.
- Eriksen, N., Miller, L. A., Tougaard, J., and Helweg, D. A. (2005). "Cultural change in the songs of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) from Tonga," *Behaviour* **142**, 305-328.
- Fernández, A., Edwards, J. F., Rodríguez, F., Espinosa de los Monteros, A., Herráez, P., Castro, P., Jaber, J. R., et al. (2005). "'Gas and fat embolic syndrome' involving a mass stranding of beaked whales (family *Ziphiidae*) exposed to anthropogenic sonar signals," *Vet pathol* **42**, 446-57.
- Fernández, M., Berón-Vera, B., Raga, J., and Crespo, E. (2003). "Food and parasites from two hourglass dolphins *Lagenorhynchus cruciger* (Quoy and Gaimard, 1824) from Patagonian waters," *Mar Mammals Sci* **19**, 832-836.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E. C., Carder, D. D. A., and Ridgway, S. S. H. (2002). "Auditory filter shapes for the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and the white whale (*Delphinapterus leucas*) derived with notched noise," *J Acoust Soc Am* **112**, 322-328.
- Finneran, J. J., Houser, D S, Mase-Guthrie, B., Ewing R Y., and. Lingenfelser, R. G. (2009). "Auditory evoked potentials in a stranded Gervais' beaked whale (*Mesoplodon europaeus*)," *J Acoust Soc Am* **126**(1) 484-490.
- Finneran, J. J., Carder, D. A., Schlundt, C. E., and Dear, R. L. (2010). "Temporary threshold shift in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) exposed to intermittent tones," *J Acoust Soc Am* **127**, 3267-72.
- Fletcher, H., and Munson, W. A. (1937). "Relation between loudness and masking," *J Acoust Soc Am* **9**, 1-10.
- Foote, A. D., and Nystuen, J. A. (2008). "Variation in call pitch among killer whale ecotypes," *J Acoust Soc Am* **123**, 1747-52.
- Foote, A. D., Osborne, R. W., and Hoelzel, A. R. (2004). "Environment: Whale-call response to masking boat noise," *Nature* **428**, 910.
- Foote, A. D., Griffin, R. M., Howitt, D., Larsson, L., Miller, P. J. O., and Rus Hoelzel, A. (2006). "Killer whales are capable of vocal learning," *Biol Lett* **2**, 509-512.

- Foote, A. D., Osborne, R. W., and Rus Hoelzel, A. (2008). "Temporal and Contextual Patterns of Killer Whale (*Orcinus orca*) Call Type Production," *Ethology* **114**, 599-606.
- Forcada, J., and Robinson, S. L. (2006). "Population abundance, structure and turnover estimates for leopard seals during winter dispersal combining tagging and photo-identification data," *Polar Biol* **29**, 1052-1062.
- Forcada, J., and Staniland, I. (2009). "Antarctic fur seal – *Arctocephalus gazella*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), pp. 36-42.
- Ford, J. K. B. (1989). "Acoustic behaviour of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia," *Can J Zool* **67**, 727-745.
- Ford, J. (2009). "Killer whale – *Orcinus orca*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 650-657.
- Ford, J. K. B., and Fisher, H.D. (1983). "Group specific dialects of killer whales (*Orcinus orca*) in British Columbia," In R. Payne (Ed) *Communication and behavior of whales*. AAAS Sel Symp **76** Westview Press, Boulder, CO, pp. 129-161.
- Ford, J. K. B., and Reeves, R. R. (2008). "Fight or flight: antipredator strategies of baleen whales," *Mammal Rev* **38**, 50-86.
- Frankel, A. S., and Clark, C. W. (2000). "Behavioral responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to full-scale ATOC signals," *J Acoust Soc Am* **108**, 1930-1937.
- Frantzis, A., and Alexiadou, P. (2008). "Male sperm whale (*Physeter macrocephalus*) coda production and coda-type usage depend on the presence of conspecifics and the behavioural context," *Can J Zool* **86**, 62-75.
- Gales, N. J., Fraser, W. R., Costa, D. P., and Southwell, C. (2004). "Do crabeater seals forage cooperatively?," *Deep-Sea Res Pt I* **51**, 2305-2310.
- Galimberti, F. and Boitani, L. (1999). "Demography and breeding biology of a small localized population of southern elephant seals (*Mirounga leonina*)," *Mar Mammal Sci* **15**, 159-178.
- Gambell, R. (1985a). "Fin whale *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 3: The Sirenians and Baleen Whales* (Academic Press, London), pp. 171-192.
- Gambell, R. (1985b). "Sei whale *Balaenoptera borealis* Lesson, 1828," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 3: The Sirenians and Baleen Whales* (Academic Press, London), pp. 155-170.
- Gambell, R. (1993). "International management of whales and whaling: An historical review of the regulation of commercial and aboriginal subsistence whaling," *Arctic* **46**, 97-107.
- Gaspard, J. C., Bauer, G. B., Reep, R. L., Dziuk, K., Cardwell, A., Read, L., and Mann, D. A. (2012). "Audiogram and auditory critical ratios of two Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*)," *J Exp Biol* **215**, 1442-7.
- Gavrilov, A. N., McCauley, R. D., and Gedamke, J. (2012). "Steady inter and intra-annual decrease in the vocalisation frequency of Antarctic blue whales," *J Acoust Soc Am* **131**, 4476-80.
- Gavrilov, A. N., McCauley, R. D., Salgado-Kent, C., Tripovich, J., and Burton, C. (2011). "Vocal characteristics of pygmy blue whales and their change over time," *J Acoust Soc Am* **130**, 3651-60.

- Gedamke, J., and Mccauley, R. D. (2010). "Initial quantification of low frequency masking potential of a seismic survey," Rep Int Whal Commn **SC/62/E12**.
- Gedamke, J., and Robinson, S. M. (2010). "Acoustic survey for marine mammal occurrence and distribution off East Antarctica (30-80° E) in January-February 2006," Deep-Sea ResPt II **57**, 968-981.
- Gedamke, J., Costa, D. P., Dunstan, A. (2001). "Localization and visual verification of a complex minke whale vocalisation," J Acoust Soc Am **109**(6), 3038-3047.
- Gedamke, J., Gales, N., Hildebrand, J. and Wiggins, S. (2007). "Seasonal occurrence of low frequency whale vocalisations across eastern Antarctic and southern Australian waters, February 2004 to February 2007," Rep Int Whal Commn **SC/59/SH5**, 1-11.
- Gelatt, T., and Southwell, C. (IUCN SSC Pinniped Specialist Group) (2008). "*Leptonychotes weddellii*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Gill, A., and Evans, P. G. H. (2002). "Marine Mammals of the Antarctic in relation to Hydro-acoustic Activities," Report for the Federal Agency for Nature Conservation, Bundesamt für Naturschutz.
- Gill, P., and Thiele, D. (1997). "A winter sighting of killer whales (*Orcinus orca*) in Antarctic sea ice," Polar Biol **17**, 401-404.
- Gisiner, R.C. (1998). „Workshop on the effects of anthropogenic noise in the marine environment , 10-12 February 1998”, Marine Mammal Science Program Office of Naval Research, p.1-46
- Goldbogen, J. A, Southall, B. L., Deruiter, S. L., Calambokidis, J., Friedlaender, A. S., Hazen, E. L., Falcone, E. A, et al. (2013). "Blue whales respond to simulated mid-frequency military sonar," Proc Biol Sci/Royal Soc **280**, 20130657.
- Götz, T., and Janik, V. M. (2011). "Repeated elicitation of the acoustic startle reflex leads to sensitisation in subsequent avoidance behaviour and induces fear conditioning," BMC Neuroscience **12**, 30.
- Goodall, R. N. P. (2009). "Hourglass dolphin – *Lagenorhynchus cruciger*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 573-576.
- Gordon, A. C., and Goldberg, R. D. (1970) "Circum polar characteristics of Antarctic waters," Antarct Map Folio Ser (13)
- Gordon J., Gillespie D., Potter J., et al. (1998). "The effects of seismic surveys on marine mammals," In: Tasker M, Weir C (eds) Proceedings of the Seismic and Marine Mammals Workshop, London, 23-25 June 1998. London, pp 1-18
- Gordon, J.C.D., Gillespie, D., Potter, J., et al. (2003). "Investigating the effects of man made noise on marine mammals," Mar Technol Soc J **37**:16-34.
- Gowans, S. (2009). "Bottlenose whales *Hyperoodon ampullatus* and *H. planifrons*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 129-131.
- Gowans, S., Whitehead, H., and Hooker, S. K. (2001). "Social organization in northern bottlenose whales, *Hyperoodon ampullatus*: not driven by deep-water foraging?," Anim Behav **62**, 369-377.

- Gray, H., and van Waerebeek, K. (2011). "Postural instability and akinesia in a pantropical spotted dolphin, *Stenella attenuata*, in proximity to operating airguns of a geophysical seismic vessel," *J Nat Conserv* **19**:363-367.
- Green, D. M., and J. A. Swets. (1966). "Signal detection theory and psychophysics," New York:Wiley.
- Green, K., and Burton, H. R. (1988). "Annual and diurnal variations in the underwater vocalisations of *Weddell seals*," *Polar Biol* **8**, 161-164.
- Greenwood, D. D. (1961). "Auditory masking and the critical band," *J Acoust Soc Am* **33**, 484-502.
- Greenwood, D. D. (1971). "Aural combination tones and auditory masking," *J Acoust Soc Am* **50**, 502-43.
- Greenwood, D. D. (1972). "Masking by narrow bands of noise in proximity to more intense pure tones of higher frequency: application to measurement of combination band levels and some comparisons with masking by combination noise," *J Acoust Soc Am* **52**, 1137-43.
- Guerra, M., Thode, A. M., Blackwell, S. B., and Macrander, A. M. (2011). "Quantifying seismic survey reverberation off the Alaskan North Slope," *J Acoust Soc Am* **130**, 3046-3058.
- Gutt, J., Barratt, I., Domack, E., d'Udekemd'Acoz, C., Dimmler, W., Grémare, A., Heilmayer, O., Isla, E., Janussen, D., Jorgensen, E., Kock, K.-H., Lehnert, L.S., López-González, P., Langner, S., Linse, K., Manjón-Cabeza, M., Meißner, M., Montiel, A., Raes, M., Robert, H., Rose, A., Schepisi, E. S., Saucéde, T., Scheidat, M., Schenke, H. W., Seiler, J., Smith, C. (2010), "Biodiversity change after climate-induced ice-shelf collapse in the Antarctic," *Deep-Sea Res II* **58**(1-2) 74-83.
- Hain, J. H. W. (1982). "Feeding behavior of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the western North Atlantic," *Fish Bull* **80**, 259-268.
- Hall, J. D. and Johnson, C. S. (1972). "Auditory thresholds of a killer whale *Orcinus orca* Linnaeus," *J Acoust Soc Am* **51**(2B) 515-517
- Hammond, P. S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K., Karczmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W. F., Scott, M. D., Wang, J. Y., Wells, R. S. and Wilson, B. (2008). "*Lagenorhynchus cruciger*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Harcourt, R., and Hindell, M. (2000). "Three-dimensional dive profiles of free-ranging Weddell seals," *Polar Biol* **23**, 479-487.
- Hartbauer, M., Siegert, M. E., Fertschai, I., and Römer, H. (2012). "Acoustic signal perception in a noisy habitat: lessons from synchronising insects," *J Comp Physiol A* **198**, 397-409.
- Hastie, G., Swift, R., Gordon, J., Slesser, G., and Turrell, W. (2003). "Sperm whale distribution and seasonal density in the Faroe Shetland Channel," *J Cetacean Res Manage* **5**, 247-252.
- Hastings, K. K., and Testa, J., W. (1998). "Maternal and birth colony effects on survival of Weddell seal offspring from McMurdo Sound, Antarctica," *J Anim Ecol* **67**, 722-740.
- Hatch, L. T., Clark, C. W., van Parijs, S. M., Frankel, A. S., and Ponirakis, D. W. (2012). "Quantifying loss of acoustic communication space for right whales in and around a US National Marine Sanctuary," *Conserv Biol*, doi: 10.1111/j.1523-1739.2012.01908.x.

- Haw, M. D. (1993). "Report sub-committee on southern hemisphere baleen whales, Appendix 6. Corrections to estimates of abundance of southern hemisphere minke whales obtained from IWC/IDCR data," Rep Int Whal Commn, **43**, 114 pp.
- Heide-Jørgensen, M. P., Bloch, D., Stefansson, E., Mikkelsen, B., Ofstad, L. H. and Dietz, R. (2002). "Diving behaviour of long-finned pilot whales *Globicephala melas* around the Faroe Islands," Wildl Biol **8**, 307-313.
- Helweg, D. A., Herman, L. M., Yamamoto, S., and Forestell, P. H. (1990). "Comparison of Songs of Humpback Whales (*Megaptera Novaeangliae*) recorded in Japan, Hawaii, and Mexico during the Winter of 1989," Sci Rep Cetacean Res Inst **1**, 1-20.
- Hempel, G. (1985). "On the biology of the Polar Seas, particularly the Southern Ocean," In J. Gray and M. Christiansen (Eds.), Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms (John Wiley & Sons, Chichester), pp. 3-33.
- Hempel, G. (2007). "Antarctic marine biology - two centuries of research," Antarctic Sci **19**, 195.
- Hindell, M. A. (1991). "Some life-history parameters of a declining population of southern elephant seals *Mirounga leonina*," J Anim Ecol **60**, 119-134.
- Hindell, M. A., and Perrin, W. (2009). "Elephant seals *Mirounga angustirostris* and *M leonina*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 364-368.
- Hindell, M. A., Slip, D. J., and Burton, H. R. (1991). "The Diving Behavior of Adult Male and Female southern Elephant Seals, *Mirounga leonina* (Pinnipedia: Phocidae)," Aust J Zool **39**, 595-619.
- Hoff, J., Burton, H., and Raymond, B. (2007). "The population trend of southern elephant seals (*Mirounga leonina* L) at Macquarie Island (1952-2004)," Polar Biol **30**, 1275-1283.
- Holt, M. M., Noren, D. P., and Emmons, C. K. (2011). "Effects of noise levels and call types on the source levels of killer whale calls," J Acoust Soc Am **130**, 3100-6.
- Horwood, J. (2009). "Sei whale *Balaenoptera borealis*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 1001-1003.
- Houser, D. S., Helweg, D. A., Moore, P. W. B. (2001). "A bandpass filter-bank model of auditory sensitivity in the humpback whale", Aquat. Mamm **27**(2), 82-91.
- Hückstädt, L. A., Koch, P. L., McDonald, B. I., Goebel, M. E., Crocker, D. E., and Costa, D. P. (2012). "Stable isotope analyses reveal individual variability in the trophic ecology of a top marine predator, the southern elephant seal," Oecologia **169**, 395-406.
- Di Iorio, L., and Clark, C. W. (2009). "Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication," Biol Lett **6**, 334-335.
- Di Iorio, L., and Clark, C. W. (2010). "Invited reply: Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication," Biol Lett **6**, 334-335.
- IWC (1946) International convention for the regulation of whaling. Washington. 2012/12/02.
- IWC (2001). "Report of the workshop on the comprehensive assessment of right whales: a worldwide comparison," J Cetacean Res Manage **Special Issue 2**, 1-60.

- Janik, V. M. (2000). "Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland," *J Comp Physiol A* **186**, 673-680.
- Jaquet, N. (1996). "How spatial and temporal scales influence understanding of Sperm Whale distribution: a review," *Mammal Rev* **26**, 51-65.
- Jaquet, N., and Gendron, D. (2009). "The social organization of sperm whales in the Gulf of California and comparisons with other populations," *J Mar Biol Assoc UK* **89**, 975.
- Jaquet, N., and Whitehead, H. (1999). "Movements, distribution and feeding success of sperm whales in the Pacific Ocean, over scales of days and tens of kilometers," *Aquat Mamm* **25**, 1-13.
- Jaquet, N., Gendron, D., and Coakes, A. (2003). "Sperm whales in the Gulf of California: Residency, movements, behavior and the possible influence of variation in food supply," *Mar Mammal Sci* **19**, 545-562.
- Jennings, T. R., and Colburn, H. S. (2010). "Models of the Superior Olivary Complex," In R. Meddis, E. Lopez-Poveda, A. Popper, and R. Fay (Eds.), *Computational models of the auditory system* (Springer Science + Business Media LLC, New York), pp. 65-90.
- Jepson, P. D., Arbelo, M., Deaville, R., Patterson, I., Castro, P., Baker, J., Degollada, E., et al. (2003). "Gas-bubble lesions in stranded cetaceans," *Nature* **425**, 575-576.
- Jepson, P. D., Deaville, R., Patterson, I. A. P., Pocknell, A. M., Ross, H. M., Baker, J. R., Howie, F. E., et al. (2005). "Acute and chronic gas bubble lesions in cetaceans stranded in the United Kingdom," *Vet pathol* **42**, 291-305.
- Johnson, M., and Tyack, P. (2004). "Measuring the behavior and response to sound of beaked whales using recording tags," project report, Woods Hole Oceanographic Institution, MA. Unpublished.
- Johnson, C (1968). "Relation between absolute threshold and duration-of-tone pulses in the bottlenosed porpoise," *J Acoust Soc Am* **43** 757-763.
- Kanda, N., Goto, M., and Pastene, L. A. (2006). "Genetic characteristics of western North Pacific sei whales, *Balaenoptera borealis*, as revealed by microsatellites," *Mar Biotechnol* **8**, 86-93.
- Kasamatsu, F. (2000). "Species diversity of the whale community in the Antarctic," *Mar Ecol Prog Ser* **200**, 297-301.
- Kasamatsu, F., and Joyce, G. G. (1995). "Current status of odontocetes in the Antarctic," *Antarct Sci* **7**, 365-379.
- Kasamatsu, F., Joyce, G. G., Ensor, P., and Mermoz, J. (1996). "Current occurrence of baleen whales in Antarctic waters," *Rep Int Whal Commn* **46**, 293-304.
- Kasamatsu, F., Matsuoka, K., and Hakamada, T. (2000). "Interspecific relationships in density among the whale community in the Antarctic," *Polar Biol* **23**, 466-473.
- Kaschner, K., Watson, R., Trites, A., and Pauly, D. (2006). "Mapping world-wide distributions of marine mammal species using a relative environmental suitability (RES) model," *Mar Ecol Prog Ser* **316**, 285-310.
- Kastak, D., and Schusterman, R. (1996). "Temporary threshold shift in a harbor seal (*Phoca vitulina*)," *J Acoust Soc Am* **100**, 1905-1908.

- Kastak, D. and Schusterman, R. J. (1998). "Low-frequency amphibious hearing in pinnipeds: methods, measurements, noise, and ecology," *J Acoust Soc Am* **103** (4).
- Kastak D, and Schusterman, R. J. (1999). "In-air and underwater hearing sensitivity of a northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*)," *Can J Zool* **77** 1751-1758.
- Kastak, D., Southall, B. L., Schusterman, R. J., and Kastak, C. R. (2005). "Underwater temporary threshold shift in pinnipeds: Effects of noise level and duration," *J Acoust Soc Am* **118**, 3154.
- Kastelein, R. A., Hoek, L., Wensveen, P. J., Terhune, J. M., and de Jong, C. A. F. (2010). "The effect of signal duration on the underwater hearing thresholds of two harbor seals (*Phoca vitulina*) for single tonal signals between 0.2 and 40 kHz," *J Acoust Soc Am* **127**, 1135-1145.
- Kasuya, T. (2009a). "Japanese whaling," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 643-649.
- Kasuya, T. (2009b). "Giant Beaked Whales – *Berardius bairdii* and *B. arnuxii*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 500.
- Kato, H. and Fujise, Y. (2000). "Dwarf minke whales; morphology, growth and life history with some analyses on morphometric variation among the different forms and regions," International Whaling Commission, Paper **SC/52/OS3**, presented to the Scientific Committee June 2000 (unpublished), 30pp.
- Kato, H., Miyshita, T., and Shimada, H. (1995). "Segregation of the two sub-species of the blue whale in the southern Hemisphere," *Rep Int Whal Commn* **45**, 273-283.
- Kaufman, G. W., Siniff, D. B., and Reichle, R. (1975). "Colony behavior of Weddell seals, *Lep- tonychotes weddellii*, at Hutton Cliffs, Antarctica," In K. Ronald and A. Mansfield (Eds.), *Rapport et Procès-verbeaux des Réunions du Conseil international pour l'Exploration de la mer* **11**, pp. 228-246
- Kelly, N., Peel, D., Bravington, M. V, and Gales, N. (2010). "Analysis of minke whale sighting data from aerial surveys over pack ice in East Antarctica," *Rep Int Whal Commn* **SC/63/IA3** 19pp.
- Kenney, R. (2009). "Right whales – *Eubalaena glacialis*, *E. japonica*, and *E. australis*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 962-972.
- Kibblewhite, A. C., and L. D. Hampton (1980). "A review of deep ocean sound attenuation data at very low frequencies," *J Acoust Soc Am* **67**, 147-157.
- King, J. (1983). "Antarctic Seals," *Seals of the world* (Comstock Publishing Associates, Ithaka, NY), pp. 108-124.
- Klinck, H. (2008). "Automated passive acoustic detection, localization and identification of leopard seals: from hydro-acoustic technology to leopard seal ecology," PhD Thesis, Alfred Wegener Institute, Bremerhaven, 145 pp.
- Klinck, H., Mellinger, D. K., Klinck, K., Hager, J., Kindermann, L., and Boebel, O. (2010). "Long-range underwater vocalizations of the crabeater seal (*Lobodon carcinophaga*)," *J Acoust Soc Am* **128**, 474-9.
- Kooyman, G. (1968). "An analysis of some behavioral and physiological characteristics related to diving in the Weddell seal," *Antarctic Research Series* **11**, 127-144.

- Kooyman, G. (1981a). "Leopard seal *Hydrurga leptonyx* Blainville, 1820," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), Handbook of Marine Mammals Volume 2: Seals (Academic Press, London), pp. 261-274.
- Kooyman, G. (1981b). "Weddell seal *Leptonychotes weddellii* Lesson, 1826," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), Handbook of Marine Mammals Volume 2: Seals (Academic Press, London), pp. 275-298.
- Kooyman, G. (1981c). "Crabeater seal *Lobodon carcinophagus* (Hombron and Jacquinot, 1842)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), Handbook of Marine Mammals Volume 2: Seals (Academic Press, London), pp. 221-235.
- Kuhn, C. E., McDonald, B. I., Shaffer, S. A., Barnes, J., Crocker, D. E., Burns, J., and Costa, D. P. (2005). "Diving physiology and winter foraging behavior of a juvenile leopard seal (*Hydrurga leptonyx*)," Polar Biol **29**, 303-307.
- Kyhn, L. A., Tougaard, J., Jensen, F., Wahlberg, M., Stone, G., Yoshinaga, A., Beedholm, K. and Madsen, P. T. (2009). "Feeding at a high pitch: source parameters of narrow band, high-frequency clicks from echolocating off-shore hourglass dolphins and coastal Hector's dolphins," J Acoust Soc Am **125** (3), 1783–1791.
- Kujawa, S. G., and Liberman, M. C. (2009). "Adding insult to injury: cochlear nerve degeneration after 'temporary' noise-induced hearing loss," J Neurosci **29**, 14077-85.
- Lauriano, G., Fortuna, C. M., and Vacchi, M. (2007). "Observation of killer whale (*Orcinus orca*) possibly eating penguins in Terra Nova Bay, Antarctica," Antarct Sci **19**, 95-96.
- LeDuc, R. G., Robertson, K. M., and Pitman, R. L. (2008). "Mitochondrial sequence divergence among Antarctic killer whale ecotypes is consistent with multiple species," Biol Lett **4**, 426-9.
- Leeper, R. and Scheidat, M. (1998). "An acoustic survey for cetaceans in the Southern Ocean Sanctuary conducted from the German Government research vessel Polarstern," Rep Int Whal Commn **48**, 431-7.
- Leeper, R., Bannister, J., Branch, T., Clapham, P., Donovan, G., K, M., Reilly, S., et al. (2008a). "A review of abundance , trends and foraging parameters of baleen whales in the southern hemisphere ," Rep Int Whal Commn **SC-60-EM3**, 1-51.
- Leeper, R., Best, P., Branch, T., Donovan, G., Murase, H., and van Waerebeek, K. (2008b). "Report of review group of data sources on odontocetes in the Southern Ocean in preparation for IWC / CCAMLR workshop in August 2008," Rep Int Whal Commn **SC/60/EM2** , 1-14.
- Leeper, R., Cooke, J., Trathan, P., Reid, K., Rowntree, V., and Payne, R. (2006). "Global climate drives southern right whale (*Eubalaena australis*) population dynamics," Biol Lett **2**, 289-92.
- Lemons, D. W., Au, W. W. L., Vlachos, S. A, and Nachtigall, P. E. (2012). "High-frequency auditory filter shape for the Atlantic bottlenose dolphin," J Acoust Soc Am **132**, 1222-8.
- Lemons, D. W., Kloepper, L. N., Nachtigall, P. E., Au, W. W. L., Vlachos, S. A, and Branstetter, B. K. (2011). "A re-evaluation of auditory filter shape in delphinid odontocetes: Evidence of constant-bandwidth filters," J Acoust Soc Am **130**, 3107-3114.
- Levenson, C. (1974) Source level and bistatic target strength of the sperm whale (*Physeter catodon*) measured from an oceanographic aircraft," J Acoust Soc Am **55**(5), 1100-1103.
- Lewis, M., Campagna, C., Marin, M. R., and Fernandez, T. (2006). "Southern elephant seals north of the Antarctic Polar Front," Antarct Sci **18**, 213.

- Lin, H. W., Furman, A. C., Kujawa, S. G., and Liberman, M. C. (2011). "Primary neural degeneration in the Guinea pig cochlea after reversible noise-induced threshold shift," *J Assoc Res Otolaryngol*, **12**, 605-16.
- Ling, J., and Bryden, M. (1981). "southern elephant seal *Mirounga leonina* linnaeus, 1758," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 2: Seals* (Academic Press, London), pp. 297-327.
- Lohr, B., Wright, T. F., and Dooling, R. J. (2003). "Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of a signal," *Anim Behav* **65**, 763-777.
- Lucke K, Siebert U, Lepper P, Blanchet MA (2009). „Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli," *J Acoust Soc Am* **125**: 4060-4070.
- Luque, S. P., Arnould, J., and Guinet, C. (2008). "Temporal structure of diving behaviour in sympatric Antarctic and subantarctic fur seals," *Mar Ecol Prog Ser* **372**, 277-287.
- Luque, S. P., Arnould, J., Miller, E. H., Cherel, Y., and Guinet, C. (2007). "Foraging behaviour of sympatric Antarctic and subantarctic fur seals: does their contrasting duration of lactation make a difference?," *Mar Biol* **152**, 213-224.
- MacGillivray, A. O. (2006). "An Acoustic Modelling Study of Seismic Airgun Noise in Queen Charlotte Basin," M.Sc. Thesis, University of Victoria, B.C.
- MacLeod, C., and Mitchell, G. (2006). "Key areas for beaked whales worldwide," *J Cetacean Res Manage* **7**, 309-322.
- MacLeod, C., Perrin, W., Pitman, R., Barlow, J., Ballance, L., D'Amico, A., Gerrodette, T., et al. (2006). "Known and inferred distributions of beaked whale species (Cetacea: *Ziphiidae*)," *Fisheries Sci* **7**, 271-286.
- Madsen, P. T., Carder, D., Bedholm, K., and Ridgway, S. (2005). "Porpoise clicks from a sperm whale nose - convergent evolution of 130 kHz pulses in toothed whale sonars?," *Bioacoustics* **15**, 195-206.
- Madsen, P. T., Johnson, M., Miller, P. J. O., Aguilar Soto, M., Lynch, J. and Tyack, P. (2006). "Quantitative measures of air-gun pulses recorded on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) using acoustic tags during controlled exposure experiments," *J Acoust Soc Am* **120**(4), 2366-2379.
- Madsen, P. T., Wahlberg, M., and Møhl, B. (2002a). "Male sperm whale (*Physeter macrocephalus*) acoustics in a high-latitude habitat: implications for echolocation and communication," *Behav Ecol Sociobiol* **3**, 31-41.
- Madsen, P. T., Payne, R., Kristiansen, N. U., Wahlberg, M., Kerr, I., and Møhl, B. (2002b). „Sperm whale sound production studied with ultrasound time/depth-recording tags," *J Exp Biol* **205**, 1899-1906.
- Makhado, A. B., Bester, M. N., Kirkman, S. P., Pistorius, P. A., Ferguson, J. W. H., and Klages, N. T. W. (2007). "Prey of the Antarctic fur seal *Arctocephalus gazella* at Marion Island," *Polar Biol* **31**, 575-581.
- Marcoux, M., Whitehead, H., and Rendell, L. (2006). "Coda vocalisations recorded in breeding areas are almost entirely produced by mature female sperm whales (*Physeter macrocephalus*)," *Can J Zool* **84**, 609-614.

- Matsuoka, K., Hakamada, T., Kiwada, H., Murase, H., and Nishiwaki, S. (2006). "Distributions and standardized abundance estimates for humpback, fin and blue whales in the Antarctic Areas III, IV, V and VIW (35° E -145° W), south of 60° S," Rep Int Whal Commn SC/D06/J7, 1-37.
- McCann, T. S. (1985). "Size, status and demography of southern elephant seal (*Mirounga leonina*) populations," Studies of Sea Mammals in South Latitudes (Ling, J. K., Bryden, M. M., eds), South Australian Museum, 132.
- McCann, T. S., and Rothery, P. (1988). "Population size and status of the southern elephant seal (*Mirounga leonina*) at South Georgia, 1951-1985," Polar Biol 8, 305-309.
- McCauley, R. D., Jenner, M.-N., Jenner, C., McCabe, K. A., and Murdoch, J. (1998). "The Response of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to offshore seismic survey noise: Preliminary results of observations about a working seismic vessel and experimental exposures," Apnea J 38 (1), 692-707
- McCauley, R. D., Jenner, C., Bannister, J. L., Chris, L. K., Cato, D. H., and Duncan, A. (2001). "Blue whale calling in the Rottneest Trench - 2000, Western Australia," Project CMST 241, Report R2001-6, (Perth, Australia), p. 55.
- McDonald, M. A., Calambokidis, J., Teranishi, A. M., and Hildebrand, A. (2001). "The acoustic calls of blue whales off California with gender data," J Acoust Soc Am 109(4), 1728-1735.
- McDonald, M.A., Hildebrand, J.A., and Wiggins, S.M. (2006a). "Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California," J Acoust Soc Am 120:711-718.
- McDonald, M. A., Mesnick, S. L., and Hildebrand, J. A. (2006b). "Biogeographic characterization of blue whale song worldwide: Using song to identify populations," J Cetacean Res Manage 8, 55-66.
- McDonald, M. A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., Thiele, D., Glasgow, D., and Moore, S. E. (2005). "Sei whale sounds recorded in the Antarctic," J Acoust Soc Am 118, 3941-3945.
- McDonald, M., Hildebrand, J., and Mesnick, S. (2009). "Worldwide decline in tonal frequencies of blue whale songs," Endanger Species Res 9, 13-21.
- McIntyre, T., Ansorge, I., Bornemann, H., Plötz, J., Tosh, C., and Bester, M. (2012). "Elephant seal foraging dives do indeed track prey distribution, but temperature influences the distribution of prey: Reply to Boersch-Supan et al (2012)," Mar Ecol Prog Ser 461, 299-303.
- Mead, J. (1989). "Bottlenose whales *Hyperoodon ampullatus* (Forster, 1770) and *Hyperoodon planifrons* (Flower, 1882)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), Handbook of Marine Mammals Volume 4: River dolphins and larger toothed whales (Academic Press, London), pp. 321-348.
- Melcón, M. L., Cummins, A. J., Kerosky, S. M., Roche, L. K., Wiggins, S. M., and Hildebrand, J. A. (2012). "Blue whales respond to anthropogenic noise," PloS one 7, e32681.
- Mellinger, D. K., and Clark, C. W. (2003). "Blue whale (*Balaenoptera musculus*) sounds from the North Atlantic," J Acoust Soc Am 114(2), 1108-1119.
- Miller, P. J. O., Shapiro, A. D., Tyack, P. L., and Solow, A. R. (2004a). "Call-type matching in vocal exchanges of free-ranging resident killer whales, *Orcinus orca*," Anim Behav 67, 1099-1107.

- Miller, P. J. O., Johnson, M. P., and Tyack, P. L. (2004b). "Sperm whale behaviour indicates the use of echolocation click buzzes 'creaks' in prey capture," *Proc R Soc B* **271**, 2239-47.
- Miller, P.J.O. (2006). "Diversity in sound pressure levels and estimated active space of resident killer whale vocalisations," *J Comp Physiol A* **192**, 449-459.
- Møhl, B. (1981). "Masking effects of noise; their distribution in time and space," In: The question of sound from icebreaker operations, Anonymous, 259-268.
- Møhl, B. (2001). "Sound transmission in the nose of the sperm whale *Physeter catodon* A post mortem study," *J Comp Physiol A* **187**, 335-340.
- Møhl, B., Wahlberg, M., Madsen, P. T., Heerfordt, A., and Lund, A. (2003). "The monopulsed nature of sperm whale clicks," *J Acoust Soc Am* **114**, 1143.
- Moore, P. W. B. and Schusterman, R. J. (1987). "Audiometric assessment of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*)," *Mar Mammal Sci* **3**(1) 31-53.
- Moore, S. E., Francine, A. E., Bowles, A. E., and Ford, J. K. B. (1988), "Analysis of calls of killer whales, *Orcinus orca*, from Iceland and Norway," *Rit Fisk* **11**, 225-250.
- Moors, H. B., and Terhune, J. M. (2004). "Repetition patterns in Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) underwater multiple element calls," *J Acoust Soc Am* **116**, 1261-1270.
- Morisaka, T., and Connor, R. C. (2007). "Predation by killer whales (*Orcinus orca*) and the evolution of whistle loss and narrow-band frequency clicks in odontocetes," *J Evol Biol* **20**, 1439-1458.
- Morton, A. B., Gale, J. C., and Prince, R. C. (1986) Sound and behavioral correlations in captive *Orcinus orca*," In B. C. Kirkevold and J. S. Lockard (Eds) Behavioral biology of killer whales. Alan R. Liss, New York, pp. 303-333.
- Murase, H., Matsuoka, K., Ichii, T., and Nishiwaki, S. (2002). "Relationship between the distribution of euphausiids and baleen whales in the Antarctic (35° E-145° W)," *Polar Biol* **25**, 135-145.
- Murase, H., Shimada, H., and Kitakado, T. (2005), "Alternative estimation of Antarctic minke whale abundance taking account of possible animals in the unsurveyed large polynya using GAM-based spatial analysis: A case study in Area II in 1997/98 IWC/SOWER.," Paper SC/57/IA6, Rep Int Whal Commn.
- Nachtigall, P., Lemond, D., and Roitblat, H. (2000). "Psychoacoustic studies of dolphin and whale hearing," In W. Au, A. Popper, and R. Fay (Eds.), Hearing by whales and dolphins (Springer-Verlag, New York), pp. 330-363.
- Newhall, A. E., Lin, Y. T., Lynch, J. F., Baumgartner, M. F., and Gawarkiewicz, G. G. (2012). "Long distance passive localization of vocalizing sei whales using an acoustic normal mode approach," *J Acoust Soc Am* **131**, 1814-25.
- Nicol, S., Pauly, T., Bindoff, N. L., Wright, S., Thiele, D., Hosie, G. W., Strutton, P. G., et al. (2000). "Ocean circulation off east Antarctica affects ecosystem structure and sea-ice extent," *Nature* **406**, 504-7.
- Nicol, S., Worby, A., and Leaper, R. (2008). "Changes in the Antarctic sea ice ecosystem: potential effects on krill and baleen whales," *Mar Freshw Res* **59**, 361.
- Nieukirk, S. L., Mellinger, D. K., Moore, S. E., Klinck, K., Dziak, R. P., and Goslin, J. (2012). "Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999-2009," *J Acoust Soc Am* **131**, 1102.

- Nordøy, E. S and Blix, A. S. (2009). "Movements and dive behaviour of two leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) off Queen Maud Land, Antarctica," *Polar Biol* **32**, 263-270.
- Nordøy, E. S., Folkow, L., and Blix, A. S. (1995). "Distribution and diving behaviour of crabeater seals (*Lobodon carcinophagus*) off Queen Maud Land," *Polar Biol* **15**, 261-268.
- Nowacek, D. P., Friedlaender, A. S., Halpin, P. N., Hazen, E. L., Johnston, D. W., Read, A. J., Espinasse, B., et al. (2011). "Super-aggregations of krill and humpback whales in Wilhelmina Bay, Antarctic Peninsula," *PloS one* **6**, e19173.
- Olson, P. (2009). "Pilot whales – *Globicephala melas* and *G macrorhynchus*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 847-852.
- Van Opzeeland, I. (2010). *Acoustic ecology of marine mammals in polar oceans*. PhD thesis, (AWI and University of Bremen, Bremerhaven and Bremen).
- Van Opzeeland, I., Van Parijs, S., Bornemann, H., Frickenhaus, S., Kindermann, L., Klinck, H., Plötz, J., and Boebel, O. (2010). "Acoustic ecology of Antarctic pinnipeds," *Mar Ecol-Progr Ser* **414**, 267-291.
- Pacini, A. F., Nachtigall, P. E., Kloepper, L.N., Linnenschmidt, M., Sogorb, A. and Matias S. (2010), "Audiogram of a formerly stranded long-finned pilot whale (*Globicephala melas*) measured using auditory evoked potentials," *J Exp Biol* **213**, 3138-3143.
- Page, B., Goldsworthy, S. D., Hindell, M. A., and Mckenzie, J. (2002). "Interspecific differences in male vocalisations of three sympatric fur seals *Arctocephalus spp.*," *J Zool* **258**(1), 49-56.
- Pahl, B. C., Terhune, J. M., and Burton, H. R. (1997). "Repertoire and geographic variation in underwater vocalisations of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*, Pinnipedia: Phocidae) at the Vestfold Hills, Antarctica," *Aust J Zool* **45**, 171-187.
- Parker, D., Tubbs, R., Johnston, P., and Johnston, L. (1976). "Influence of auditory fatigue on masked pure-tone thresholds," *J Acoust Soc Am* **60**, 881-885.
- Parks, S. E., Clark, C. W., and Tyack, P. L. (2007a). "Short- and long-term changes in right whale calling behavior: the potential effects of noise on acoustic communication," *J Acoust Soc Am* **122**, 3725-31.
- Parks, S.E., Ketten, D.R., O'Malley, and Arruda, J. (2007b). "Anatomical predictions of hearing in the North Atlantic Right Whale," *Anat Rec* **290**, 734-744
- Pastene, L. A., Goto, M., Nishiwaki, S., Yoshida, H., and Kanda, N. (2006). "Genetic characteristics and population structure of humpback whales in the antarctic feeding ground as revealed by mitochondrial DNA control region sequencing and microsatellite analyses," *Rep Int Whal Commn* **SC/D06/J31**, 14.
- Payne, R. S., and Payne, K. (1971). "Underwater sounds of southern right whales," *Zoologica* **56**, 159-165.
- Payne, R., and Webb, D. (1971). "Orientation by means of long range acoustical signalling in baleen whales," *Ann NY Acad Sci* **188**, 110-141.
- Payne, R., and Guinee, L. (1983). "Humpback whale (*Megaptera novaengliae*) songs as an indicator of 'stocks'," In R. Payne (Ed.), *Communication and behavior of whales* (Westview Press for the American Association for the Advancement of Science, Boulder, CO), pp. 333-358.
- Payne, K., and Payne, R. (1985), "Large scale changes over 19 years in songs of humpback whales in Bermuda," *Z Tierpsychol* **68**(2), 89-114.

- Perrin, W. F. and Brownell, R. L. (2009). "Minke Whales – *Balaenoptera acutorostrata* and *B. bonaerensis*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 736.
- Pitman, R. L. (2009). "Mesoplodont whales," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 721-726.
- Pitman, R., and Ensor, P. (2003). "Three forms of killer whales (*Orcinus orca*) in Antarctic waters," *J Cetacean Res Manage* **5**, 131-139.
- Pitman, R. L., Perryman, W. L., LeRoi, D., and Eilers, E. (2007a). "A dwarf form of killer whale in Antarctica," *J Mammal* **88**, 43-48.
- Pitman, R. L., Fearnbach, H., LeDuc, R., Gilpatrick Jr, J. W., Ford, J. K. B., and Ballance, L. T. (2007b). "Killer whales preying on a blue whale calf on the Costa Rica Dome: genetics, morphometrics, vocalisations and composition of the group," *J Cetacean Res Manage* **9**, 151-158.
- Ponganis, P., Kooyman, G., and Castellini, M. (1995). "Multiple sightings of Arnoux's beaked whales along the Victoria Land coast," *Mar Mammal Sci* **11**, 247-250.
- Popov, V. V, Supin, A. Y., Wang, D., Wang, K., Dong, L., and Wang, S. (2011a). "Noise-induced temporary threshold shift and recovery in Yangtze finless porpoises *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*," *J Acoust Soc Am* **130**, 574-84.
- Popov, V. V., Klishin, V. O., Nechaev, D. I., Pletenko, M. G., Rozhnov, V. V., Supin, A. Ya., Sysueva, E. V., et al. (2011b). "Influence of acoustic noises on the white whale hearing thresholds," *Dokl Biol Sci/ translated from Russian* **440**, 332-4.
- Poulter, J. C. (1968). "Underwater vocalisation and behaviour of pinnipeds," In *The behaviour and physiology of pinnipeds*, edited by R. C. Hubbard, et al., Appelton-Century-Crofts, New York, pp. 84.
- Rankin, S., and Barlow, J. (2005). "Source of the North Pacific 'boing' sound attributed to minke whales," *J Acoust Soc Am* **118**(5), 3346-3351.
- Rankin, S., and Barlow, J. (2007). "Vocalisations of the sei whale *Balaenoptera borealis* off the Hawaiian Islands," *Bioacoustics* **16**(2), 137-145.
- Ray, G. C. (1970). "Population ecology of Antarctic seals," In M. W. Holdgate (ed.), *Antarctic ecology*, Academic Press, London, pp. 398-414
- Ray, G. C. (1981). "Ross seal *Ommatophoca rossi*, Gray, 1844," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 2: Seals* (Academic Press, London), pp. 237-260.
- Ray, G. C., and Schevill, W. (1967). "Social behavior and acoustics of the Weddell seal," *Antarct J U.S.* **2**, 105-106.
- Reeves, R. R., Stewart, B. S., Clapham, P. J., and Powell, J. A. (2008). "Guide to marine mammals of the world," Andrew Stewart Publishing, New York, 527 pp.
- Reichmuth, C., Holt, M. M., Mulsow, J., Sills, J. M. and Southall, B. (2013). "Comparative assessment of amphibious hearing in pinnipeds," *J Comp Physiol A.*, DOI 10.1007/s00359-013-0813-y.
- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008a). "*Balaenoptera musculus*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.

- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008b). "*Balaenoptera physalus*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008c). "*Balaenoptera borealis*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008d). "*Balaenoptera bonaerensis*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008e). "*Balaenoptera acutorostrata*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008f). "*Megaptera novaeangliae*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Reilly, S. B., Bannister, J. L., Best, P. B., Brown, M., Brownell Jr., R. L., Butterworth, D. S., Clapham, P. J., Cooke, J., Donovan, G. P., Urbán, J. and Zerbini, A. N. (2008g). "*Eubalaena australis*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Rendell, L. (2004). "Do sperm whales share coda vocalisations? Insights into coda usage from acoustic size measurement," *Anim Behav* **67**, 865-874.
- Rendell, L., Mesnick, S. L., Dalebout, M. L., Burtenshaw, J., and Whitehead, H. (2012). "Can Genetic Differences Explain Vocal Dialect Variation in Sperm Whales, *Physeter macrocephalus*?" *Behav Genet* **42**, 332-43.
- Ribic CA, Ainley DG, Fraser WR (1991) Habitat selection by marine mammals in the marginal ice zone. *Antarct Sci* **3**: 181-186
- Rice, D. W. (1998). "Marine mammals of the world: systematic and distribution," eds Lawrence KS Society for Marine Mammalogy. pp. 231.
- Richardson, W. J., Greene Jr., C., Malme, C. and Thomson, D. (1995). "Marine mammals and noise," Academic Press, San Diego.
- Ridgway, S. H., and Carder, D. A., (2001). "Assessing hearing and sound production in cetaceans not available for behavioral audiograms: Experiences with sperm, pygmy sperm, and gray whales," *Aquat Mamm* **27**(3), 267-276.
- Risch, D., Corkeron, P. J., Ellison, W. T., and Parijs, S. M. V. (2012). "Changes in humpback whale song occurrence in response to an acoustic source 200 km away," *PloS one* **7**, e29741.
- Rogers, T. L. (2009). "Leopard Seal – *Hydrurga leptonyx*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals*(Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 673-674.

- Rogers, T. L., and Brown, S. M. (1999). "Acoustic observations of Arnoux's beaked whale (*Berardius Arnuxii*) off Kemp Land, Antarctica," *Mar Mammal Sci* **15**, 192-198.
- Rogers, T. L., Cato, D. H., and Bryden, M. M. (1995). "Underwater vocal repertoire of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) in Prydz Bay, Antarctica," in *Sensory Systems of Aquatic Mammals*, edited by R. A. Kastelein, et al., De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands, pp. 236.
- Rogers, T. L., Cato, D. H., and Bryden, M. M. (1996). "Behavioral significance of underwater vocalisations of captive leopard seals, *Hydrurga leptonyx*," *Mar Mammal Sci* **12**, 414-427.
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., et al. (2012). "Evidence that ship noise increases stress in right whales," *Proc R Soc B*, doi: 10.1098/rspb.2011.2429.
- Rosowski, J. J. (1991). "The effects of external- and middle-ear filtering on auditory threshold and noise-induced hearing loss," *J Acoust Soc Am* **90**(1), 124-135.
- Roth EH, Hildebrand J A, Wiggins SM, Ross D (2012) Underwater ambient noise on the Chukchi Sea continental slope from 2006-2009. *J Acoust Soc Am* **131**:104-110.
- Rouget, P. A., Terhune, J. M., and Burton, H. R. (2007). "Weddell Seal Underwater Calling Rates During the Winter and Spring Near Mawson Station, Antarctica," *Mar Mammal Sci* **23**, 508-523.
- Ruggiero, M. A., and Temchin, A. N. (2002). "The roles of the external, middle, and inner ears in determining the bandwidth of hearing," *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* **99**, 13206-13210.
- Samaran, F., Adam, O., and Guinet, C. (2010b). "Detection range modelling of blue whale calls in Southwestern Indian Ocean," *Appl Acoust* **71**, 1099-1106.
- Samaran, F., Adam, O., Motsch, J.-F., and Guinet, C. (2008). "Definition of the Antarctic and pygmy blue whale call templates Application to fast automatic detection," *Can Acoust* **36**, 93-103.
- Samaran, F., Guinet, C., Adam, O., Motsch, J.-F., and Cansi, Y. (2010a). "Source level estimation of two blue whale subspecies in southwestern Indian Ocean," *J Acoust Soc Am* **127**, 3800-8.
- Sanvito, S., and Galimberti, F. (2000a). "Bioacoustics of southern elephant seals I: Acoustic structure of male aggressive vocalisations," *Bioacoustics* **10**, 259-285.
- Sanvito, S., and Galimberti, F. (2000b). "Bioacoustics of southern elephant seals II: Individual and geographical variation in male aggressive vocalisations," *Bioacoustics* **10**, 287-307.
- Sanvito, S., Galimberti, F., and Miller, E. H. (2007a). "Observational Evidences of Vocal Learning in southern Elephant Seals: a Longitudinal Study," *Ethology* **113**, 137-146.
- Sanvito, S., Galimberti, F., and Miller, E. H. (2007b). "Vocal signalling of male southern elephant seals is honest but imprecise," *Anim Behav* **73**, 287-299.
- Sayigh, L. S., Tyack, P. L., Wells, R. S. and Scott, M. D. (1990). "Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons," *Behav Ecol Sociobiol* **26**, 247-260.
- Van der Schaar, M., Ainslie, M. A., Robinson, S. P., Prior, M. K., and André, M. (2013). "Changes in 63 Hz third-octave band sound levels over 42 months recorded at four deep-ocean observatories," *J Mar Sys* (In press).
- Scharf, B. (1971). "Fundamentals of Auditory Masking," *Audiology* **10**, 30-40.

- Scheidat, M., Kock, K.-H., Friedlaender, A., Lehnert, L. S., and Williams, R. (2007). „Using helicopters to survey Antarctic minke whale abundance in the ice,” Paper SC/59/IA20, Rep Int Whal Commn
- Scheidat, M., Friedlaender, A., Kock, K.-H., Lehnert, L., Boebel, O., Roberts, J., Williams, R. (2011). „Cetacean surveys in the Southern Ocean using icebreaker-supported helicopters,” *Polar Biol* **34**, 1513-1522.
- Scheifele, P. M., Andrew, S., Cooper, R. A., and Darre, M. (2005). “Indication of a Lombard vocal response in the St. Lawrence River beluga,” *J Acoust Soc Am* **117**, 1486-1492.
- Schevill, W. E., and Watkins, W. A. (1965). “Underwater calls of *Leptonychotes (Weddell Seal)*,” *Zoologica* **50(3)**, 45-46.
- Schevill, W. E., and Watkins, W. A. (1966), “Sound structure and directionality in *Orcinus orca* (killer whale),” *Zoologica (NY)* **51(6)**, 71-76.
- Schevill, W. E., and Watkins, W. A. (1972), “Intense low-frequency sounds from an Antarctic minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*,” *Breviora* **388**, 1-8.
- Schlundt, C.E., Finneran, J.J., Carder, D.A., Ridgway, S.H. (2000). “Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones”, *J Acoust Soc Am* **107(6)**, 3496-3508.
- Schreer, J. F., and Testa, J. W. (1996). “Classification of Weddell seal diving behaviour,” *Mar Mammal Sci* **12**, 227-250.
- Sears, R., and Perrin, W. (2009). “Blue whale – *Balaenoptera musculus*,” In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 120-124.
- Secchi, E. R., Barcellos, L., Zerbini, A. N. and Dalla Rosa, L. (2003). “Biological observations on a dwarf minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*, caught in southern Brazilian waters, with a new record of prey for the species,” *LAJAM* **2(2)**, 109-116.
- Seibert, A. M., Klinck, H., Kindermann, L., Bornemann, H., van Opzeeland, I., Plötz, J. and Boebel, O. (2007). „Characteristics of underwater calls of the Ross seal,” 17th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, 29 November - 3 December 2007, Cape Town, South Africa.
- Shimada, H., and Kato, A. (2007). “Population assessment of the Antarctic minke whale within and out of ice fields using sighting data by the ice-breaker and the IWC/SOWER vessels in 2004/05,” Paper SC/59/IA16, Rep Int Whal Commn.
- Shirihai, H. (2008). “The complete Guide to Antarctic Wildlife. Birds and Marine Mammals of the Antarctic Continent and the Southern Ocean,” 2nd ed. (Princeton University Press, Princeton USA), pp. 544.
- Simon, M., Stafford, K. M., Beedholm, K., Lee, C. M., and Madsen, P. T. (2010). “Singing behavior of fin whales in the Davis Strait with implications for mating, migration and foraging,” *J Acoust Soc Am* **128**, 3200-10.
- Širović, A., and Hildebrand, J. A. (2011). “Using passive acoustics to model blue whale habitat off the Western Antarctic Peninsula,” *Deep-Sea ResPt II* **58**, 1719-1728.
- Širović, A., Hildebrand, J. A., and Wiggins, S. M. (2007). “Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean,” *J Acoust Soc Am* **122(2)**, 1208-1215.

- Širović, A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., McDonald, M. A., Moore, S. E., and Thiele, D. (2004). "Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula," *Deep-Sea ResPt II* **51**, 2327-2344.
- Širović, A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., and Thiele, D. (2009). "Blue and fin whale acoustic presence around Antarctica during 2003 and 2004," *Mar Mammal Sci* **25**, 125-136.
- Skaug, H. J., Gjosæter, H., Haug, T., Nilssen, K. T., and Lindstrøm, U. (1997). "Do minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) exhibit particular prey preferences?," *J Northwest Atl Fish Soc* **22**, 91-104.
- Smith, T. D., Reeves, R. R., and Bannister, J. L. (2005). Report of the International Cachalot assessment research planning workshop, Woods Hole, Massachusetts, 1-3 March 2005, NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-72 p. 45.
- Soto, N. A., Johnson, M., Madsen, P. T., Tyack, P. L., Bocconcelli, A., and Fabrizio Borsani, J. (2006). "Does Intense Ship Noise Disrupt Foraging in Deep-Diving Cuvier's Beaked Whales (*Ziphius Cavirostris*)?," *Mar Mammal Sci* **22**, 690-699.
- Southall, B. L., Schusterman, R. J., and Kastak, D. (2000). "Masking in three pinnipeds: Underwater, low-frequency critical ratios," *J Acoust Soc Am* **108**, 1322-1326.
- Southall, B. L., Schusterman, R. J., and Kastak, D. (2003). "Auditory masking in three pinnipeds: Aerial critical ratios and direct critical bandwidth measurements," *J Acoust Soc Am* **114**, 1660-6.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., et al. (2007). "Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations," *Aquat Mammals* **33**:411-522.
- Southwell, C. (2005). "Diving behaviour of two Ross seals off east Antarctica," *Wildlife Res* **32**, 63.
- Southwell, C. (IUCN SSC Pinniped Specialist Group) (2008a). "*Lobodon carcinophaga*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Southwell, C. (IUCN SSC Pinniped Specialist Group) (2008b). "*Hydrurga leptonyx*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Southwell, C. (IUCN SSC Pinniped Specialist Group) (2008c). "*Ommatophoca rossii*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Southwell, C., Kerry, K., and Ensor, P. (2005). "Predicting the distribution of crabeater seals *Lobodon carcinophaga* off east Antarctica during the breeding season," *Mar Ecol Prog Ser* **299**, 297-309
- Southwell, C., Paxton, C. G. M., Borchers, D. L., Boveng, P. L., and de la Mare, W. (2008a). "Taking account of dependent species in management of the Southern Ocean krill fishery: estimating crabeater seal abundance off east Antarctica," *J Appl Ecol* **45**, 622-631.
- Southwell, C., Paxton, C. G. M., Borchers, D., Boveng, P., Rogers, T., and de la Mare, W. K. (2008b). "Uncommon or cryptic? Challenges in estimating leopard seal abundance by conventional but state-of-the-art methods," *Deep-Sea ResPt I* **55**, 519-531.

- Southwell, C., Paxton, C. G. M., Borchers, D. L., Boveng, P. L., Nordøy, E. S., Blix, A. S., and De La Mare, W. K. (2008c). "Estimating population status under conditions of uncertainty: the Ross seal in East Antarctica," *Antarct Sci*, 20(2), 123-133.
- Sremba, A. L., Hancock-Hanser, B., Branch, T. A., LeDuc, R. L., and Baker, C. S. (2012). "Circumpolar diversity and geographic differentiation of mtDNA in the critically endangered Antarctic blue whale (*Balaenoptera musculus intermedia*)," *PloS one* 7, e32579.
- Stafford, K. M., Fox, C. G., and Mate, B. R. (1994), "Acoustic detection and location of blue whales (*Balaenoptera musculus*) from SOSUS data by matched filtering," *J Acoust Soc Am* 96(5, Pt 2), 3250-3251.
- Stafford, K. M., Fox, C. G., and Clark, D. S. (1998). "Long-range acoustic detection and localization of blue whale calls in the northeast Pacific Ocean," *J Acoust Soc Am* 104, 3616-25.
- Stafford, K. M., Bohnenstiehl, D. R., Tolstoy, M., Chapp, E., Mellinger, D. K., and Moore, S. E. (2004). "Antarctic-type blue whale calls recorded at low latitudes in the Indian and eastern Pacific Oceans," *Deep-Sea ResPt I* 51(10), 1337-1346.
- Steiner, W. W. (1981), "Species-specific differences in pur toneal whistle vocalisations of five western North Atlantic dolphin species," *Behav Ecol Sociobiol* 9(4), 241-246.
- Steiner, W. W., Hain, J. H., Winn, H. E., and Perkins, P. J. (1979) Vocalisations and feeding behavior of the killer whale (*Orcinus orca*)," *J Mammal* 60(4), 823-827.
- Stevick, P., Aguayo, A., Allen, J., Avila, I., Capella, J., Castro, C., Chater, K., et al. (2004). "Migrations of individually identified humpback whales between the Antarctic Peninsula and South America," *J Cetacean Res Manage* 6, 109-113.
- Stevick, P., Allen, J., Clapham, P., Friday, N., Katona, S., Larsen, F., Lien, J., et al. (2003). "North Atlantic humpback whale abundance and rate of increase four decades after protection from whaling," *Mar Ecol Prog Ser* 258, 263-273.
- Stirling, I., and Siniff, D. B. (1979). "Underwater vocalisations of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) and crabeater seals (*Lobodon carcinophagus*) near the South Shetland Islands, Antarctica," *Can J Zool* 57, 1244-1248.
- Stirling, I., and Thomas, J. A. (2003). "Relationships between underwater vocalisations and mating systems in phocid seals," *Aquat Mamm* 29: 227-246.
- Streever, B., Ellison, W. T., Frankel, A. S., Racca, R., Angliss, R., Clark, C. W., Fleishman, E., Guerra, M., Leu, M., Oliveira, S., Sformo, T., Southall, B., and Suydam, R. (2012). "Maskierung durch Airguns," SPE/APPEA International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Perth, Australia, 11-13 September 2012.
- Stone, G. (1990). "Whale migration record," *Nature* 346, 705.
- Szymanski, M. D., Bain, D. E., Kiehl, K., Pennington, S., Wong, S., Henry, K.R. (1999). "Killer whale (*Orcinus orca*) hearing: Auditory brainstem response and behavioral audiograms," *J Acoust Soc Am* 106(2), 1134-1141.
- Taruski, A. G. (1979). "The whistle repertoire of the north Atlantic pilot whale (*Globicephala melaena*) and its relationship to behavior and environment," In Winn, H. E. and Olla, B. C. (eds.) *Behavior of Marine Animals, Vol. 3: Cetaceans*, Plenum Press, New York, pp. 368.
- Tashmukhambetov, A. M., Ioup, G. E., Ioup, J. W., Sidorowskaia, N. A., and Newcomb, J. J. (2008), "Three-dimensional seismic array characterization study: Experiment and modelling," *J Acoust Soc Am* 123 4094-4108.

- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008a). "*Berardius arnuxii*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org> Downloaded on June 28, 2012.
- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008b). "*Mesoplodon layardii*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008c). "*Hyperoodon planifrons*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org> Downloaded on June 28, 2012.
- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008d). "*Mesoplodon grayi*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.2, <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 February 2013.
- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008e). "*Orcinus orca*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008f). "*Globicephala melas*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org> Downloaded on June 28, 2012.
- Taylor, B. L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S. M., Ford, J., Mead, J. G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P. and Pitman, R. L. (2008g). "*Physeter macrocephalus*," In IUCN 2012, IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.1, <www.iucnredlist.org>, Downloaded on June 28, 2012.
- Taylor, B. L., Barlow, J., Pitman, R. L., Ballance, L., Klinger, T., Hildebrand, J., Urban, J., et al. (2004). "A call for research to assess risk of acoustic impact on beaked whale populations," Rep int Whal Commn **SC/56/E36**, 4.
- Teloni, V., Zimmer, W. M. X., and Tyack, P. L. (2005). "Sperm whale trumpet sounds," *Bioacoustics* **15**, 163-174.
- Terhune, J. M., and Dell'Apa, A. (2006). "Stereotyped calling patterns of a male Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*)," *Aquat Mamm* **32**(2), 175-181.
- Terhune, J. M. and Ronald, K. (1972) The harp seal, *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777). III. The underwater audiogram," *Can J Zool* **50**(5): 565-569.
- Terhune, J., Burton, H., and Green, K. (1994). "Weddell seal in-air call sequences made with closed mouths," *Polar Biol* **14**, 117-122.
- Terhune, J. M., Quin, D., Dell'Apa, A., Mirhaj, M., Plötz, J., Kindermann, L., and Bornemann, H. (2008). "Geographic variations in underwater male Weddell seal trills suggest breeding area fidelity," *Polar Biol* **31**, 671-680.
- Testa, J. W. (1987). "Long-term reproductive patterns and sighting bias in Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*)," *Can J Zool* **65**. 1091-1099.
- Testa, J. W., and Siniff, D. B. (1987). "Population dynamics of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*) in McMurdo Sound," *J Antarctic Ecol Monogr* **57**, 149-165.

- Testa, J. W., Siniff, D. B., Croxall, J. P. and Burton, H. R. (1990). "A comparison of reproductive parameters among three populations of Weddell seals (*Leptonychotes weddelli*)," J Anim Ecol **59**, 1165-1175.
- Thiele, D., Chester, E. T., Moore, S. E., Širovic, A., Hildebrand, J. A., and Friedlaender, A. S. (2004). "Seasonal variability in whale encounters in the Western Antarctic Peninsula," Deep-Sea ResPt II **51**, 2311-2325.
- Thode, A. (2004). "Tracking sperm whale (*Physeter macrocephalus*) dive profiles using a towed passive acoustic array," J Acoust Soc Am **116**, 245.
- Thode, A., Mellinger, D. K., Stienessen, S., Martinez, A., and Mullin, K. (2002). "Depth-dependent acoustic features of diving sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Gulf of Mexico," J Acoust Soc Am **112**(1), 308.
- Thomas, J. (1979). "Quantitative analysis of the vocal repertoire of the Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) in McMurdo Sound, Antarctica," PhD thesis, University of Minnesota, Minneapolis, MN.
- Thomas, J. A. and Kuechle, V. B. (1982). "Quantitative analysis of Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) underwater vocalisations at McMurdo Sound, Antarctica," J Acoust Soc Am **72**(6), 1730-1738.
- Thomas, J. A., and Rogers, T. (2009a). "Ross seal – *Ommatophoca rossii*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 990.
- Thomas, J. A., and Rogers, T. (2009b). "Antarctic fur seal – *Arctocephalus gazella*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 42.
- Thomas J., and Stirling, I. (1983). "Geographic variation in Weddell seal (*Leptonychotes weddelli*) vocalisations between Palmer Peninsula and McMurdo Sound, Antarctica," Can J Zool **61**, 2203-2210.
- Thomas, J. A., and Terhune, J. (2009). "Weddell seal – *Leptonychotes weddellii*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 1217-1220.
- Thomas, J. A., Fisher, S. R., Evans, W. E., and Awbrey, F. T. (1983a). "Ultrasonic vocalisations of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*)," Antarct J U.S. **17**(5), 186.
- Thomas, J. A., Zinnel, K. C. and Ferm, L. M. (1983b). "Analysis of Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) vocalisations using underwater playbacks," Can J Zool **61**(7), 1448-1456.
- Thomas, J., Moore, P., Withrow, R., and Stoermer, M. (1990) Underwater audiogram of a Hawaiian monk seal (*Monachus schauinslandi*) J Acoust Soc Am **87**(1) 417-420.
- Thompson, P. O., Findley, L. T., and Vidal, O. (1992). "20-Hz pulses and other vocalisations of fin whales, *Balaenoptera physalus*, in the Gulf of California, Mexico," J Acoust Soc Am **92**, 3051-7.
- Thompson, P. O., Cummings, W. C., and Ha, S. J. (1986). "Sounds source levels and associated behavior of humpback whales," J Acoust Soc Am **30**, 735-740.
- Thompson, T. J., Winn, H. E., and Perkins, P. J. (1979), "Mysticete sounds," In H. E. Winn and B. L. Olla (Eds) Behavior of marine animals vol 3: Cetaceans. Plenum Press, New York, pp. 403-431.

- Thums, M., Bradshaw, C., and Hindell, M. (2008). "Tracking changes in relative body composition of southern elephant seals using swim speed data," *Mar Ecol Prog Ser* **370**, 249-261.
- Tosh, C. A., Bornemann, H., Ramdohr, S., Schröder, M., Martin, T., Carlini, A., Plötz, J., et al. (2008). "Adult male southern elephant seals from King George Island utilize the Weddell Sea," *Antarct Sci* **21**, 113.
- Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Skov, H. and Rasmussen, P. (2009). "Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.))." *J Acoust Soc Am* **126**, 11-14.
- Tripovich, J.S., Purdy, S.C., Hogg, C. and Rogers, T.L. (2011). „Toneburst-evoked auditory brainstem response in a leopard seal, *Hydrurga leptonyx*," *J Acoust Soc Am* **129**(1): 483-487.
- Tubelli, A. A., Zosuls, A., Ketten, D. R., Yamato, M., and Mountain, D. C. (2012). "A prediction of the minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) middle-ear transfer function," *J Acoust Soc Am* **132**, 3263-72.
- Tyack, P.L. (1986). "Population biology, social behavior, and communication in whales and dolphins," *Trends Ecol Evol* **1**, 144-150.
- Tyack, P.L., and Clark, C.W. (2000). "Communication and acoustic behavior of dolphins and whales," In: W.W.L. Au, A.N. Popper and R.R. Fay (Eds.) *Hearing by Whales and Dolphins* (Springer, New York) pp. 156-224.
- Tyack, P. L., Zimmer, W. M. X., Moretti, D., Southall, B. L., Claridge, D. E., Durban, J. W., Clark, C. W., et al. (2011). "Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar," *PLoS one* **6**, e17009.
- Urick, R. J. (1983). *Principles of underwater sound* (McGraw-Hill Inc., New York), 3rd ed., 423pp.
- Vanderlaan, A., Taggart, C., Serdynska, A., Kenney, R., and Brown, M. (2008). "Reducing the risk of lethal encounters: vessels and right whales in the Bay of Fundy and on the Scotian Shelf," *Endanger Species Res* **4**, 283-297.
- Vermeulen, E., and Cammareri, A. (2012). "Abundance estimates of southern right whales (*Eubalaena australis*) in Bahía San Antonio, Patagonia, Argentina," *Rep Int Whal Commn* **SC/64/BRG2**, 7.
- Vu, E., Risch, D., Clark, C., Gaylord, S., Hatch, L., Thompson, M., Wiley, D., et al. (2012). "Humpback whale song occurs extensively on feeding grounds in the western North Atlantic Ocean," *Aquatic Biol* **14**, 175-183.
- Walker, M. M., Kirschvink, J. L., Ahmed, G., and Dizon, A. E. (1992). "Evidence that fin whales respond to the geomagnetic field during migration," *J Exp Biol* **171**, 67-78.
- Wall, S., Bradshaw, C., Southwell, C., Gales, N., and Hindell, M. (2007). "Crabeater seal diving behaviour in eastern Antarctica," *Mar Ecol Prog Ser* **337**, 265-277.
- Ward, E., Zerbini, A., Kinas, P., Engel, M., and Andriolo, A. (2006). "Estimates of population growth rates of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the wintering grounds off the coast of Brazil (Breeding Stock A)," *Rep Int Whal Commn* **SC/58/SH14**, 10.
- Ward-Geiger, L., Silber, G., Baumstark, R., and Pulfer, T. (2005). "Characterization of ship traffic in right whale critical habitat," *Coast Manage* **33**, 263-278.
- Wartzok, D., and Ketten, D. R. (1999). "Marine mammal sensory systems," In *Biology of Marine Mammals*, edited by J. Reynolds III and S. A. Rommel, Smithsonian Institution Press, pp. 175.

- Wartzok, D., Elsner, R., Stone, H., Kelly, B., and Davis, R. (1992). "Under-ice movements and the sensory basis of hole finding by ringed and Weddell Seals," *Can J Zool* **70**, 1712-1722.
- Watkins, W. A. (1980), "Acoustics and the behavior of sperm whales," In R.-G. Busnel, and J. F. Fish (Eds) *Animal sonar systems*. Plenum Press, new York, pp. 283-290.
- Watkins, W. A. (1981a), "Reaction of three species of whales *Balaenoptera physalus*, *Megaptera novaengliae*, and *Balaenoptera edeni* to implanted radio tags," *Deep-Sea Res.* **28A**(6), 589-599.
- Watkins, W. A. (1981b), "Activities and underwater sounds of fin whales," *Sci Rep Whales Res Inst* **33**, 83-117.
- Watkins, W. and Ray, W. E. (1985). "In air and underwater sounds of Ross seal, *Ommatophoca rossi*," *J Acoust Soc Am* **77**(4), 1598-1600.
- Watkins, W., and Schevill, W. (1977). "Sperm whale codas," *J Acoust Soc Am* **62**, 1485-1490.
- Watkins, W., Daher, M. A., Fristrup, K. M., Howald, T. J., and di Sciara, G. N. (1993). "Sperm whales tagged with transponders and tracked underwater by sonar," *Mar Mammal Sci* **9**, 55-67.
- Watkins, W., Tyack, P., Moore, K. E., and Bird, J. E. (1987). "The 20-Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*)," *J Acoust Soc Am* **82**, 1901-1912.
- Watwood, S. L., Miller, P. J. O., Johnson, M., Madsen, P. T., and Tyack, P. L. (2006). "Deep-diving foraging behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*)," *J Anim Ecol* **75**, 814-25.
- Weilgart, L. S. (2007). "The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management," *Can J Zool* **85**:1091-1116.
- Weilgart, L., and Whitehead, H. (1997). "Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire in South Pacific sperm whales," *Behav Ecol Sociobiol* **40**, 277-285.
- Weir, C. R. (2008). "Short-finned pilot whales (*Globicephala macrorhynchus*) respond to an air-gun ramp-up procedure off Gabon," *Aquat Mamm* **34**, 349-354.
- Weirathmueller, M. J., Wilcock, W. S. D., and Soule, D. C. (2013). "Source levels of fin whale 20 Hz pulses measured in the Northeast Pacific Ocean," *J Acoust Soc Am* **133**, 741-9.
- Wenz, G. (1962). "Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources," *J Acoust Soc Am* **34**, 1936-56.
- Whitehead, H. (2002). "Estimates of the current global population size and historical trajectory for sperm whales," *Mar Ecol Prog Ser* **242**, 295-304.
- Whitehead, H. (2009). "Sperm whale – *Physeter macrocephalus*," In W. Perrin, B. Würsig, and J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (Academic Press, Amsterdam), 2nd ed., pp. 1091-1097.
- Wickens, P., and York, A. E. (1997). "Comparative population dynamics of fur seals," *Mar Mamm Sci* **13**(2), 241-292.
- Winn, H.E., and P.J.Perkins. (1976). "Distribution and sounds of the minke whale, with a review of mysticete sounds," *Cetology* **19**, 1-12
- Winn, H., and Reichley, N. (1985). "Humpback Whale *Megaptera novaeangliae* (Borowski, 1781)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 3: The Sirenia and Baleen Whales* (Academic Press, London), pp. 241-273.

- Winn, H., Perkins, P. J., and Winn, I. (1970) "Sounds and behavior of the northern-bottle nosed whale," *Conf Biol Sonar Diving Mamm* 7, 53–59.
- Winn, H., Thompson, T., Cummings, W., Hain, J., Hudnall, J., Hays, H., and Steiner, W. (1981). "Song of the Humpback Whale - Population comparisons," *Behav Ecol Sociobiol* 8, 41-46.
- Wollerman, L., and Wiley, R. H. (2002). "Background noise from a natural chorus alters female discrimination of male calls in a Neotropical frog," *Anim Behav* 63, 15-22.
- Wright, A., Hatch, L., Aguilar Soto, N., et al. (2007). "Anthropogenic noise as a stressor in animals: A multidisciplinary perspective," *Int J Comp Psychol* 20:250-273.
- Würsig, B., Clark, C. W., Dorsey, E. W., Fraker, M. A., and Payne, R. S. (1982). "Normal behavior of bowheads. Pages 33-143 in W.J. Richardson(ed.). Behavior, Disturbance Response, and Feeding of Bowhead Whales *Balaena mysticetus* in the Beaufort Sea, 19680-81. *USBLM Report NTIS PB86-152170*. LGL Environmental Research Associates, Bryan, TX.
- Yochem, P., and Leatherwood, S. (1985). "Blue whale *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758)," In S. Ridgway and R. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals Volume 3: The Sirenia and Baleen Whales* (Academic Press, London), pp. 193-240.
- Yazvenko, S. B., McDonald, T. L., Blokhin, S. A., Johnson, S. R., Melton, H. R., Newcomer, M. W., Nielson, R., et al. (2007). "Feeding of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia," *Environ Monit Assess* 134, 93-106.
- Zacharius, M., Gerber, L., and Hyrenbach, K. (2006). "Review of the Southern Ocean Sanctuary : Marine Protected Areas in the context of the International Whaling Commission Sanctuary Programme," *J Cetacean Res Manage* 8, 1-12.
- Zerbini, A., Ward, E., Engel, M., Andriolo, A., and Kinas, P. (2006). "A Bayesian assessment of the conservation status of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the western South Atlantic Ocean (breeding stock A)," *Rep Int Whal Commn* SC/58/SH2, 1-25.
- Zimmer, W. M. X., and Tyack, P. L. (2007). "Repetitive shallow dives pose decompression risk in deep-diving beaked whales," *Mar Mammal Sci* 23, 888-925.
- Zimmer, W.M.X. (2011). "Passive acoustic monitoring of cetaceans," (Cambridge University Press, New York) 356 pp.

10 Anhang A: Schallausbreitung

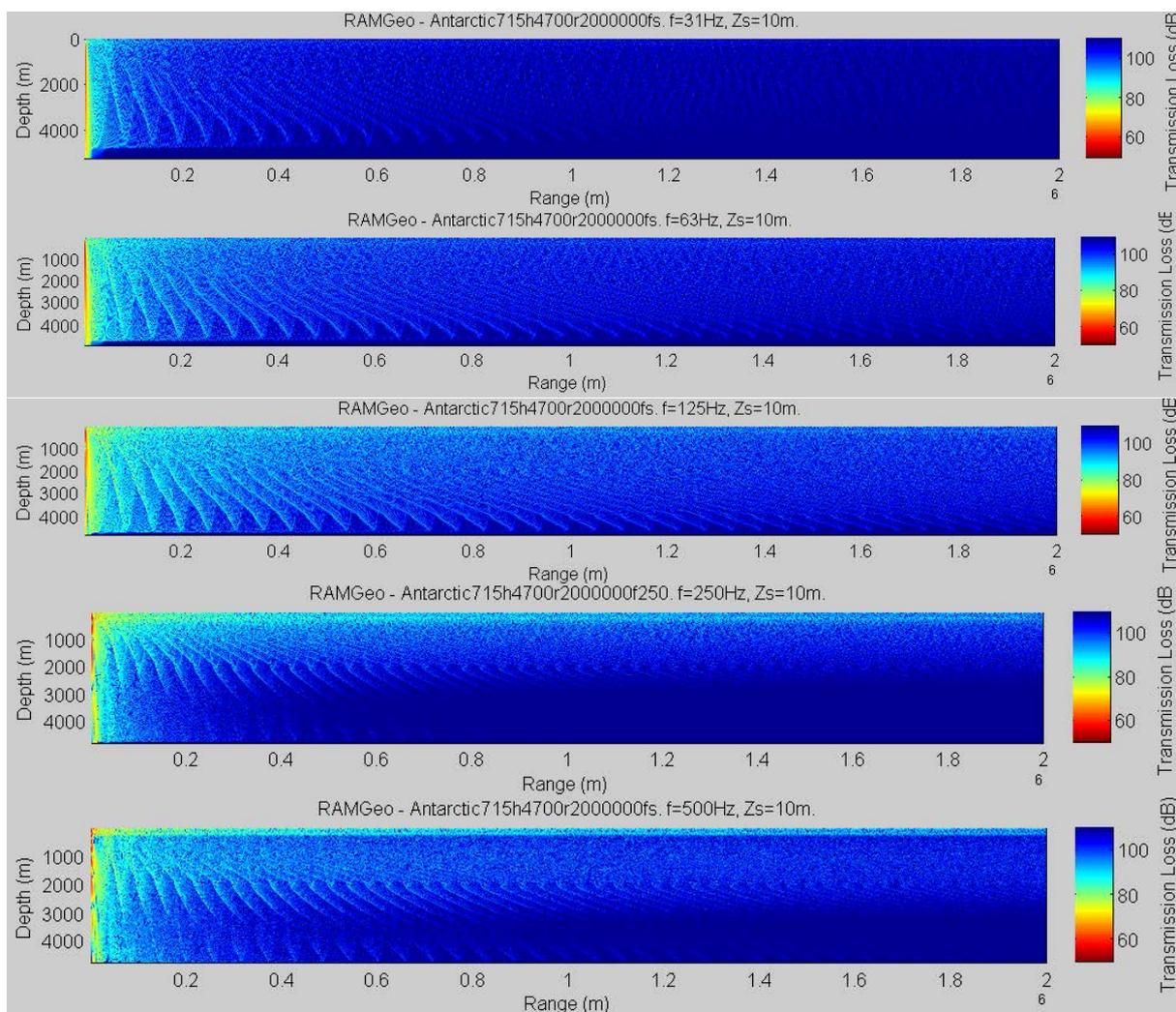
Die folgenden Plots sind für ausgewählte mittlere Oktavfrequenzen berechnet. Die Farbskala ist für alle Plots einheitlich. Die Parameter für die Quelle, den Wasserkörper und den Meeresgrund sind dem Text zu entnehmen.

Die Kalkulationen sind alle für eine Entfernung von 2000 km mit dem parabolischen Wellengleichung von RAMGeo des Paketes AcTUP erstellt. Die Ergebnisse erlauben eine erste Bewertung des Pegelabfalls über die Entfernung als Funktion der Tiefe.

Es wird von keiner Dämpfung ausgegangen und es gibt keinen Effekt einer welligen Oberfläche.

10.1 Ergebnisse für 4000 m Tiefe

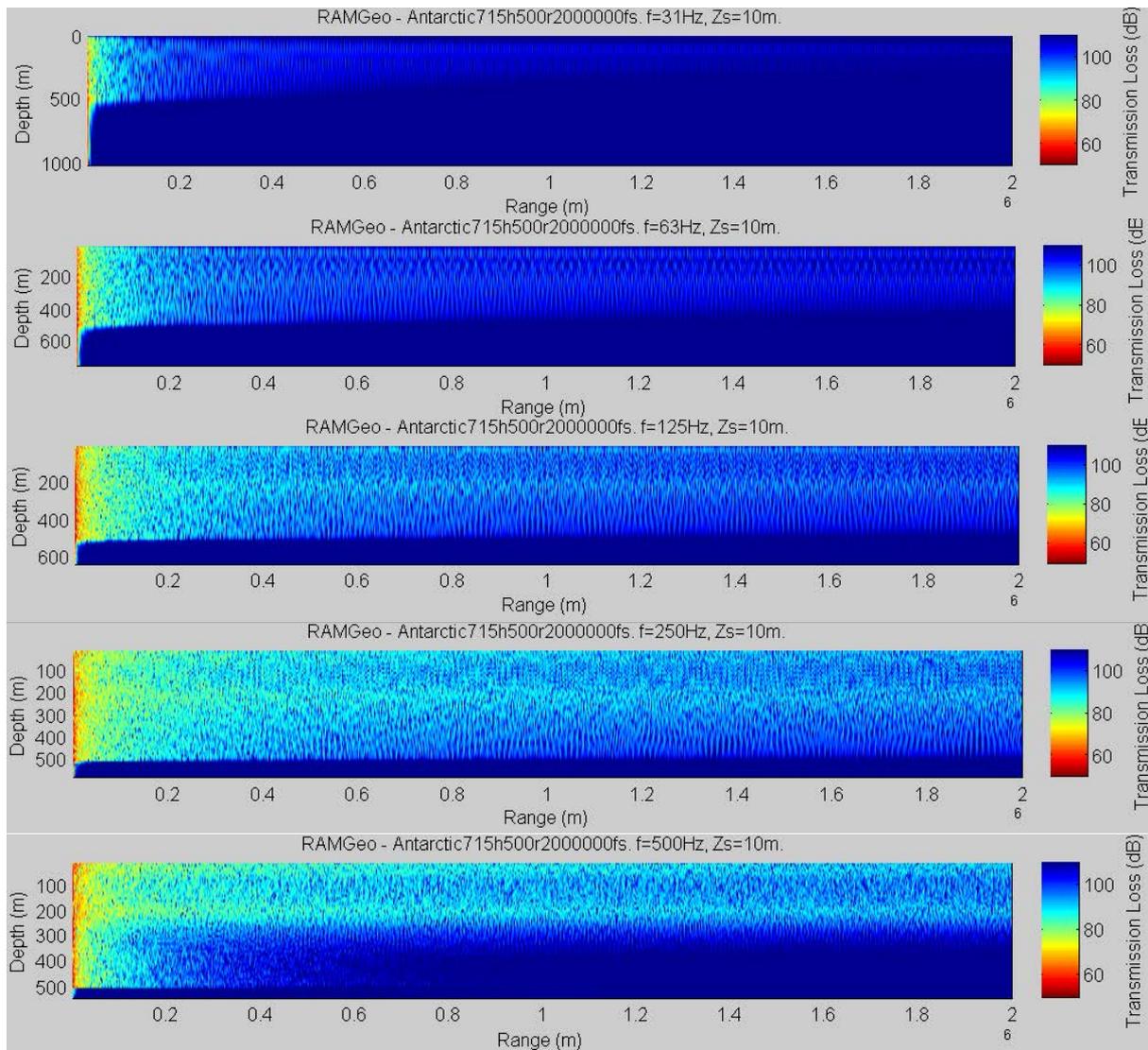
Abb. 10-1 Ergebnisse von RAMGeo für verschiedene Frequenzen bei 4000m Wassertiefe



Von oben nach unten: 31, 63, 125, 250, 500 Hz

10.2 Ergebnisse für 500 m Tiefe

Abb. 10-2 Ergebnisse von RAMGeo für verschiedene Frequenzen bei 500m Wassertiefe



Von oben nach unten: 31, 63, 125, 250, 500 Hz

11 Anhang B: Das Phänomen der Signaldehnung

Die Schallgeschwindigkeit im Wasser der Antarktis nimmt mit der Tiefe zu. Im Sommer gibt es eine dünne Schicht, in der die Geschwindigkeit zunimmt, aber insgesamt hat das nur einen geringen Einfluss auf die hier betrachtete Schallausbreitung.

Infolge dieser Schichtung werden die Schallwellen immer noch oben gebeugt. Das führt zu einer Konzentration akustischer Energie in der Nähe der Oberfläche.

Es gibt immer nur eine begrenzte Zahl von Ausbreitungswegen, auch Moden genannt, zwischen einer Quelle und einem Empfänger. Jede Mode hat eine bestimmte Schwingungsform des Wasserkörpers, mit der Folge, dass sich verschiedene Frequenzen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten (Frequenzdispersion). Außerdem führen verschiedene Ausbreitungswege zu unterschiedlich langen zurückgelegten Strecken und durch Gebiete mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Beispielsweise kann sich eine Schallwelle in größere Tiefen hin ausbreiten und legt deshalb einen langen Weg zurück, der aber in Gebieten mit höherer Schallgeschwindigkeit liegt. Eine Schallwelle kann also mit niedrigem Pegel eintreffen, wegen des langen Ausbreitungsweges aber recht frühzeitig wegen der im Mittel höheren Schallgeschwindigkeit auf diesem Weg. Ebenso kann eine Welle, die sich oberflächennah ausbreitet, mit hohem Pegel aber spät ankommen. Dieser Effekt wird Modendispersion genannt.

Je länger der Abstand desto eindrucksvoller die Dispersion. Damit kann sich ein sehr kurzes Quellsignal über 2000 km auf über 10 s Dauer strecken.

In einer Umgebung wo die Eigenschaften des Bodens wichtig sind - dies wäre hier der Fall mit einem Sandboden in 500 m Tiefe - sind die Verhältnisse komplizierter wegen des frequenzabhängigen Absorptionsverhaltens des Bodens. In diesem Fall könnte die Signalstreckung nicht proportional mit der Entfernung wachsen.

11.1 Signalstreckung für alle Empfänger und alle Konfigurationen.

Es folgt eine vollständige Sammlung der Zeitsignale und Spektren für alle 4 Airgun Konfigurationen in allen 4 Umgebungsszenarien für Empfängertiefen von 10, 60 und 200 m Tiefe und für Entfernungen von 100, 200, 500, 1000, und 2000 km. Schwerpunkt liegt auf der Länge des Zeitsignals für die Beurteilung von Maskierung.

Das Hintergrundgeräusch wurde auf 0.03 Pa Amplitude im Zeitbereich festgelegt.

Das Signal würde sich weit über 2000 km hin ausbreiten, aber diese Grenze wurde zur Begrenzung der Computer-Rechenzeiten gesetzt.

Alle Folgen von Widerhall und Absorption wurden nicht berücksichtigt. Absorption im Wasser ist unterhalb 300 von geringer Bedeutung.

Spektrale Bandbreite ist immer 1/Zeitfensterlänge. Die folgenden Darstellungen sind wie folgt strukturiert:

11.2	1 G-GUN ARRAY, QUELLTIEFE 5 M	220
11.2.1	TIEFE 4000 M	220
11.2.1.1	Station 715	220
	Empfängertiefe 10 m	220
	Empfängertiefe 50m	222
	Empfängertiefe 200m	224
11.2.1.2	Station 25	226
	Empfängertiefe 10 m	226
	Empfängertiefe 50 m	228
	Empfängertiefe 200 m	230
11.2.2	TIEFE 500 M	232
11.2.2.1	Station 715	232
	Empfängertiefe 10 m	232
	Empfängertiefe 50 m	234
	Empfängertiefe 200 m	236
11.2.2.2	Station 25	238
	Empfängertiefe 10 m	238
	Empfängertiefe 50 m	240
	Empfängertiefe 200 m	242
11.3	3 GI-GUN ARRAY, QUELLTIEFE 5 M	244
11.3.1	TIEFE 4000 M	244
11.3.1.1	Station 715	244
	Empfängertiefe 10m	244
	Empfängertiefe 50m	246
	Empfängertiefe 200m	248
11.3.1.2	Station 25	250
	Empfängertiefe 10 m	250
	Empfängertiefe 50 m	252
	Empfängertiefe 200 m	254
11.3.2	TIEFE 500 M	256
11.3.2.1	Station 715	256
	Empfängertiefe 10 m	256
	Empfängertiefe 50 m	258
	Empfängertiefe 200 m	260
11.3.2.2	Station 25	262
	Empfängertiefe 10 m	262
	Empfängertiefe 50 m	264
	Empfängertiefe 200 m	266
11.4	8 G-GUN ARRAY, QUELLTIEFE 10 M	268
11.4.1	TIEFE 4000 M	268
11.4.1.1	Station 715	268
	Empfängertiefe 10 m	268
	Empfängertiefe 50 m	270
	Empfängertiefe 200 m	272
11.4.1.2	Station 25	274
	Empfängertiefe 10 m	274
	Empfängertiefe 50 m	276
	Empfängertiefe 200 m	278
11.4.2	TIEFE 500 M	280
11.4.2.1	Station 715	280
	Empfängertiefe 10 m	280
	Empfängertiefe 50 m	282
	Empfängertiefe 200 m	284

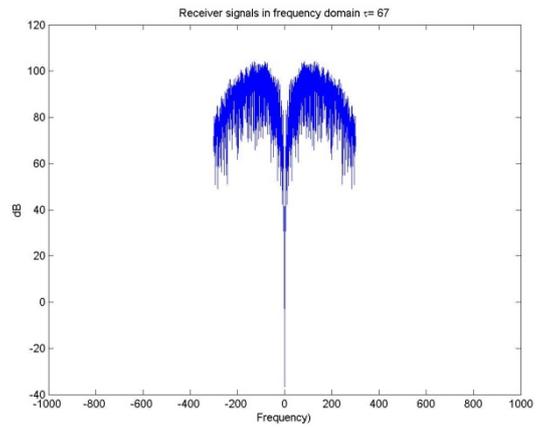
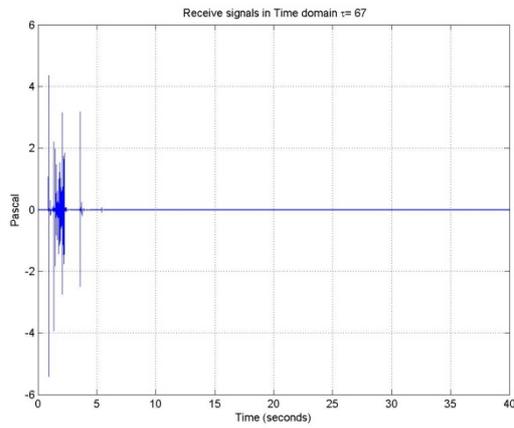
11.4.2.2 Station 25.....	286
Empfängertiefe 10 m.....	286
Empfängertiefe 50 m.....	288
Empfängertiefe 200 m.....	290
11.5 8 G-GUN+BOLT ARRAY, QUELLTIEFE 10 M	292
11.5.1 TIEFE 4000 M	292
11.5.1.1 Station 715	292
Empfängertiefe 10 m.....	292
Empfängertiefe 50 m.....	294
Empfängertiefe 200 m.....	296
11.5.1.2 Station 25.....	298
Empfängertiefe 10 m.....	298
Empfängertiefe 50 m.....	300
Empfängertiefe 200 m.....	302
11.5.2 TIEFE 500 M	304
11.5.2.1 Station 715	304
Empfängertiefe 10 m.....	304
Empfängertiefe 50 m.....	306
Empfängertiefe 200 m.....	308
11.5.2.2 Station 25.....	310
Empfängertiefe 10 m.....	310
Empfängertiefe 50 m.....	312
Empfängertiefe 200 m.....	314

11.2 1 G-gun Array, Quelltiefe 5 m

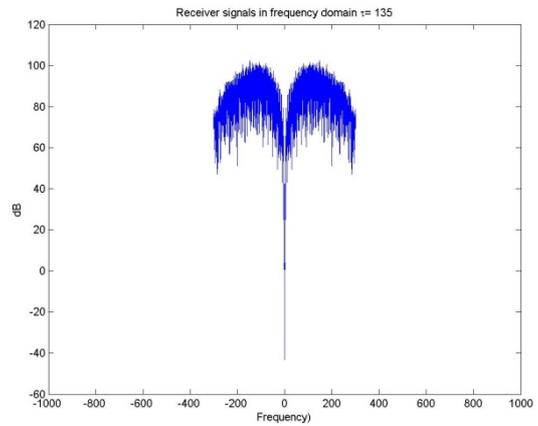
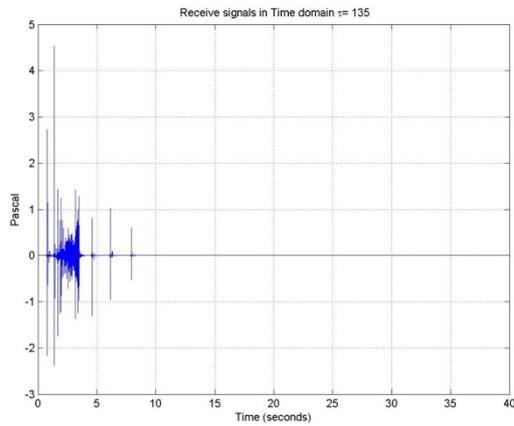
11.2.1 Tiefe 4000 m

11.2.1.1 Station 715

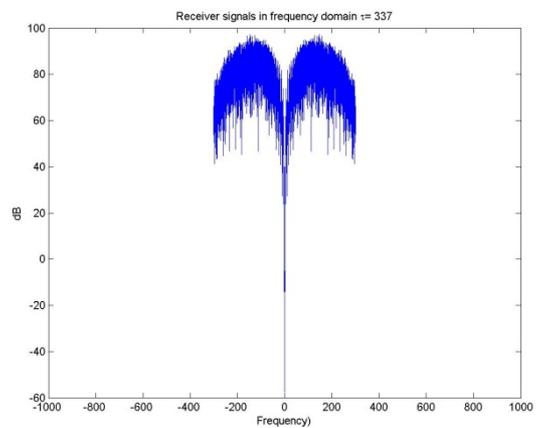
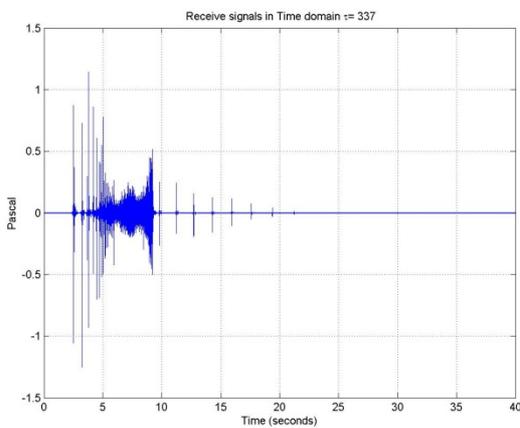
Empfängertiefe 10 m



100 km

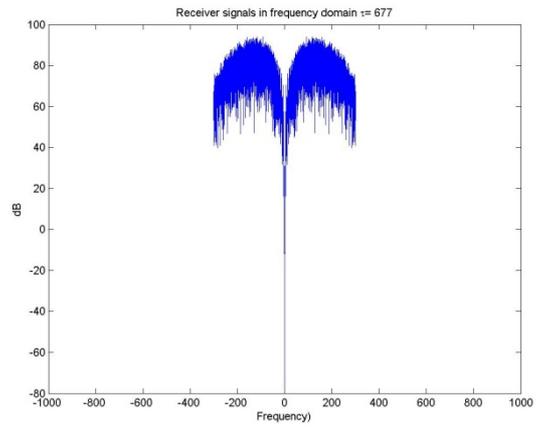
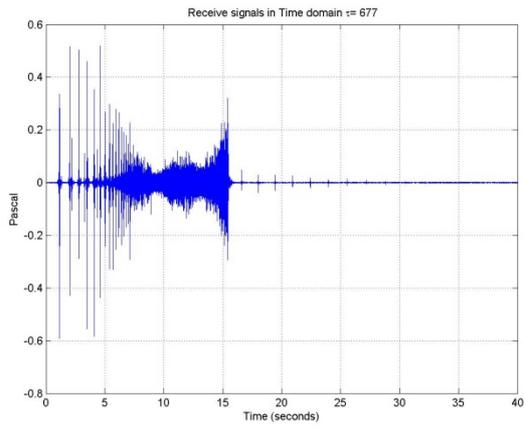


200 km

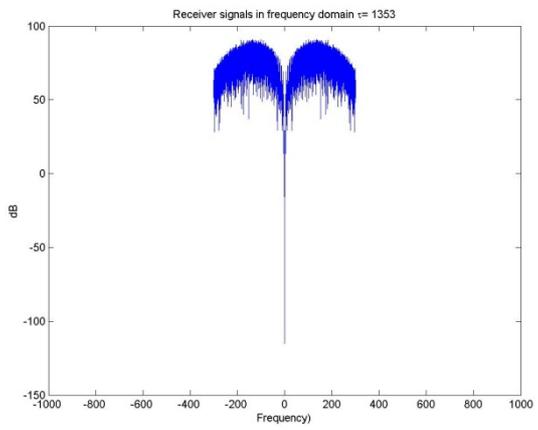
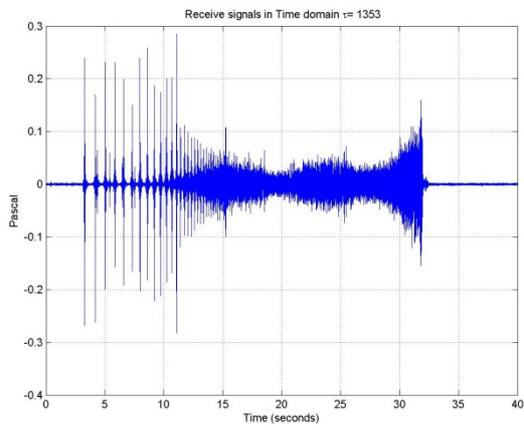


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

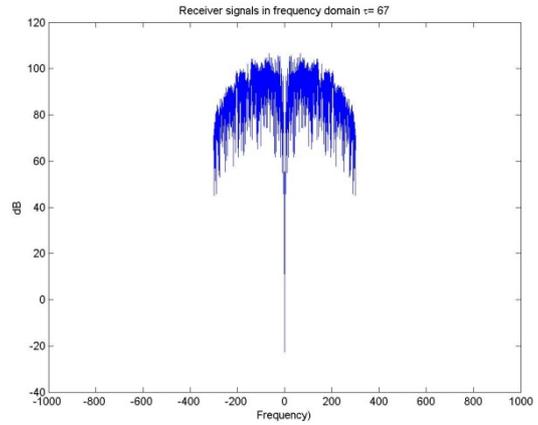
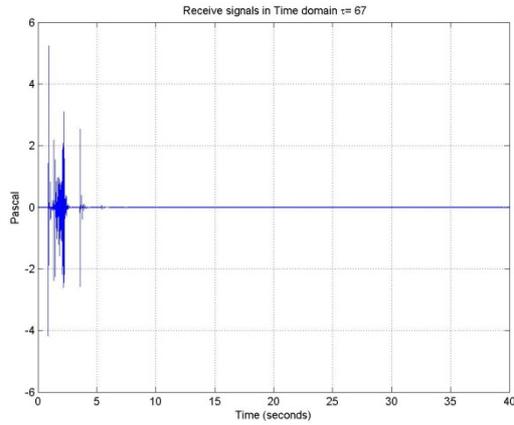


1000 km

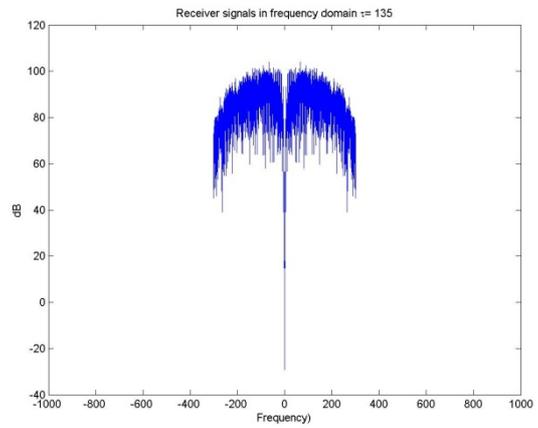
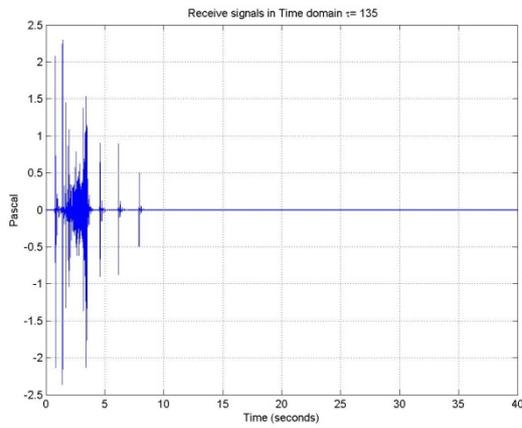


2000 km

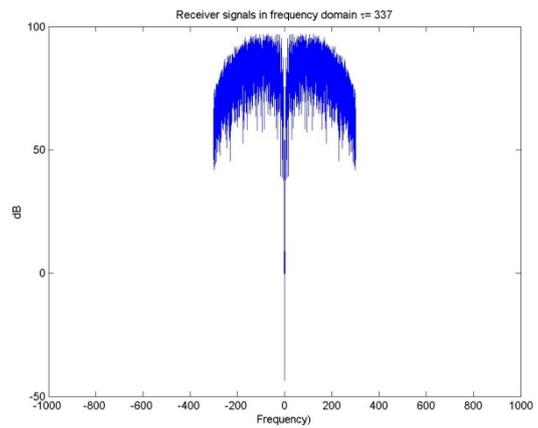
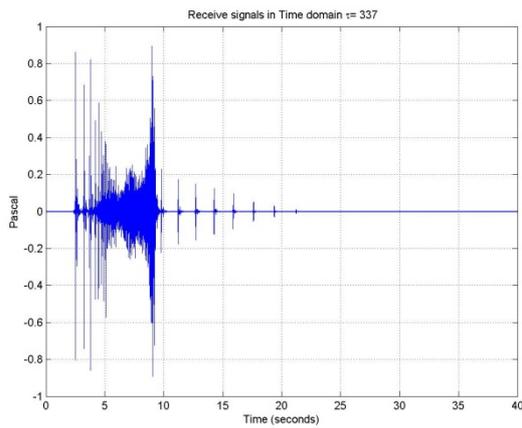
Empfängertiefe 50m



100 km

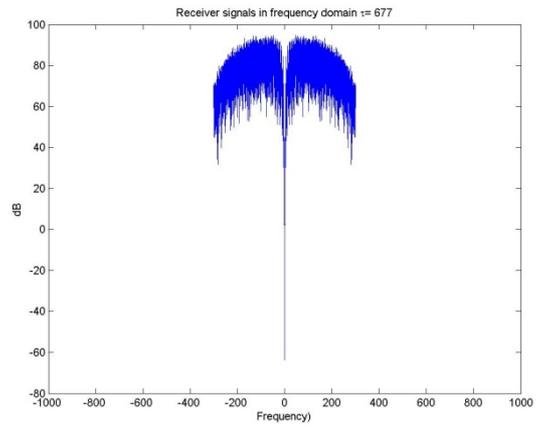
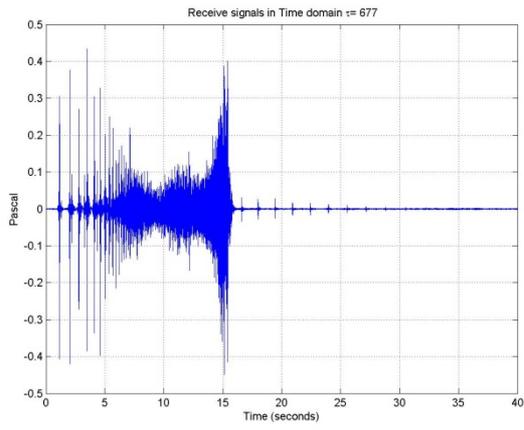


200 km

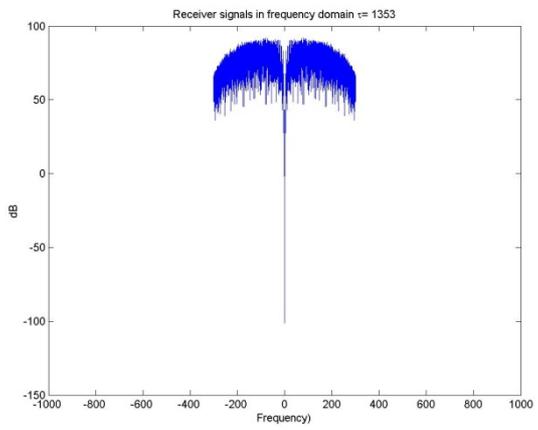
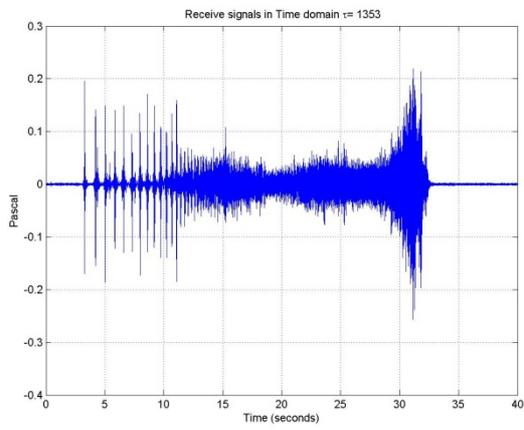


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

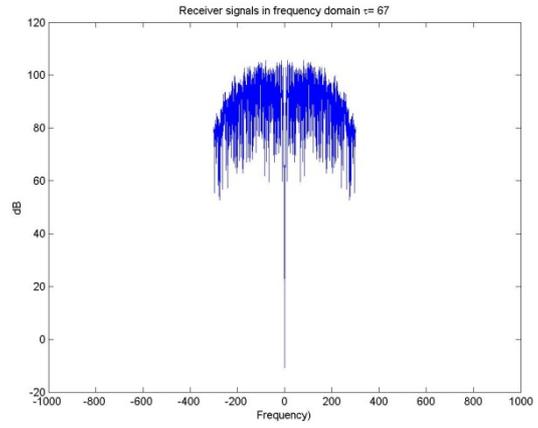
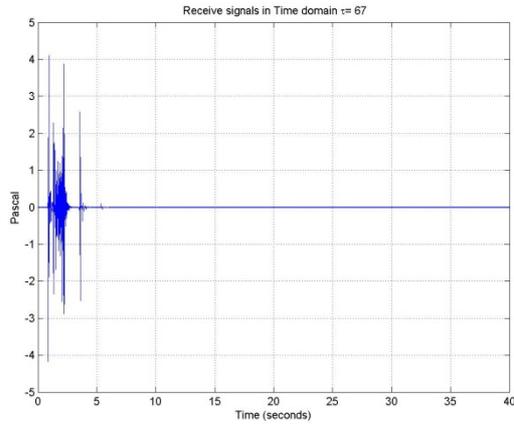


1000 km

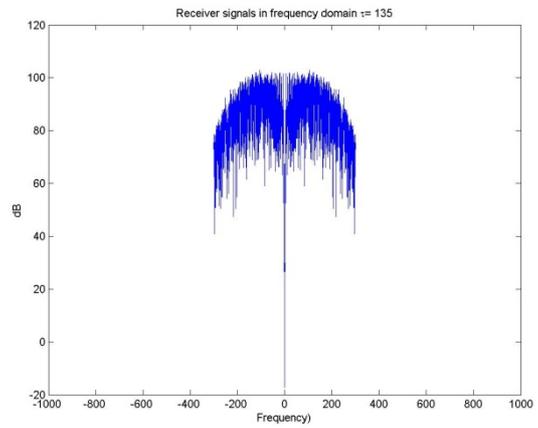
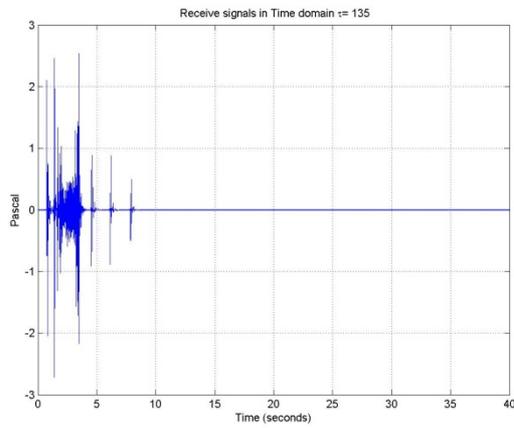


2000 km

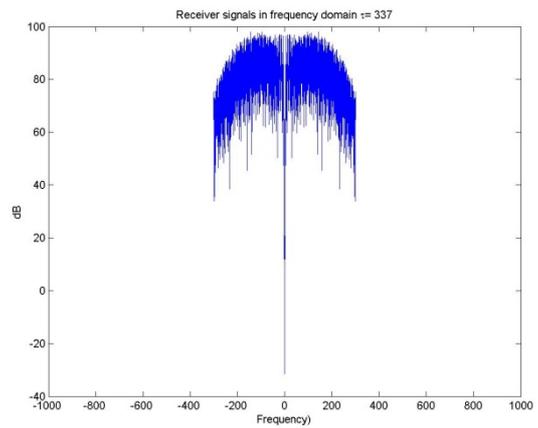
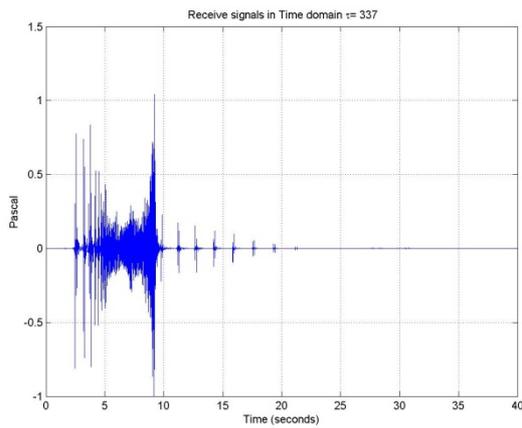
Empfängertiefe 200m



100 km

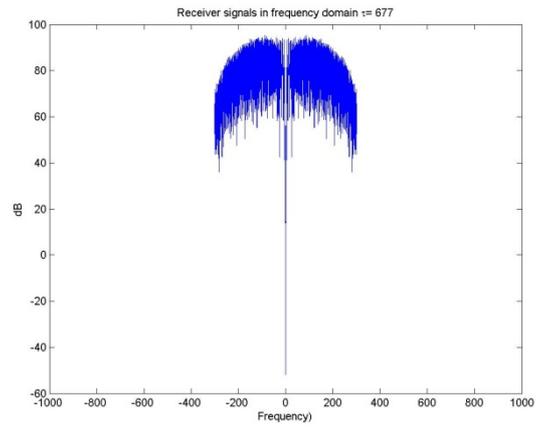
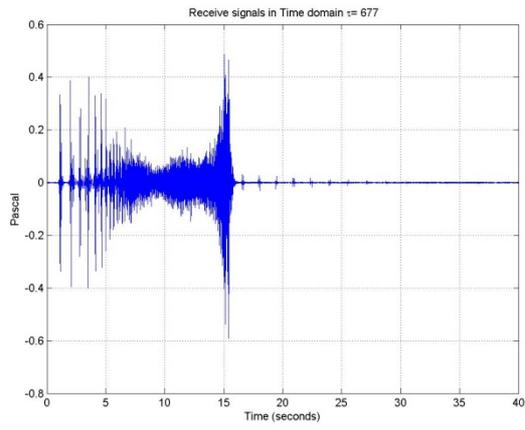


200 km

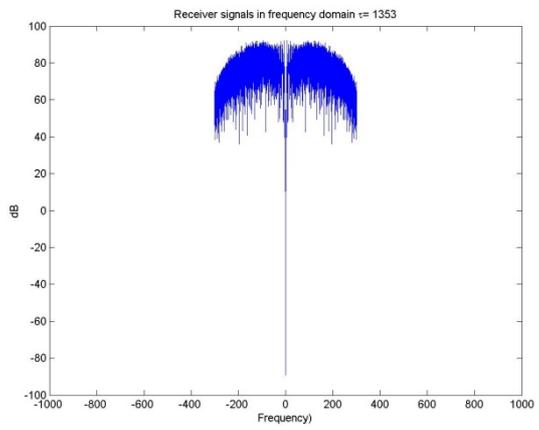
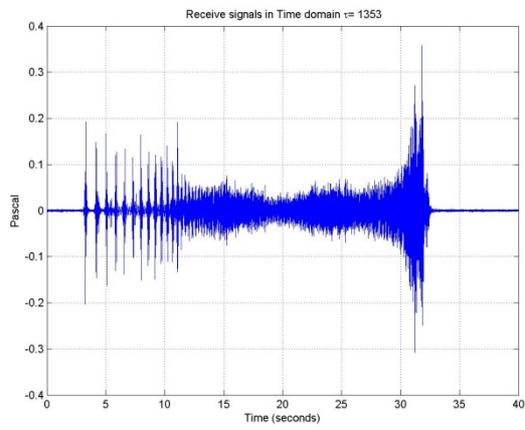


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



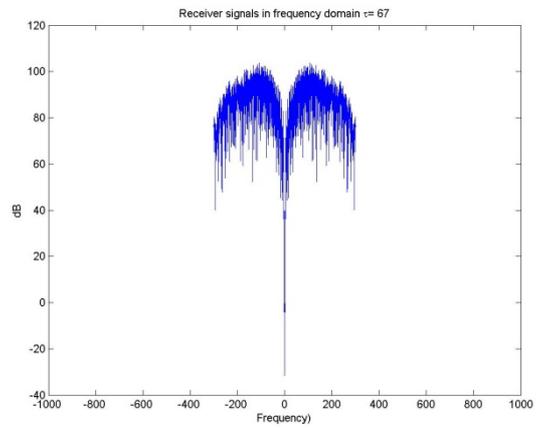
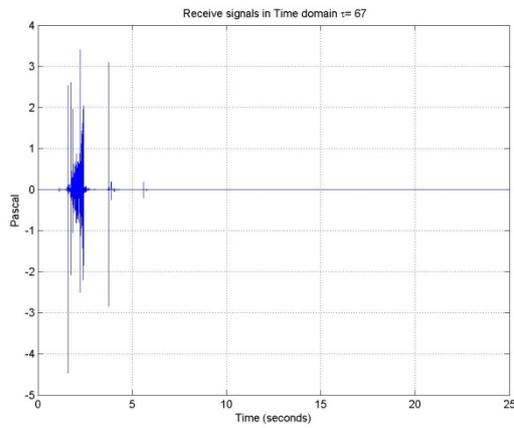
1000 km



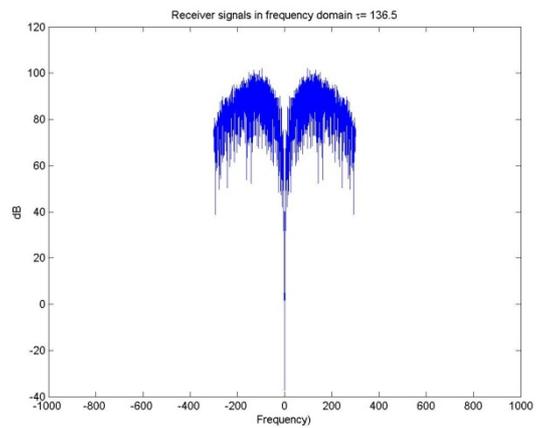
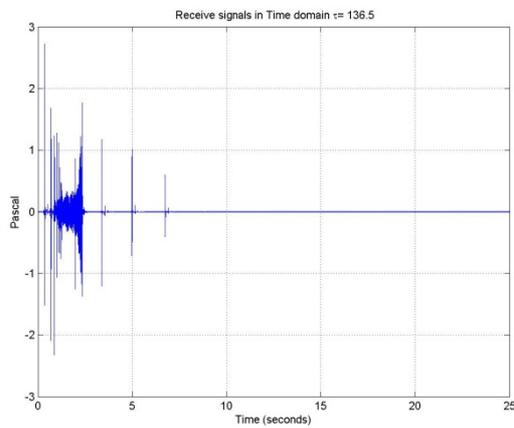
2000 km

11.2.1.2 Station 25

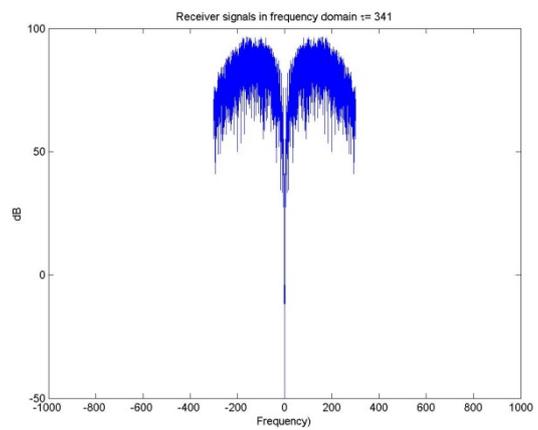
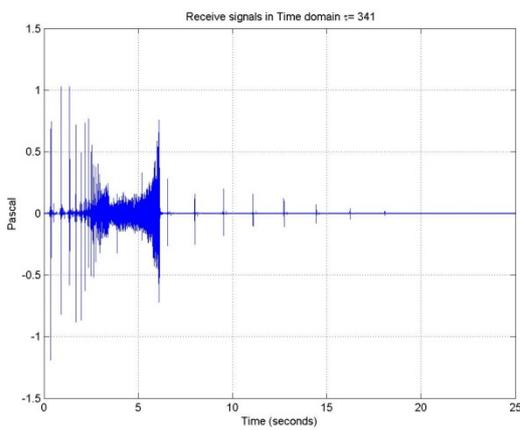
Empfängertiefe 10 m



100 km

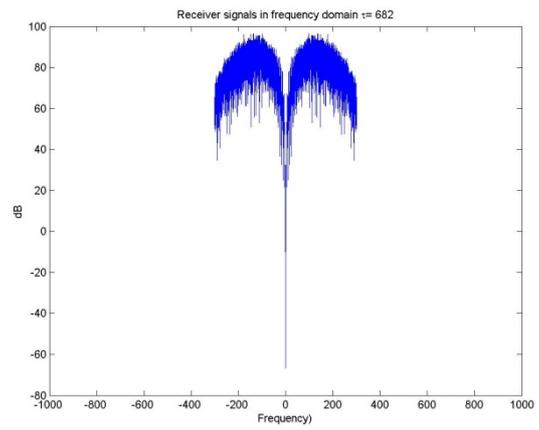
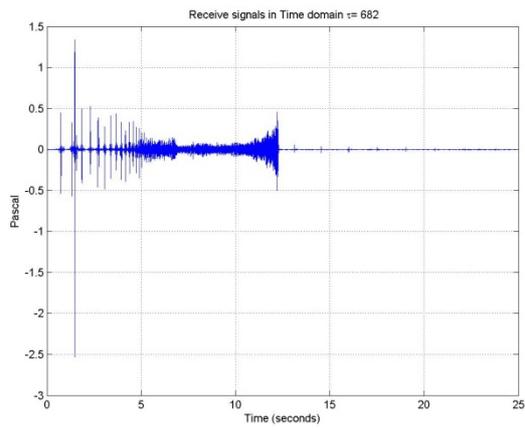


200 km

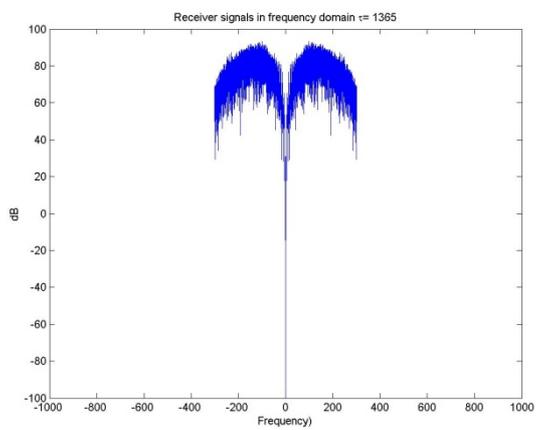
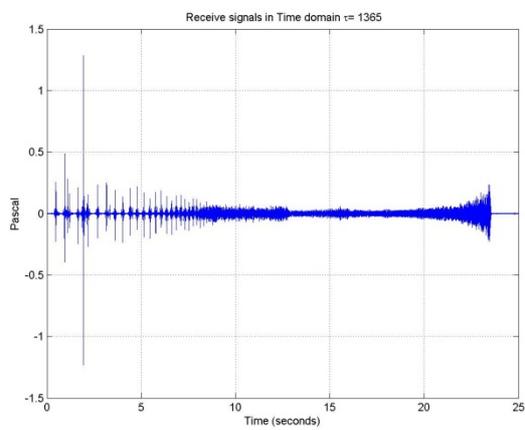


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

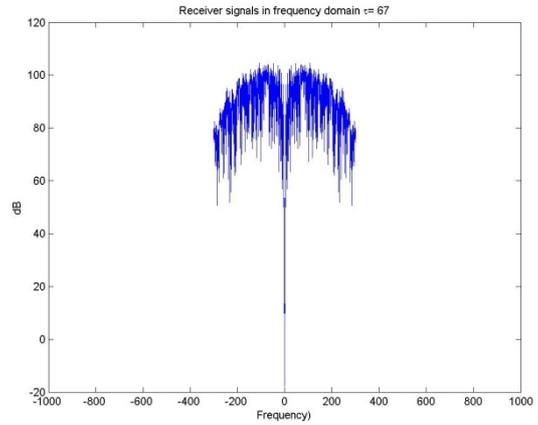
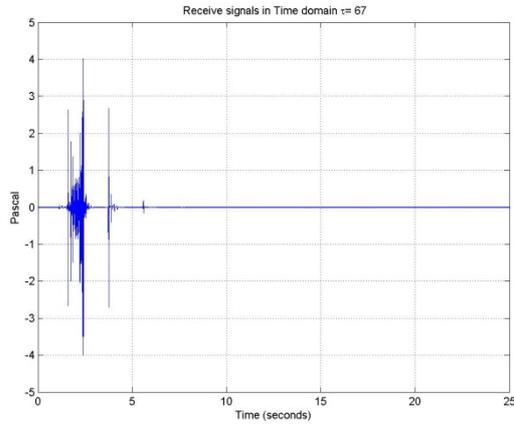


1000 km

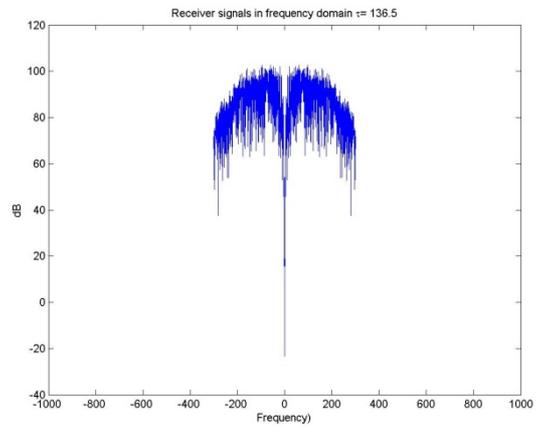
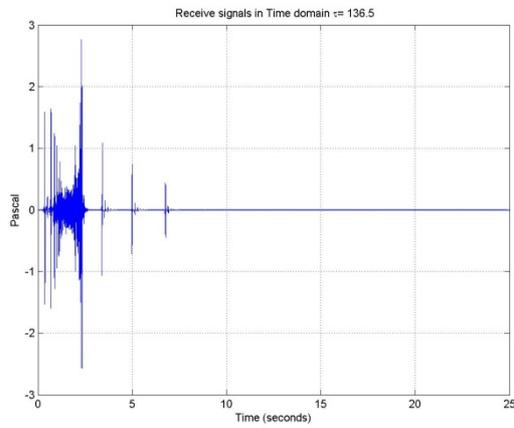


2000 km

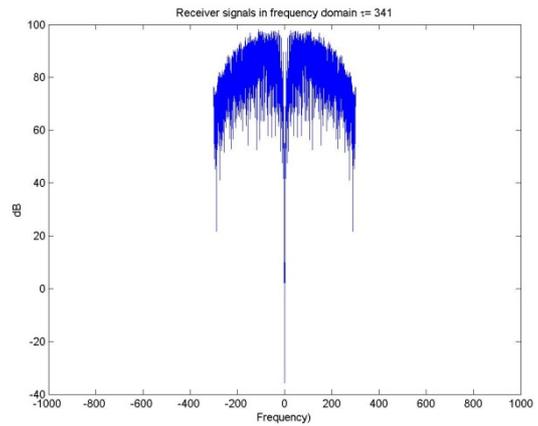
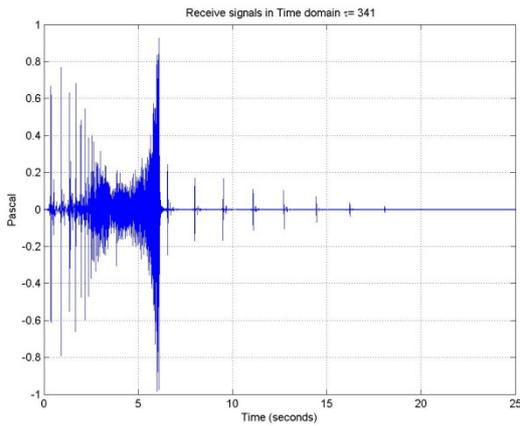
Empfängertiefe 50 m



100 km

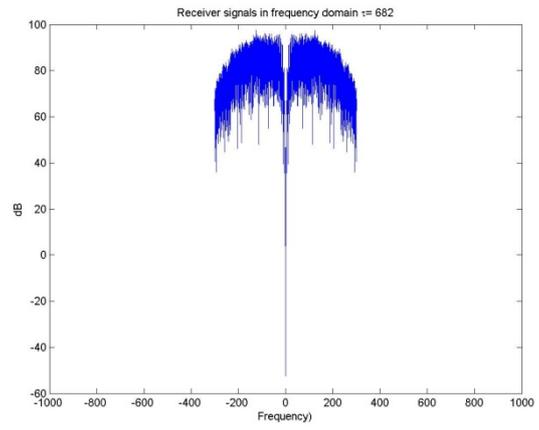
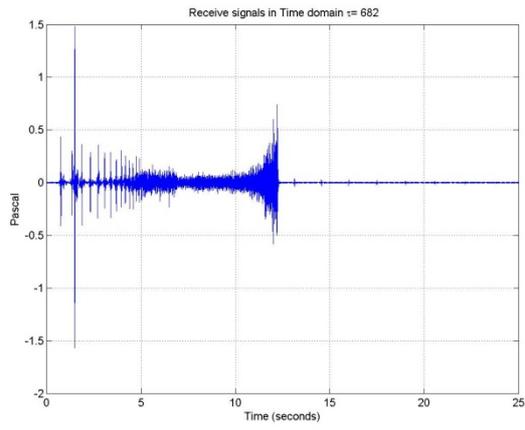


200 km

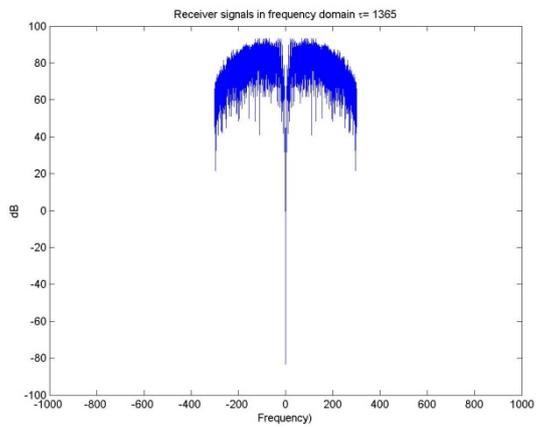
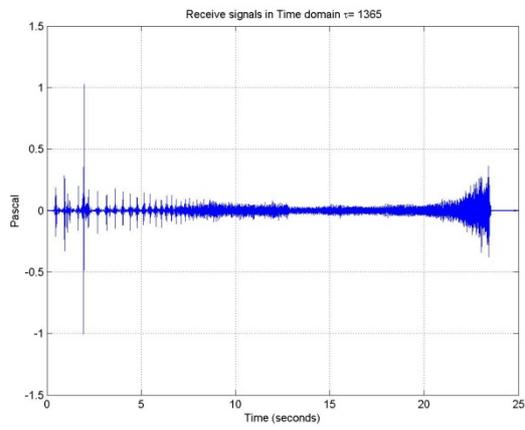


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

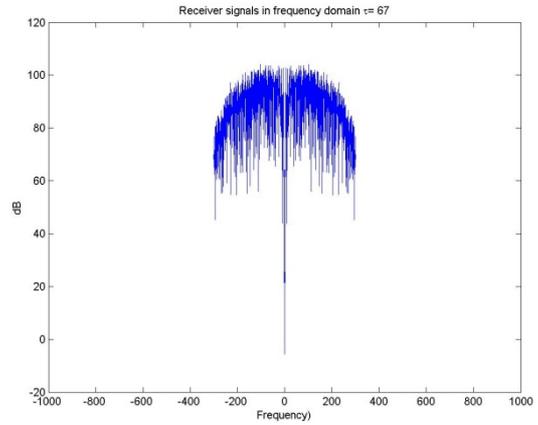
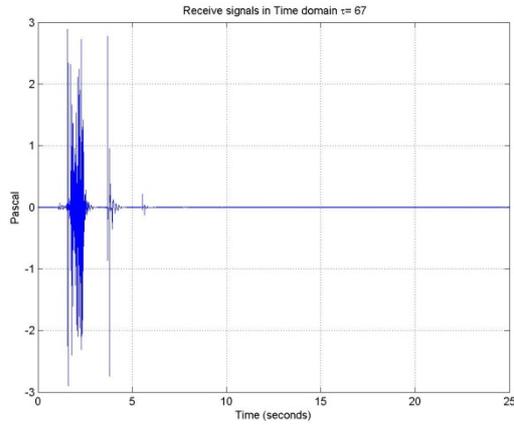


1000 km

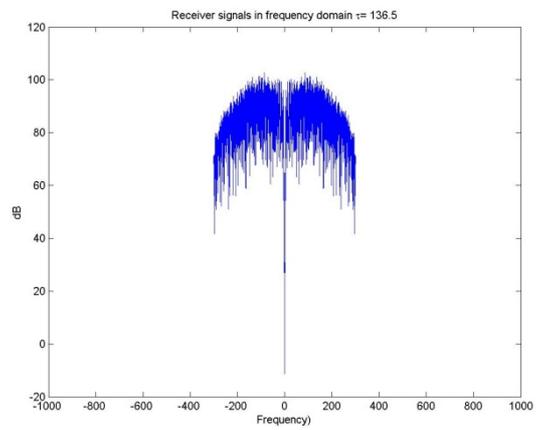
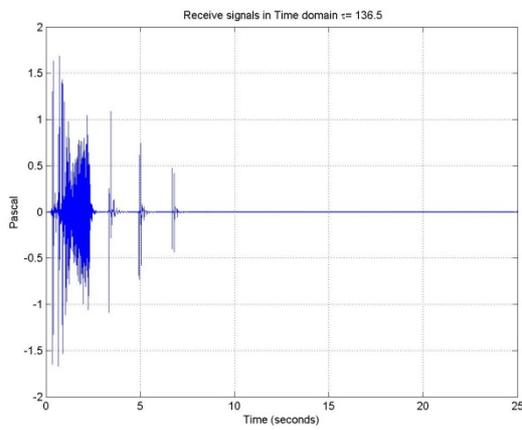


2000 km

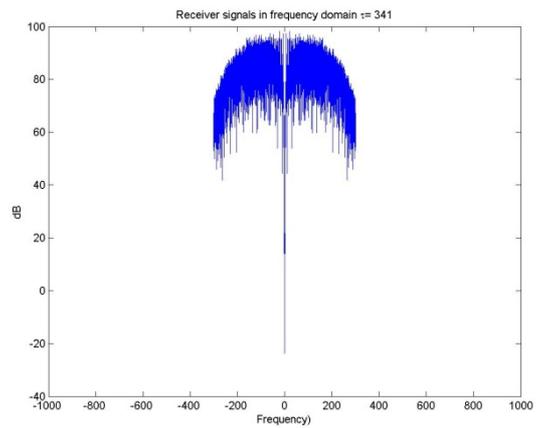
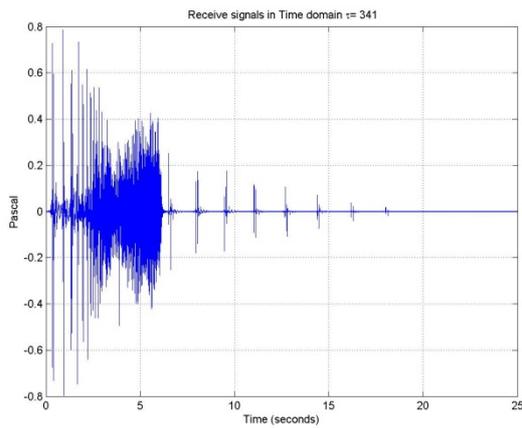
Empfängertiefe 200 m



100 km

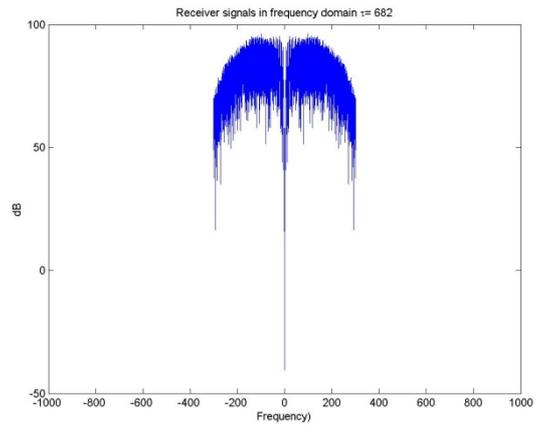
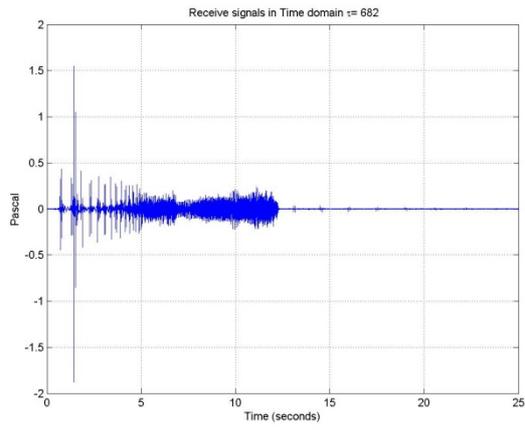


200 km

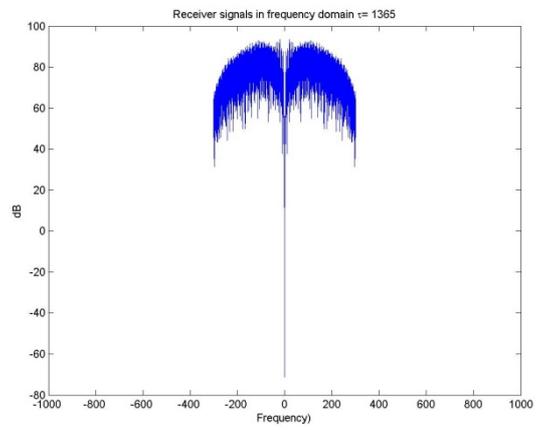
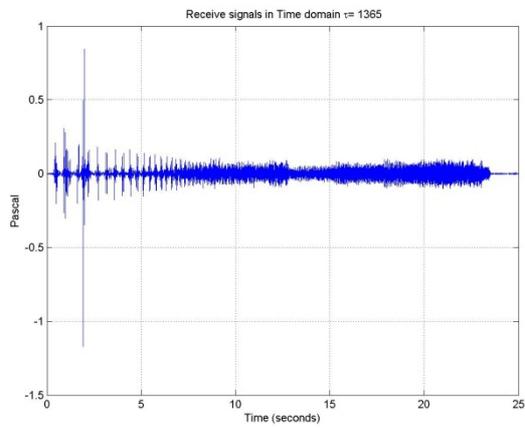


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km

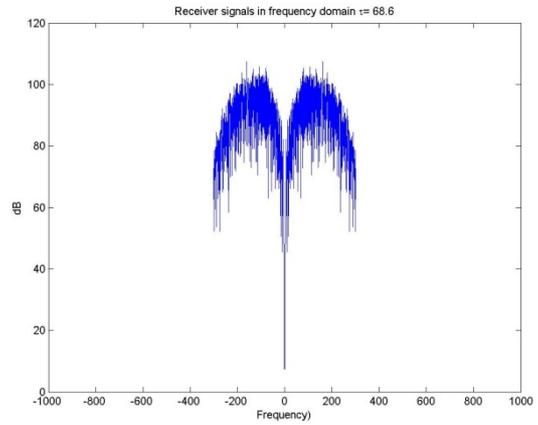
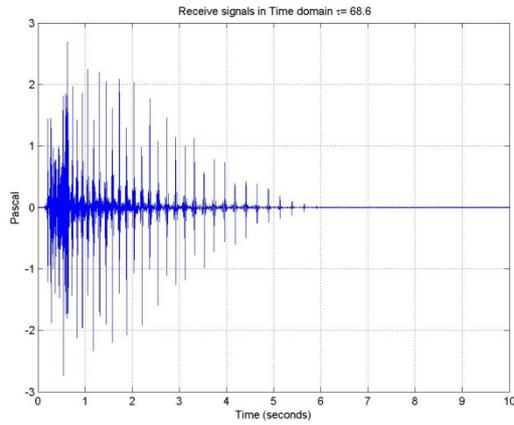


2000 km

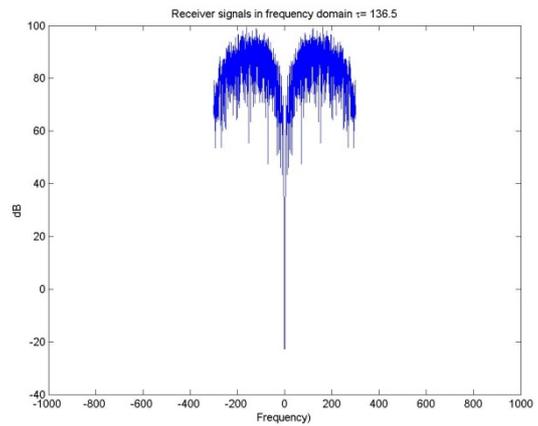
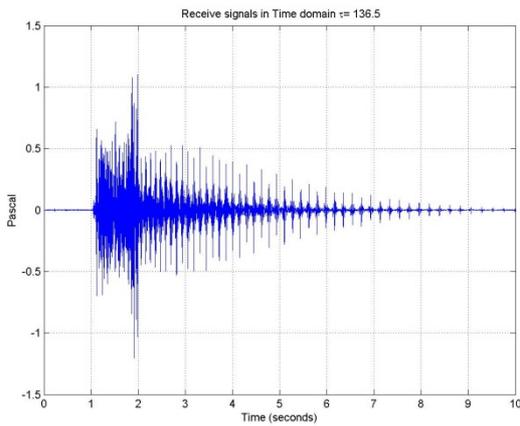
11.2.2 Tiefe 500 m

11.2.2.1 Station 715

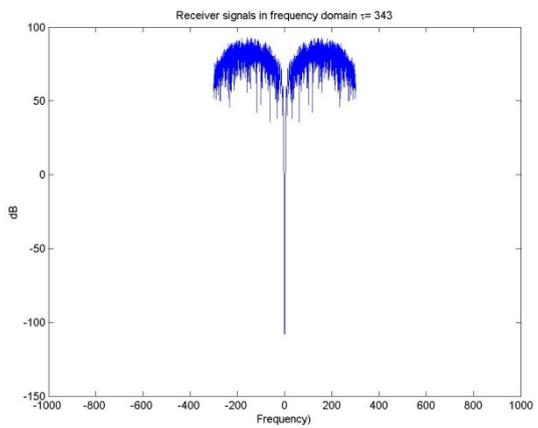
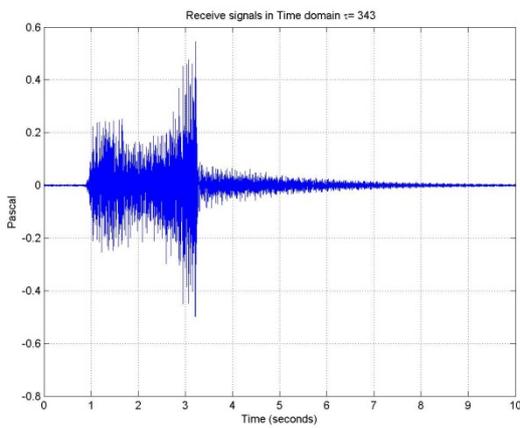
Empfängertiefe 10 m



100 km

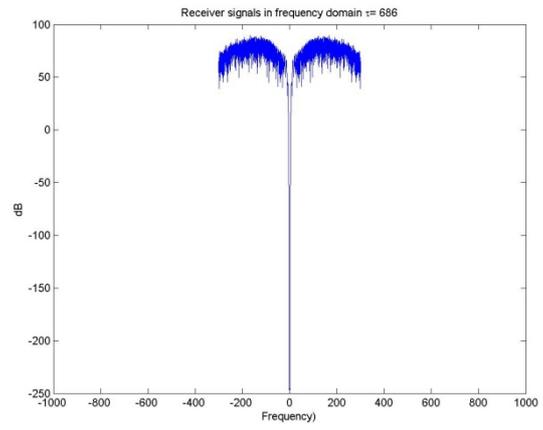
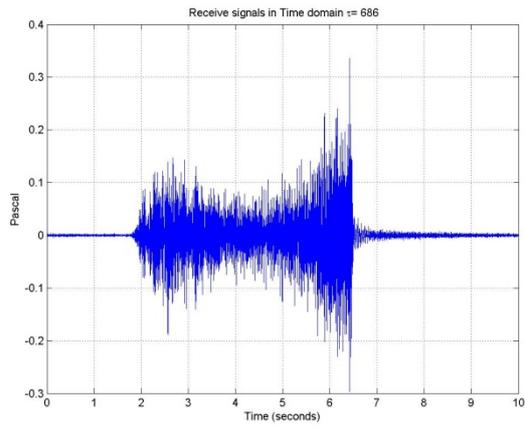


200 km

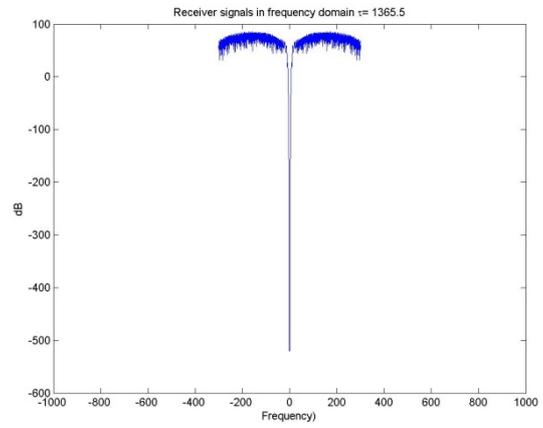
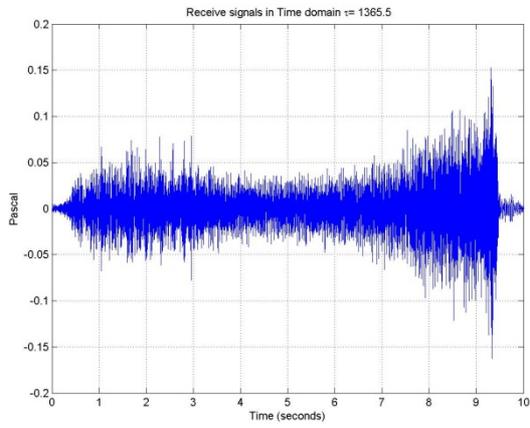


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

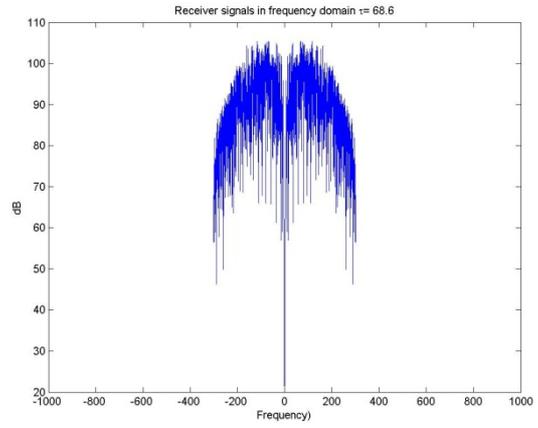
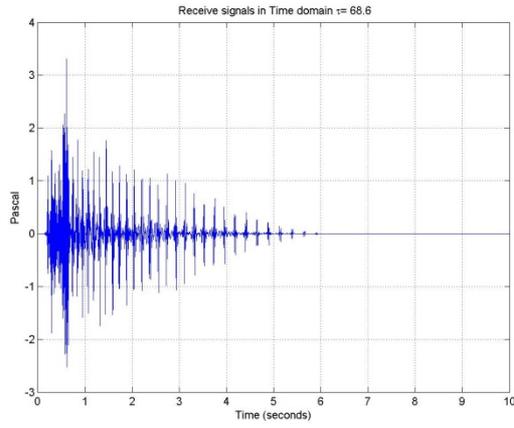


1000 km

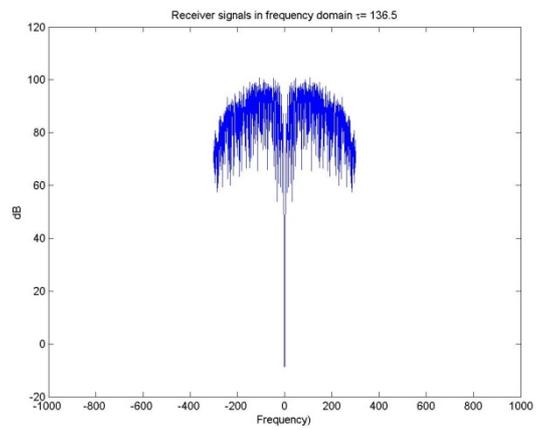
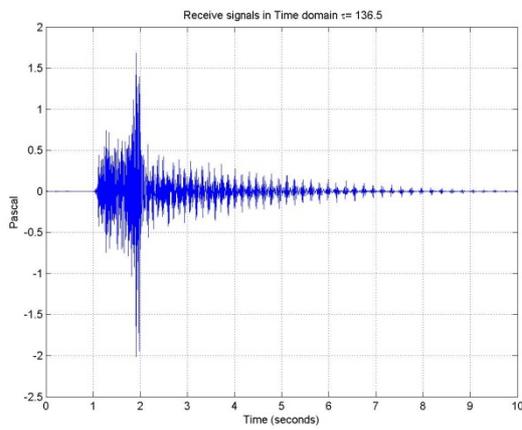


2000 km

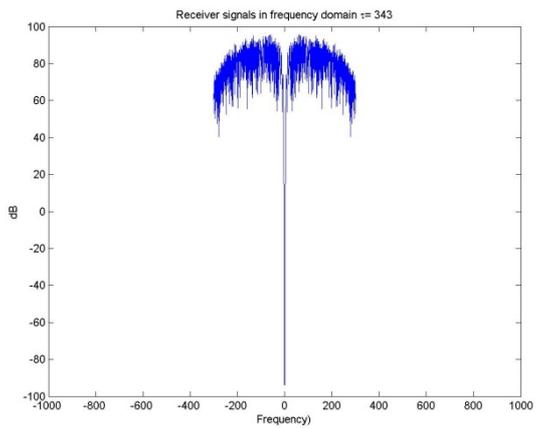
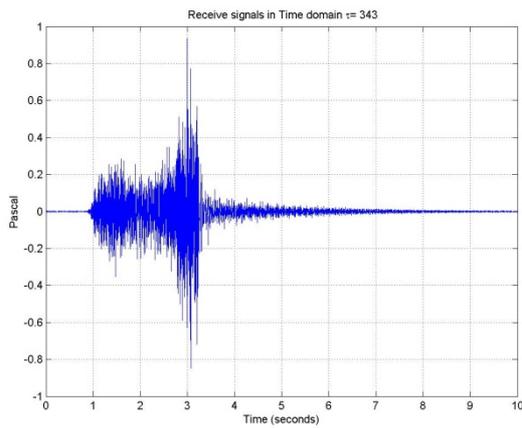
Empfängertiefe 50 m



100 km

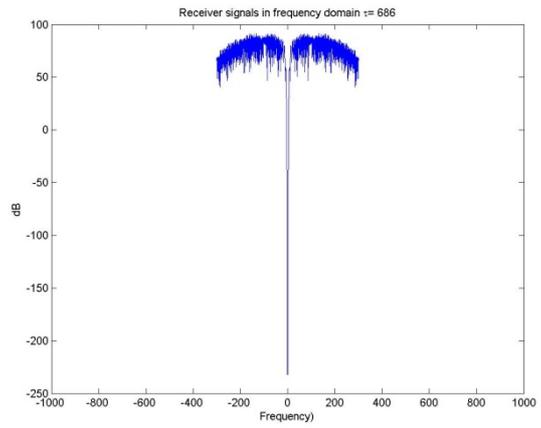
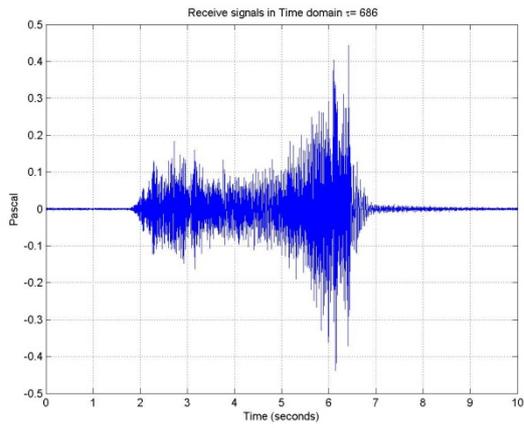


200 km

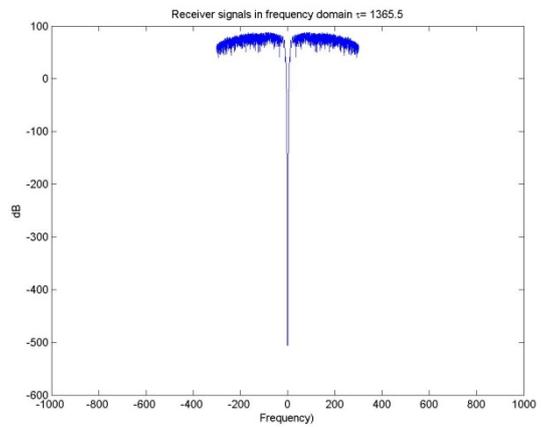
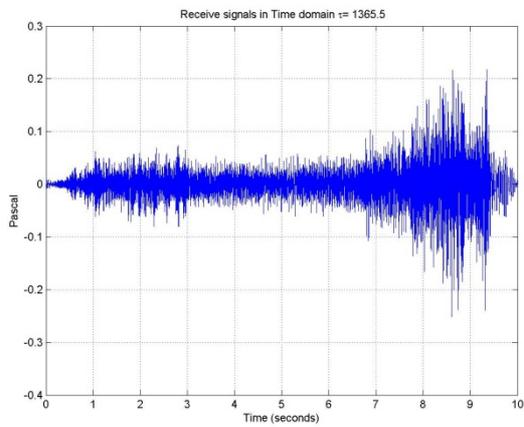


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

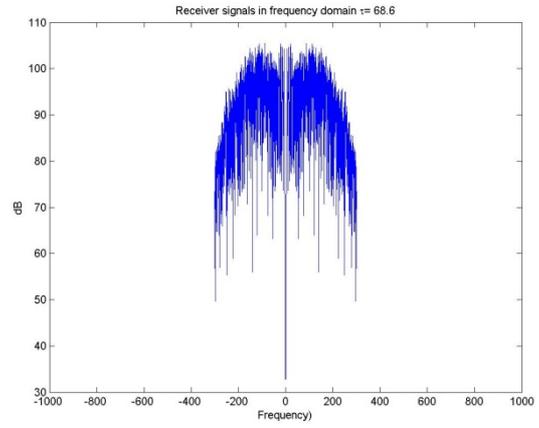
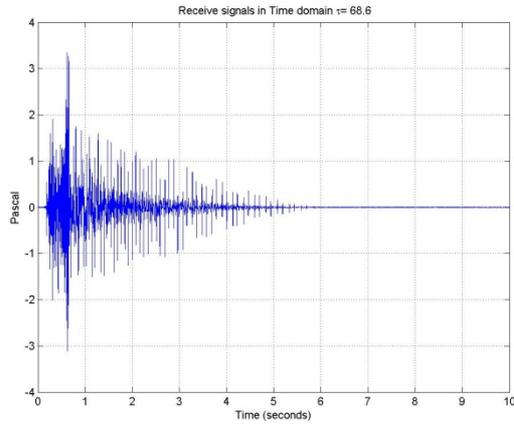


1000 km

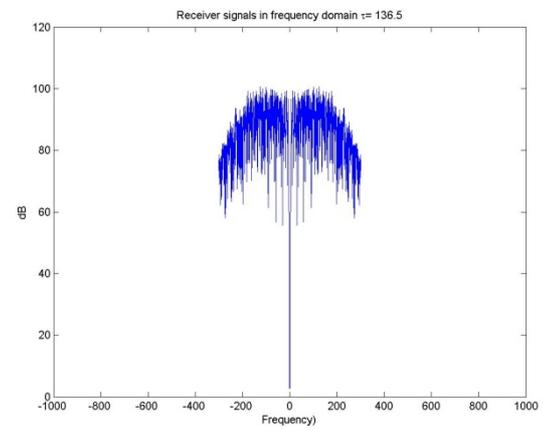
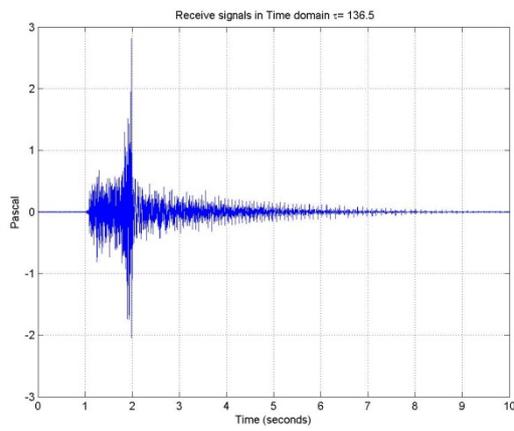


2000 km

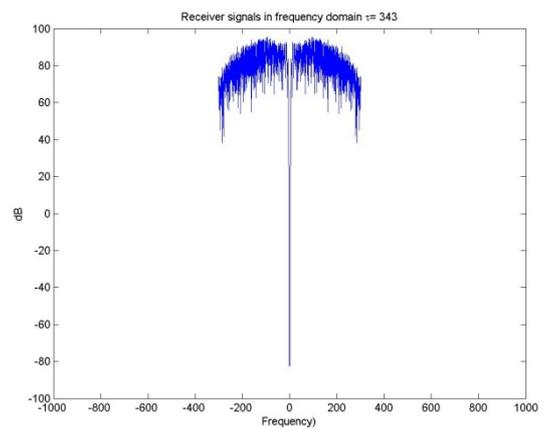
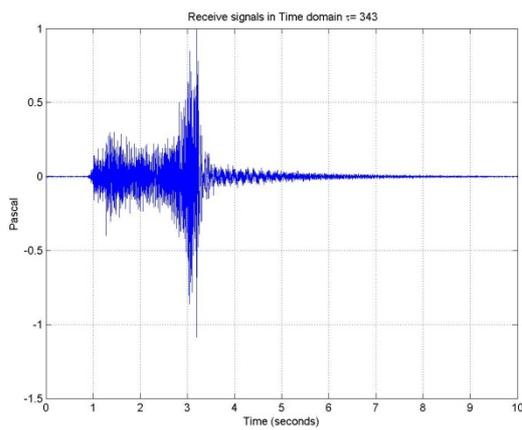
Empfängertiefe 200 m



100 km

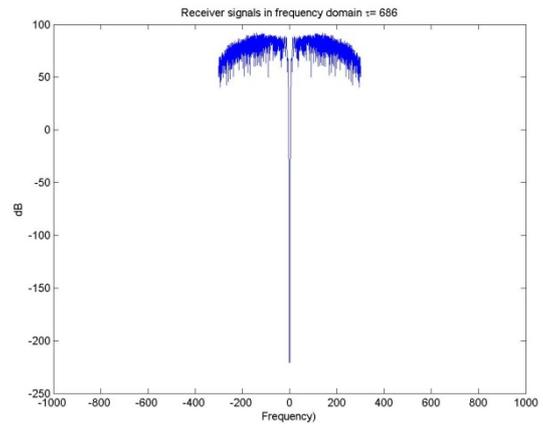
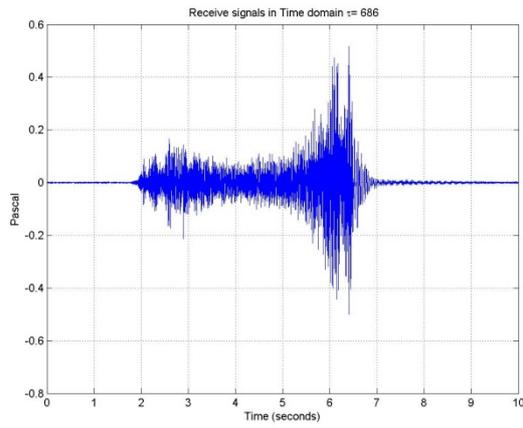


200 km

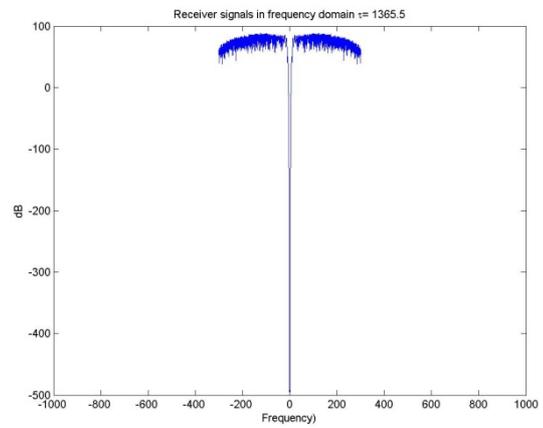
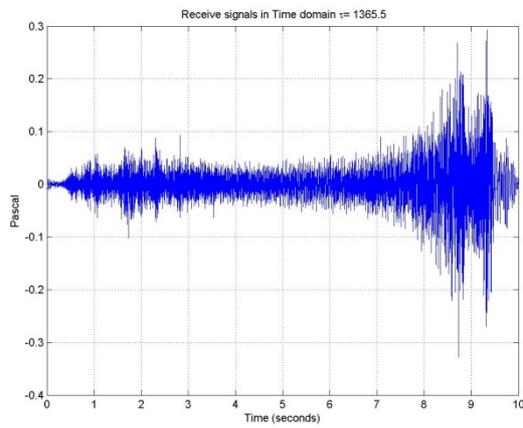


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



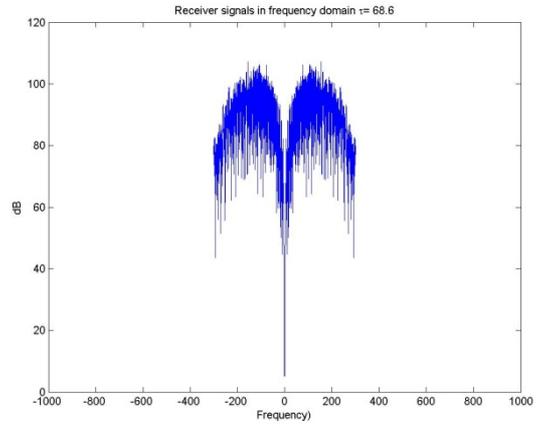
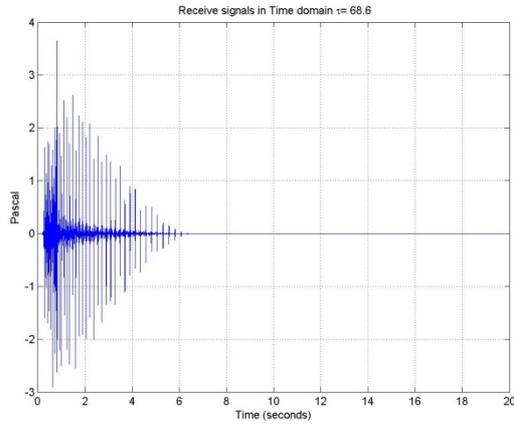
1000 km



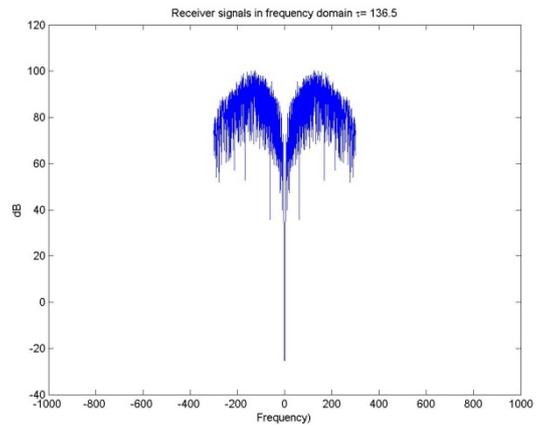
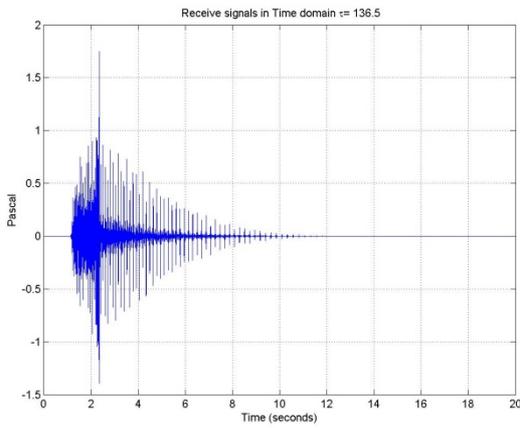
2000 km

11.2.2.2 Station 25

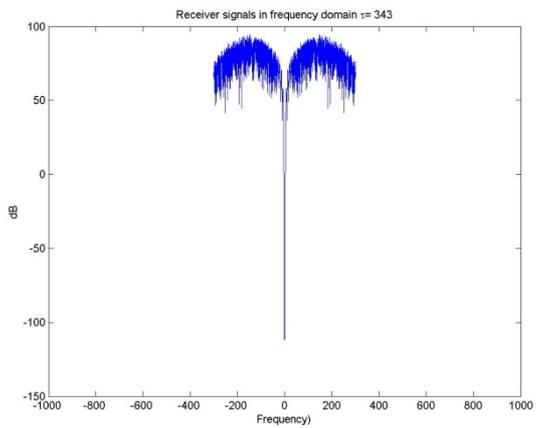
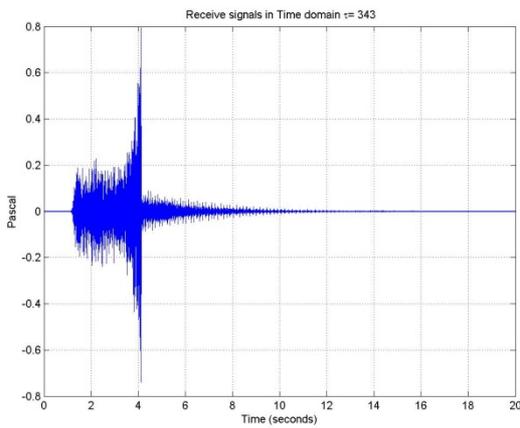
Empfängertiefe 10 m



100 km

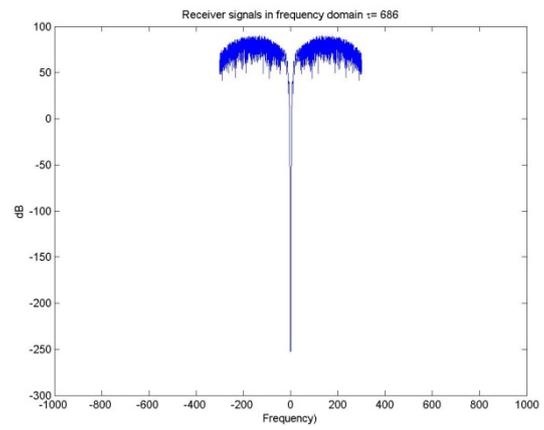
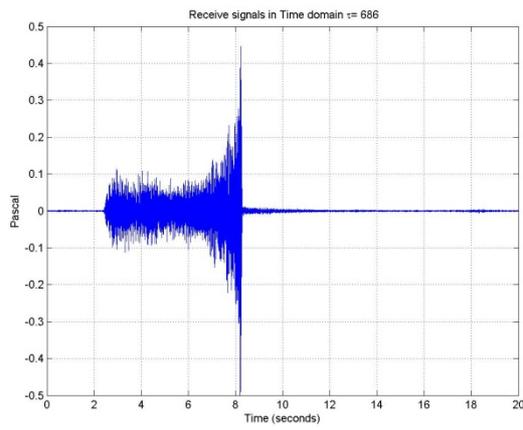


200 km

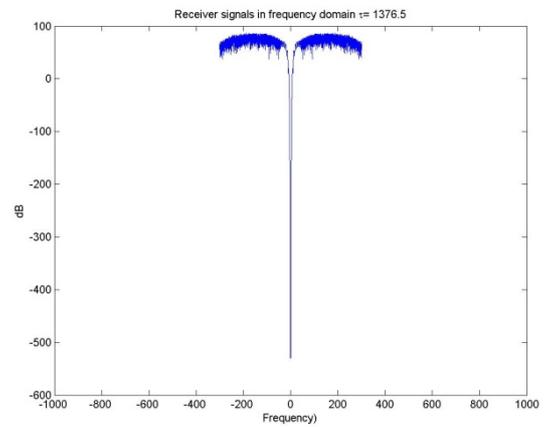
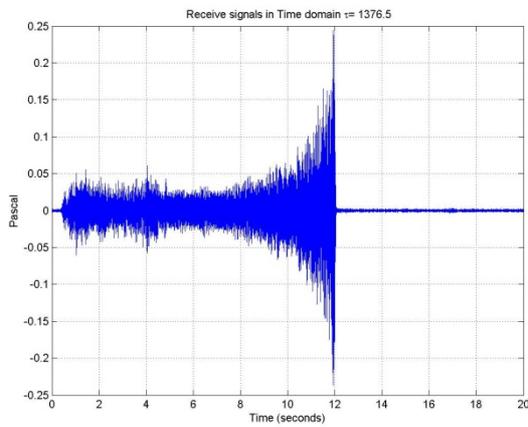


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

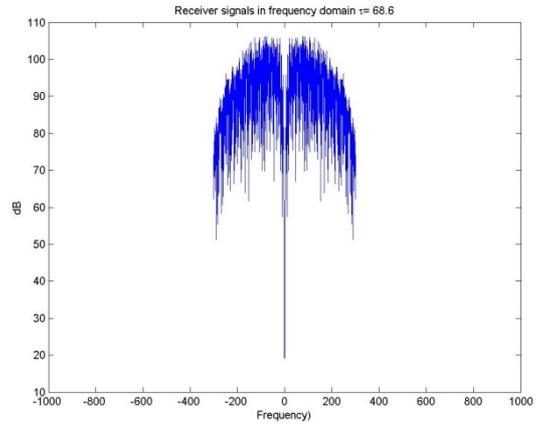
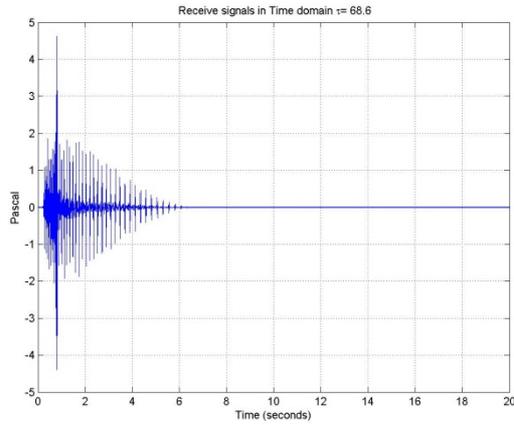


1000 km

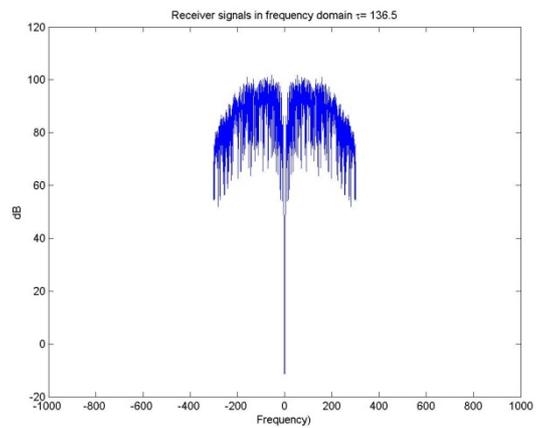
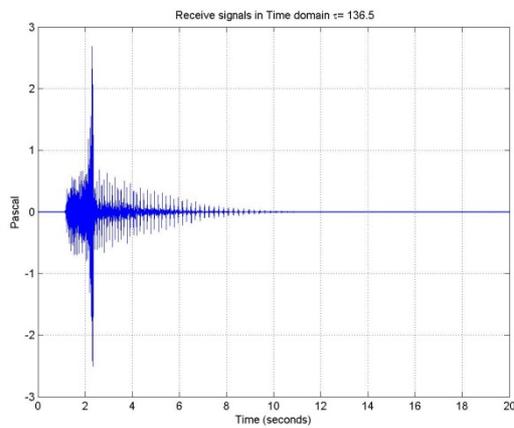


2000 km

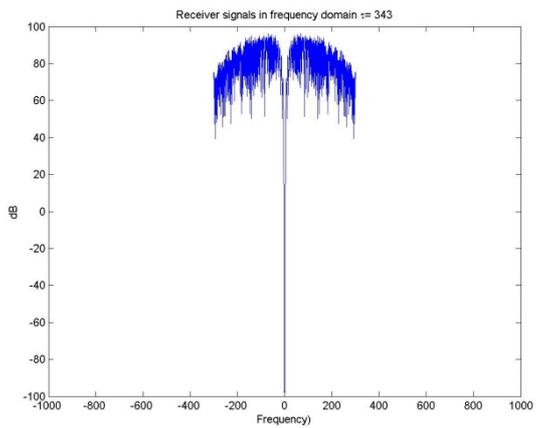
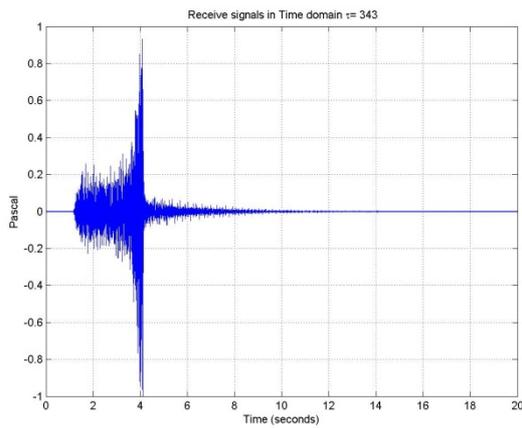
Empfängertiefe 50 m



100 km

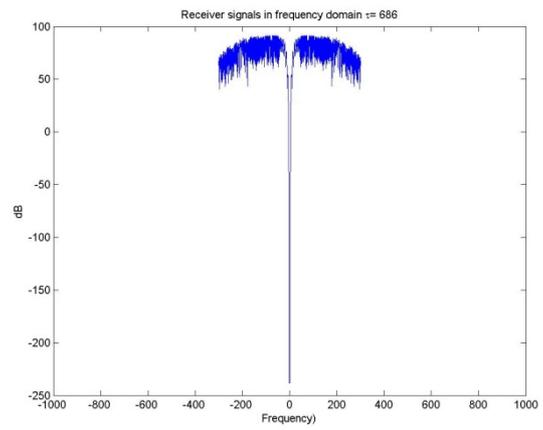
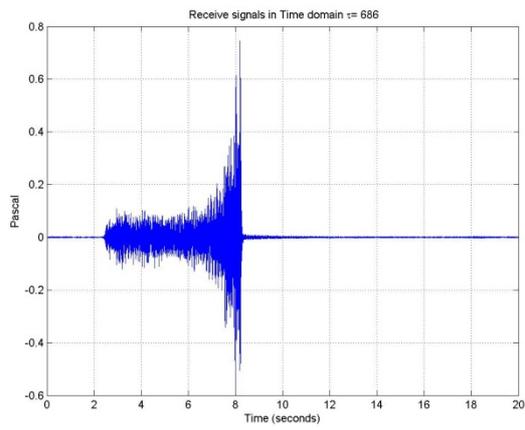


200 km

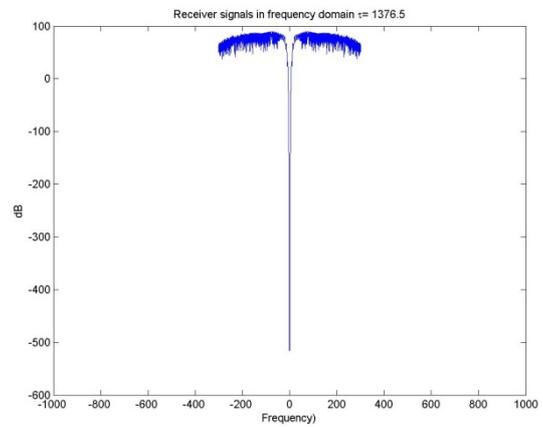
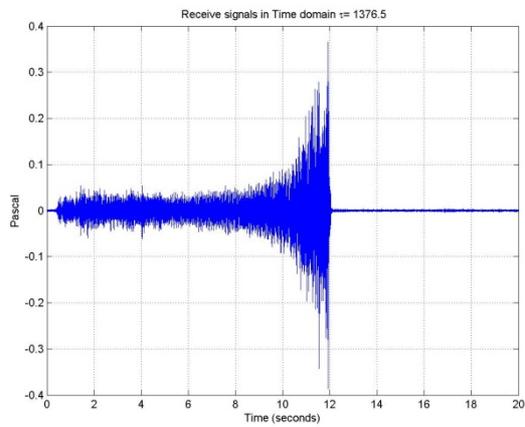


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

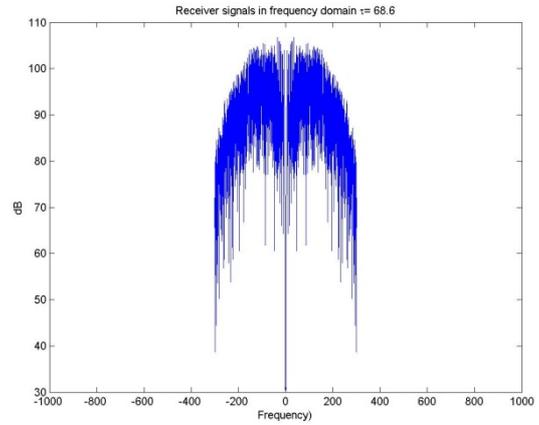
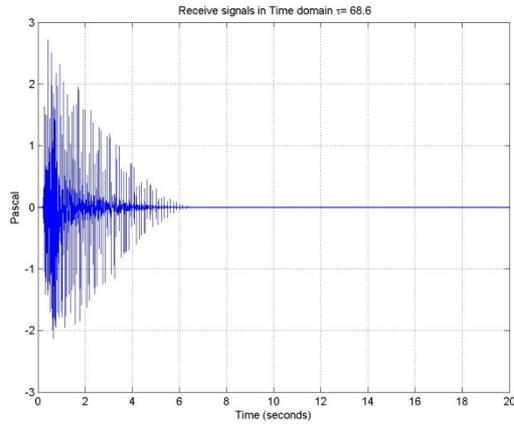


1000 km

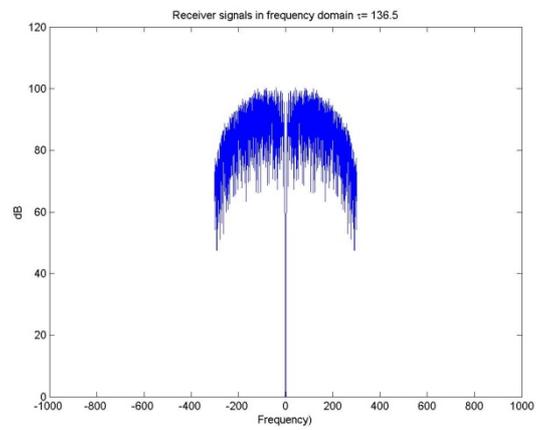
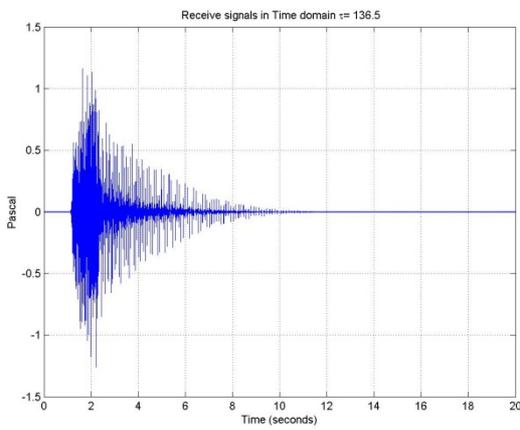


2000 km

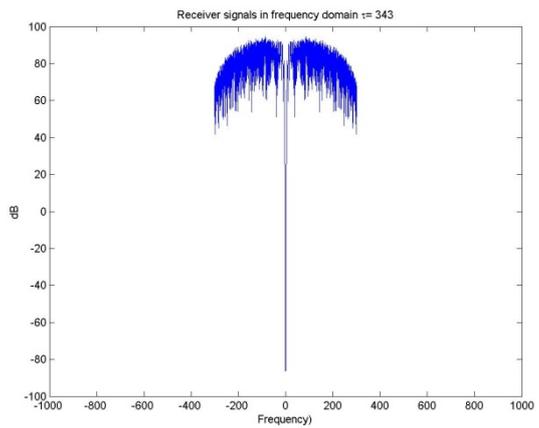
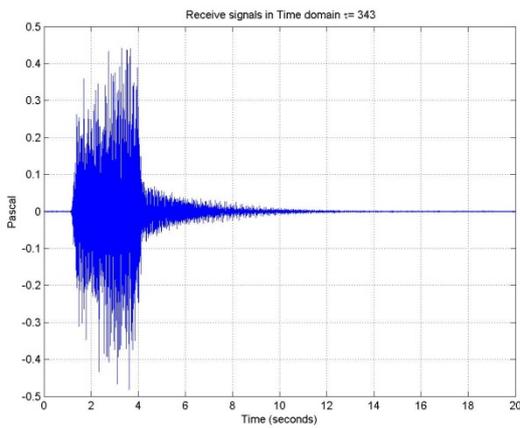
Empfängertiefe 200 m



100 km

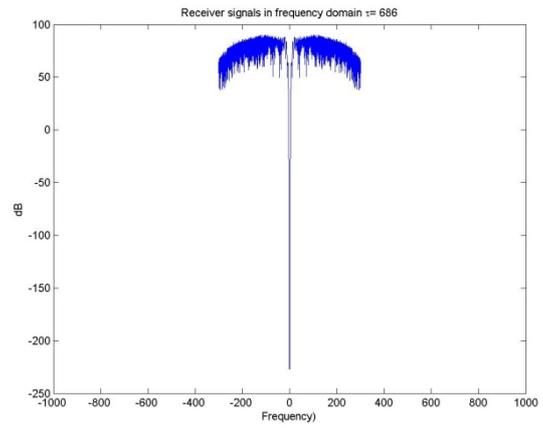
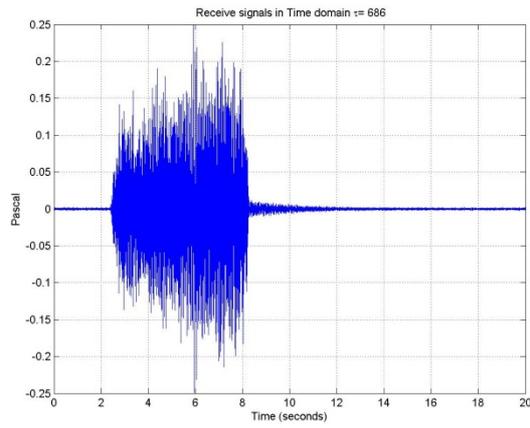


200 km

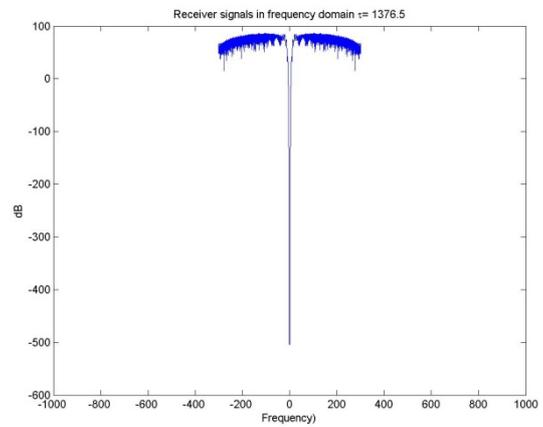
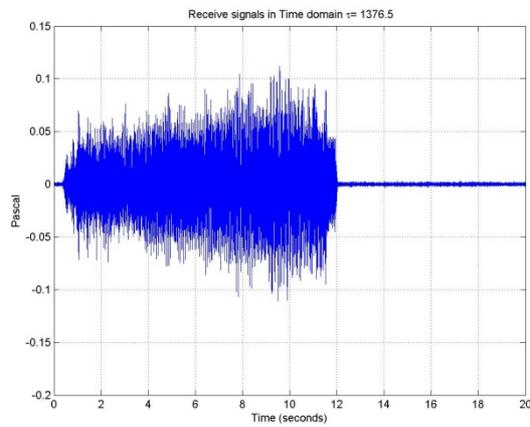


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km



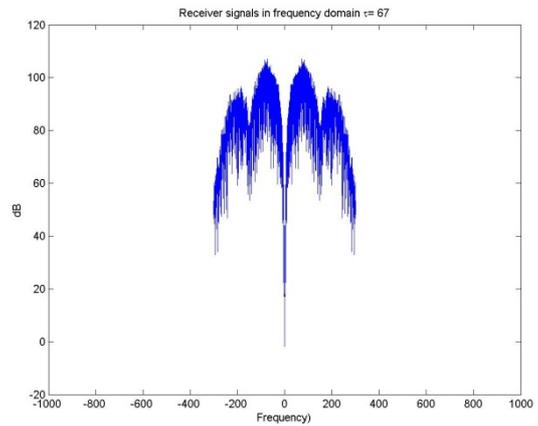
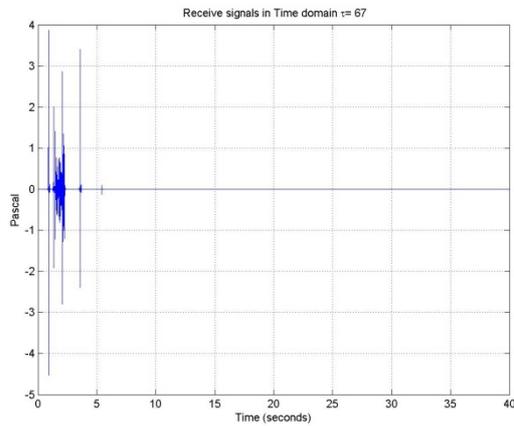
2000 km

11.3 3 GI-gun Array, Quelltiefe 5 m

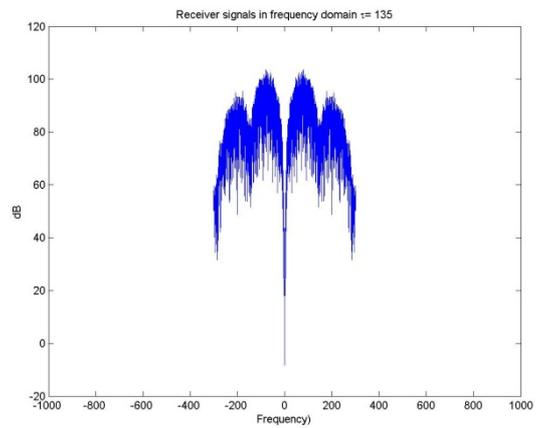
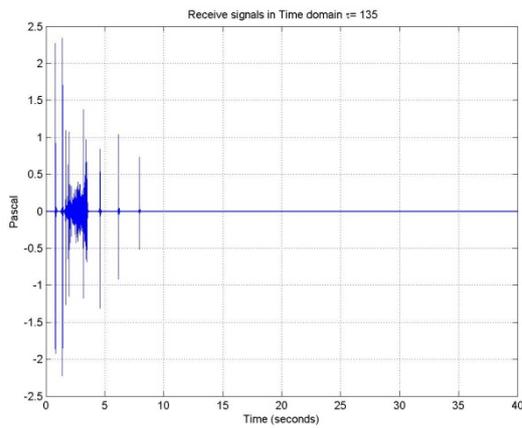
11.3.1 Tiefe 4000 m

11.3.1.1 Station 715

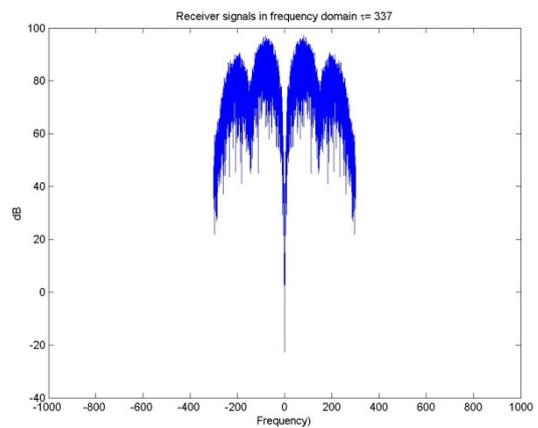
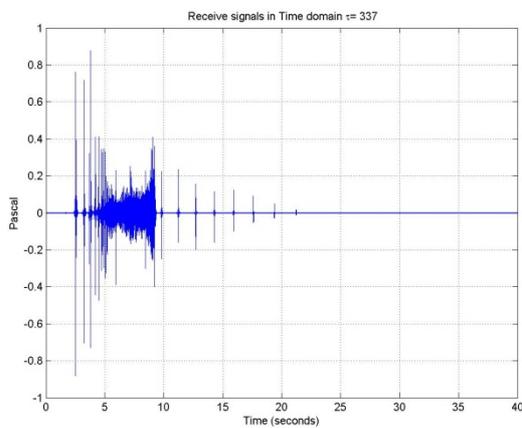
Empfängertiefe 10m



100 km

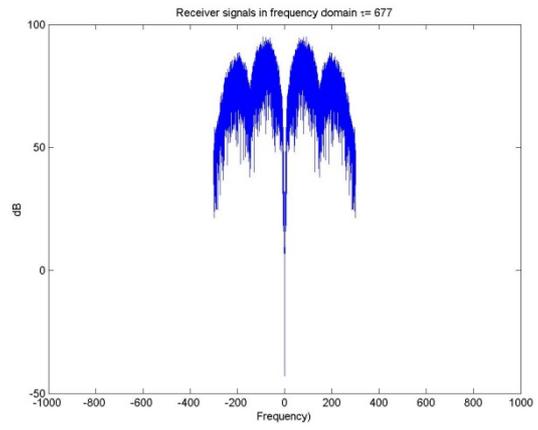
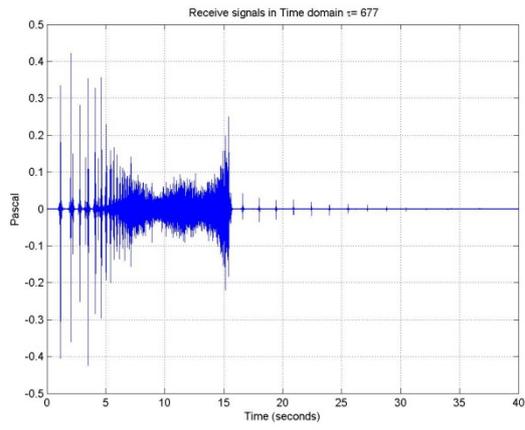


200 km

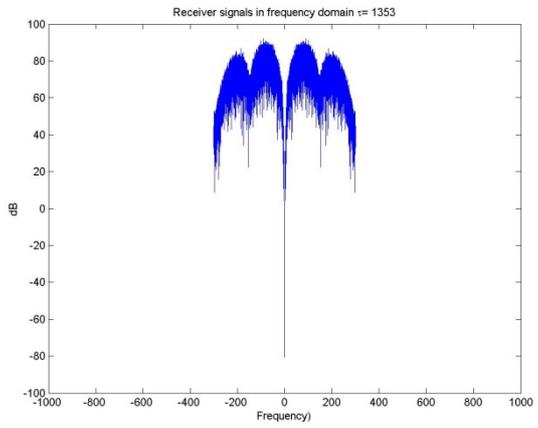
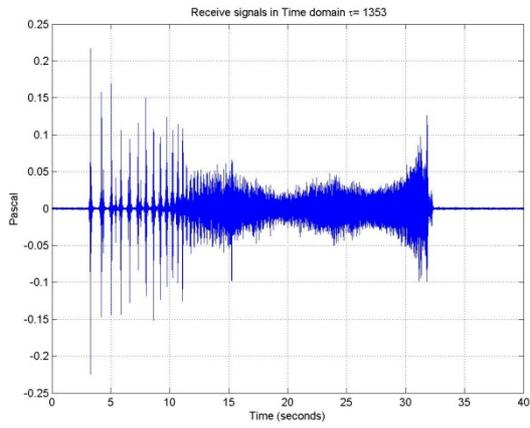


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

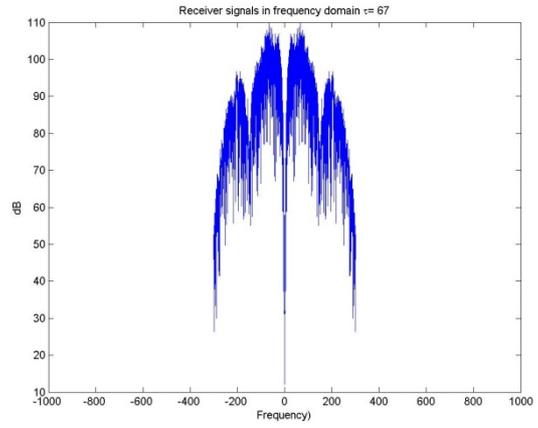
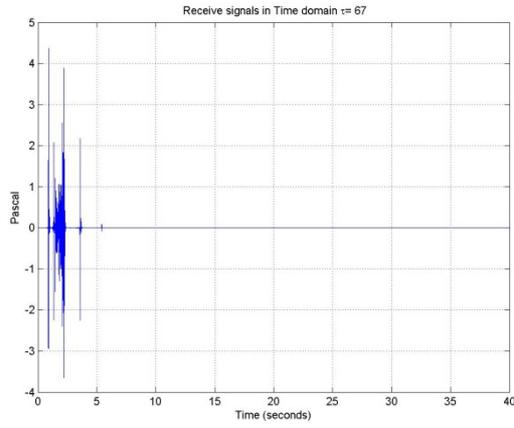


1000 km

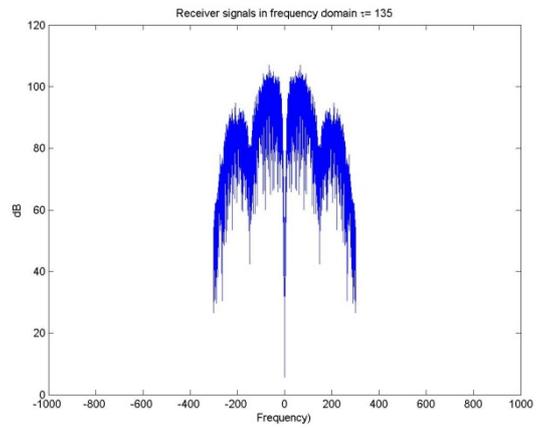
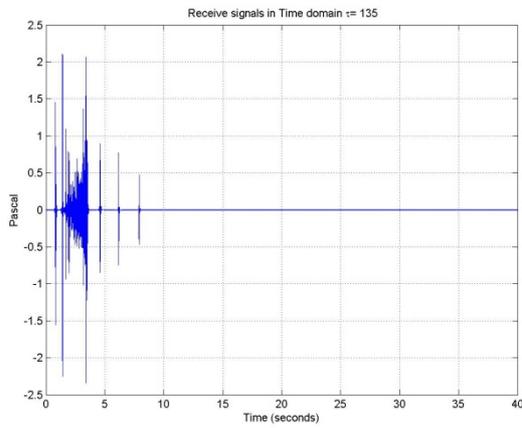


2000 km

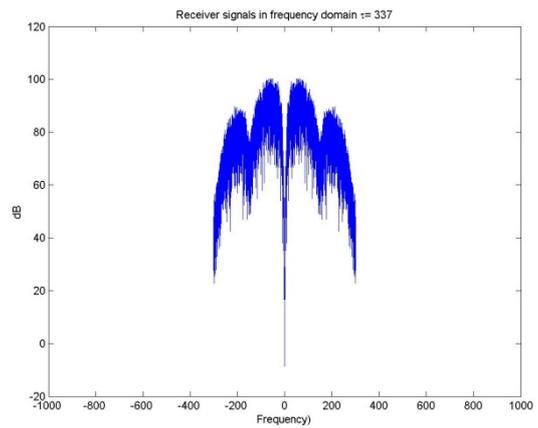
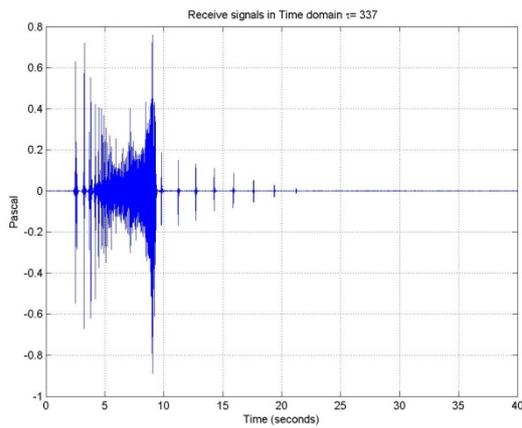
Empfängertiefe 50m



100 km

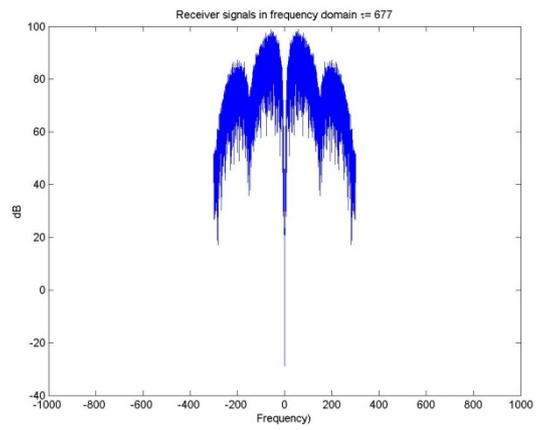
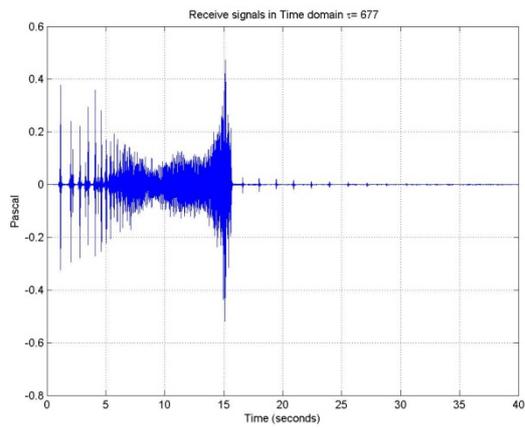


200 km

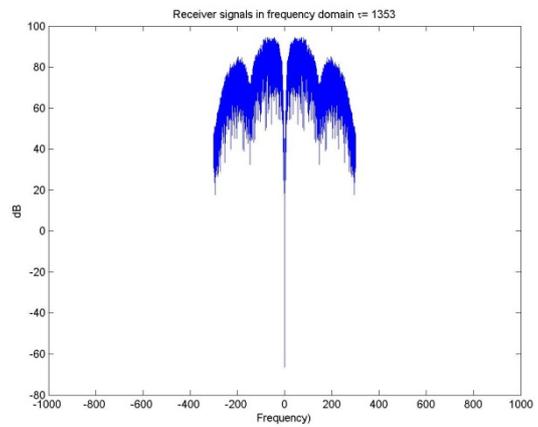
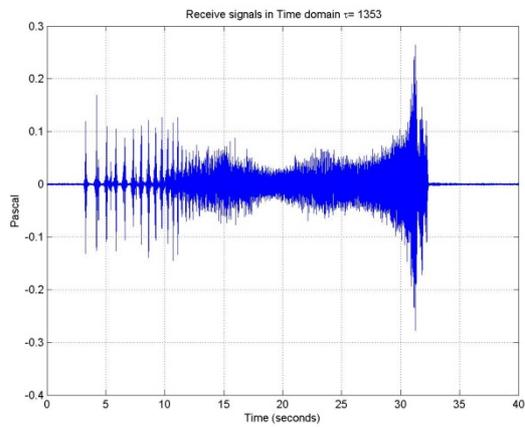


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

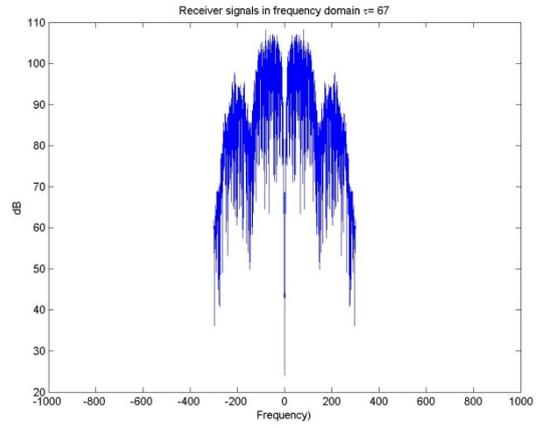
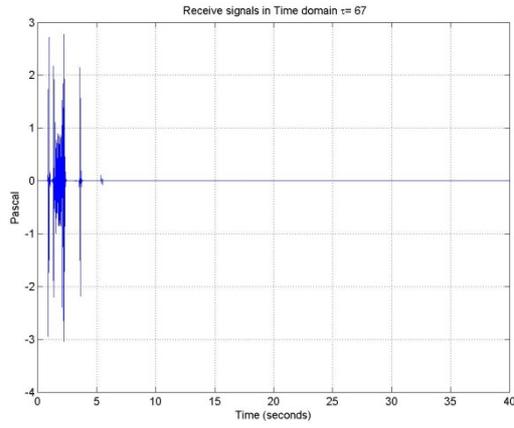


1000 km

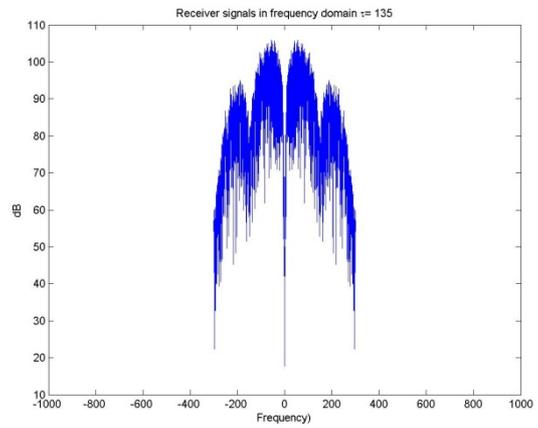
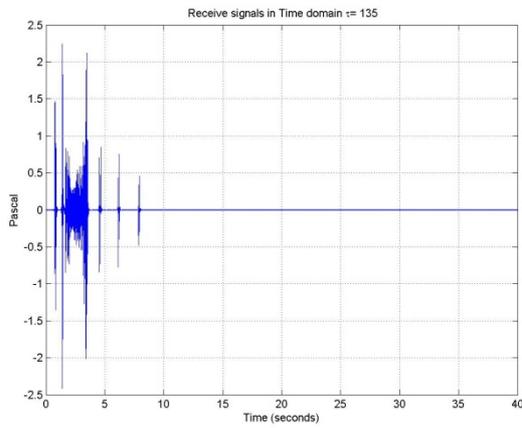


2000 km

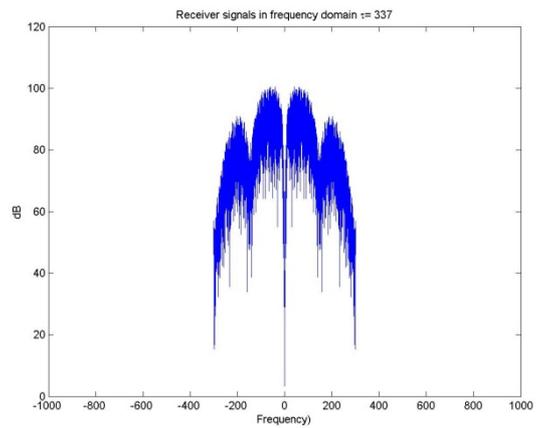
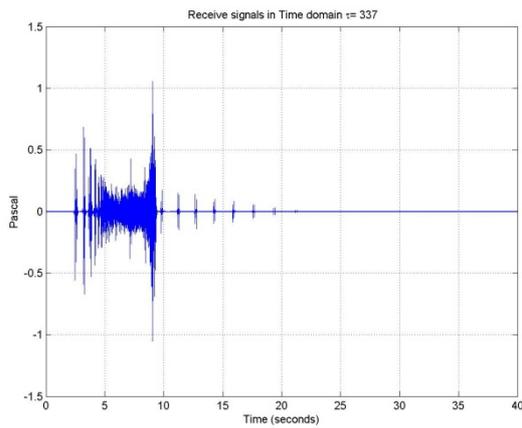
Empfängertiefe 200m



100 km

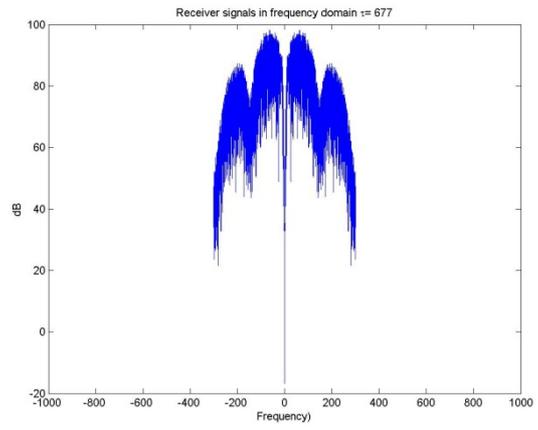
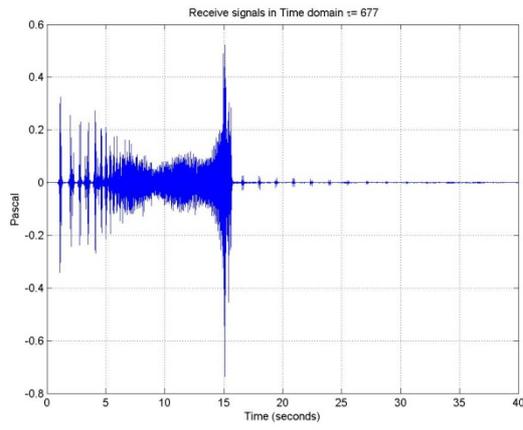


200 km

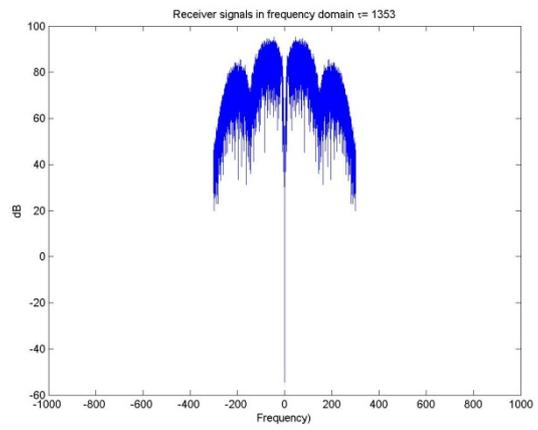
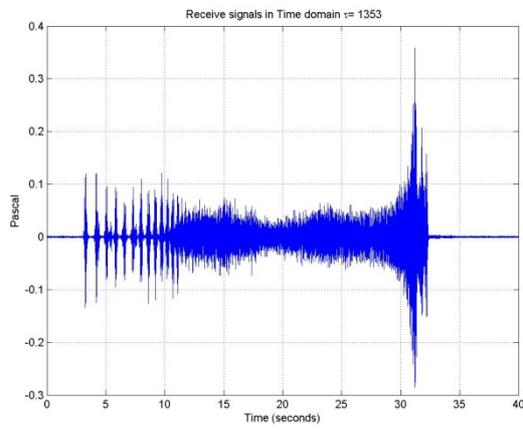


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



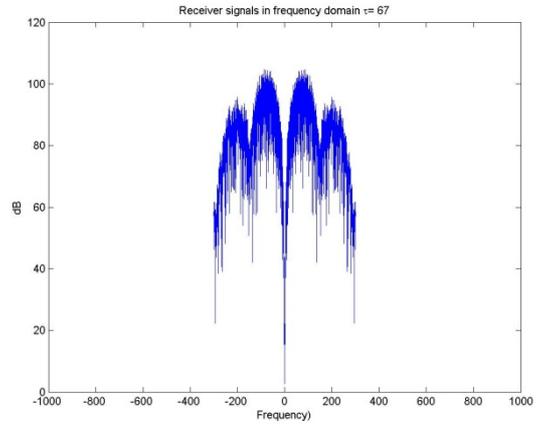
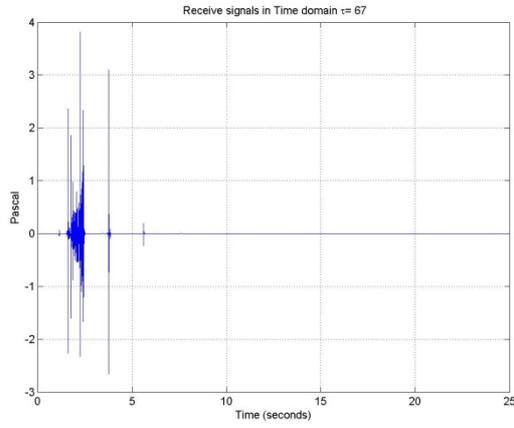
1000 km



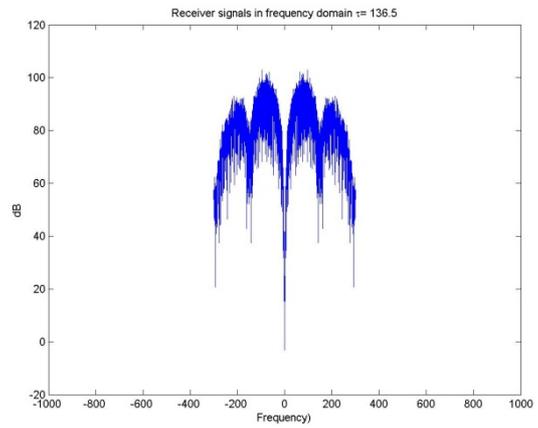
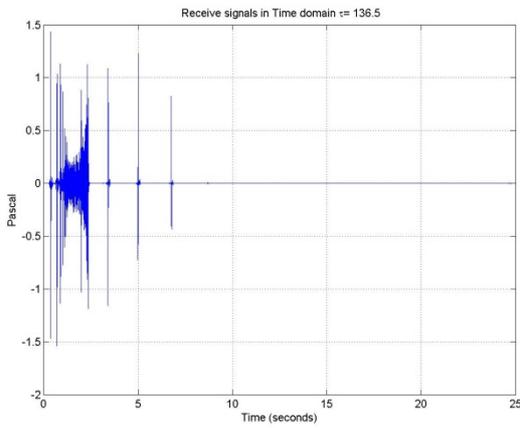
2000 km

11.3.1.2 Station 25

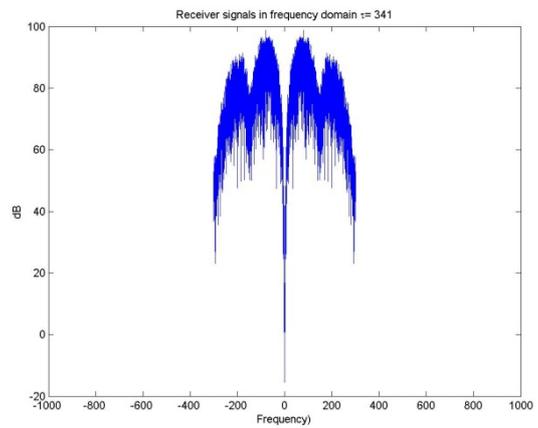
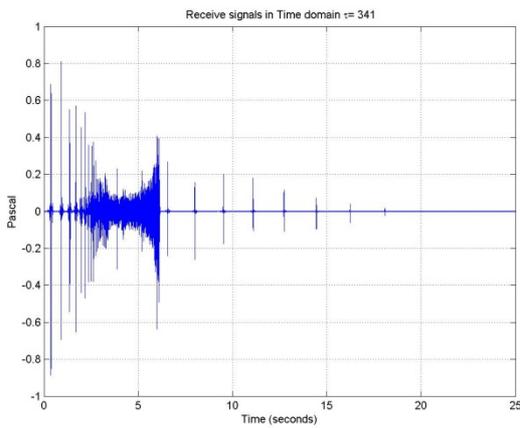
Empfängertiefe 10 m



100 km

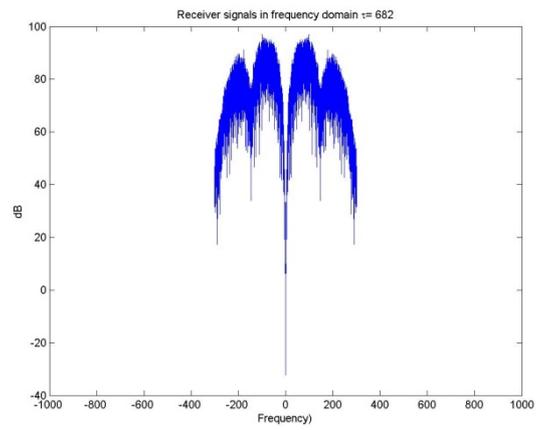
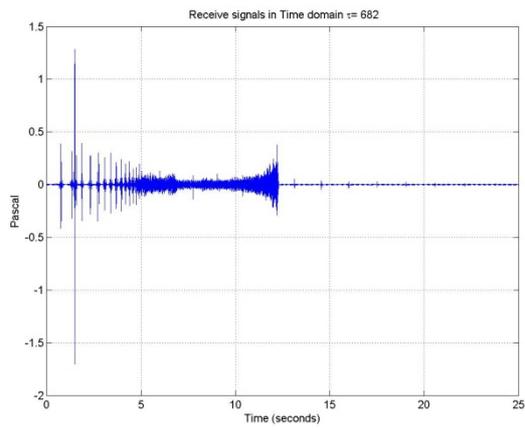


200 km

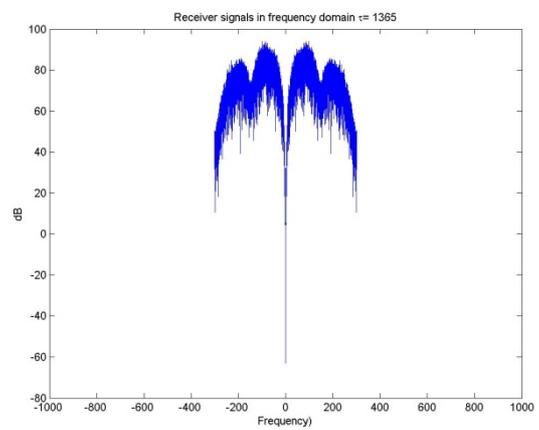
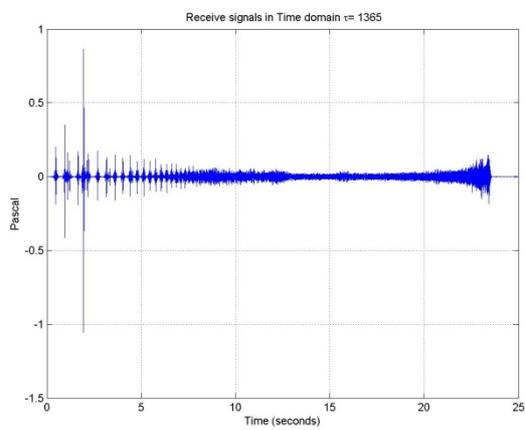


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

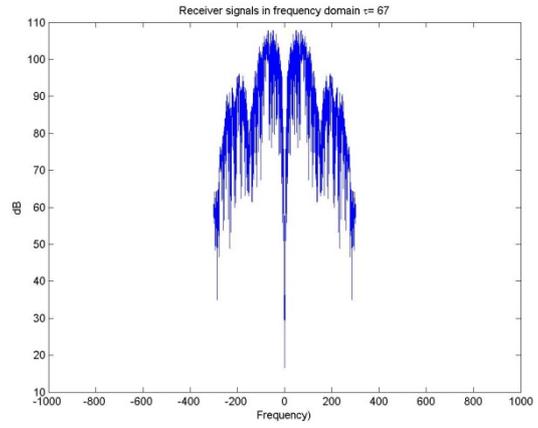
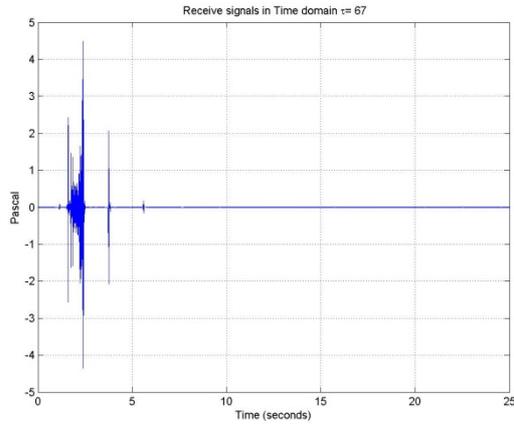


1000 km

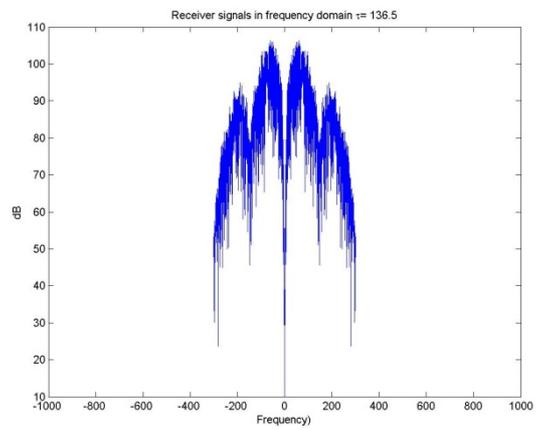
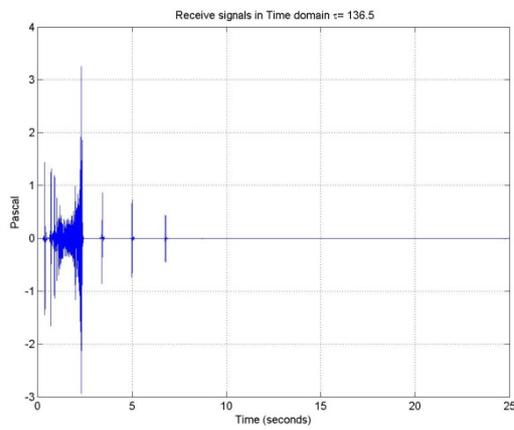


2000 km

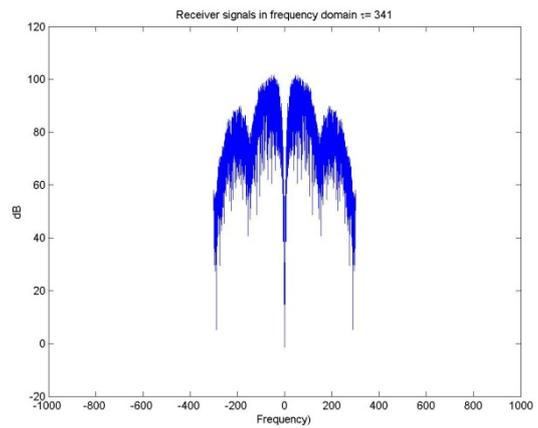
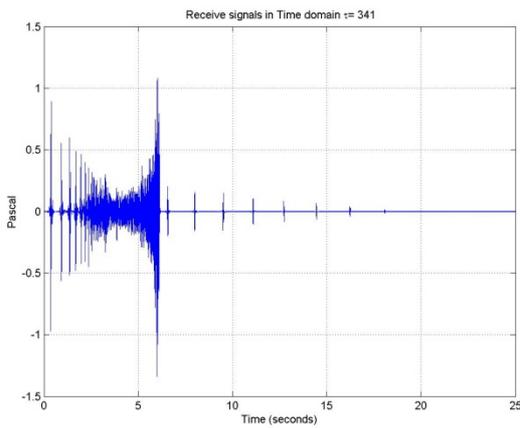
Empfängertiefe 50 m



100 km

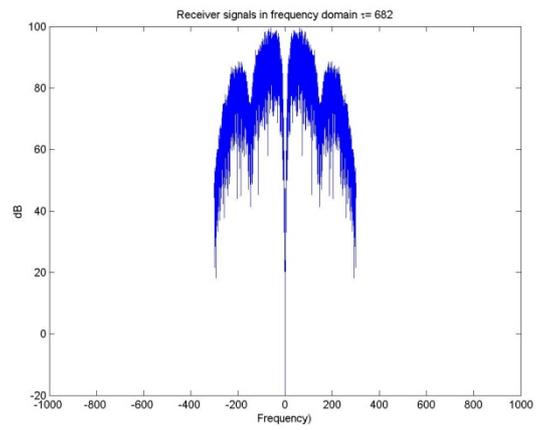
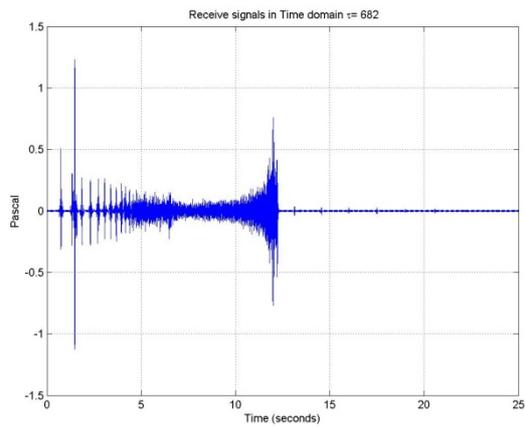


200 km

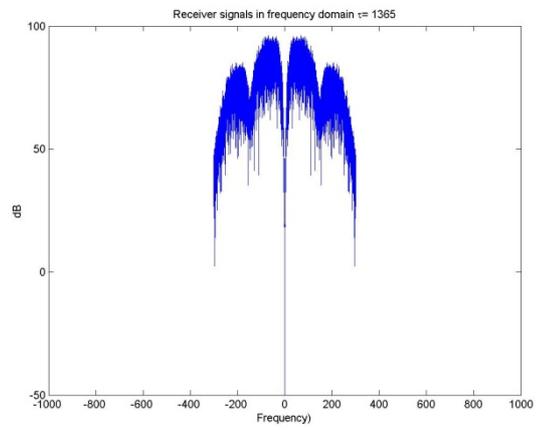
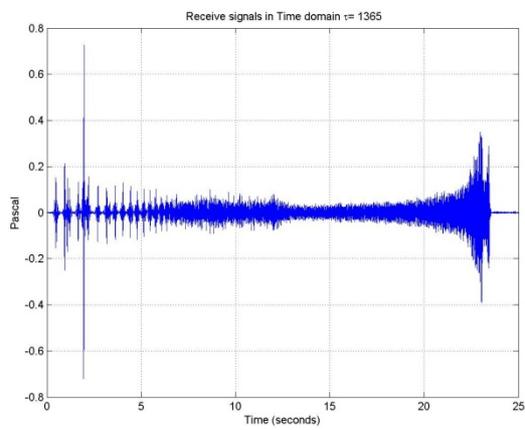


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

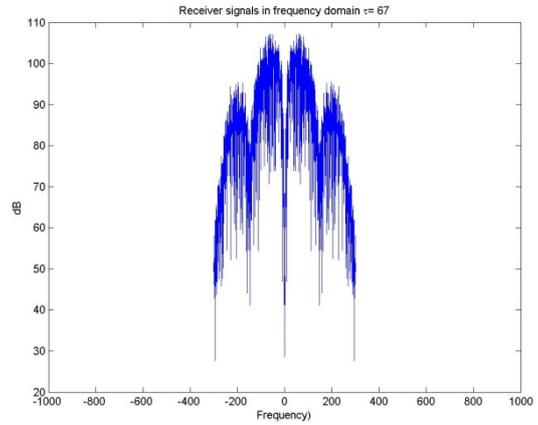
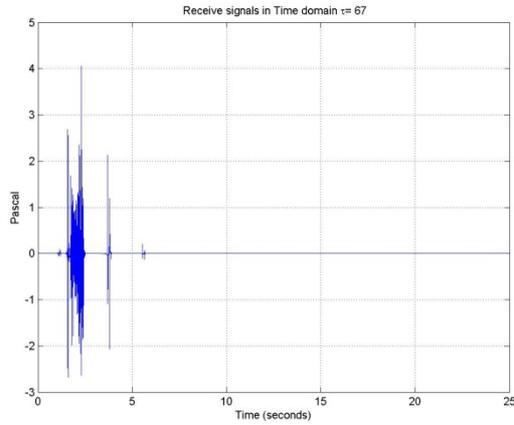


1000 km

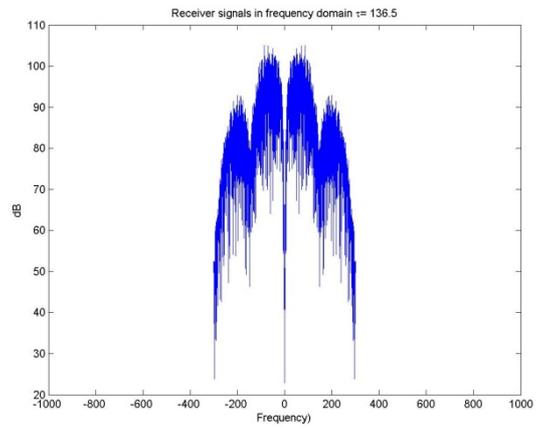
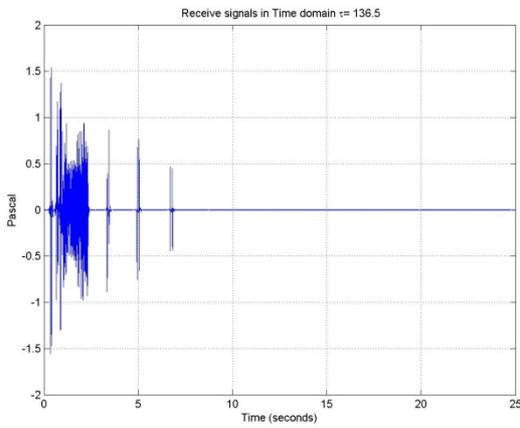


2000 km

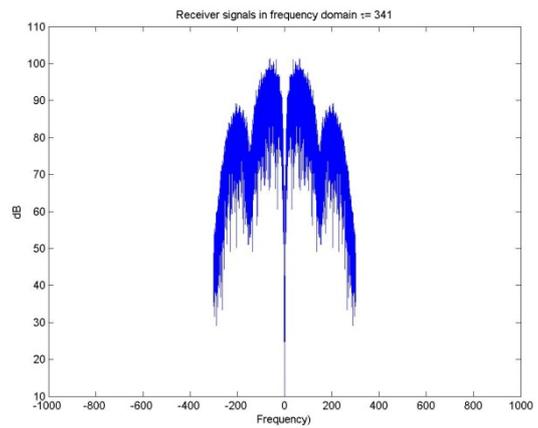
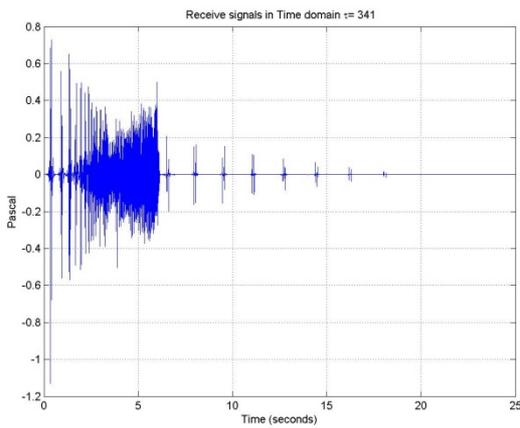
Empfängertiefe 200 m



100 km

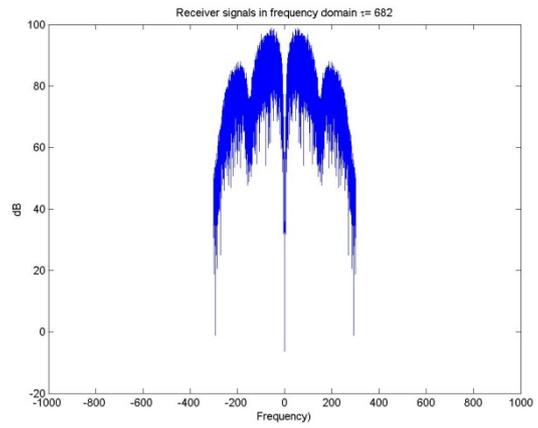
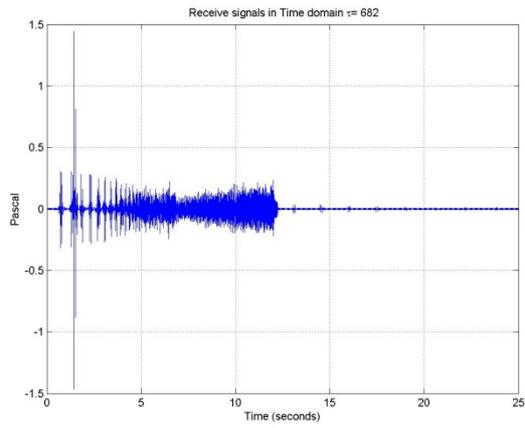


200 km

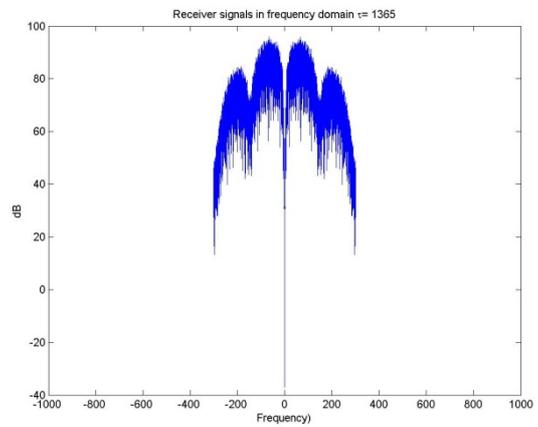
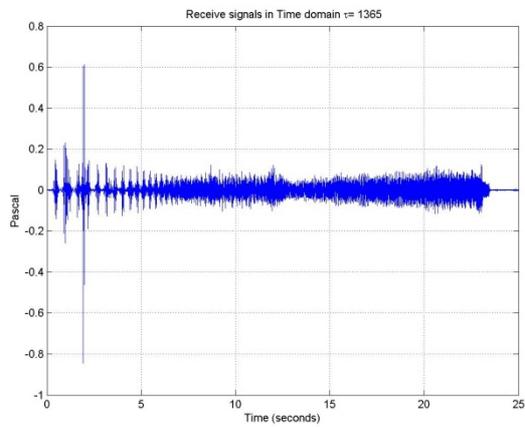


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km

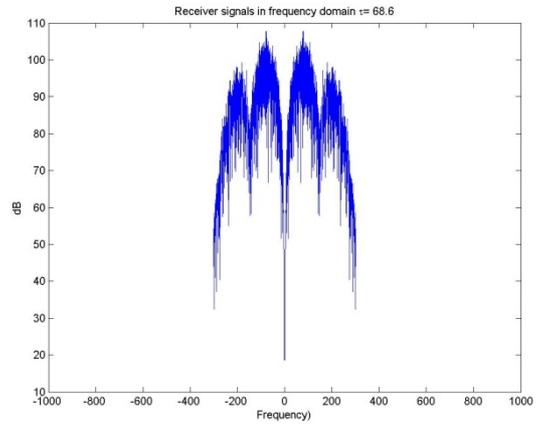
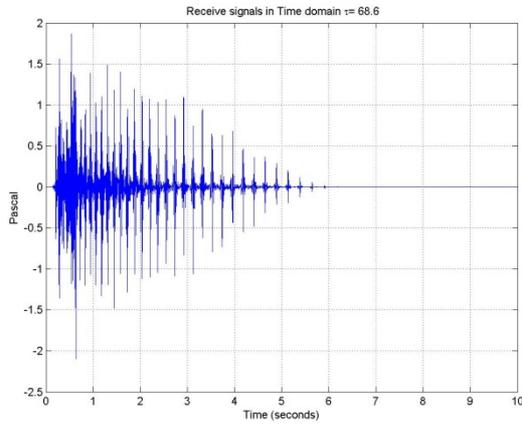


2000 km

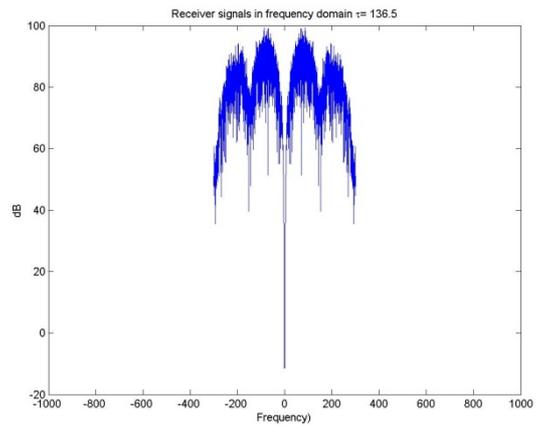
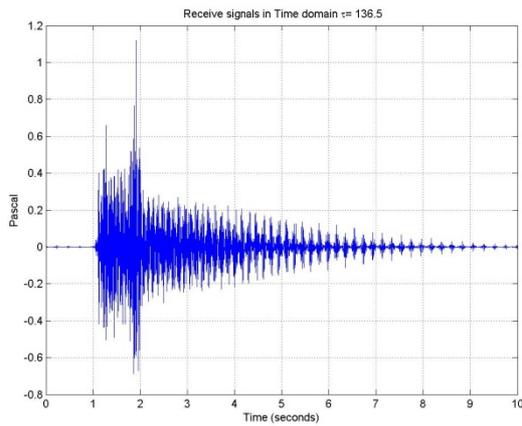
11.3.2 Tiefe 500 m

11.3.2.1 Station 715

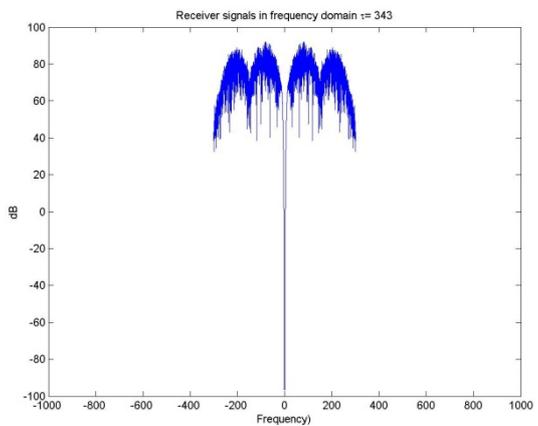
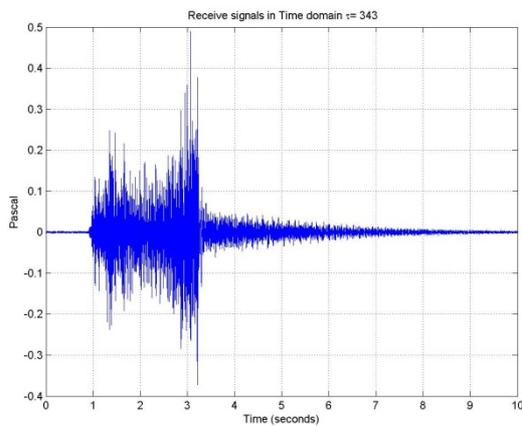
Empfängertiefe 10 m



100 km

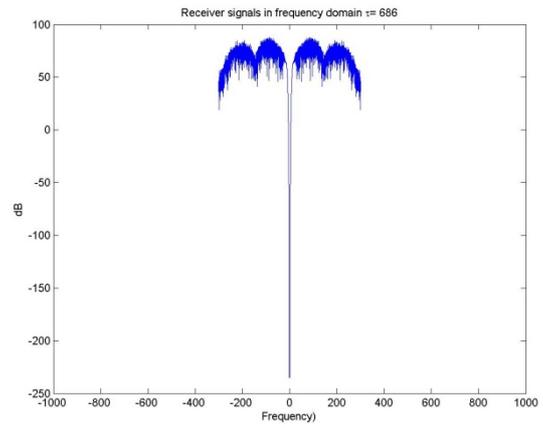
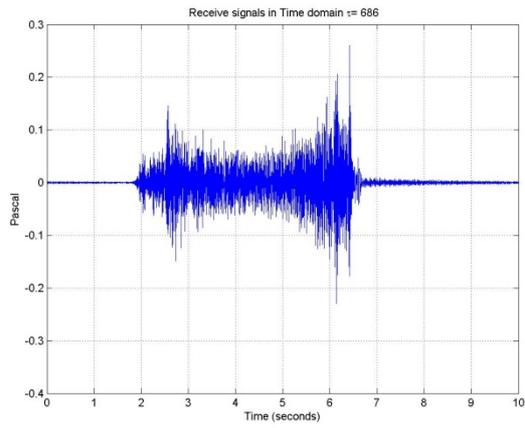


200 km

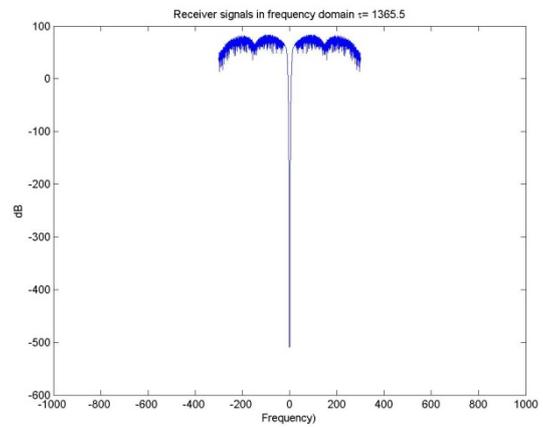
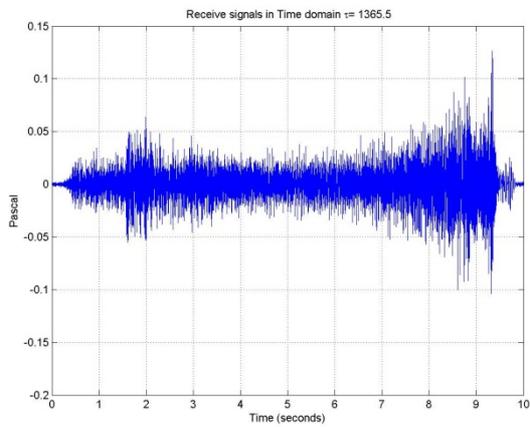


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

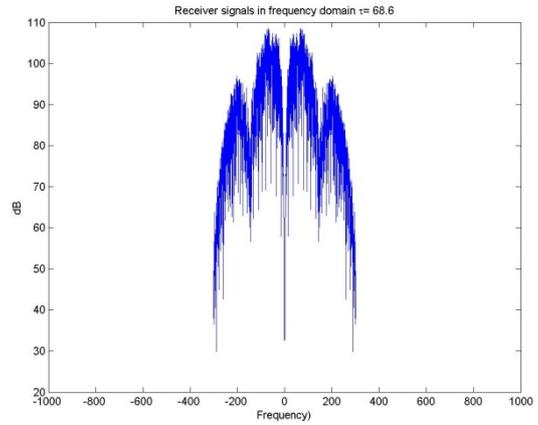
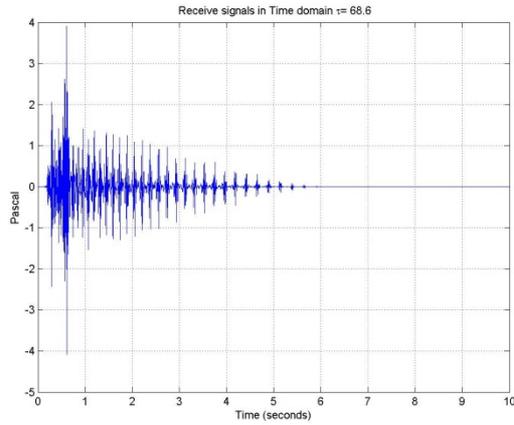


1000 km

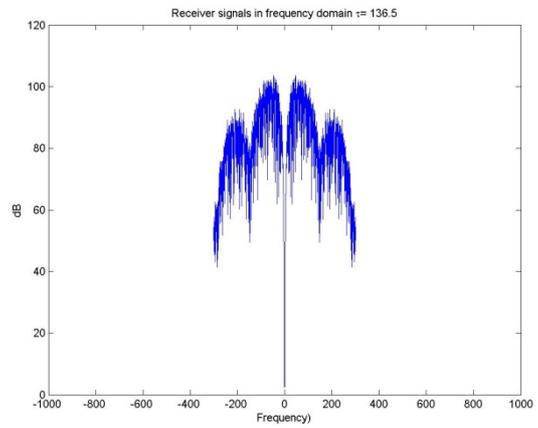
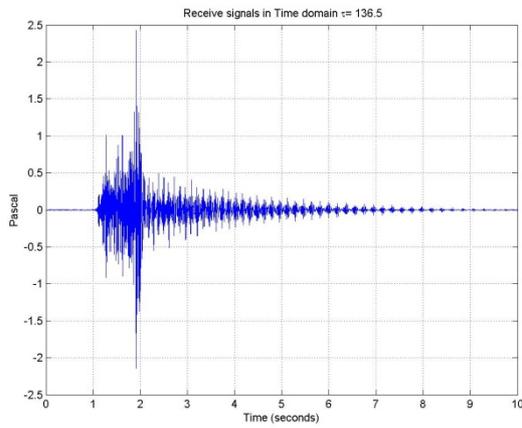


2000 km

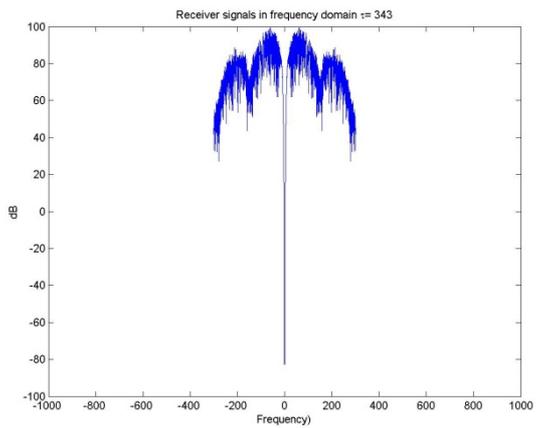
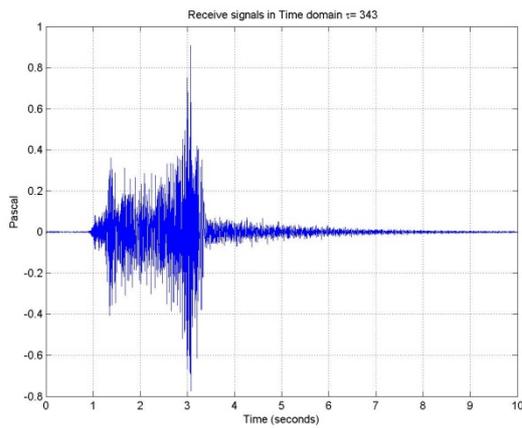
Empfängertiefe 50 m



100 km

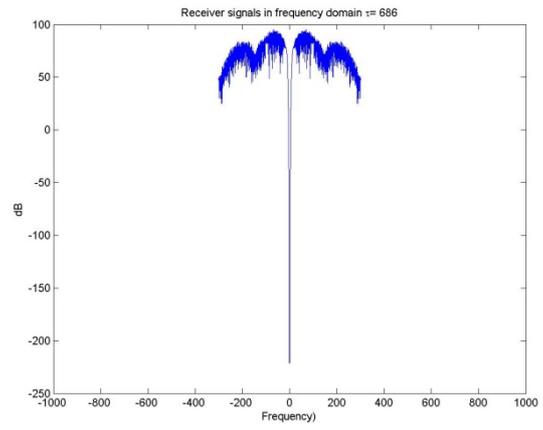
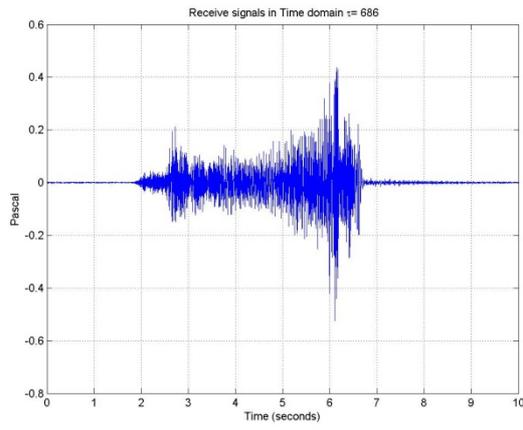


200 km

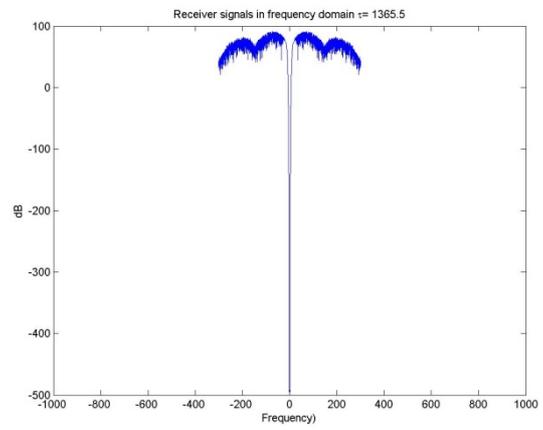
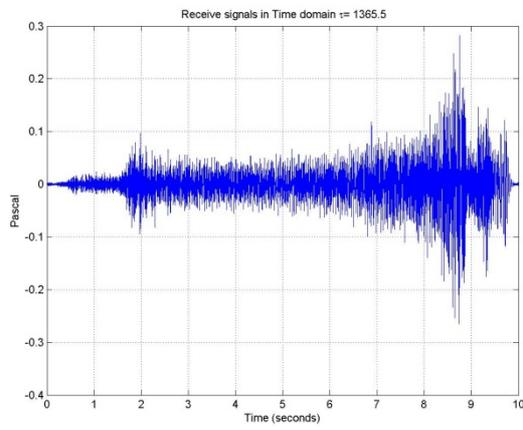


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

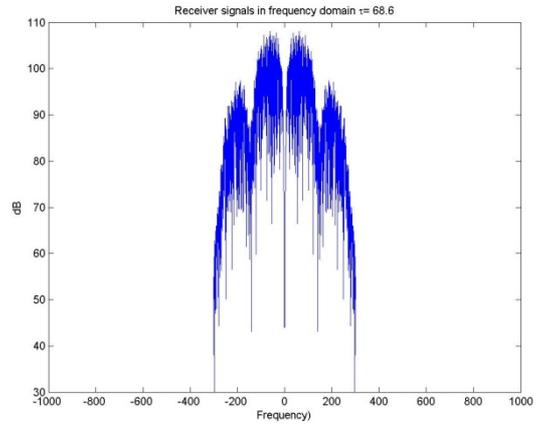
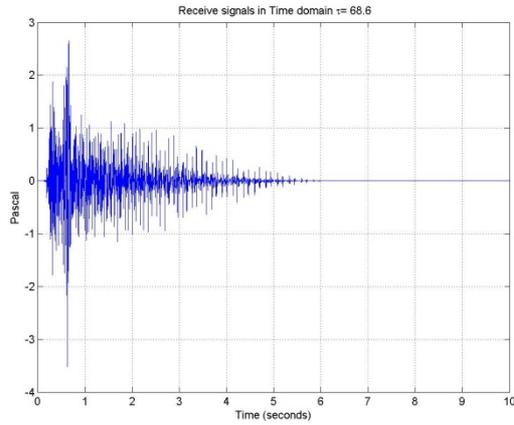


1000 km

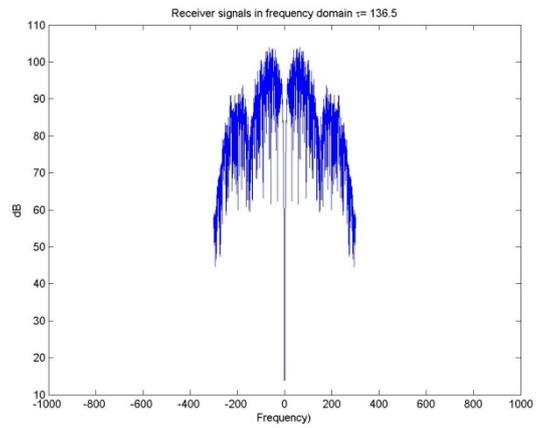
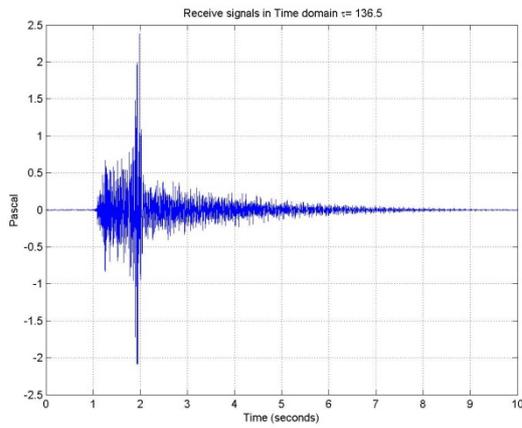


2000 km

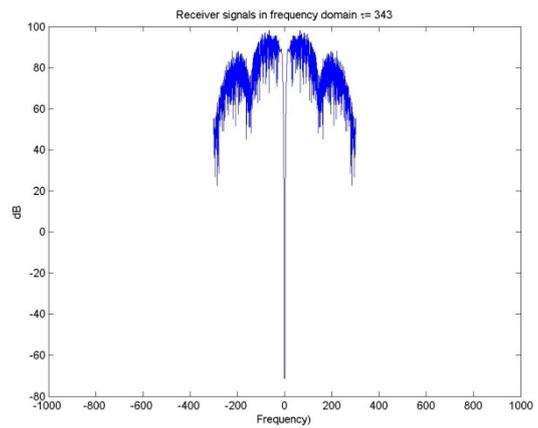
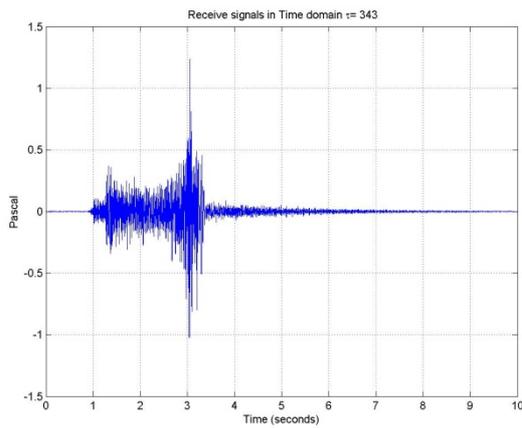
Empfängertiefe 200 m



100 km

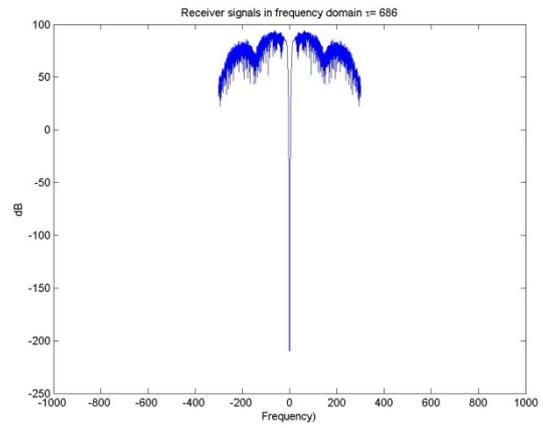
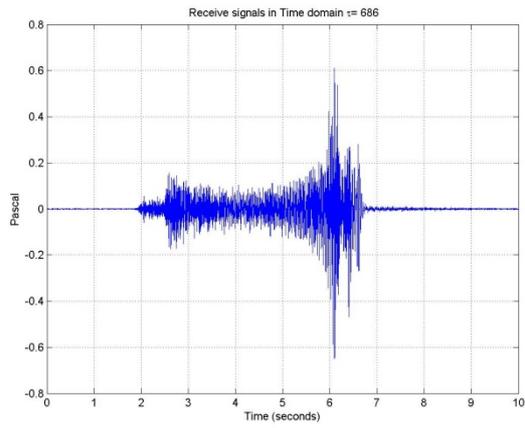


200 km

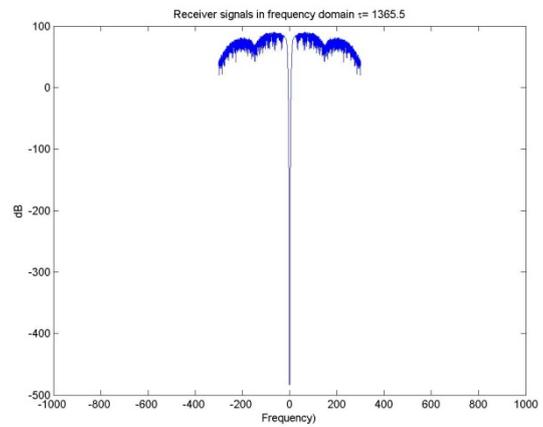
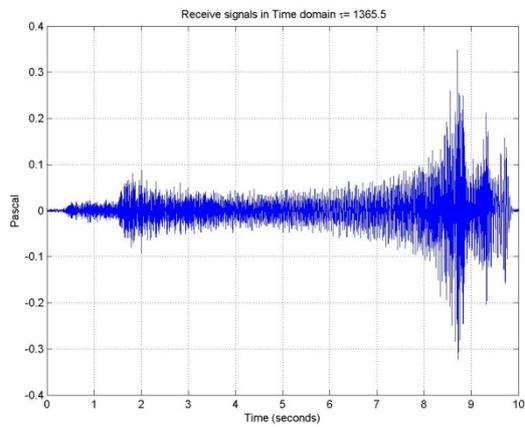


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



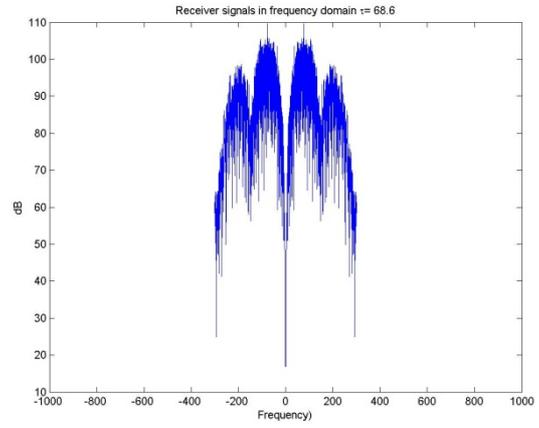
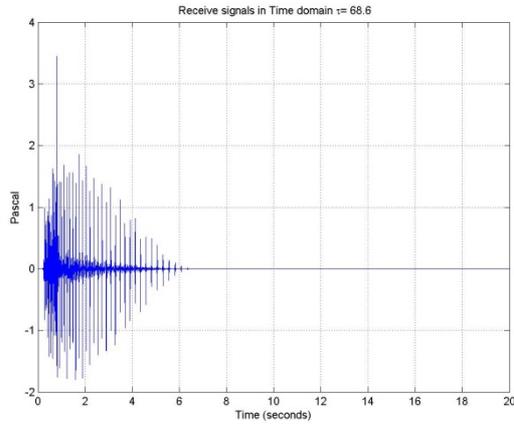
1000 km



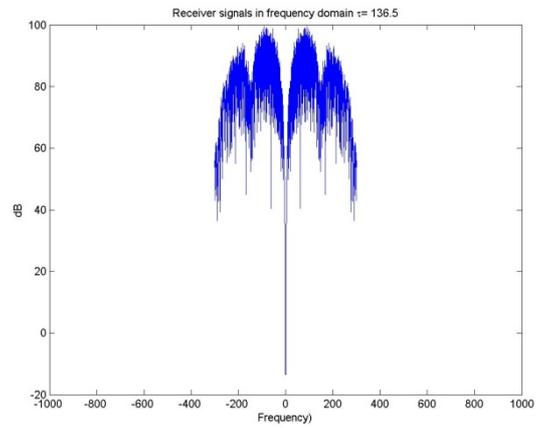
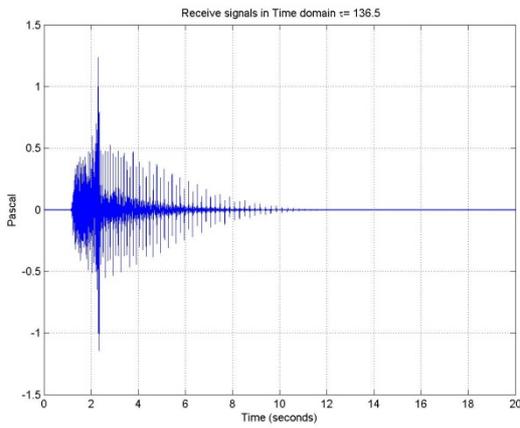
2000 km

11.3.2.2 Station 25

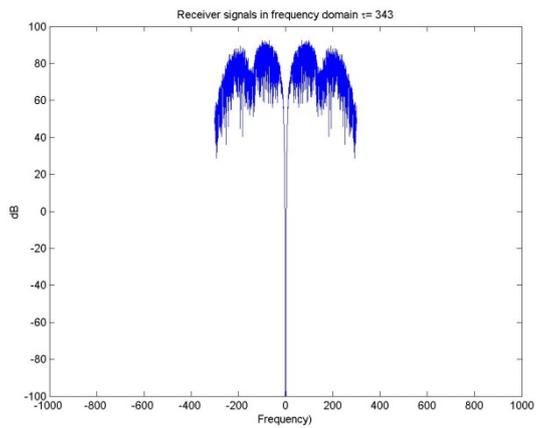
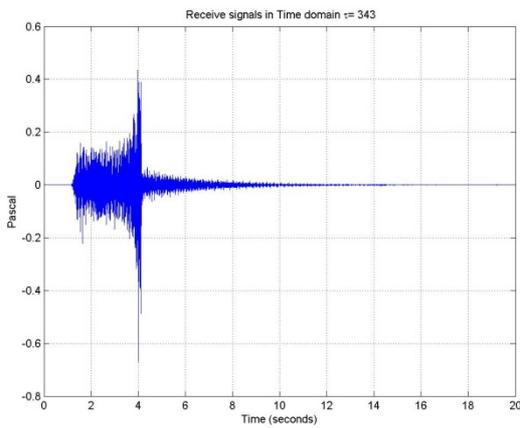
Empfängertiefe 10 m



100 km

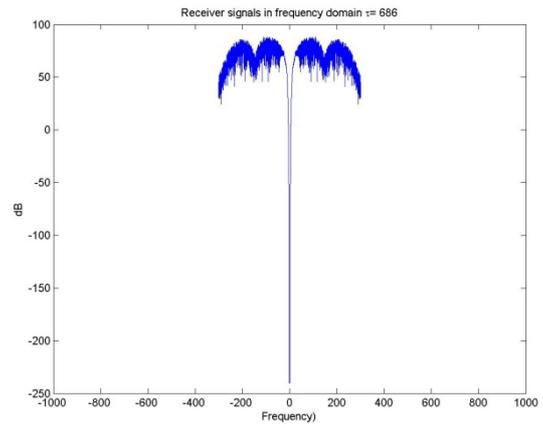
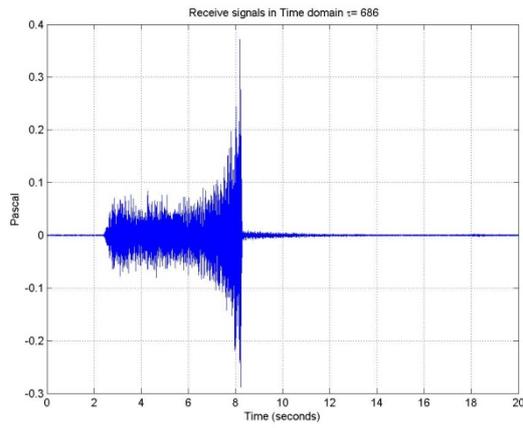


200 km

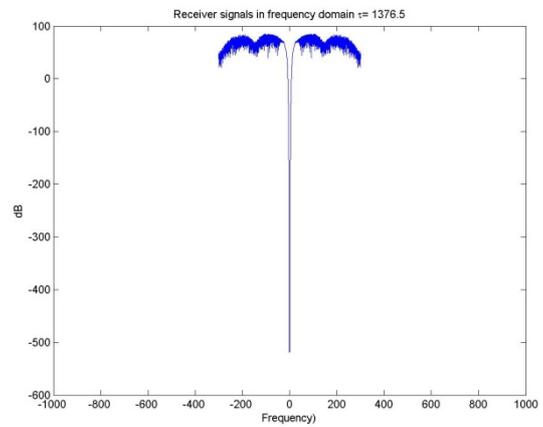
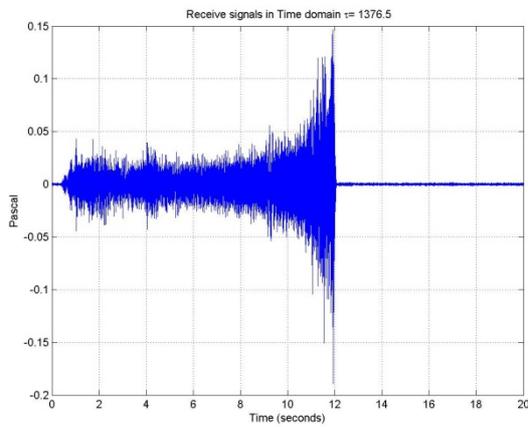


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

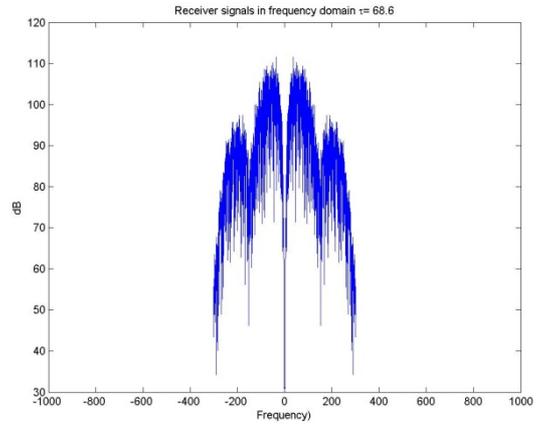
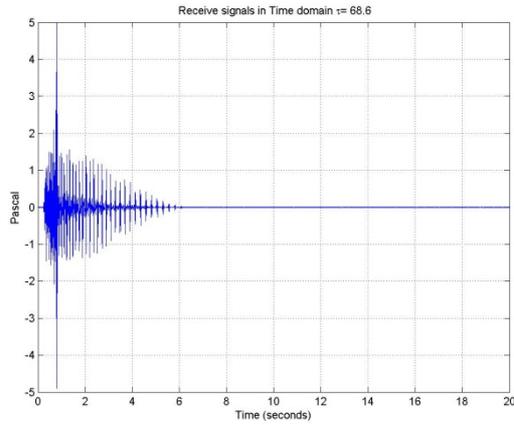


1000 km

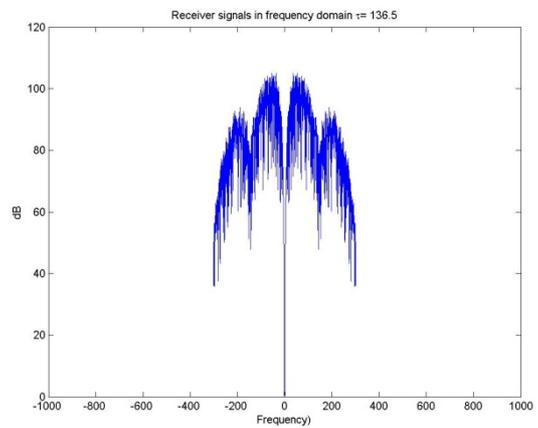
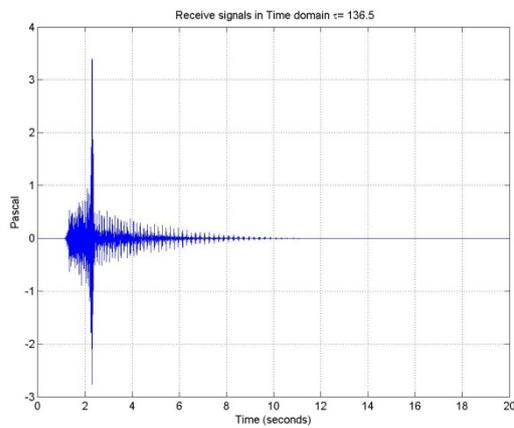


2000 km

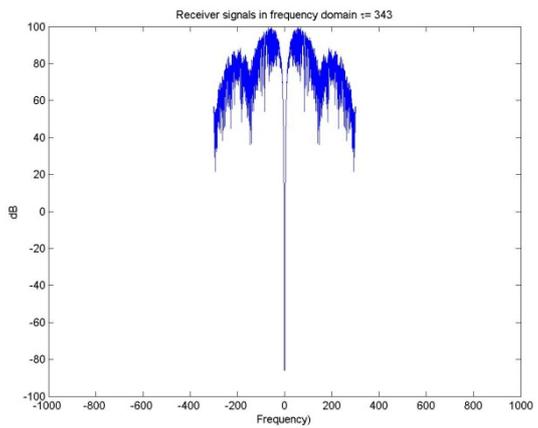
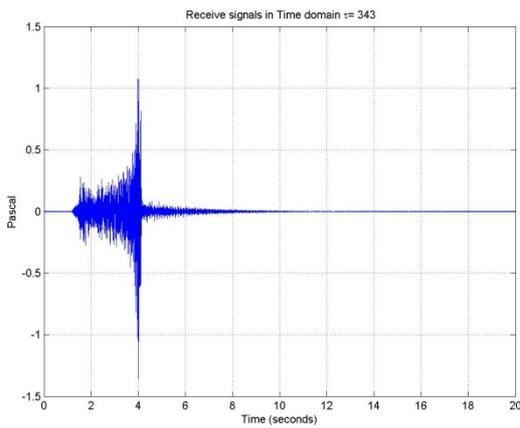
Empfängertiefe 50 m



100 km

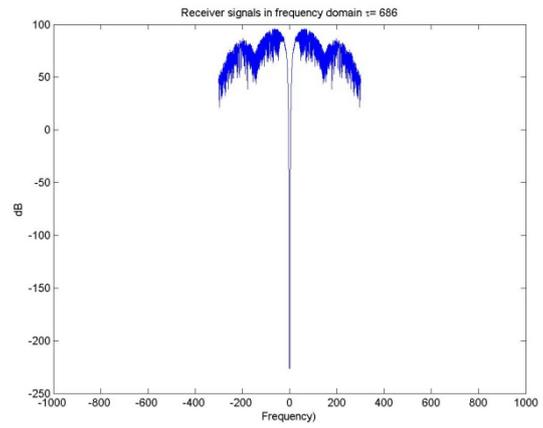
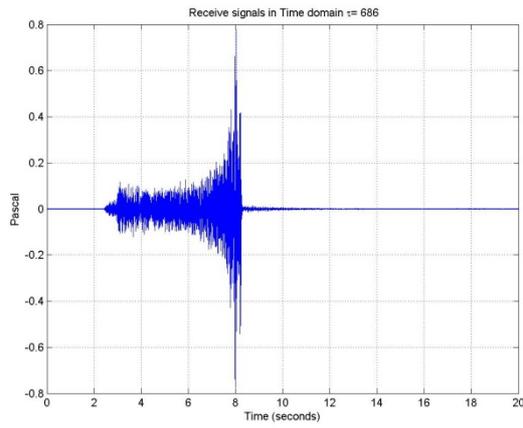


200 km

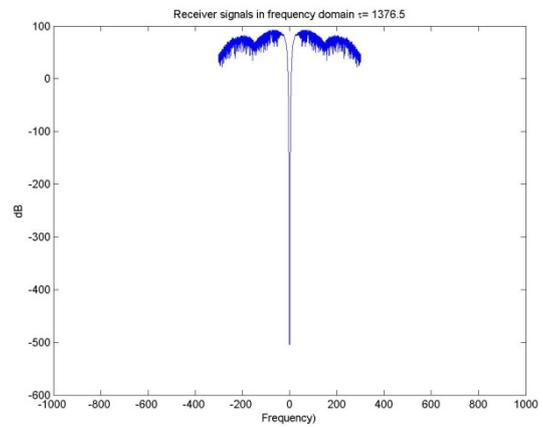
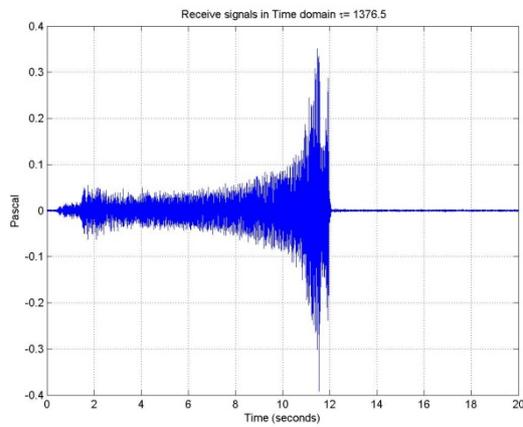


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

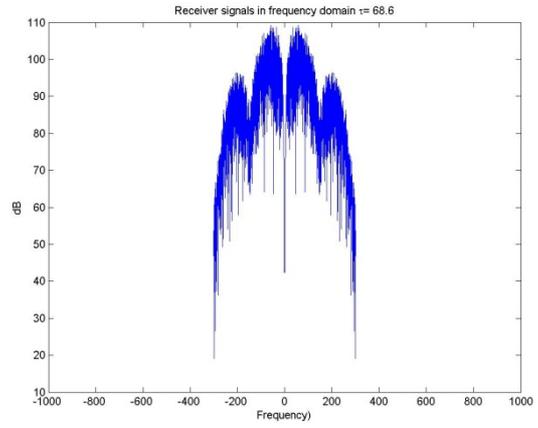
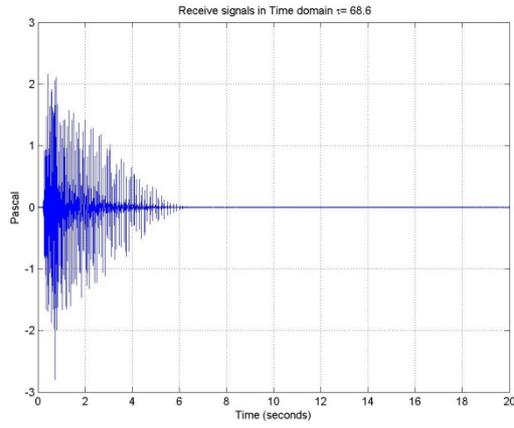


1000 km

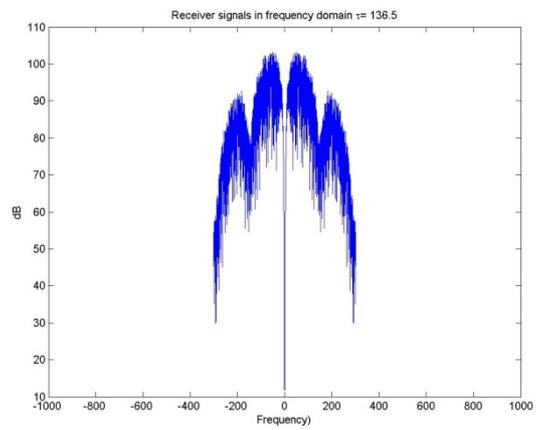
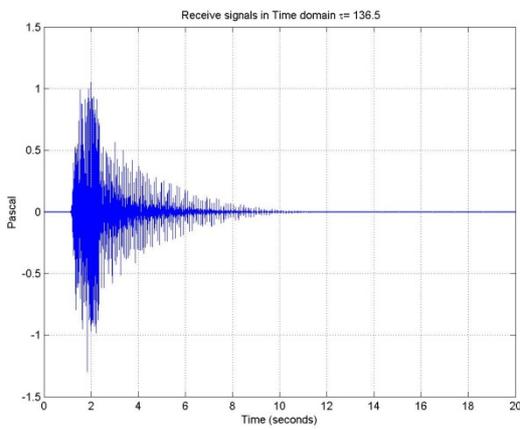


2000 km

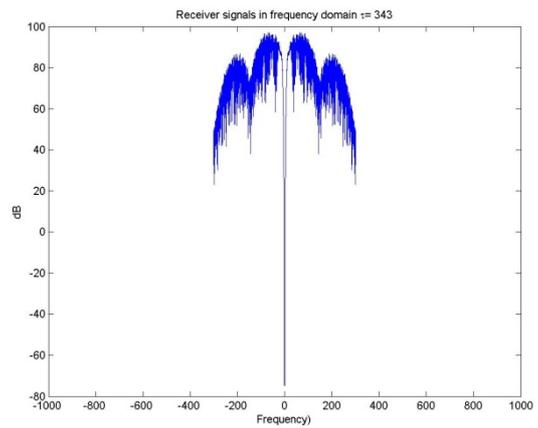
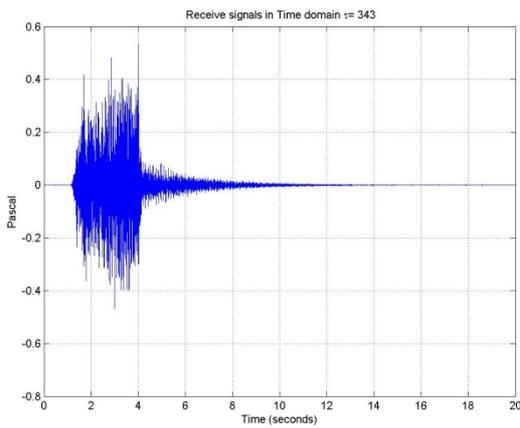
Empfängertiefe 200 m



100 km

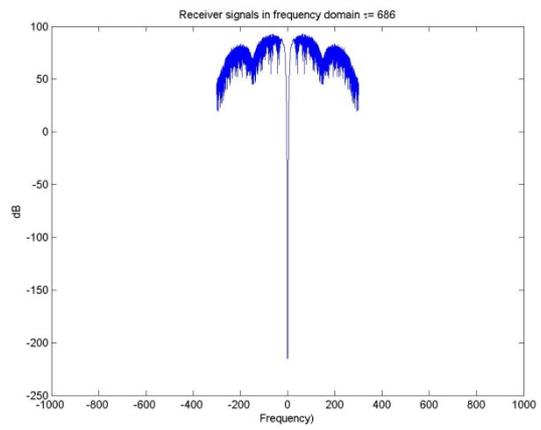
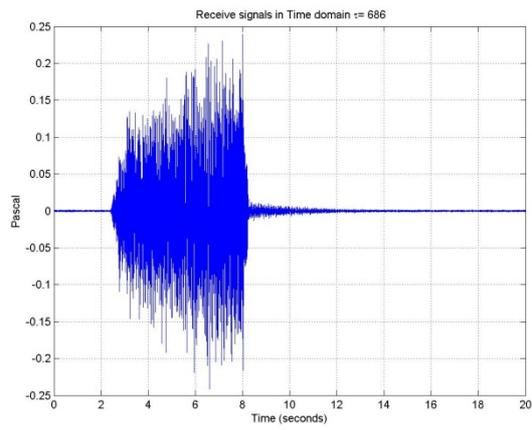


200 km

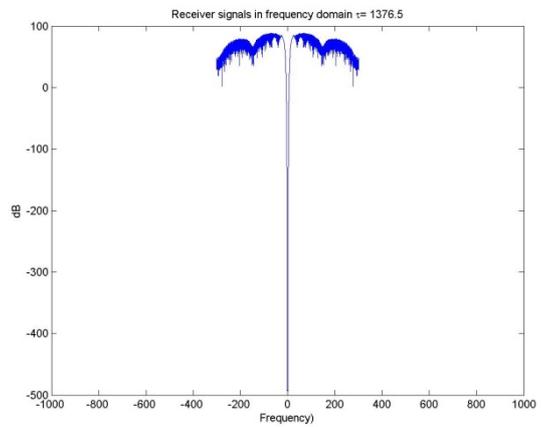
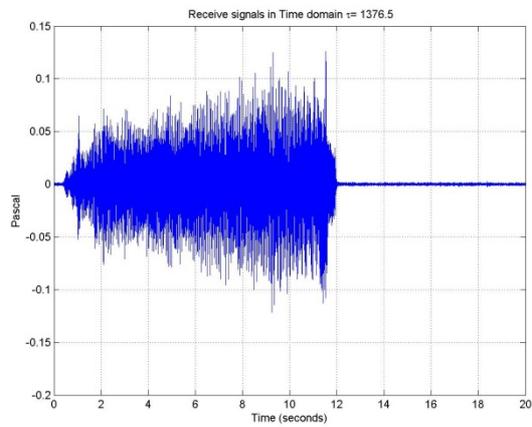


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km



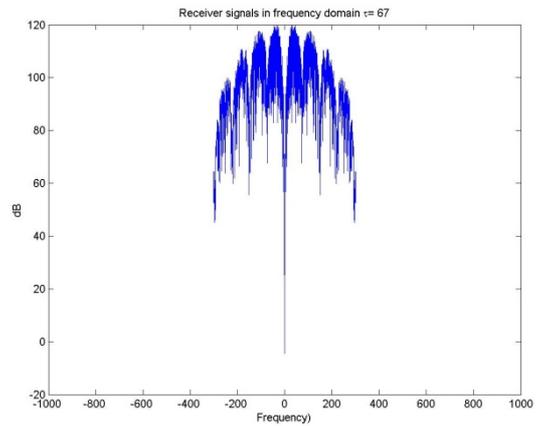
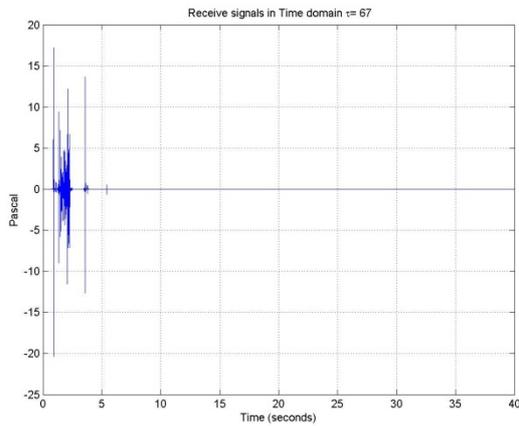
2000 km

11.4 8 G-gun Array, Quelltiefe 10 m

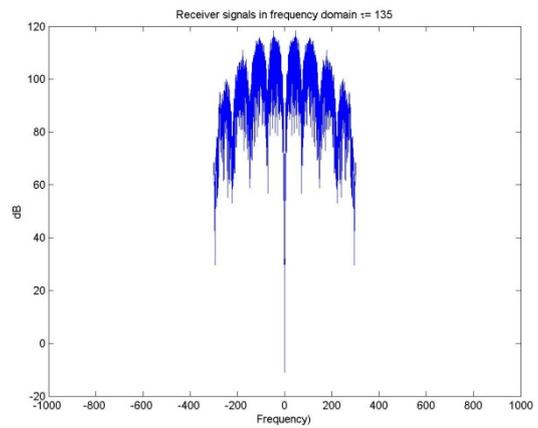
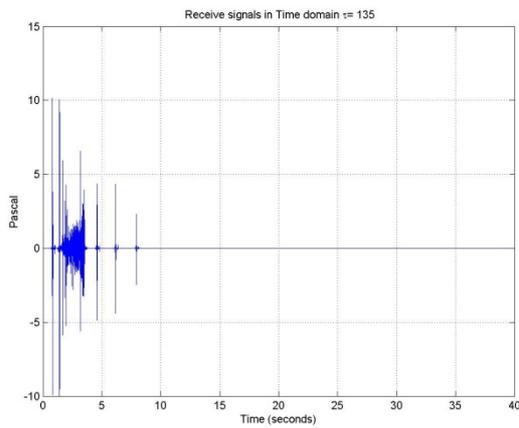
11.4.1 Tiefe 400 m

11.4.1.1 Station 715

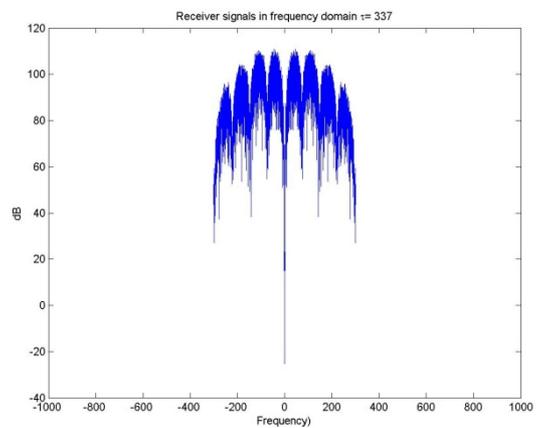
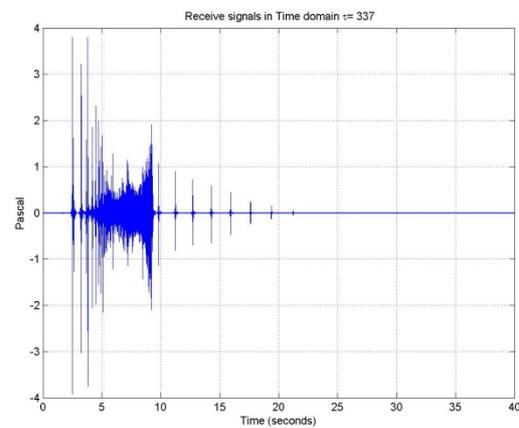
Empfängertiefe 10 m



100 km

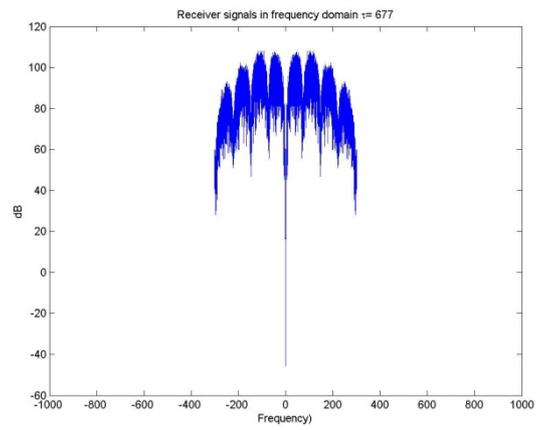
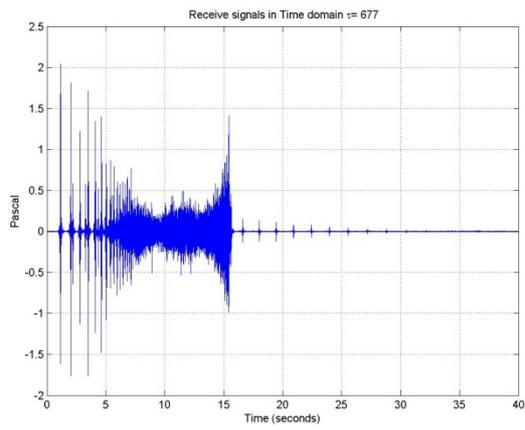


200 km

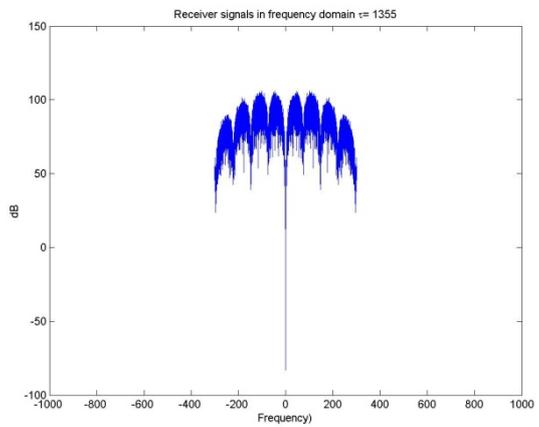
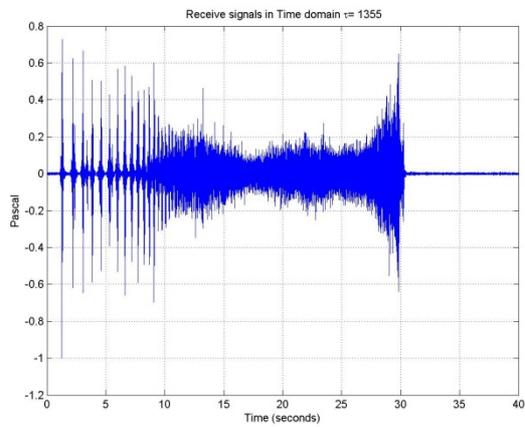


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

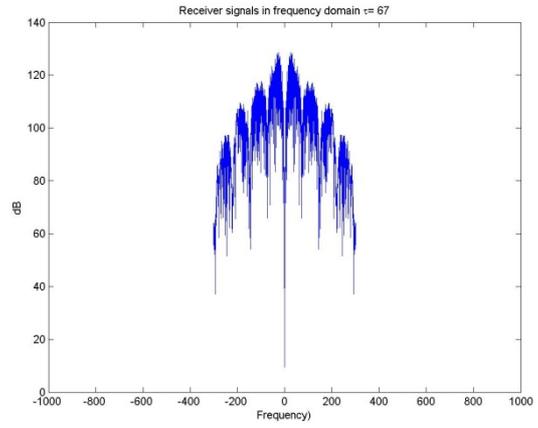
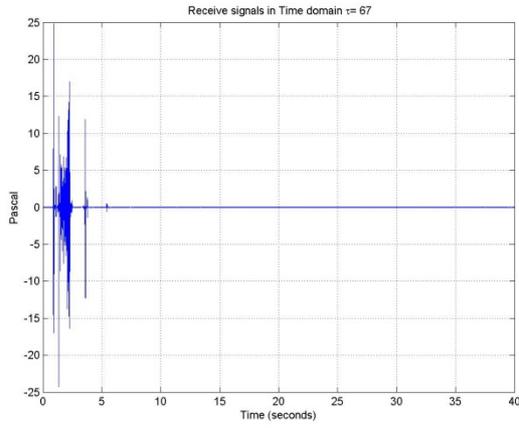


1000 km

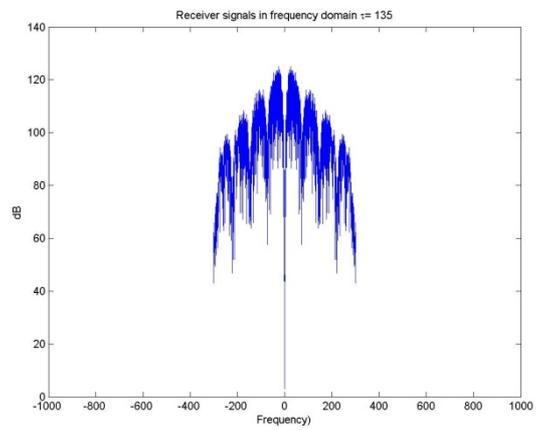
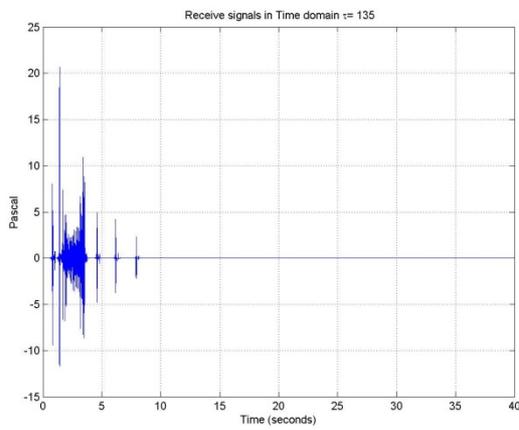


2000 km

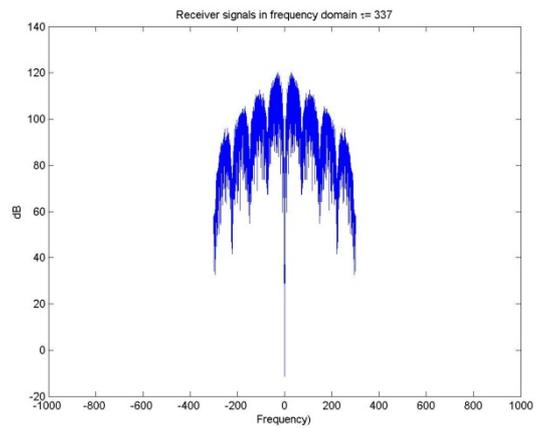
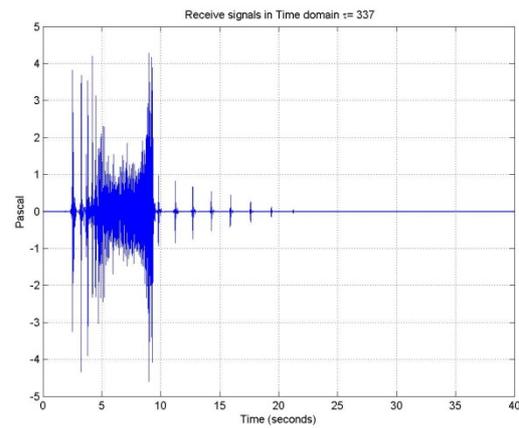
Empfängertiefe 50 m



100 km

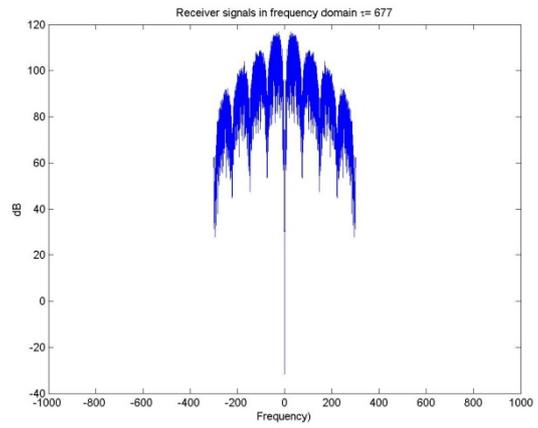
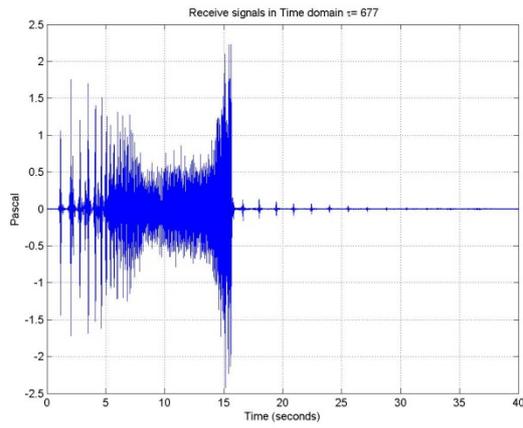


200 km

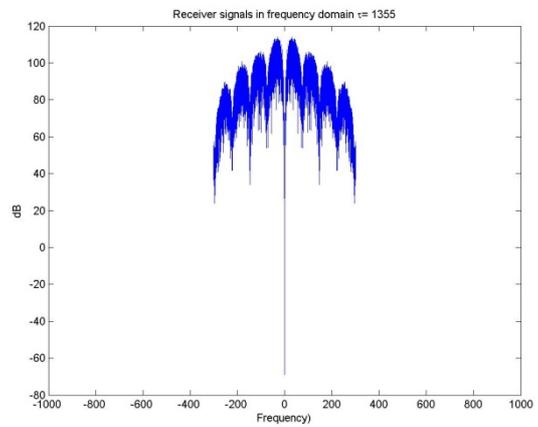
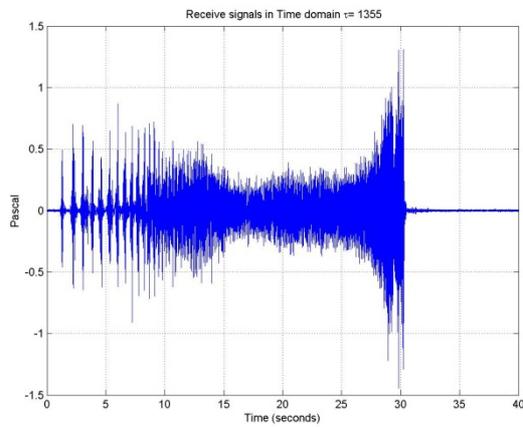


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

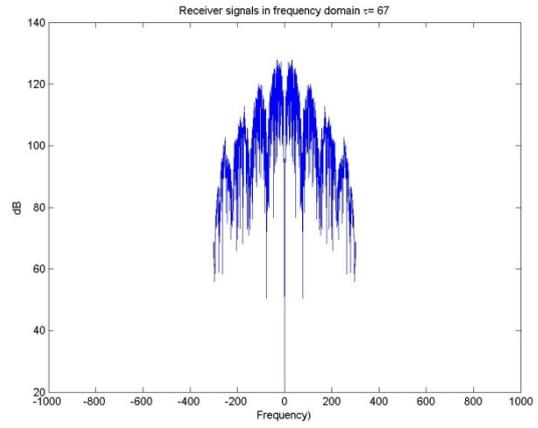
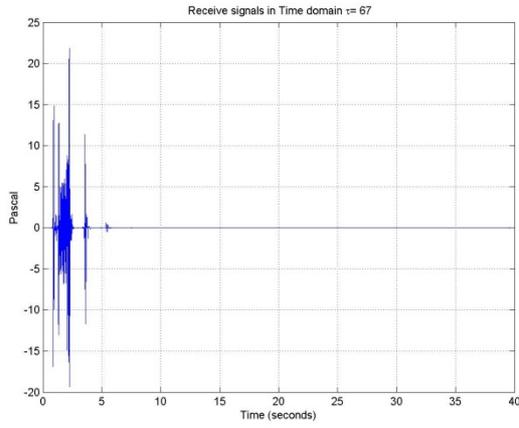


1000 km

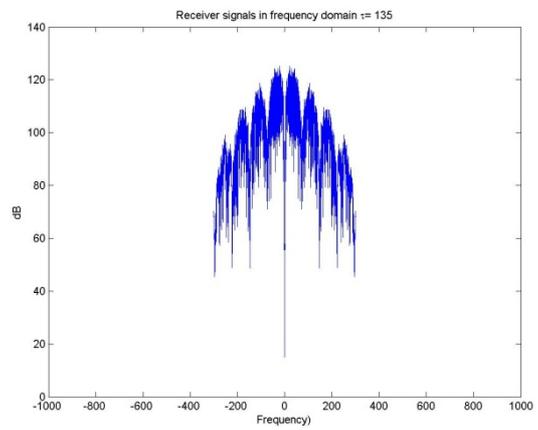
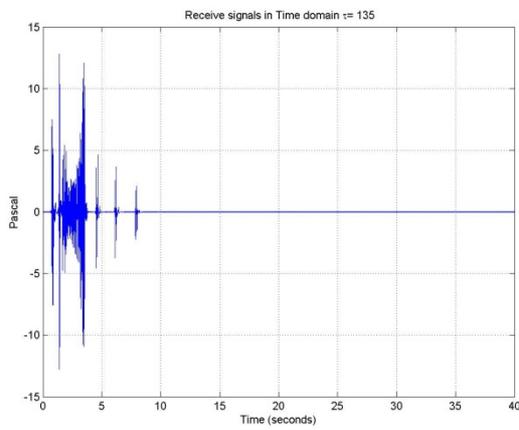


2000 km

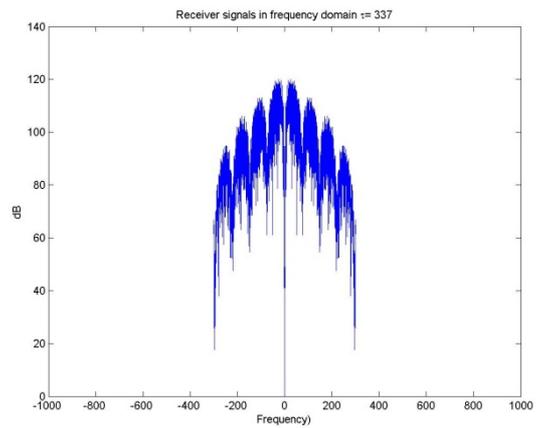
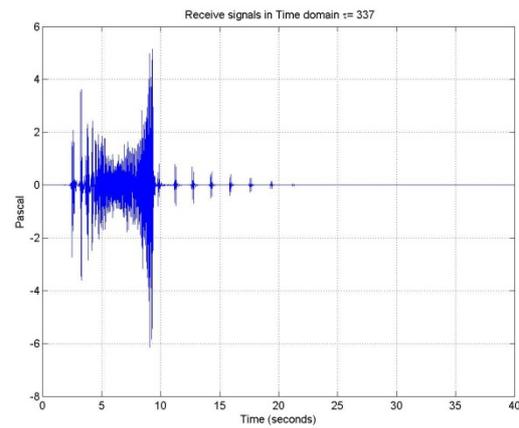
Empfängertiefe 200 m



100 km

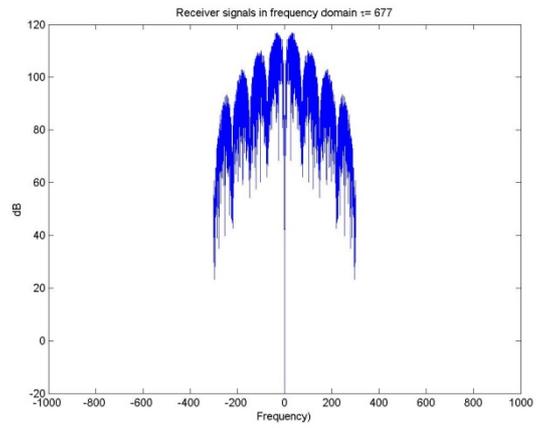
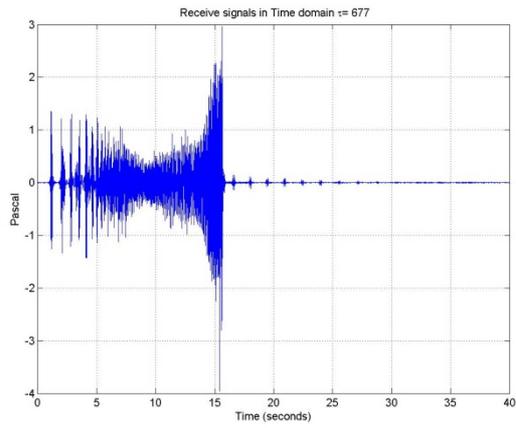


200 km

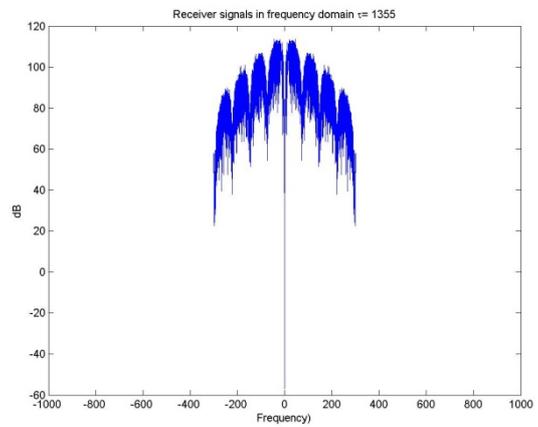
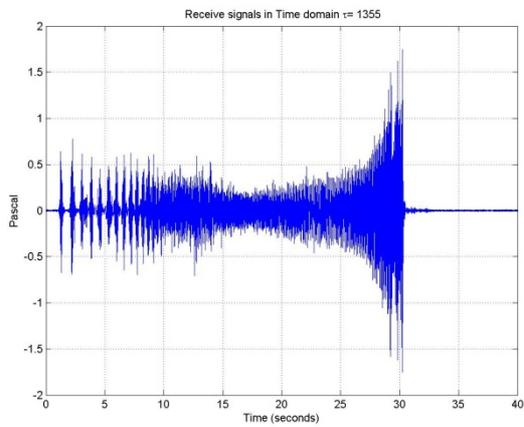


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



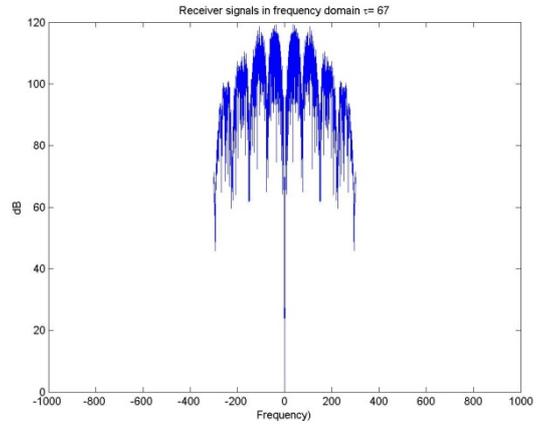
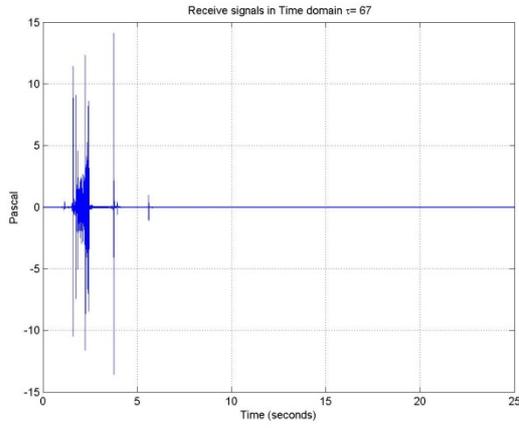
1000 km



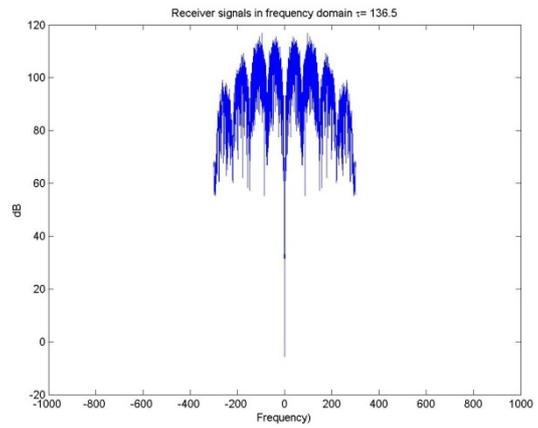
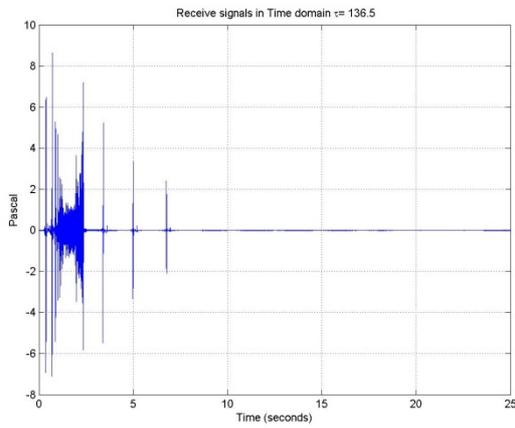
2000 km

11.4.1.2 Station 25

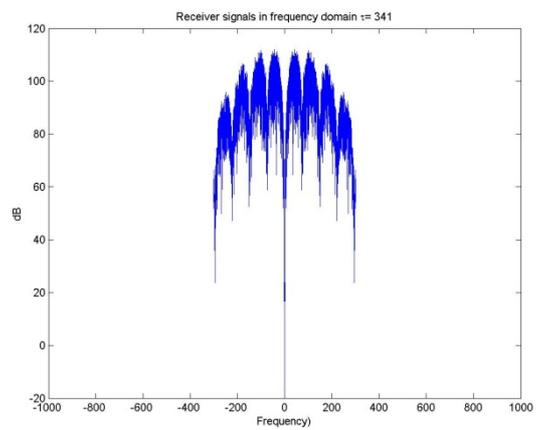
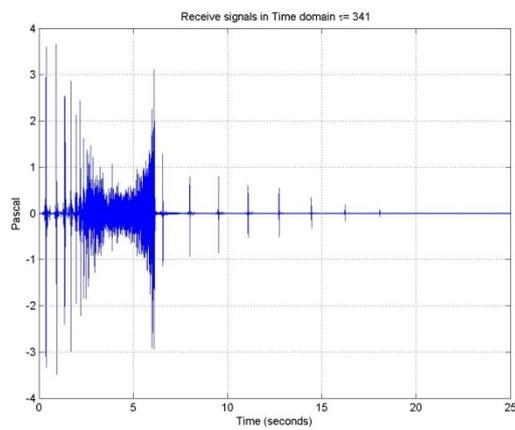
Empfängertiefe 10 m



100 km

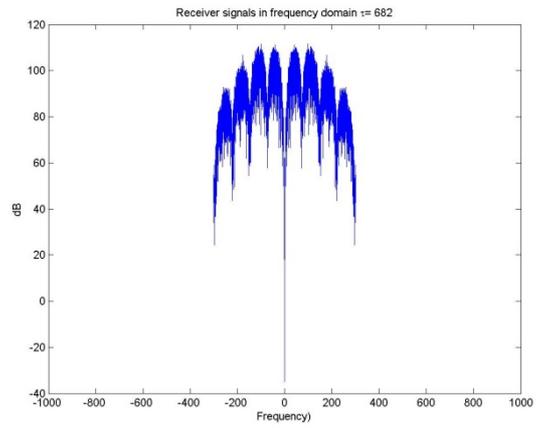
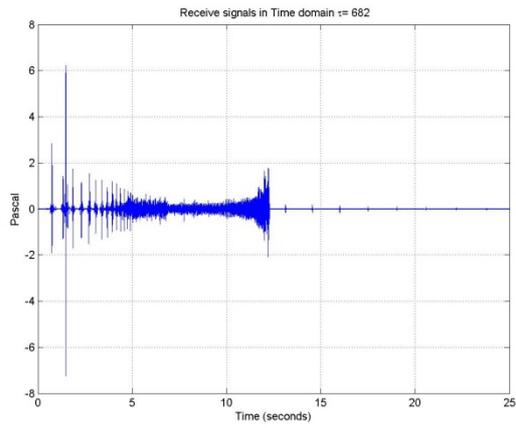


200 km

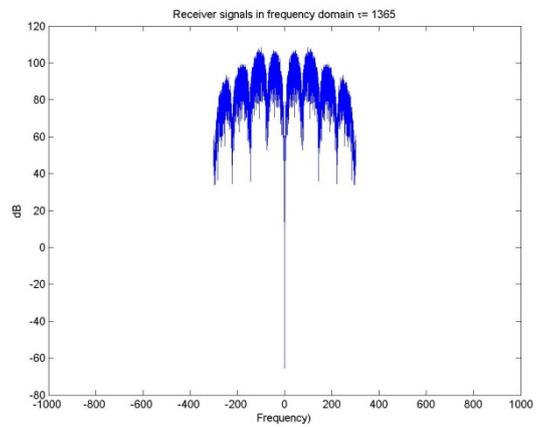
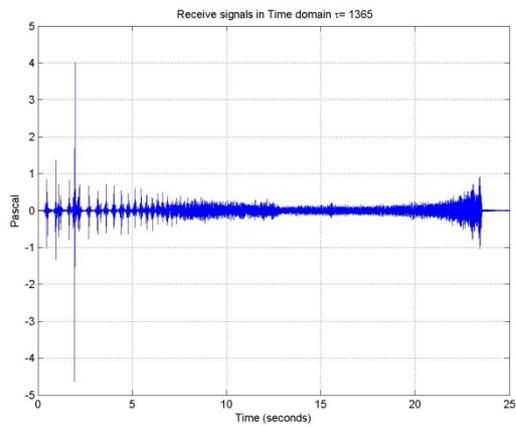


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

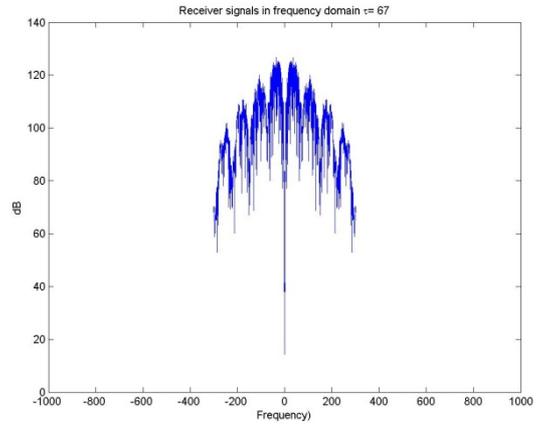
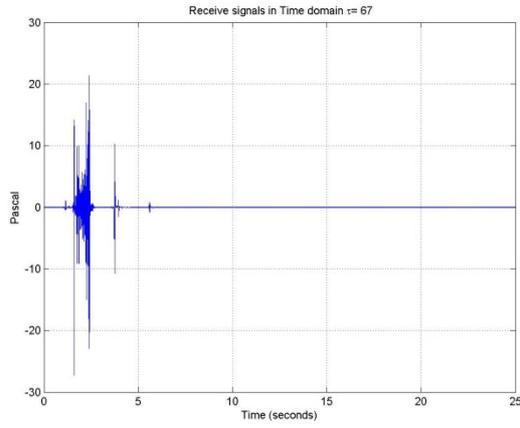


1000 km

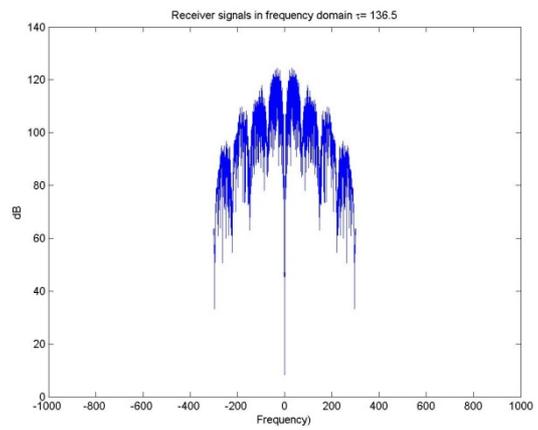
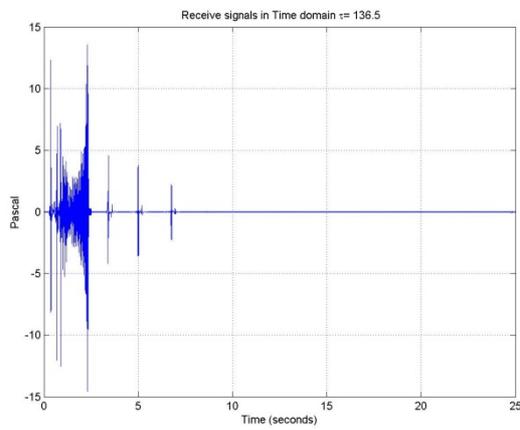


2000 km

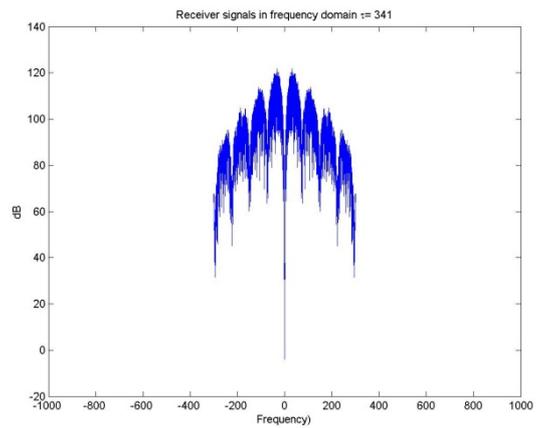
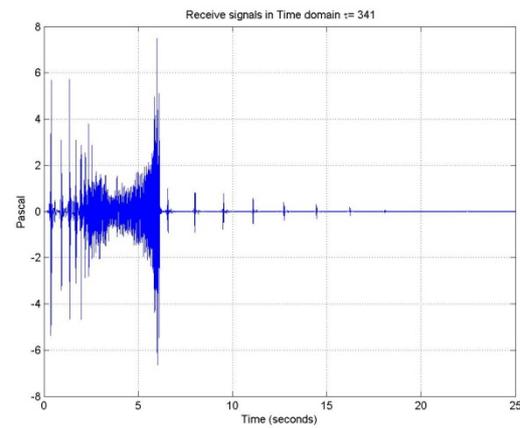
Empfängertiefe 50 m



100 km

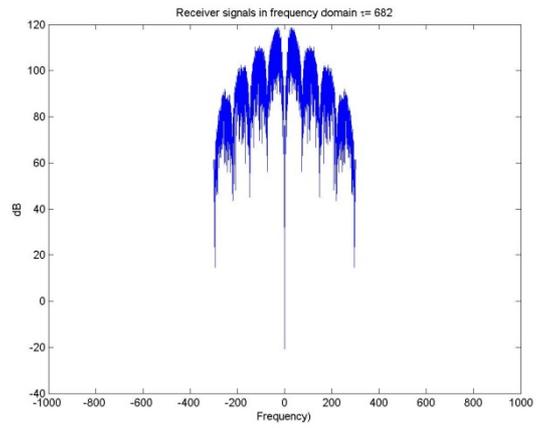
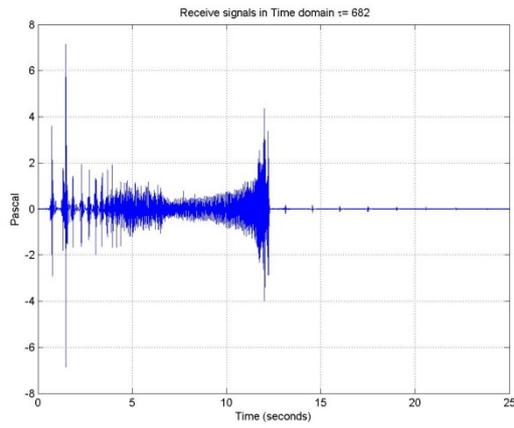


200 km

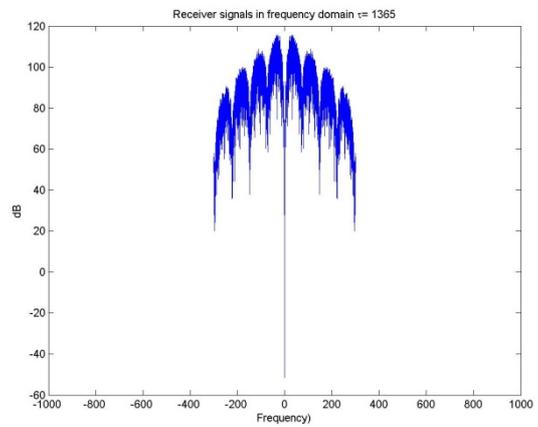
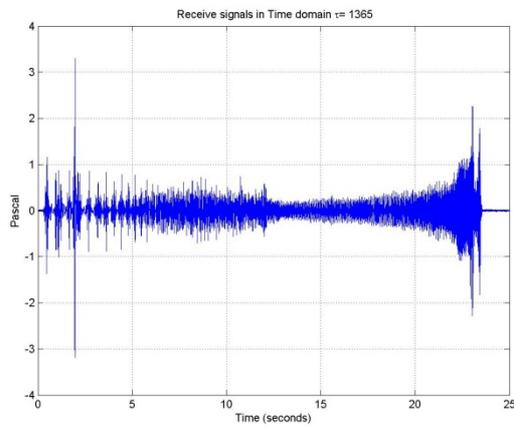


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

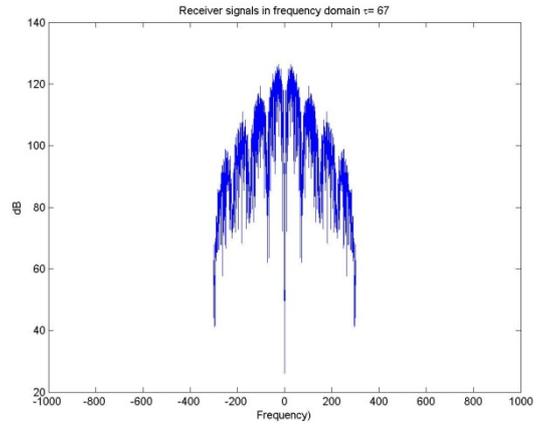
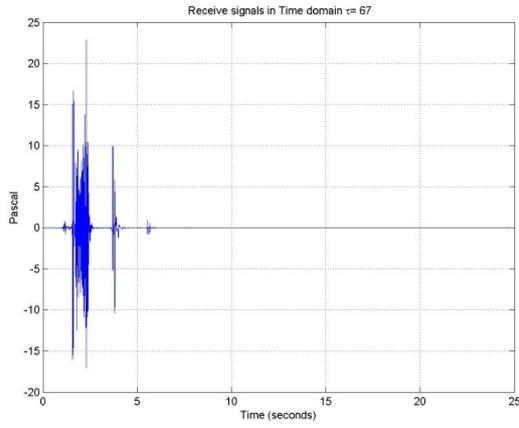


1000 km

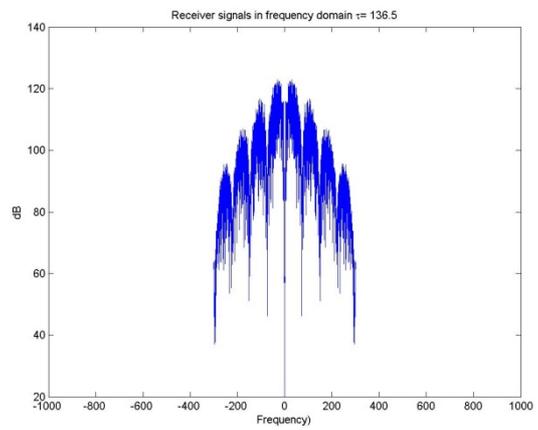
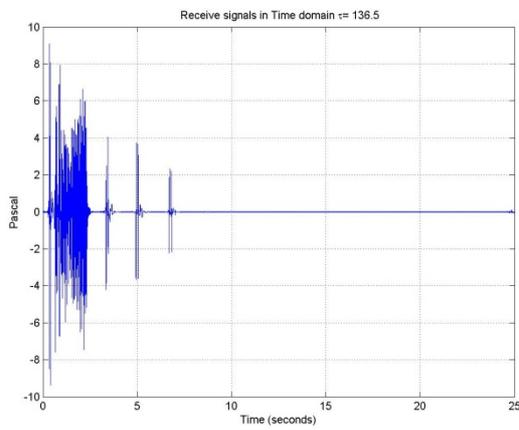


2000 km

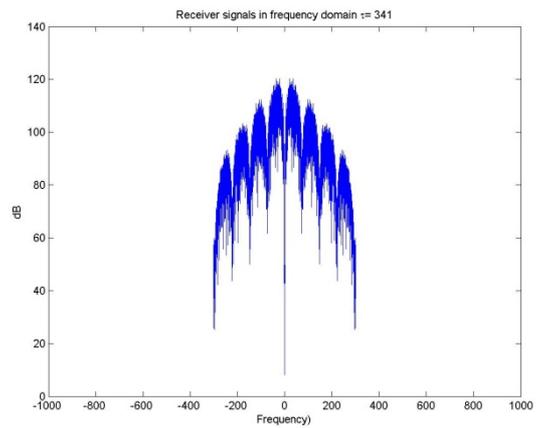
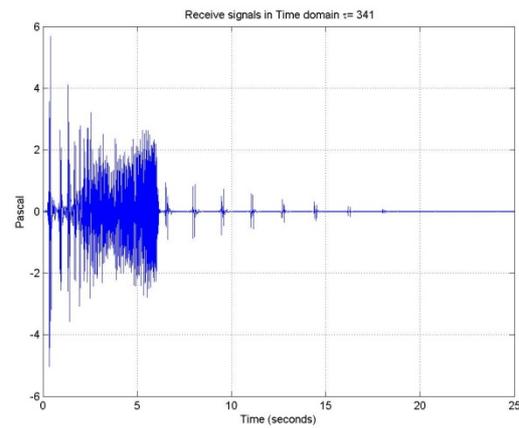
Empfängertiefe 200 m



100 km

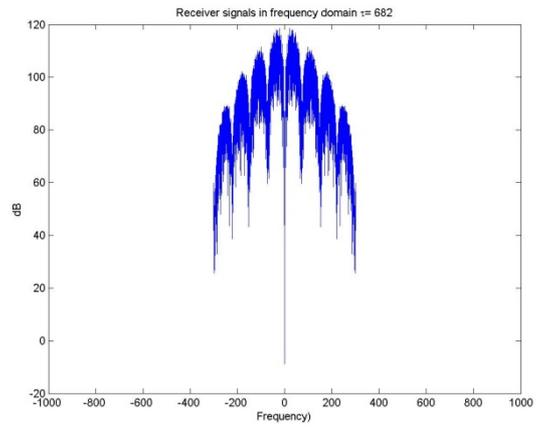
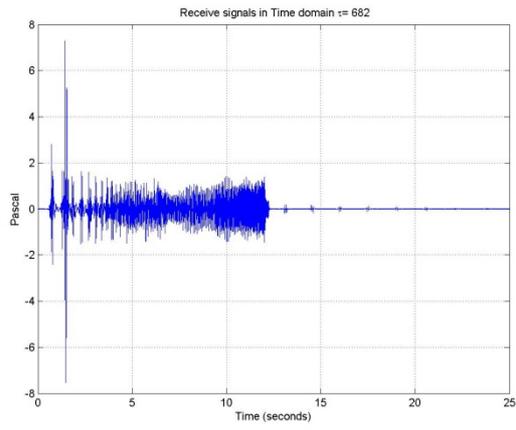


200 km

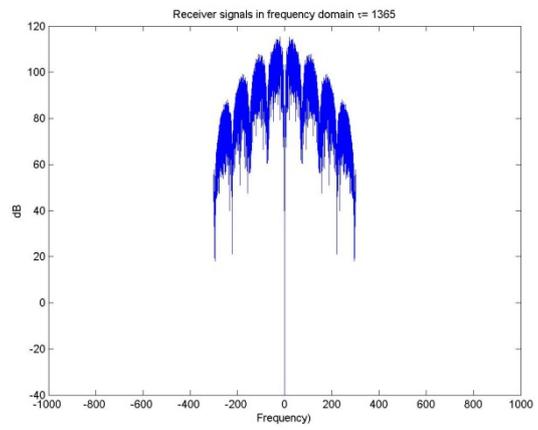
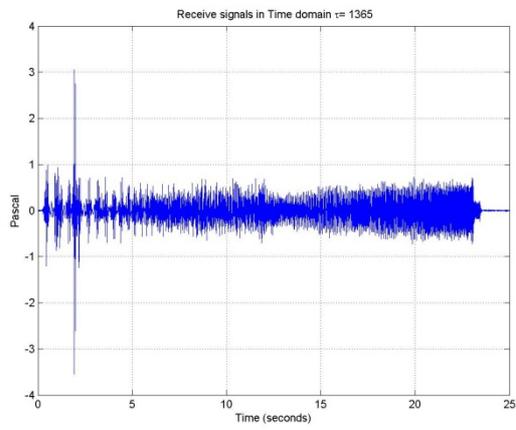


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km

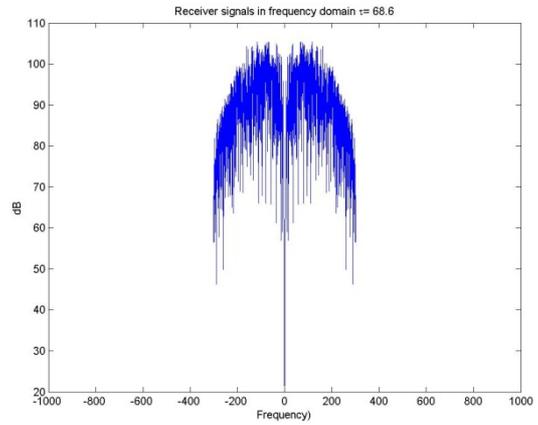
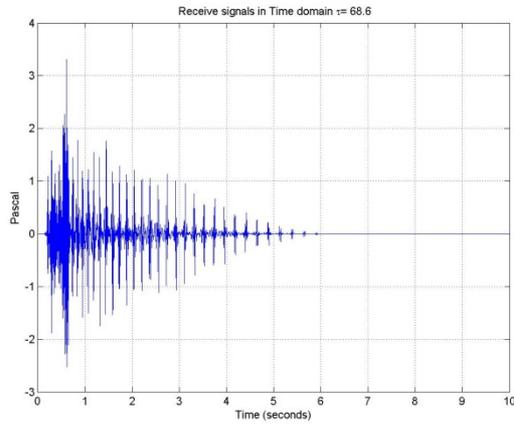


2000 km

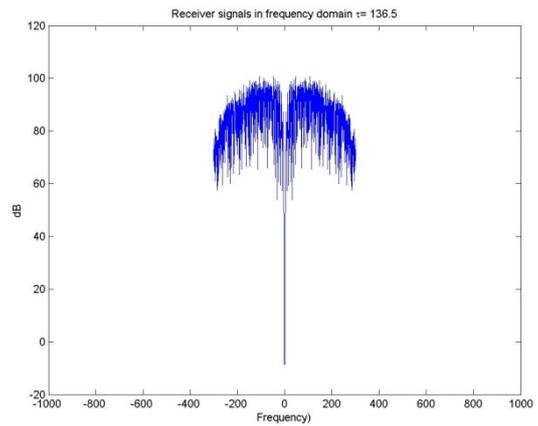
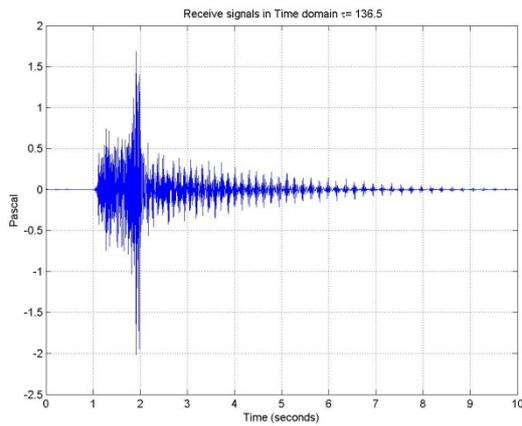
11.4.2 Tiefe 500 m

11.4.2.1 Station 715

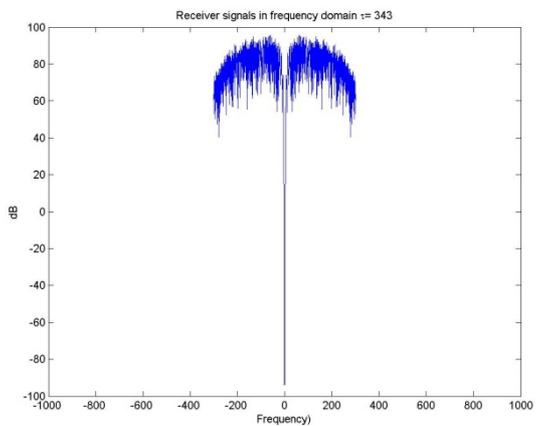
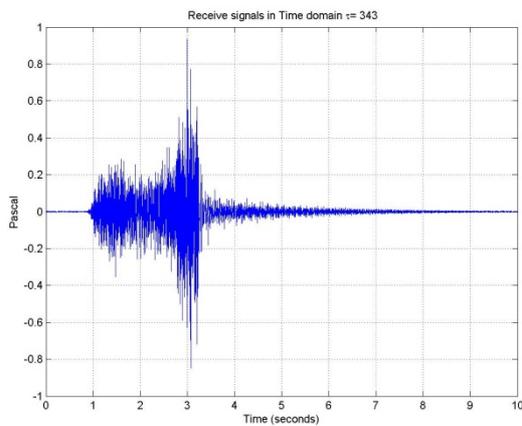
Empfängertiefe 10 m



100 km

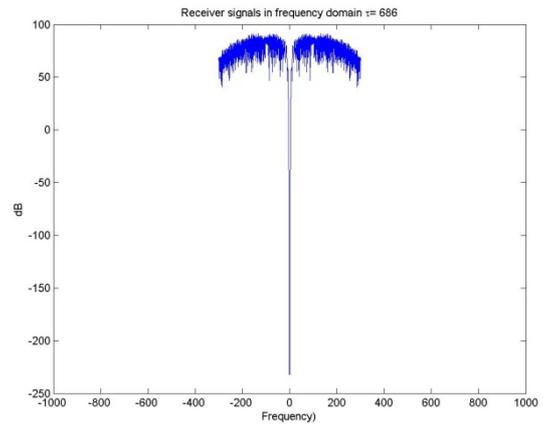
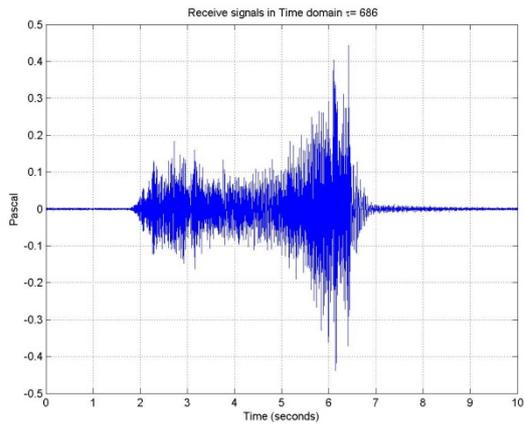


200 km

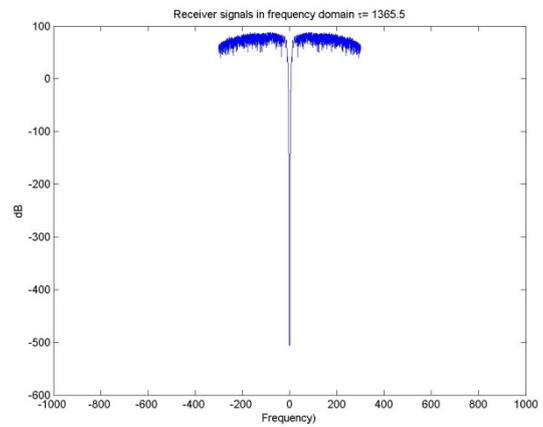
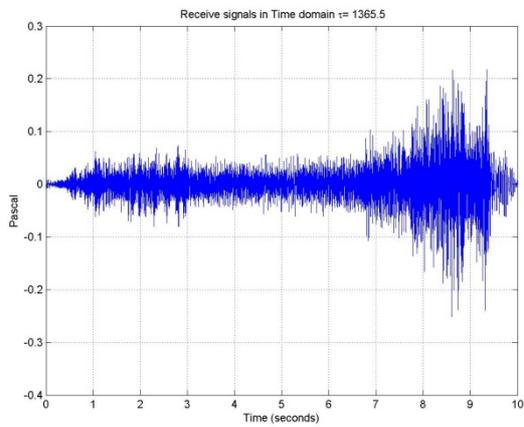


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

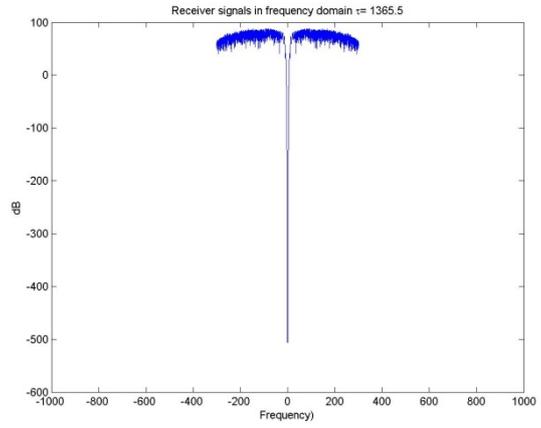
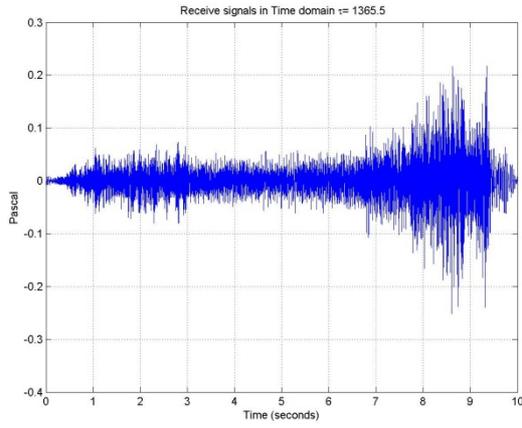


1000 km

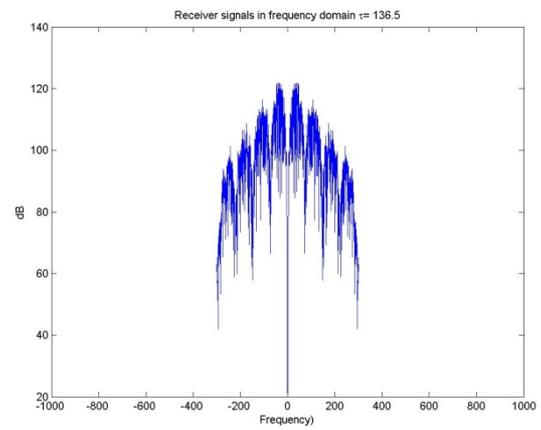
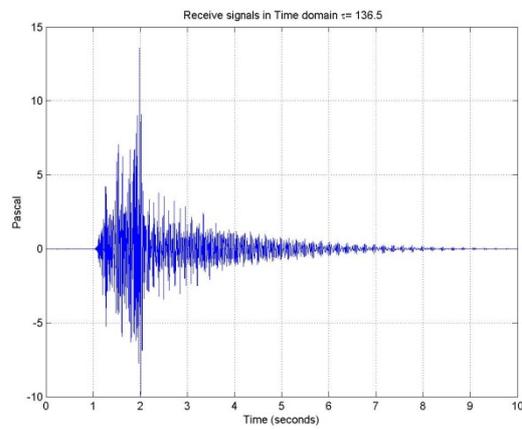


2000 km

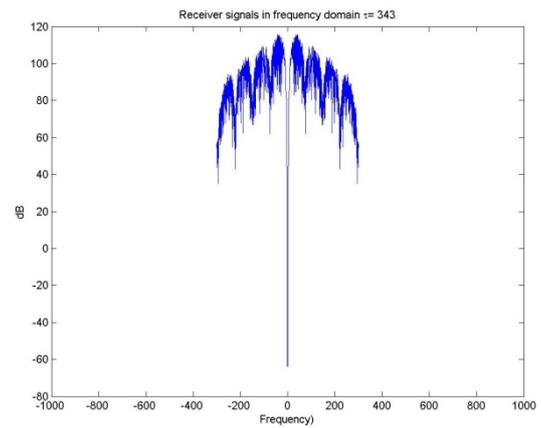
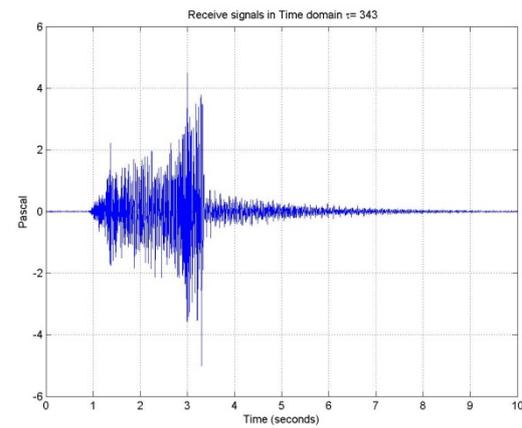
Empfängertiefe 50 m



100 km

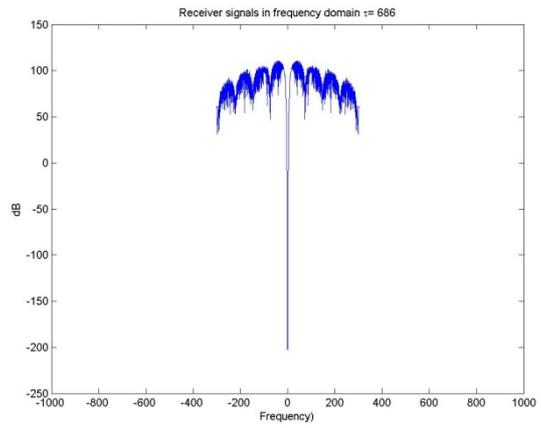
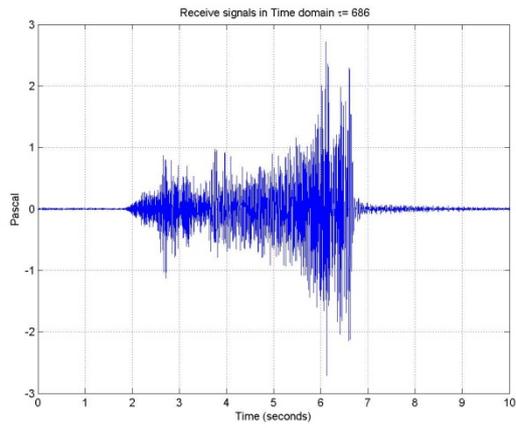


200 km

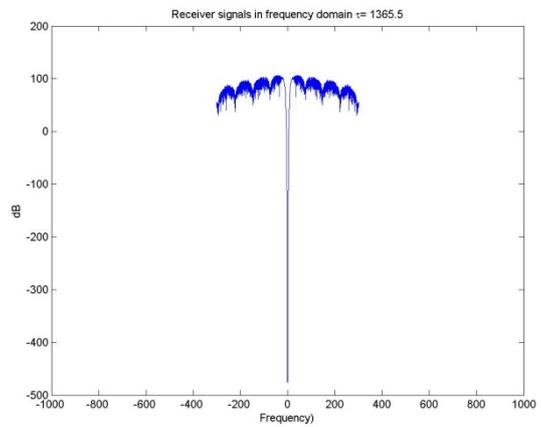
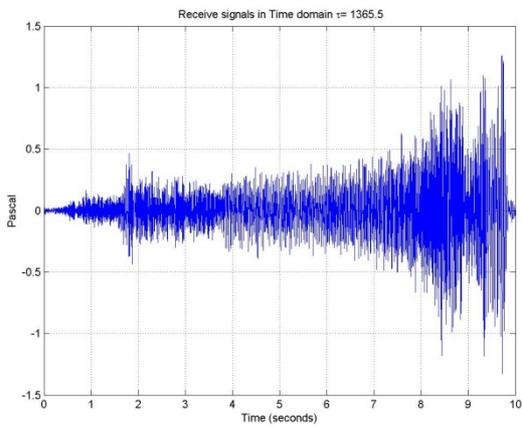


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

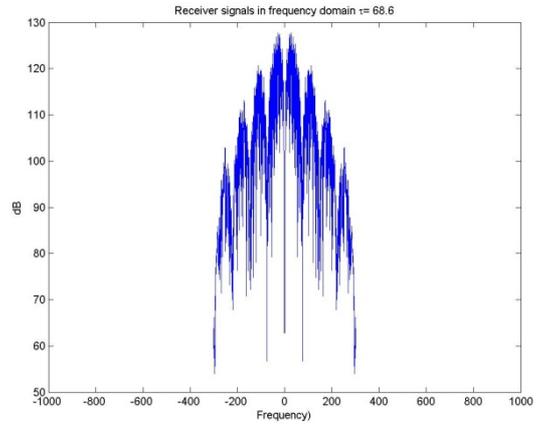
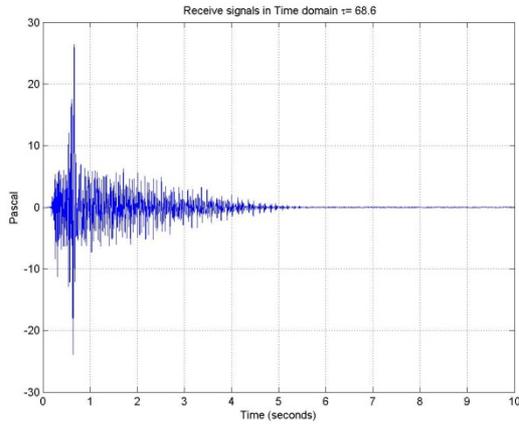


1000 km

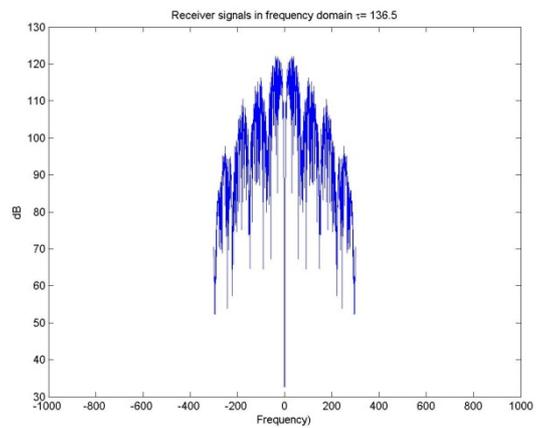
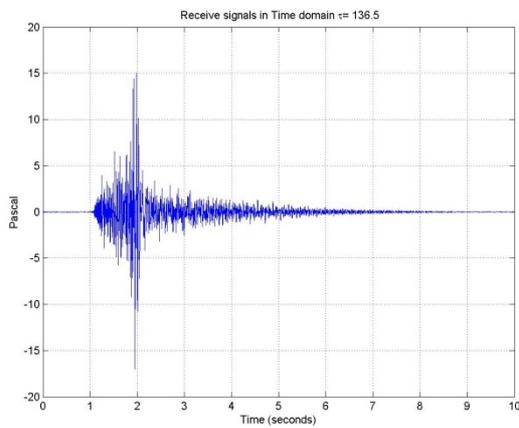


2000 km

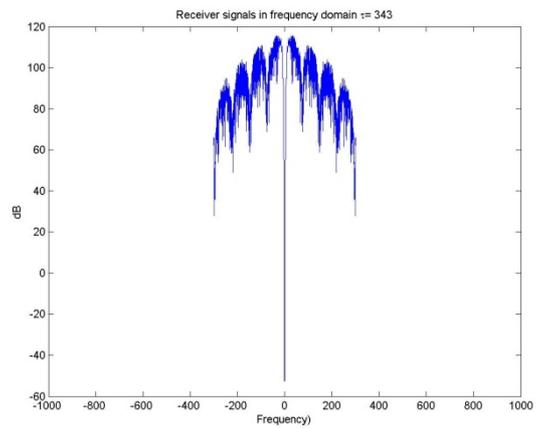
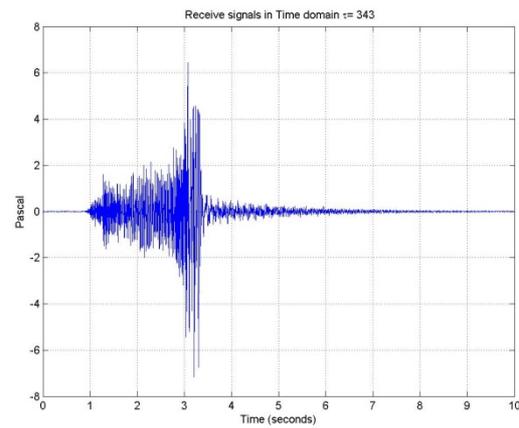
Empfängertiefe 200 m



100 km

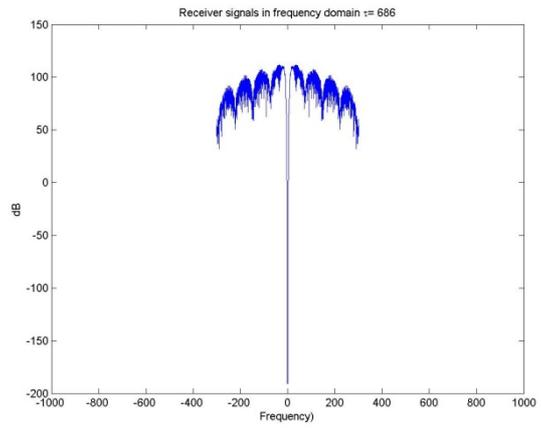
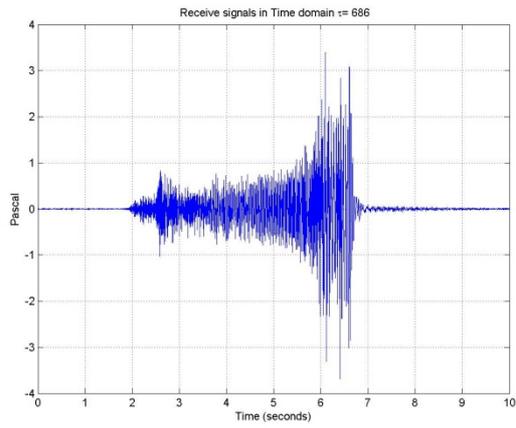


200 km

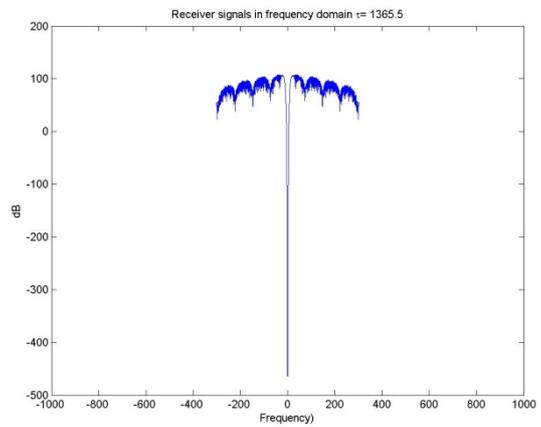
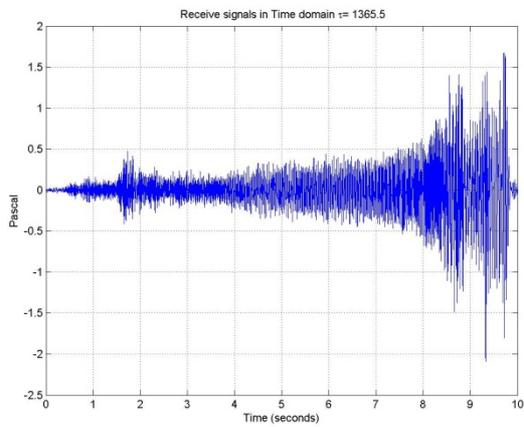


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



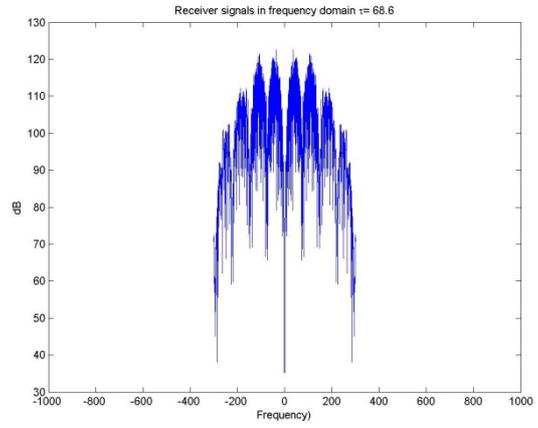
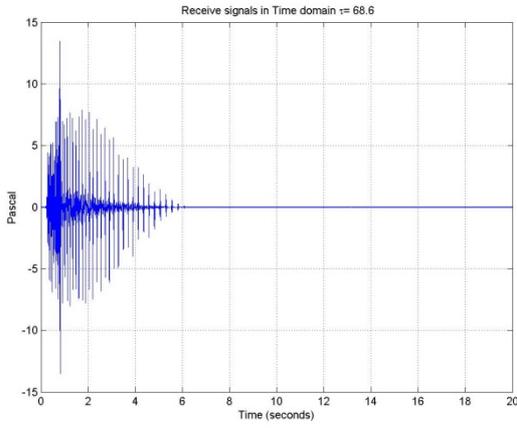
1000 km



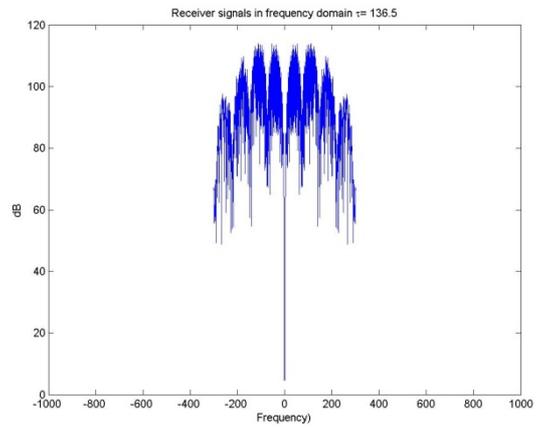
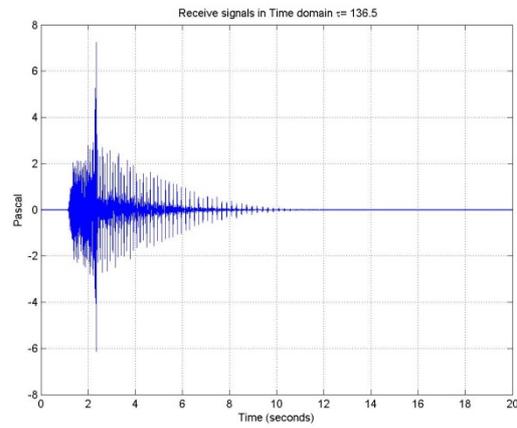
2000 km

11.4.2.2 Station 25

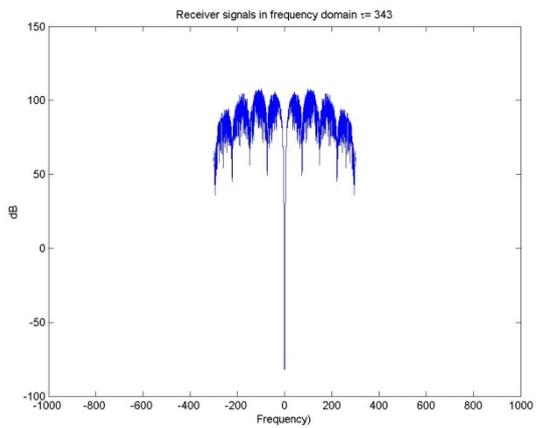
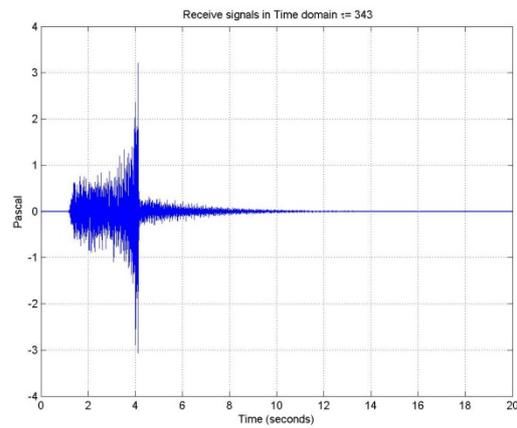
Empfängertiefe 10 m



100 km

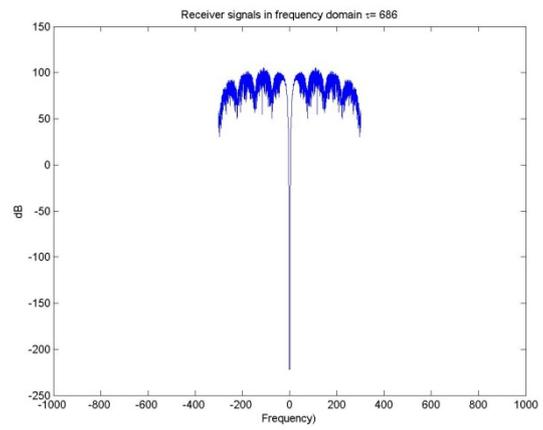
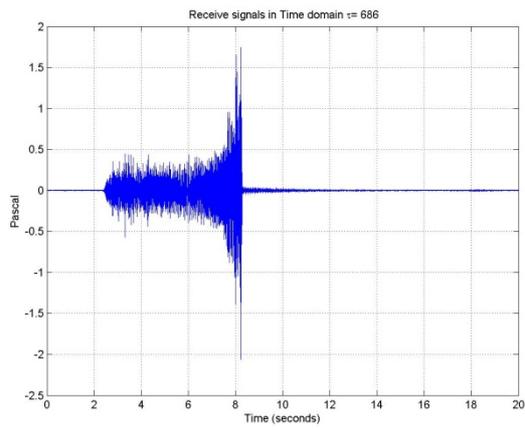


200 km

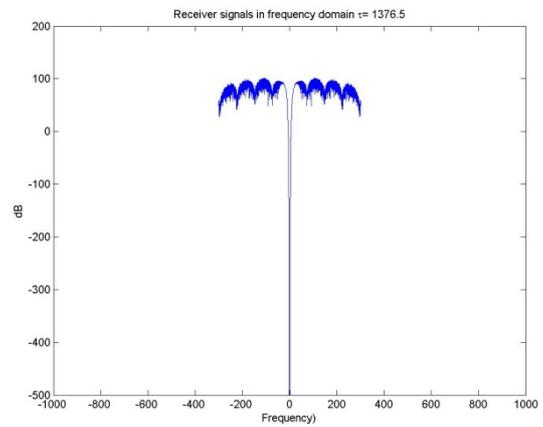
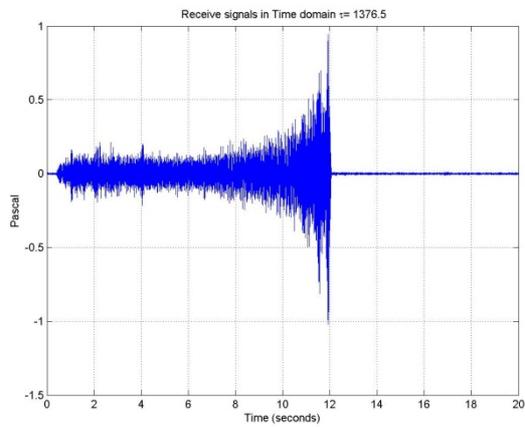


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

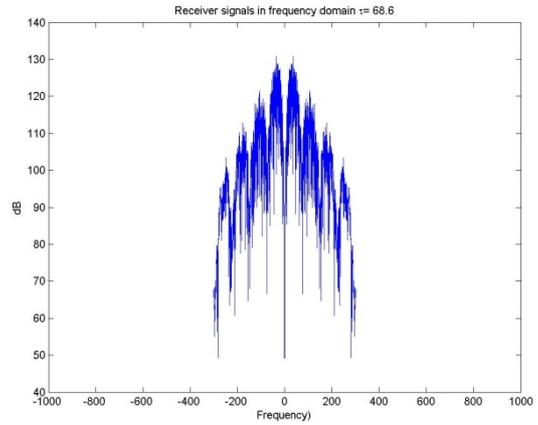
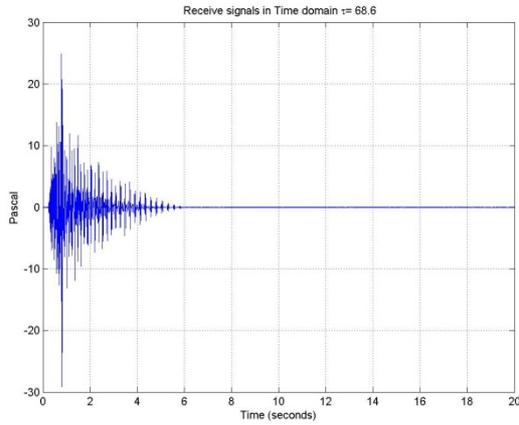


1000 km

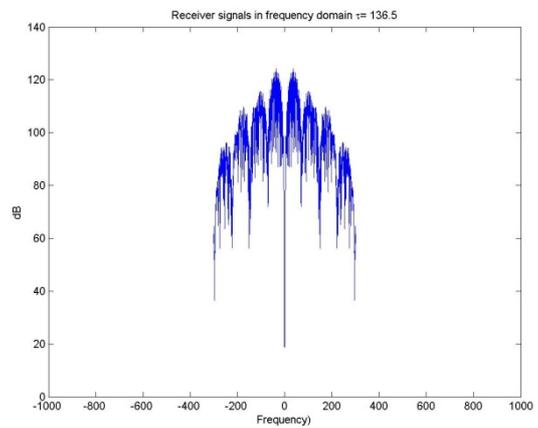
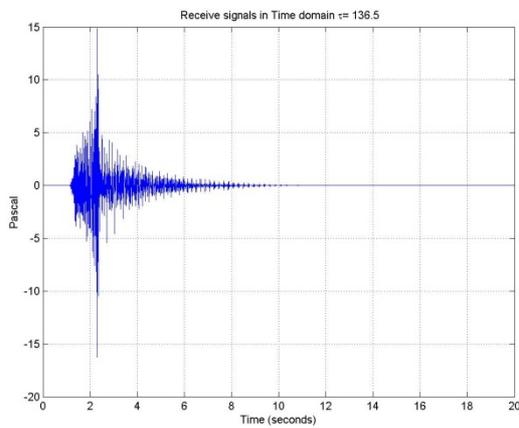


2000 km

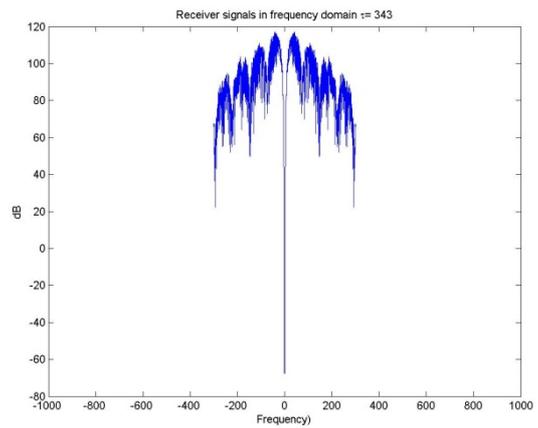
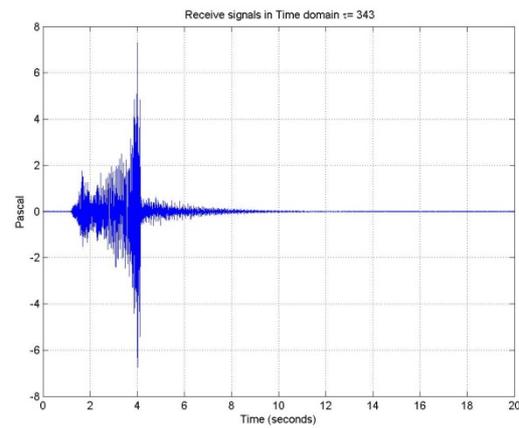
Empfängertiefe 50 m



100 km

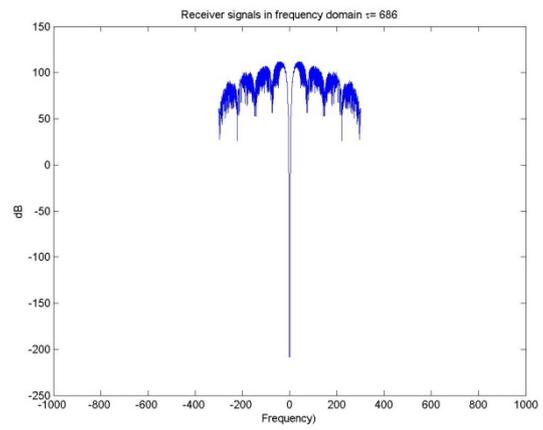
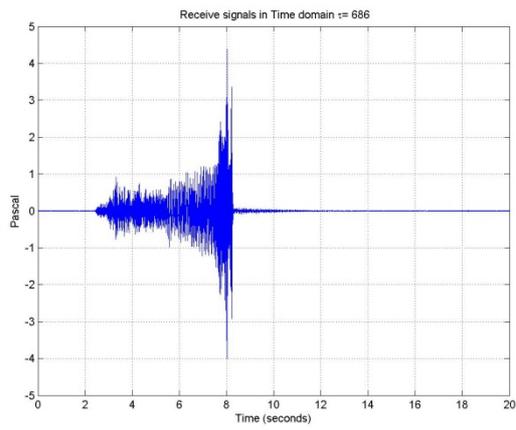


200 km

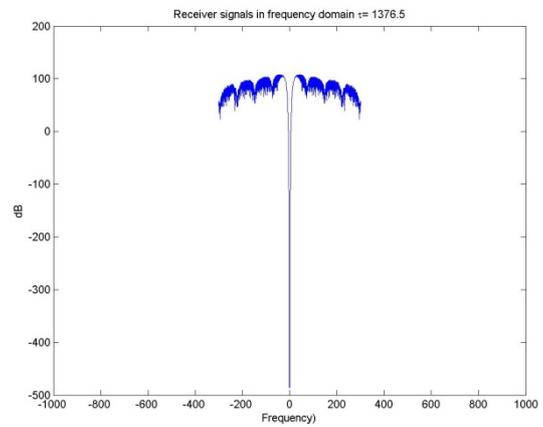
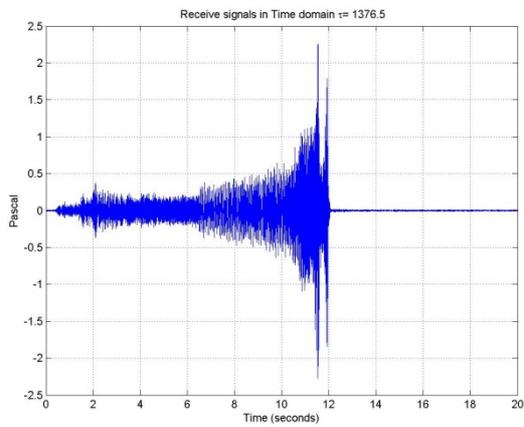


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

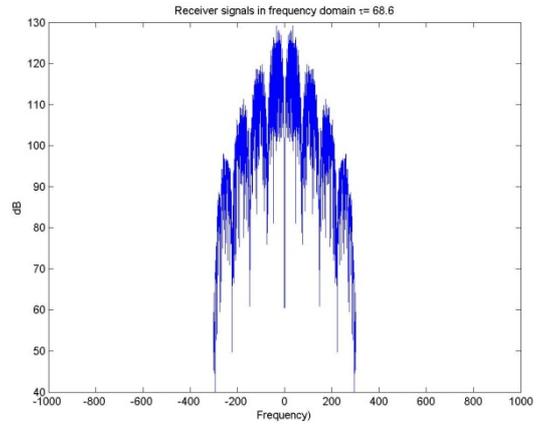
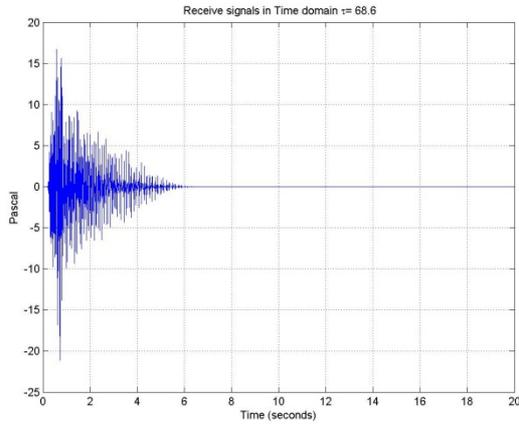


1000 km

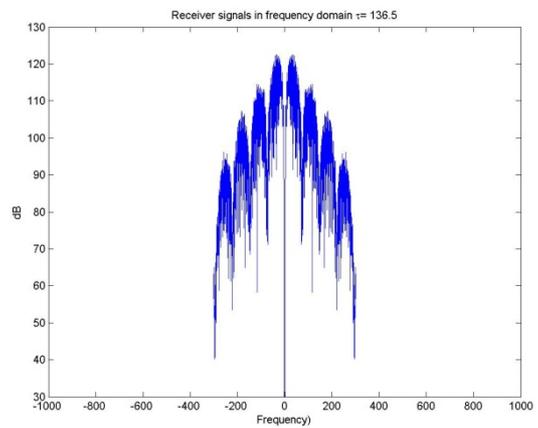
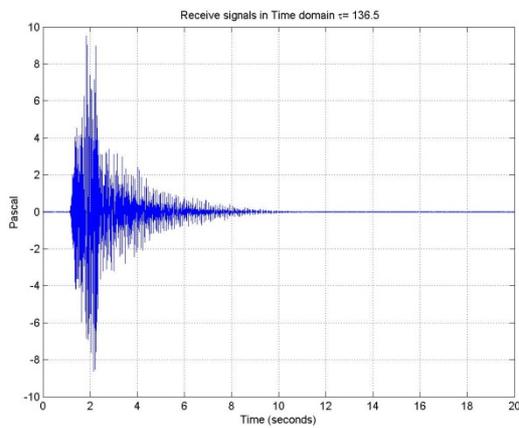


2000 km

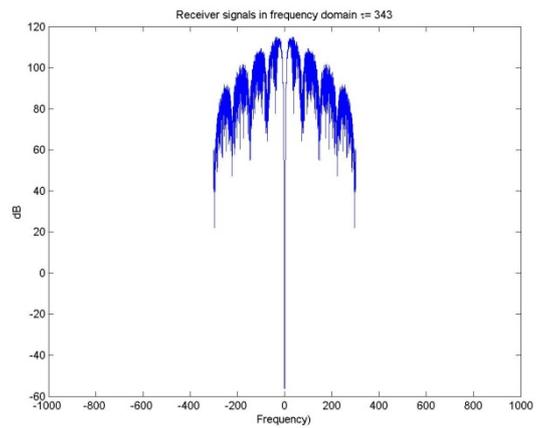
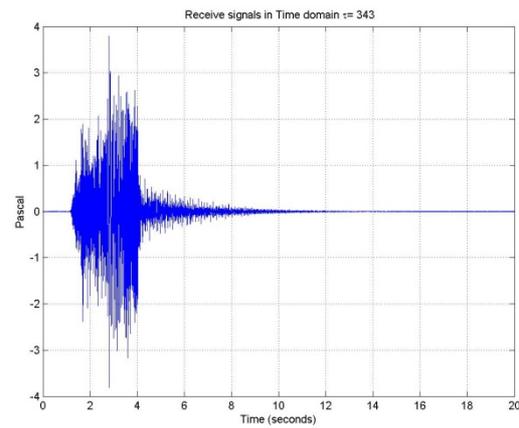
Empfängertiefe 200 m



100 km

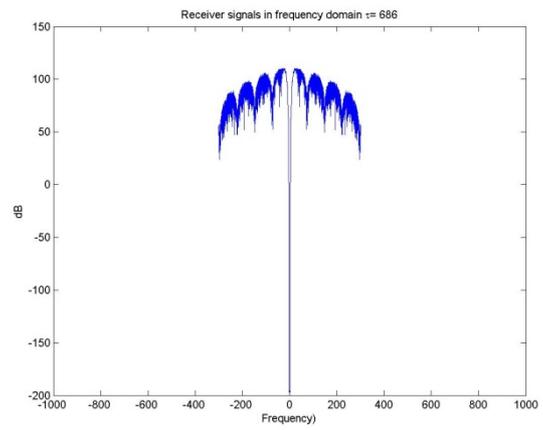
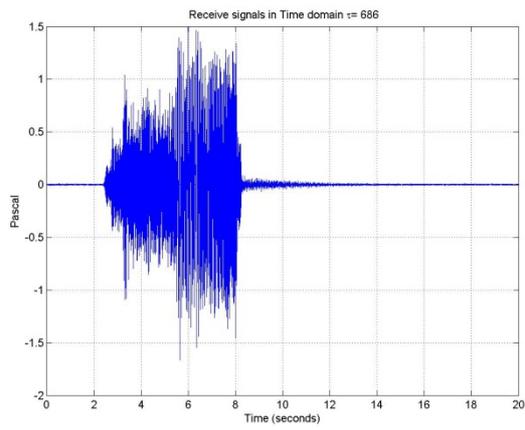


200 km

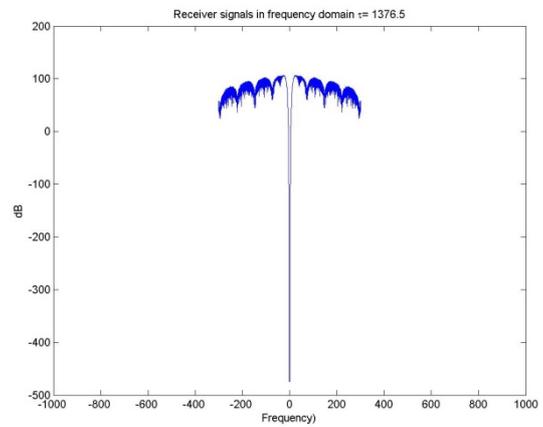
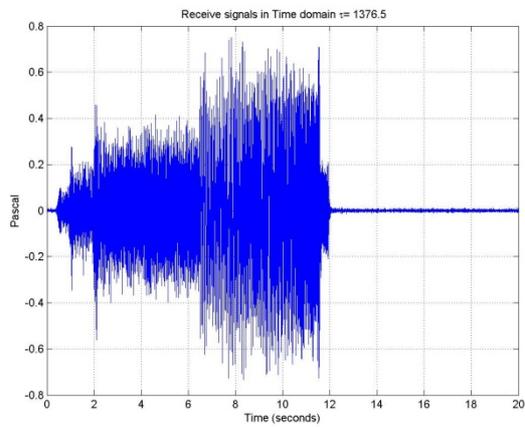


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km



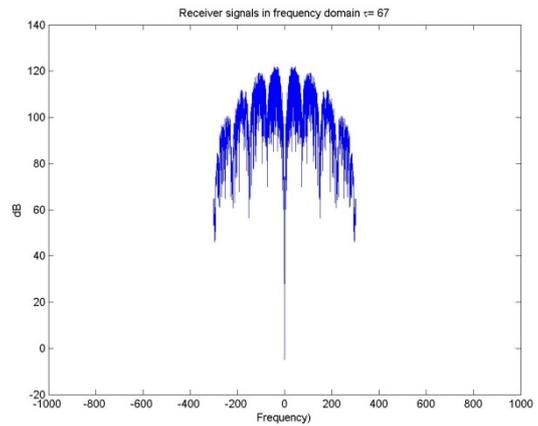
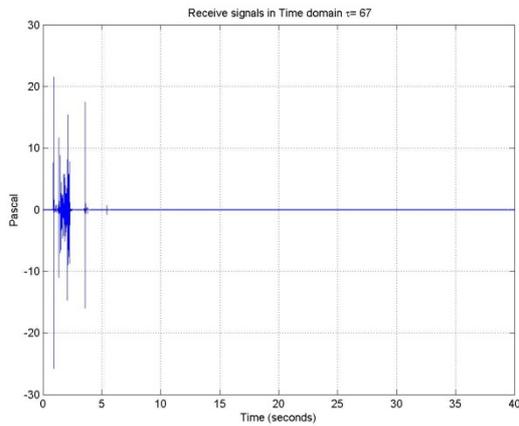
2000 km

11.5 8 G-gun+Bolt Array, Quelltiefe 10 m

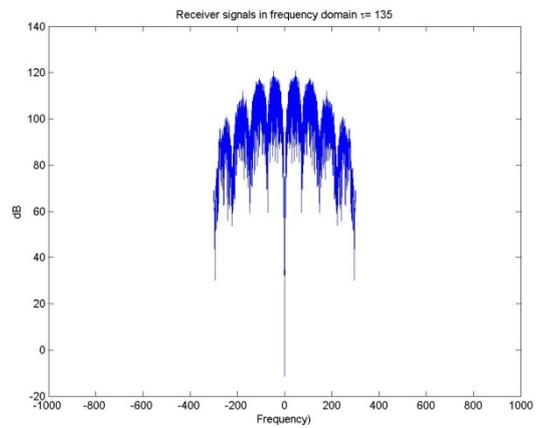
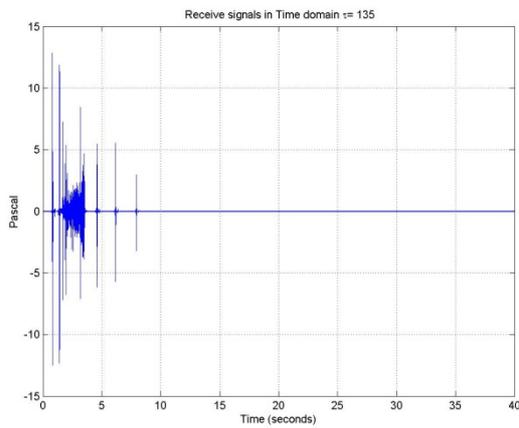
11.5.1 Tiefe 4000 m

11.5.1.1 Station 715

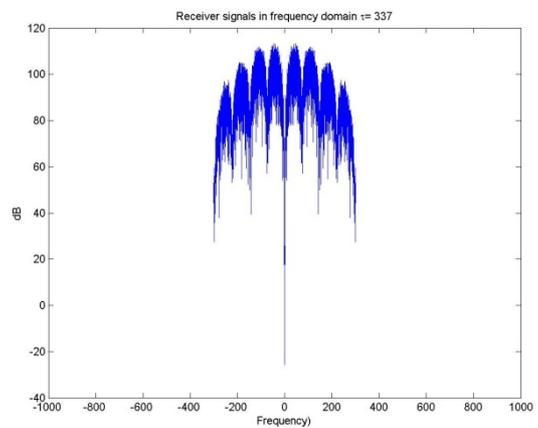
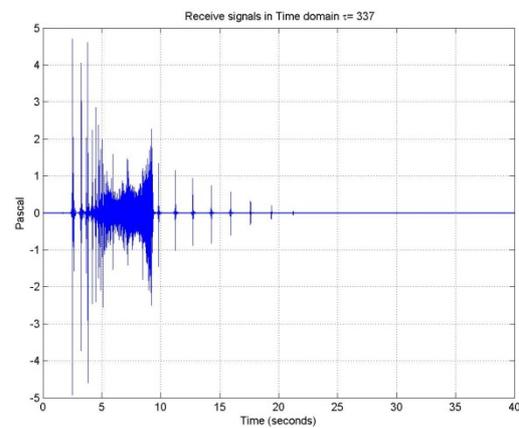
Empfängertiefe 10 m



100 km

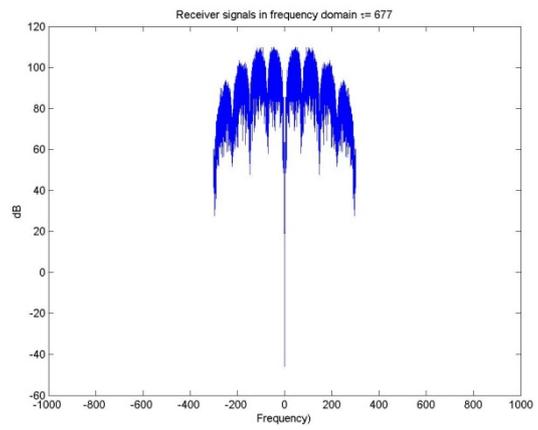
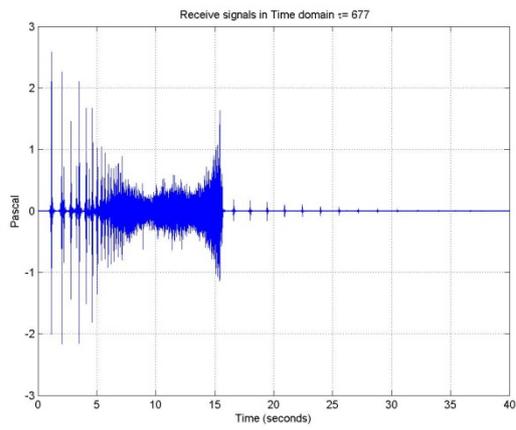


200 km

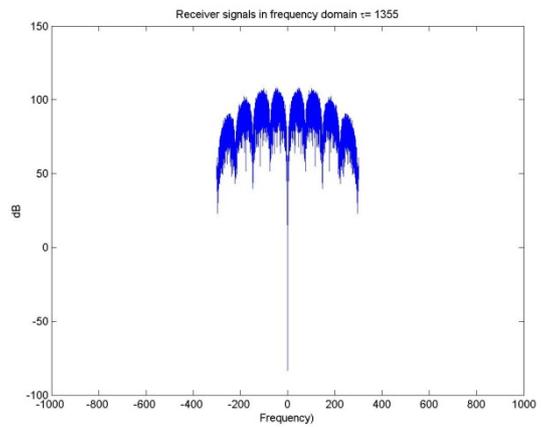
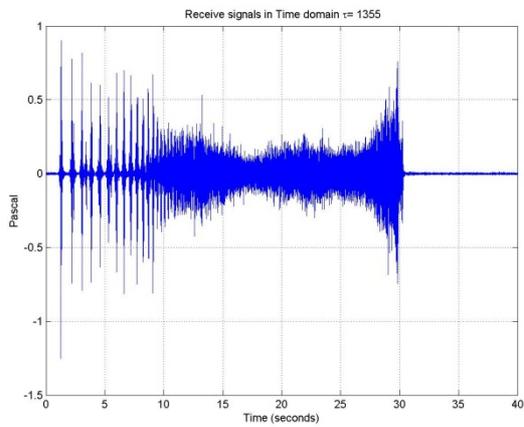


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

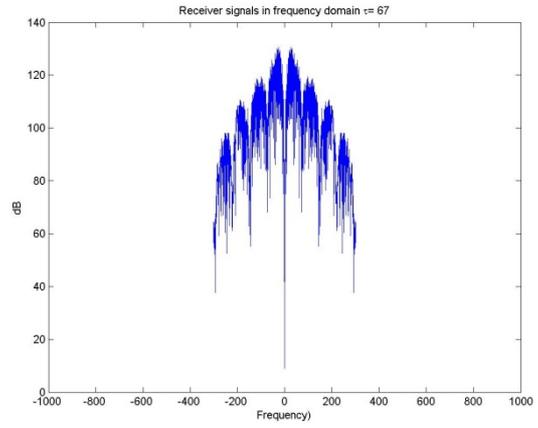
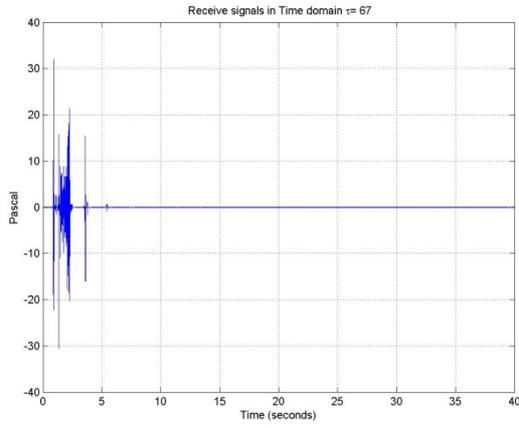


1000 km

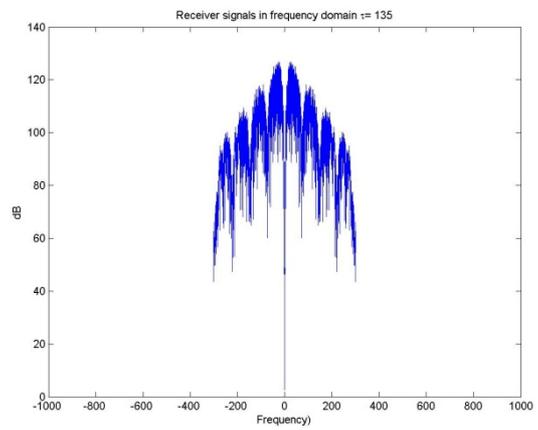
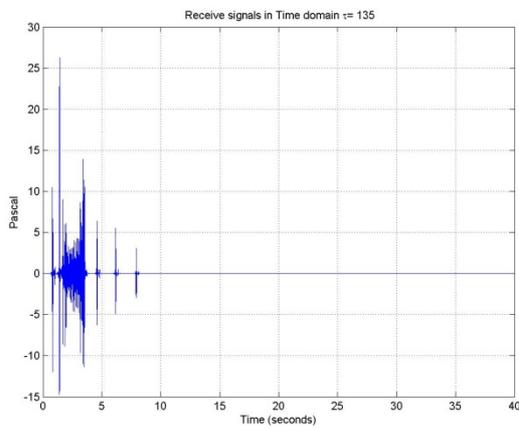


2000 km

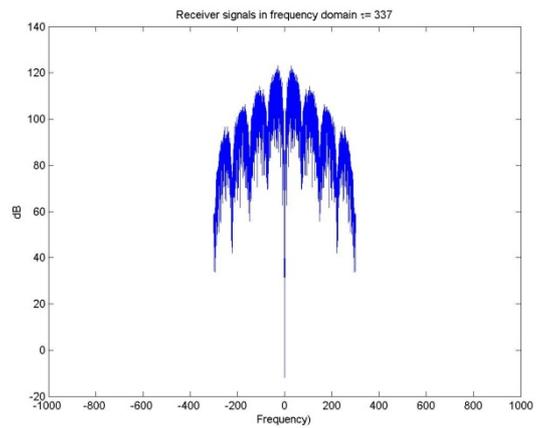
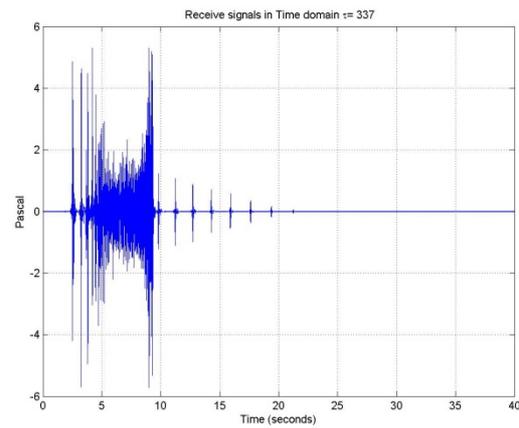
Empfängertiefe 50 m



100 km

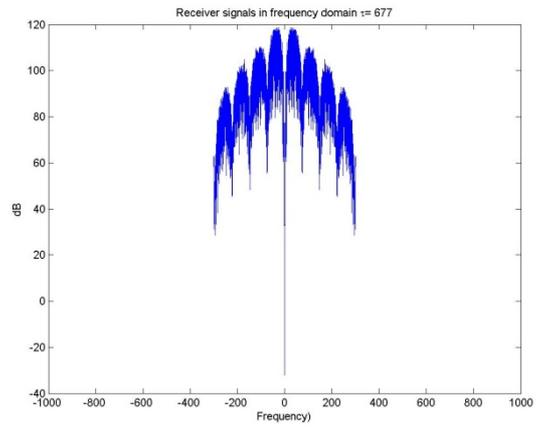
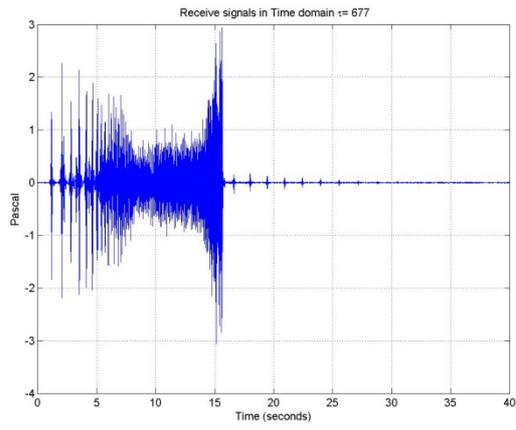


200 km

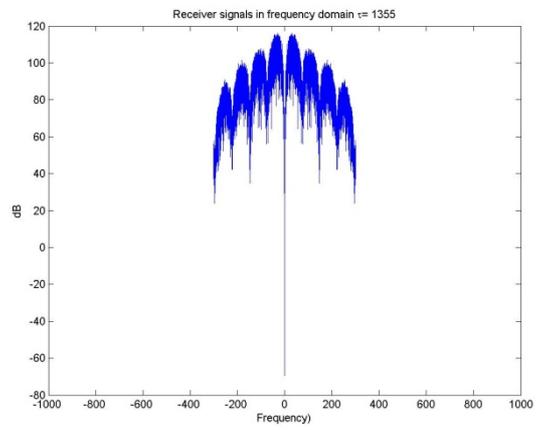
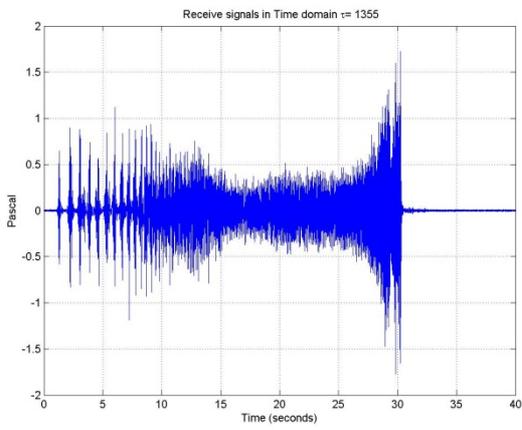


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

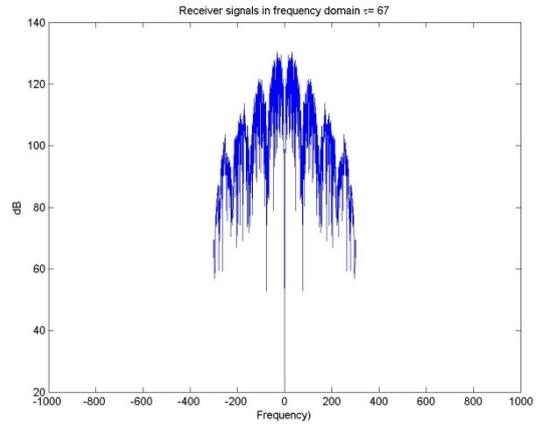
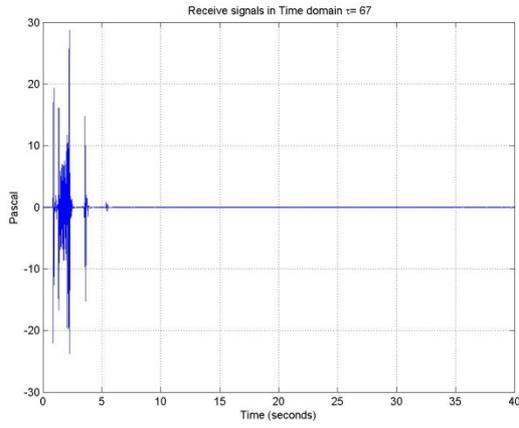


1000 km

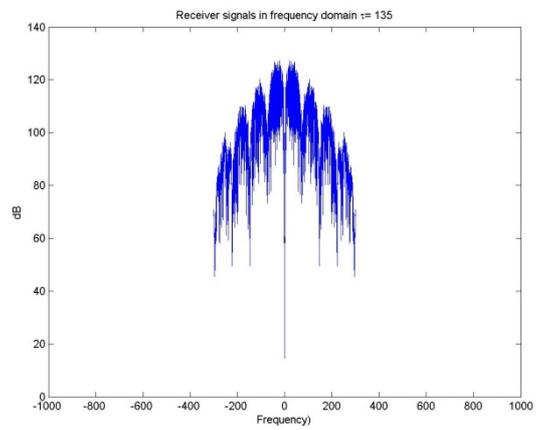
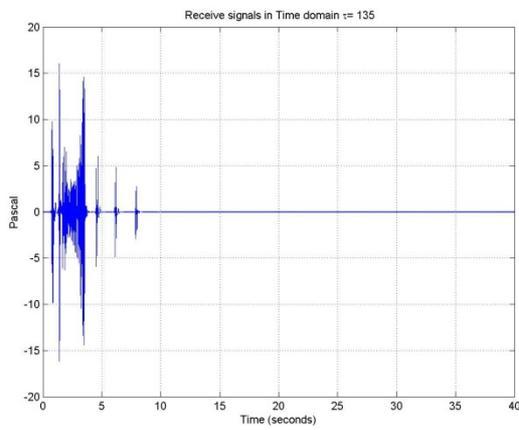


2000 km

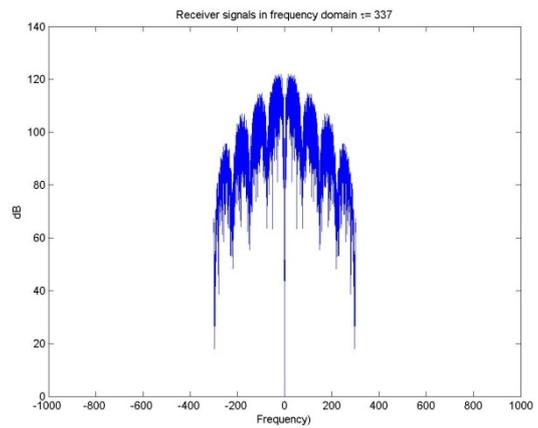
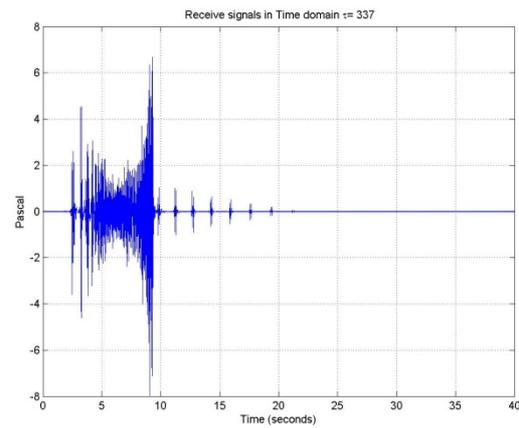
Empfängertiefe 200 m



100 km

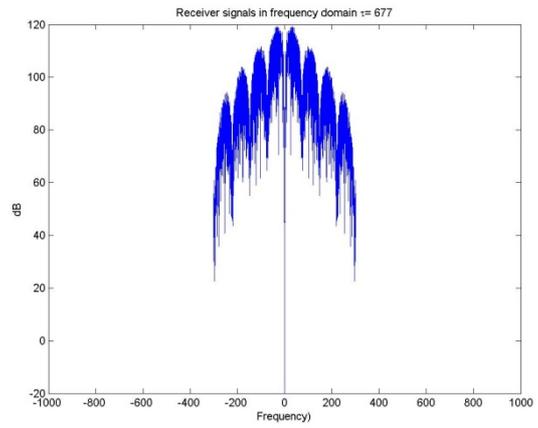
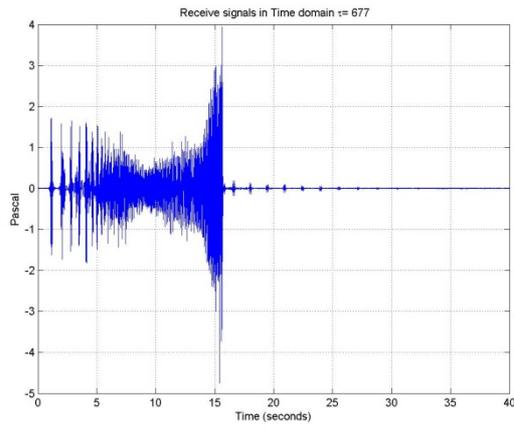


200 km

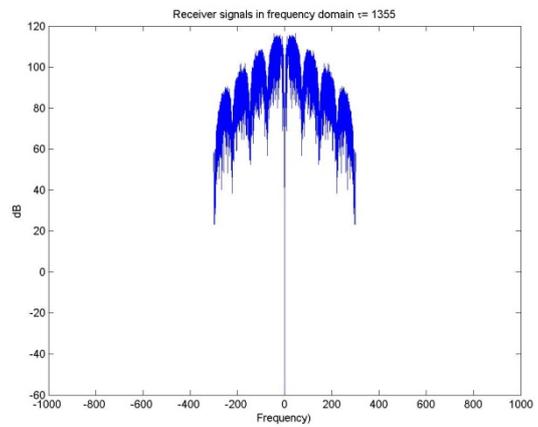
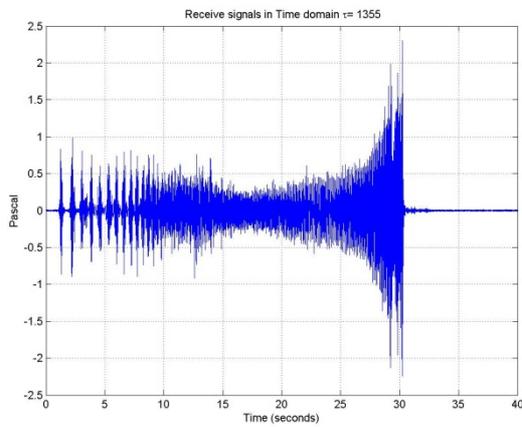


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



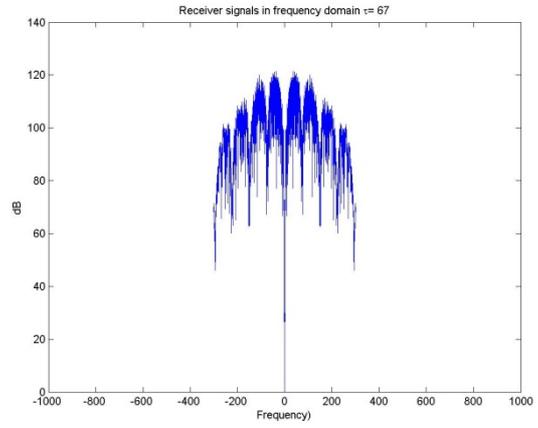
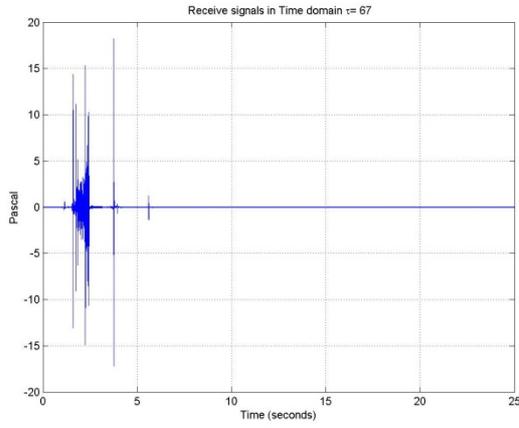
1000 km



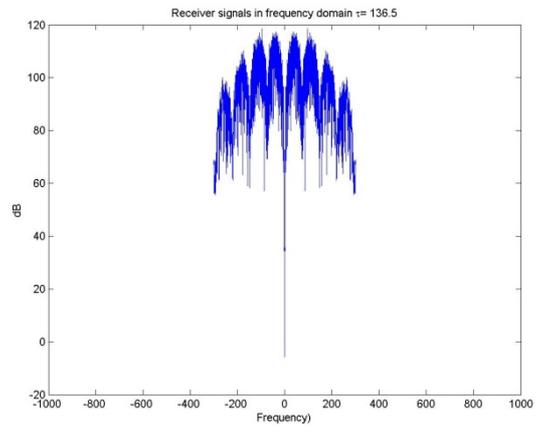
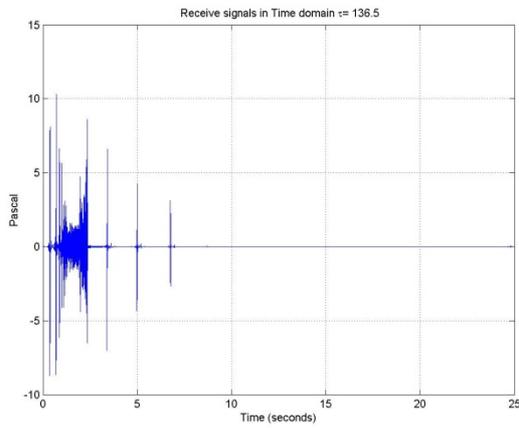
2000 km

11.5.1.2 Station 25

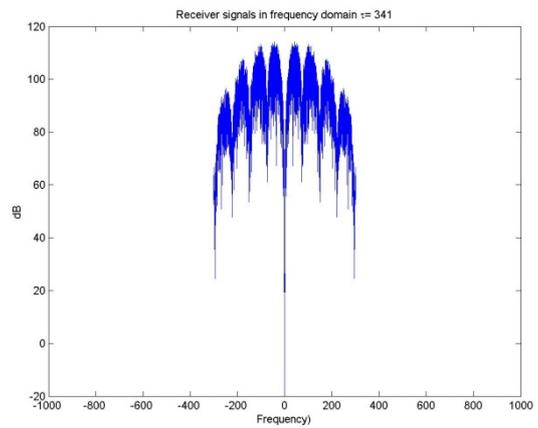
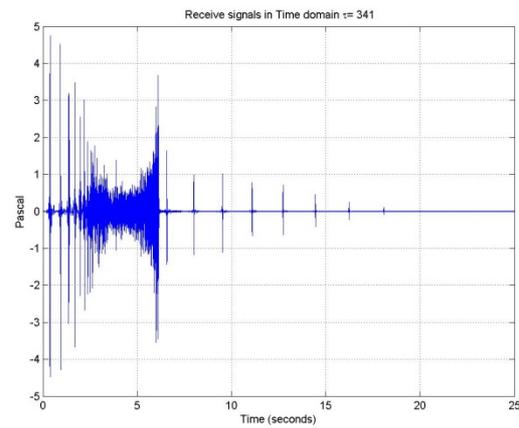
Empfängertiefe 10 m



100 km

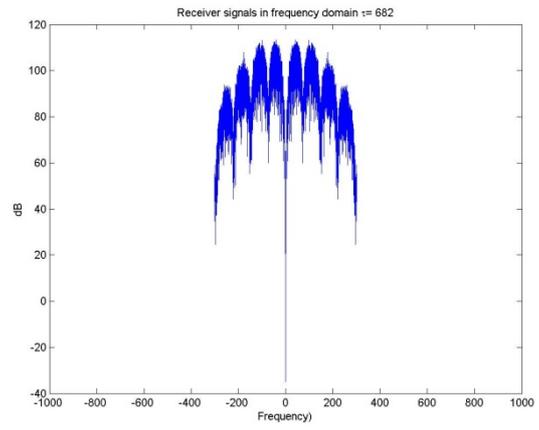
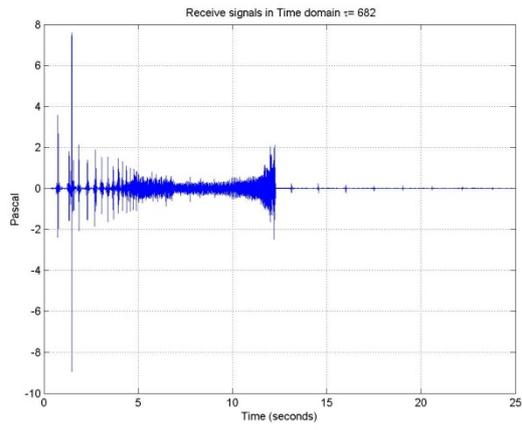


200 km

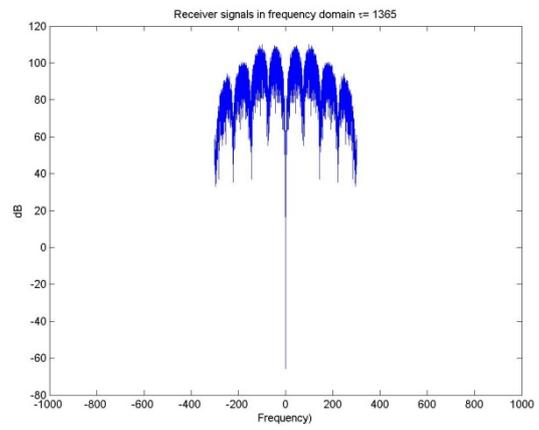
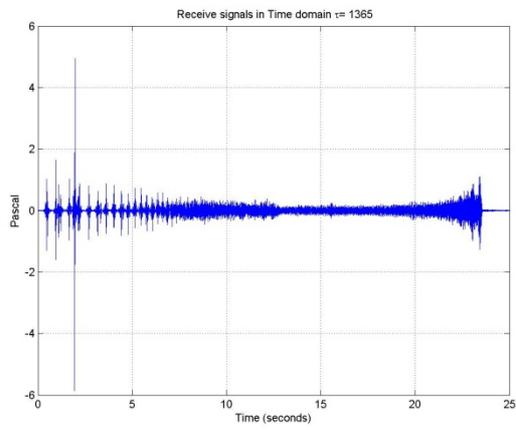


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

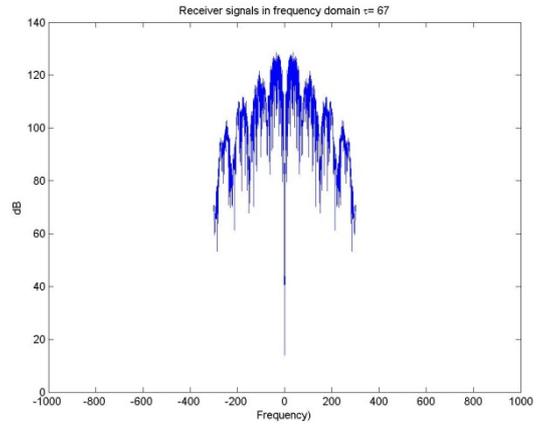
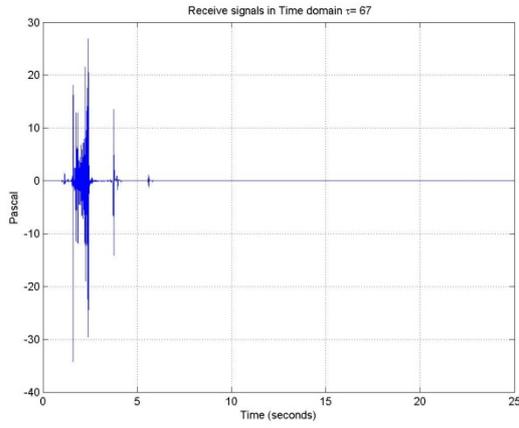


1000 km

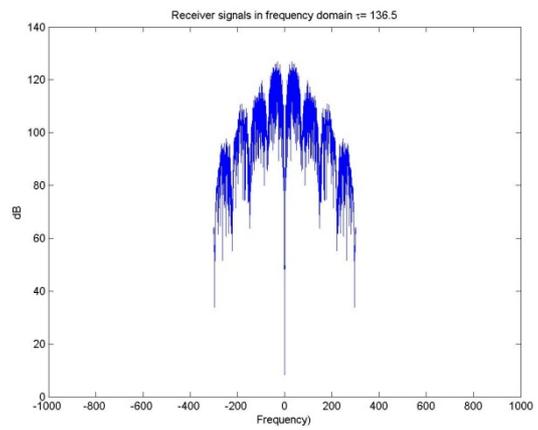
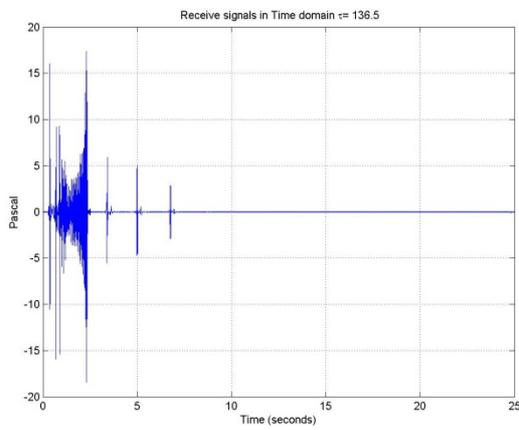


2000 km

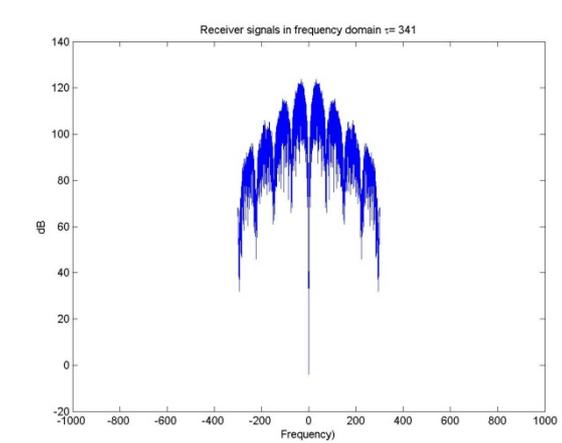
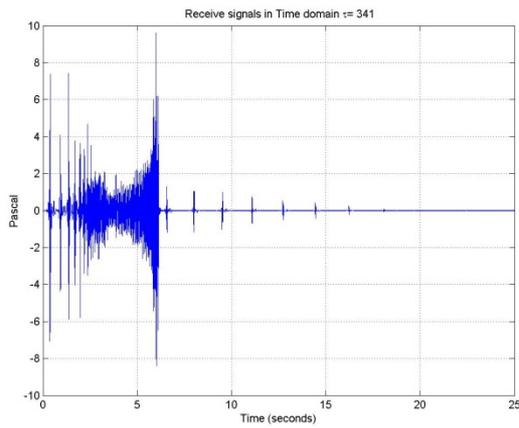
Empfängertiefe 50 m



100 km

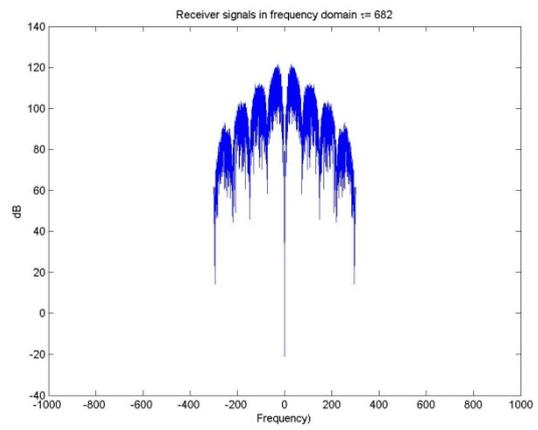
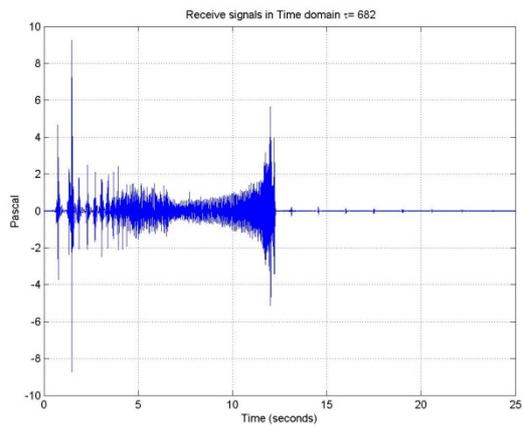


200 km

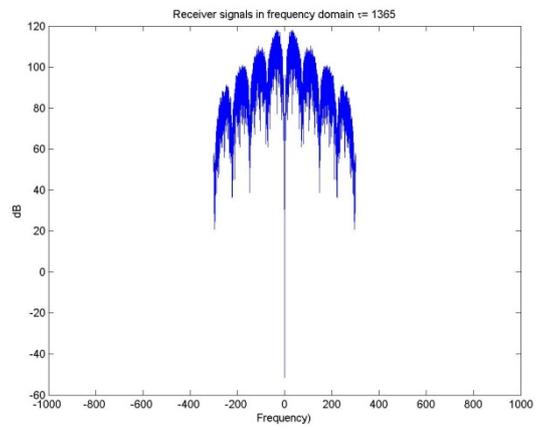
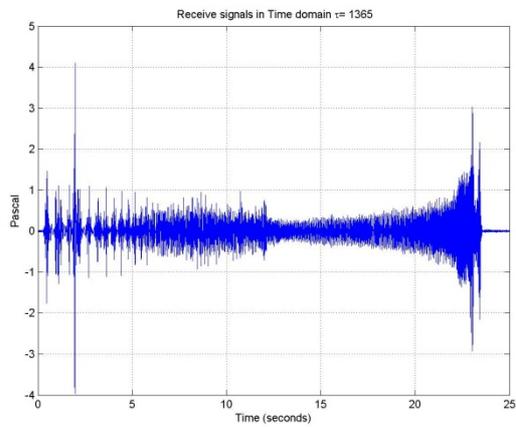


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

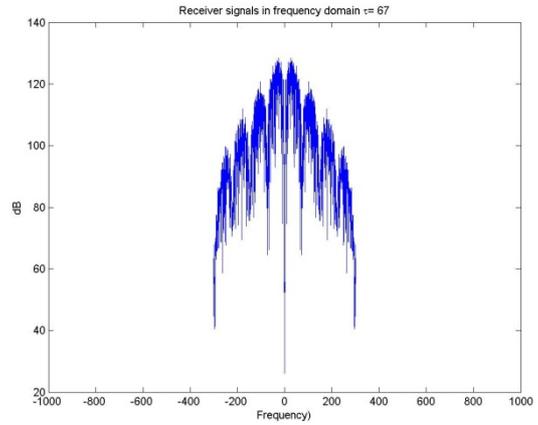
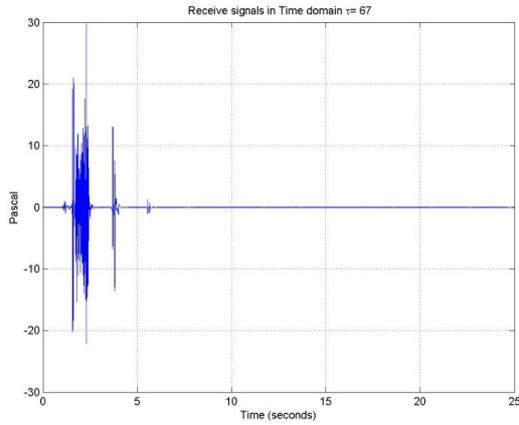


1000 km

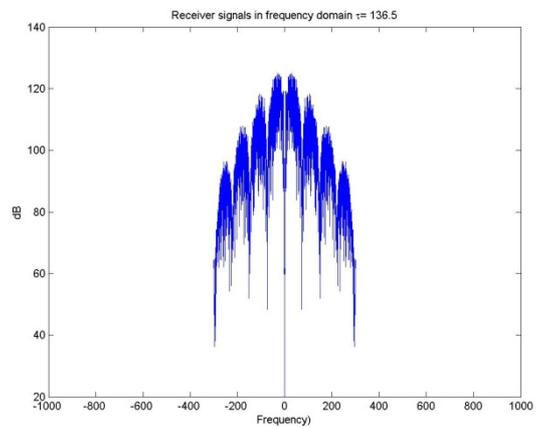
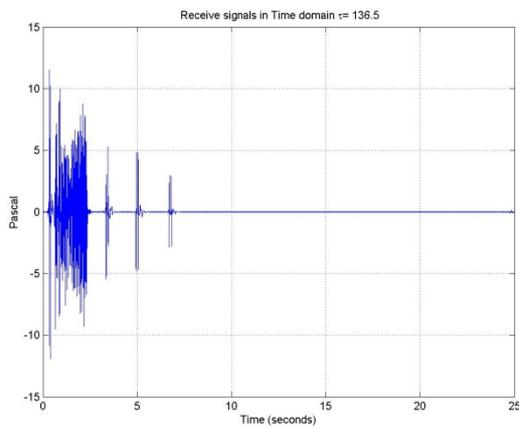


2000 km

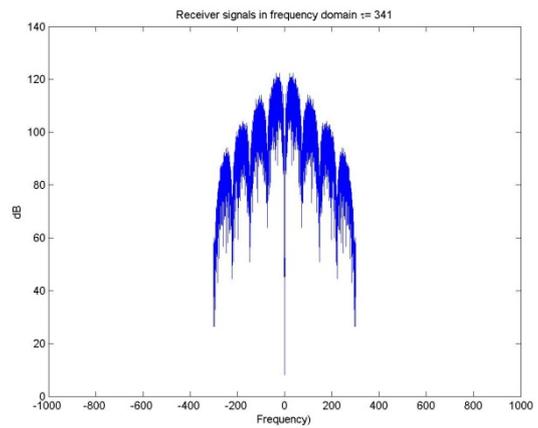
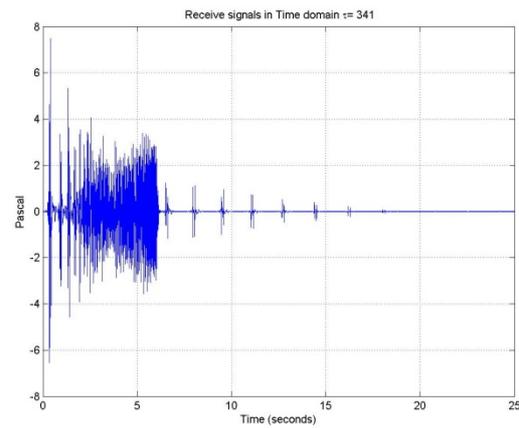
Empfängertiefe 200 m



100 km

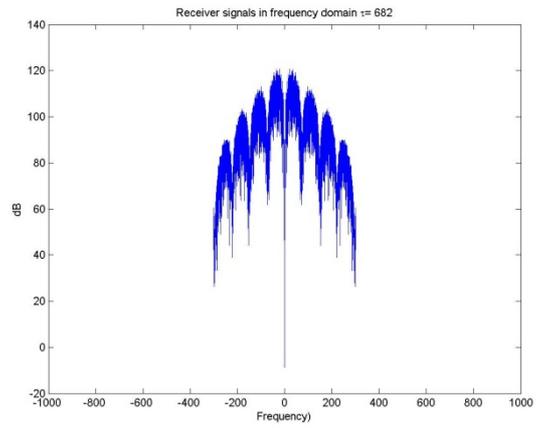
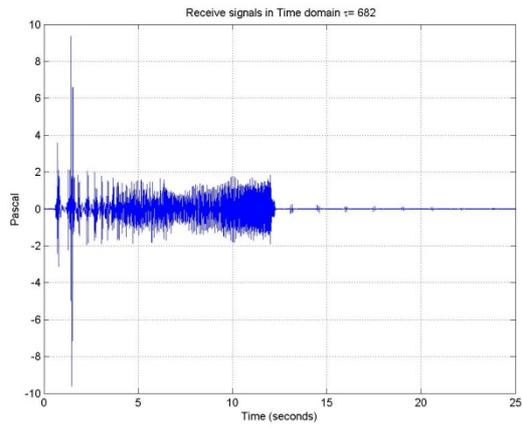


200 km

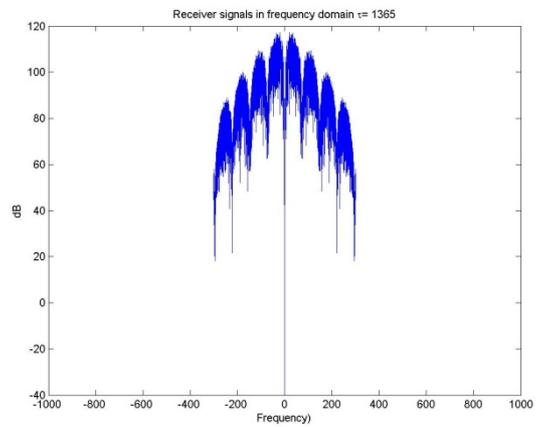
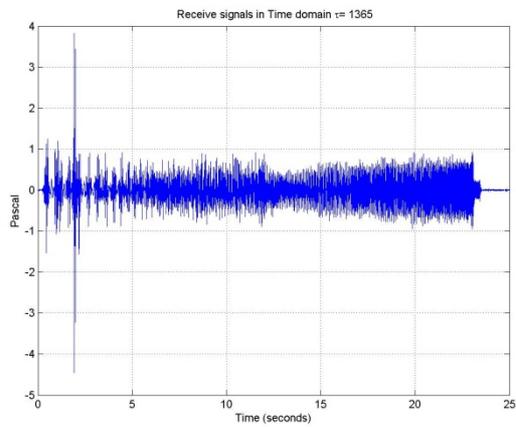


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000 km

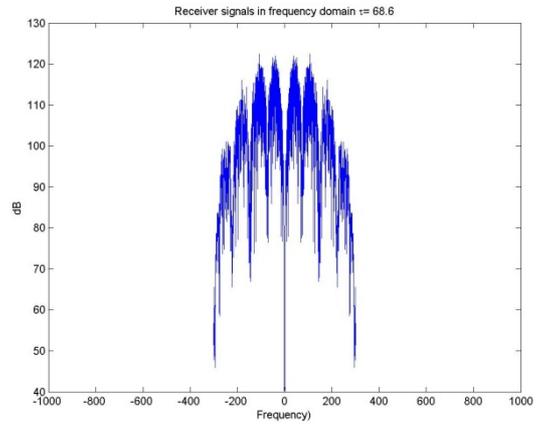
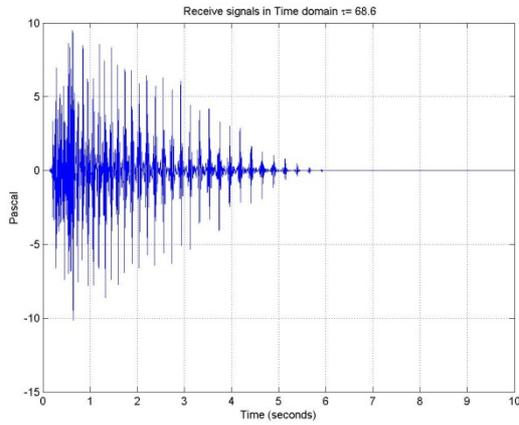


2000 km

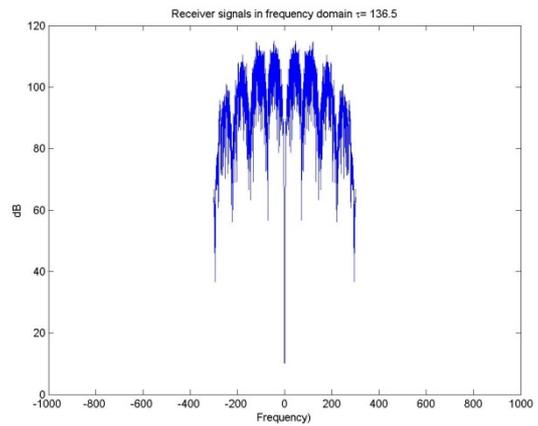
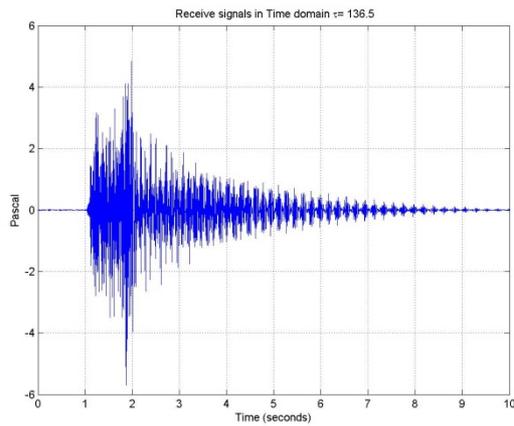
11.5.2 Tiefe 500 m

11.5.2.1 Station 715

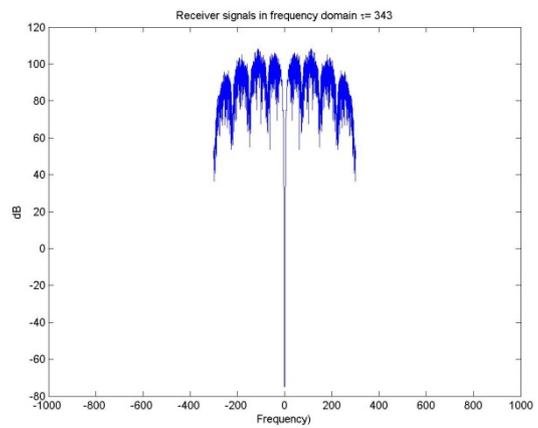
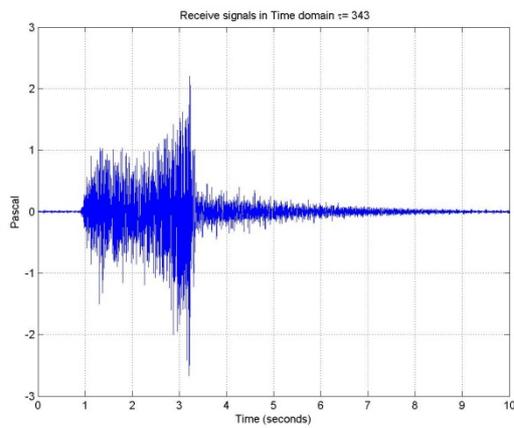
Empfängertiefe 10 m



100 km

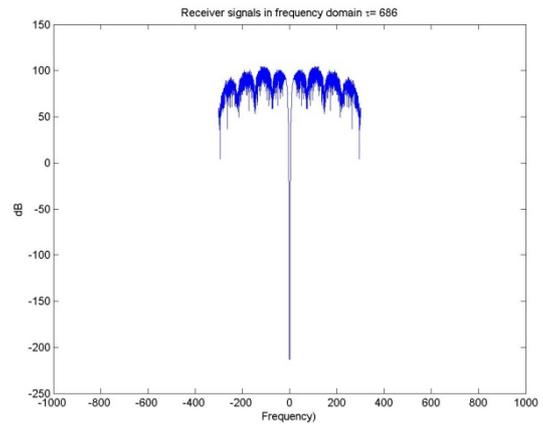
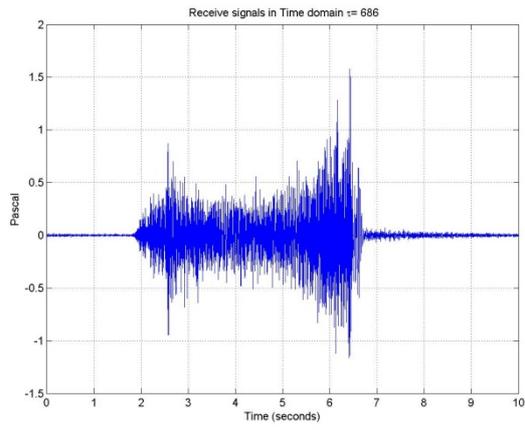


200 km

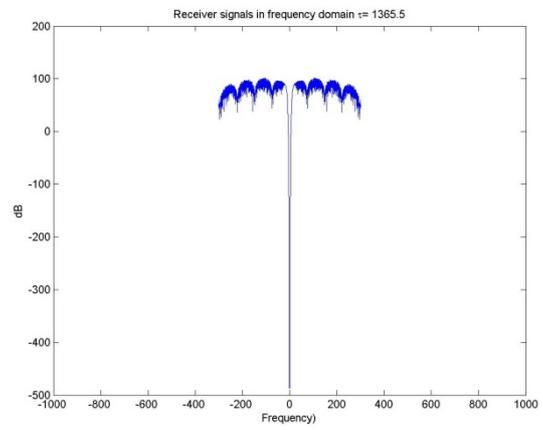
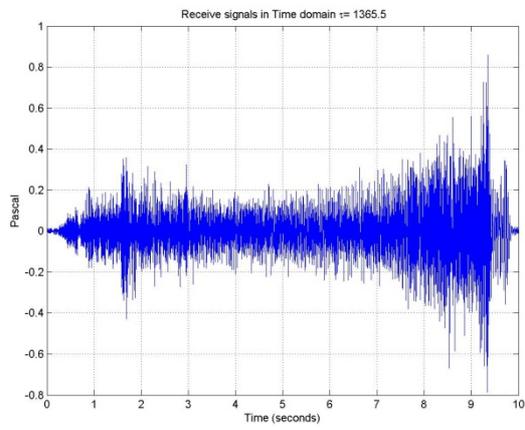


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

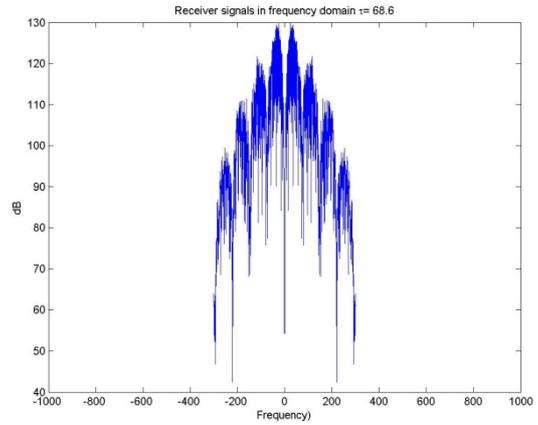
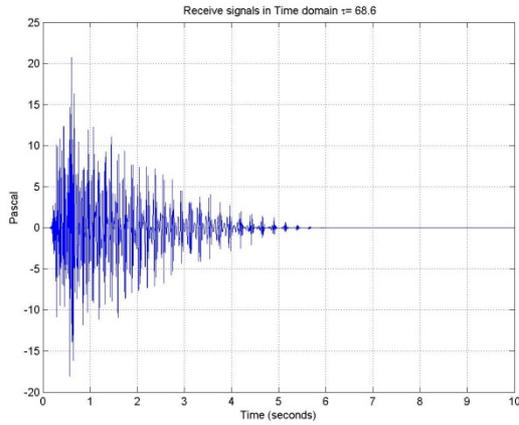


1000 km

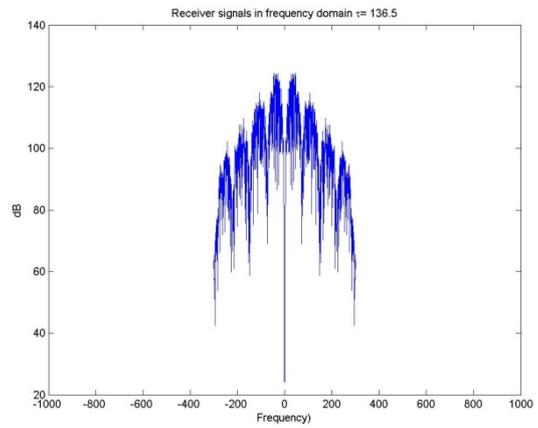
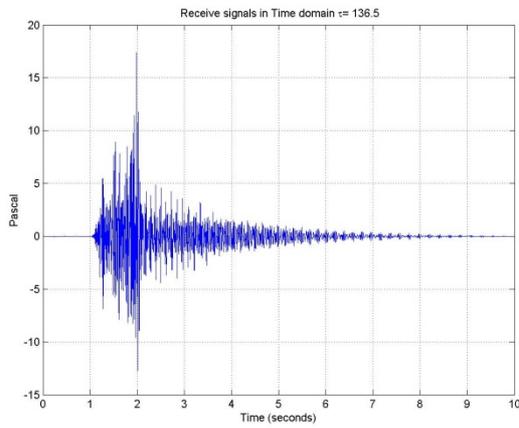


2000 km

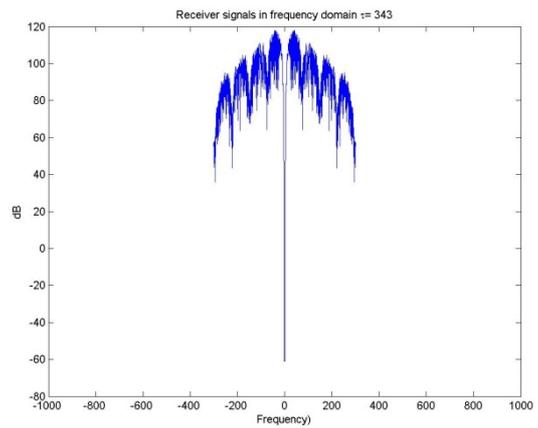
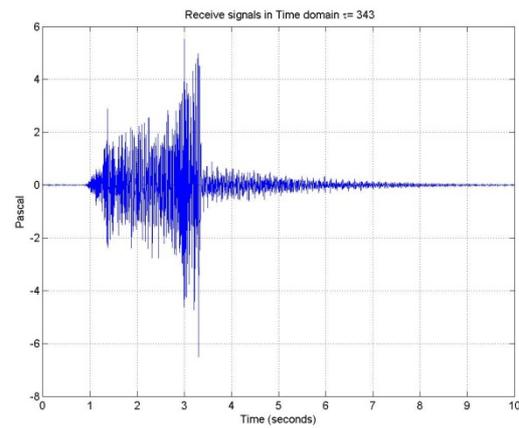
Empfängertiefe 50 m



100 km

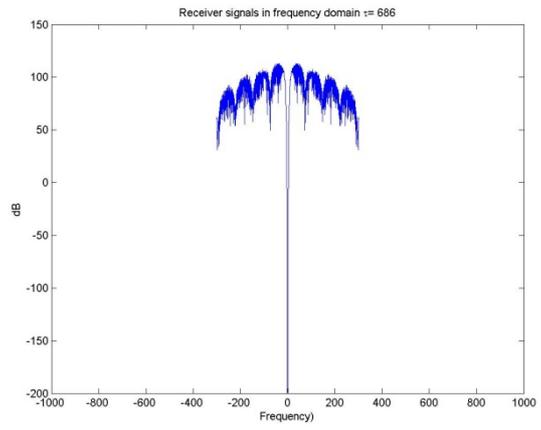
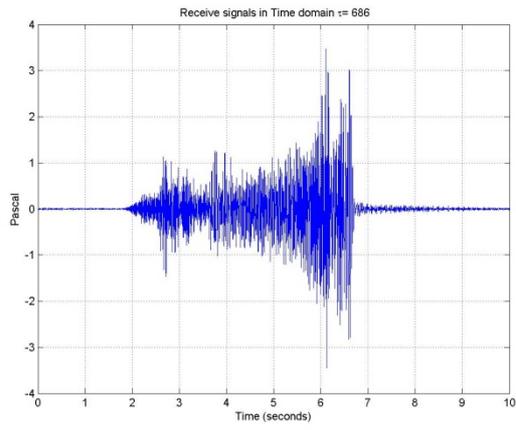


200 km

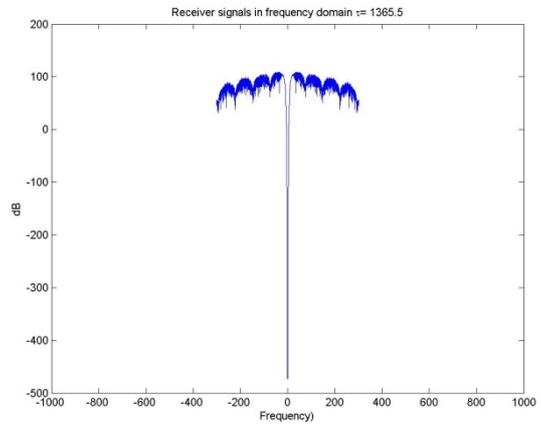
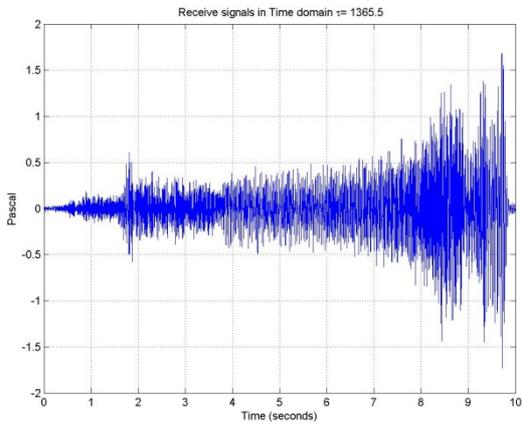


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

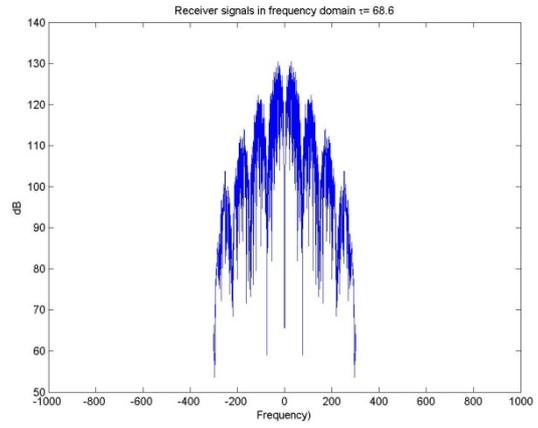
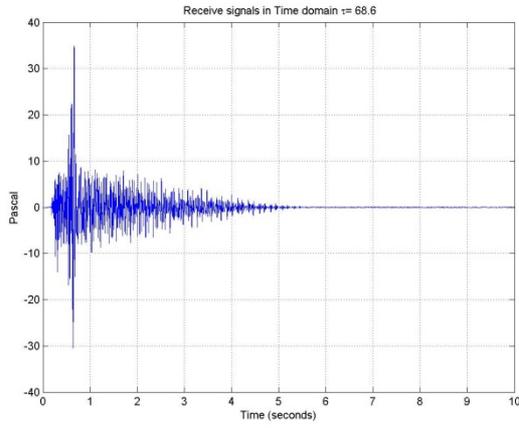


1000 km

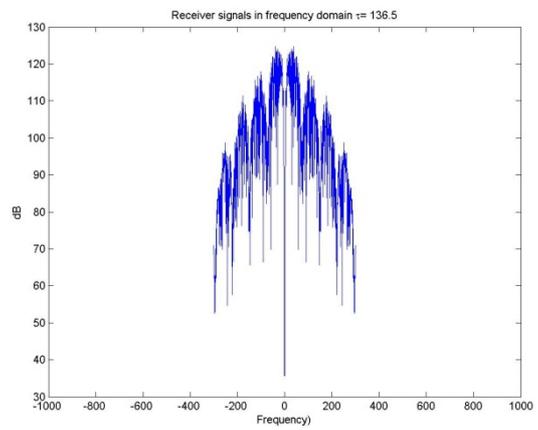
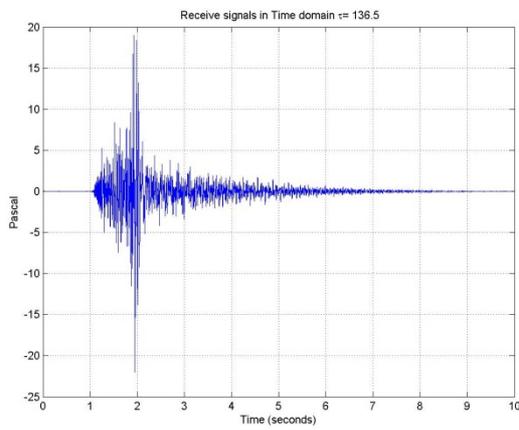


2000 km

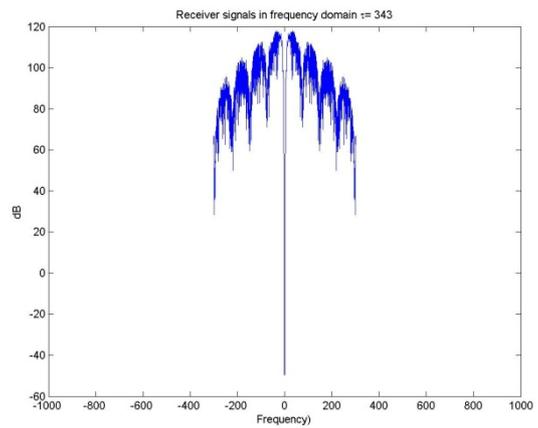
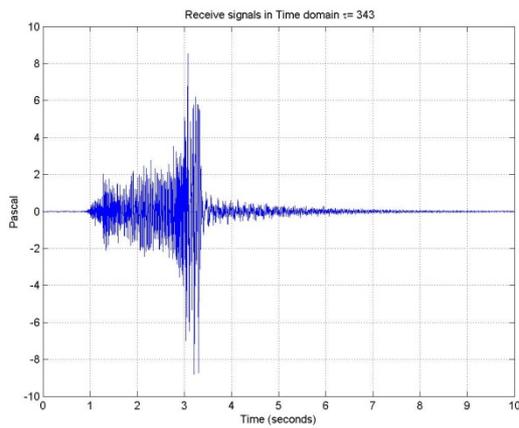
Empfängertiefe 200 m



100 km

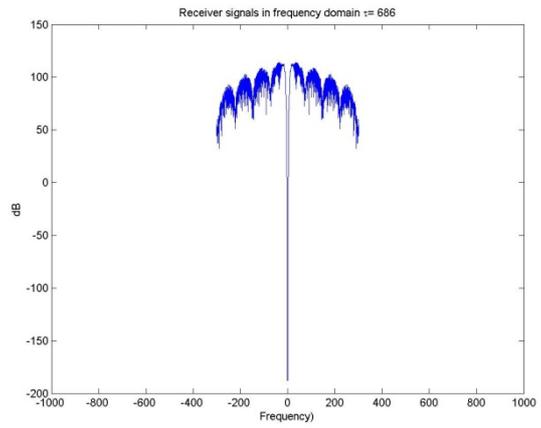
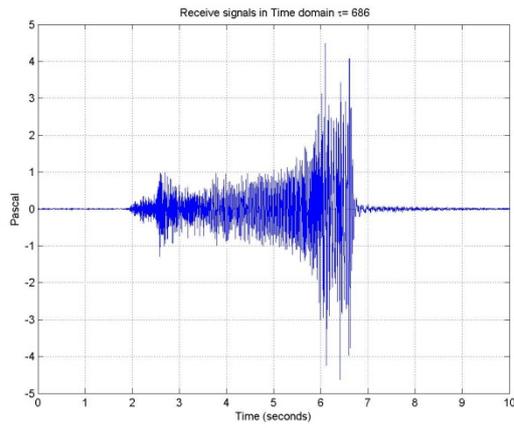


200 km

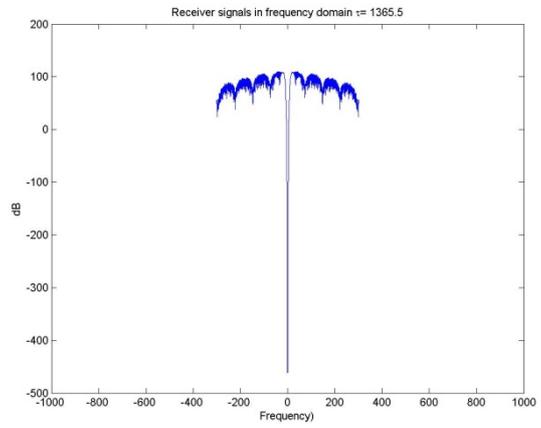
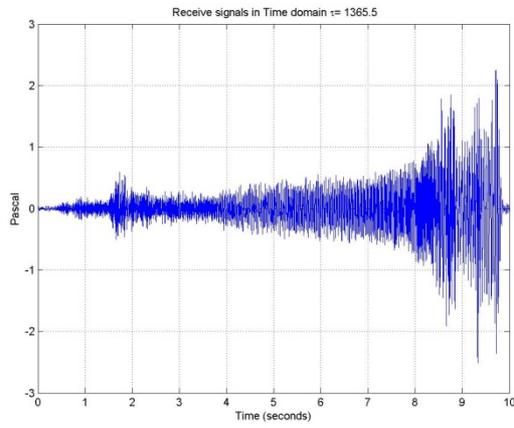


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



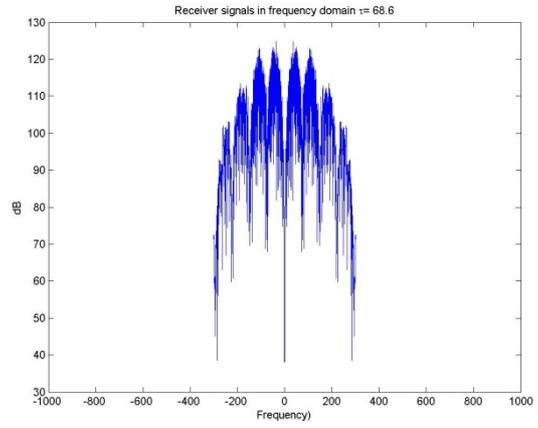
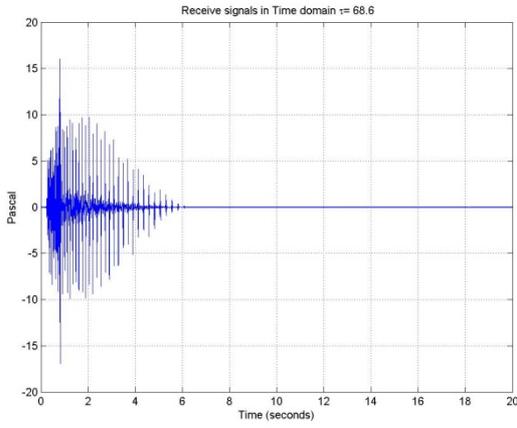
1000 km



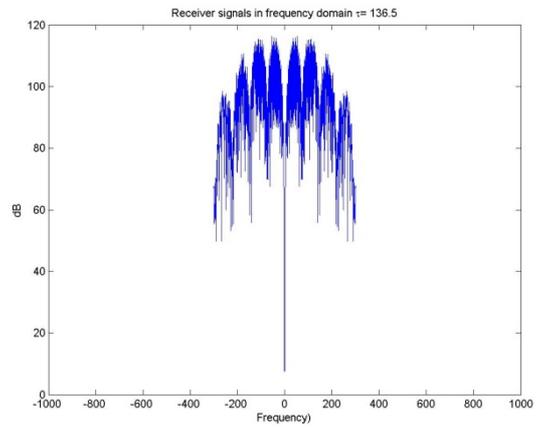
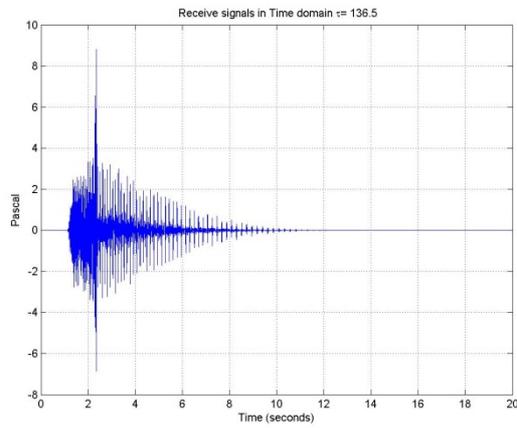
2000 km

11.5.2.2 Station 25

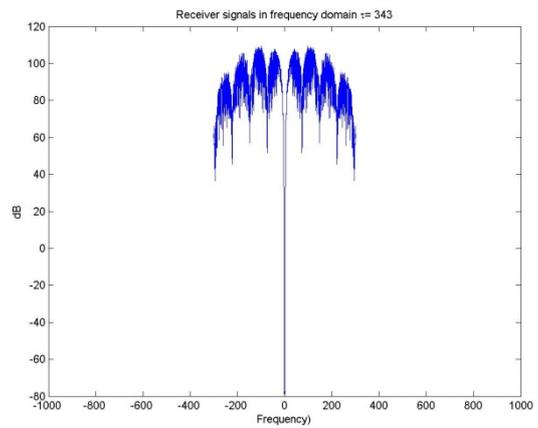
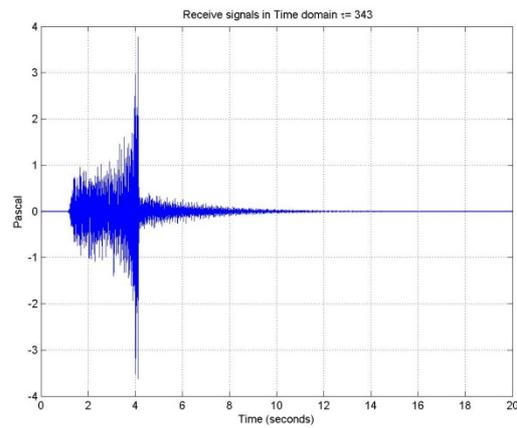
Empfängertiefe 10 m



100 km

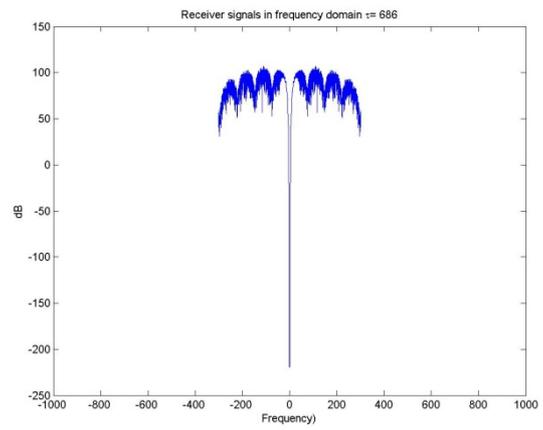
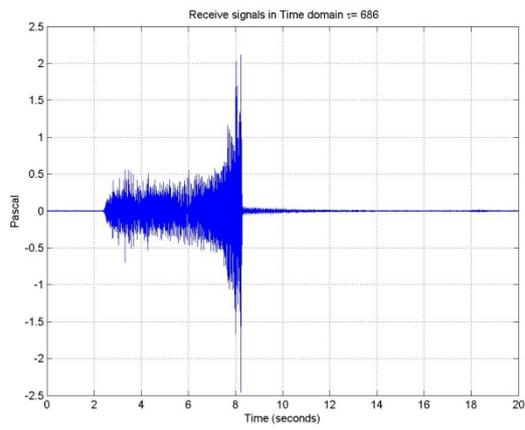


200 km

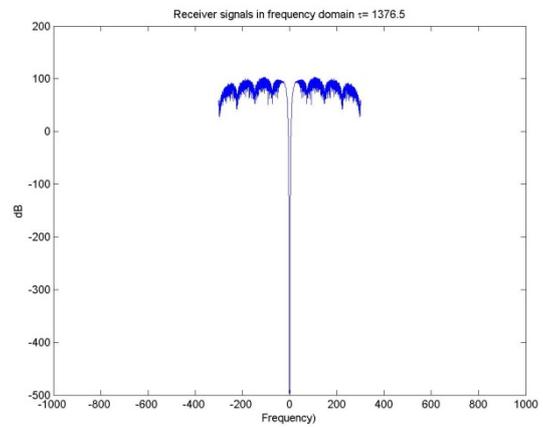
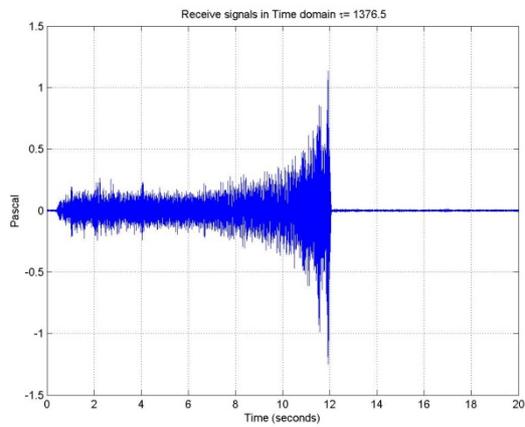


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

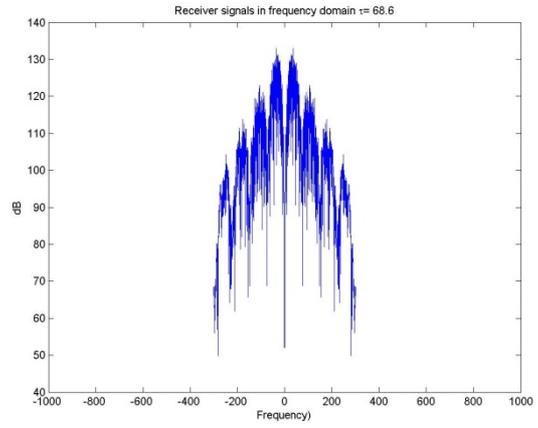
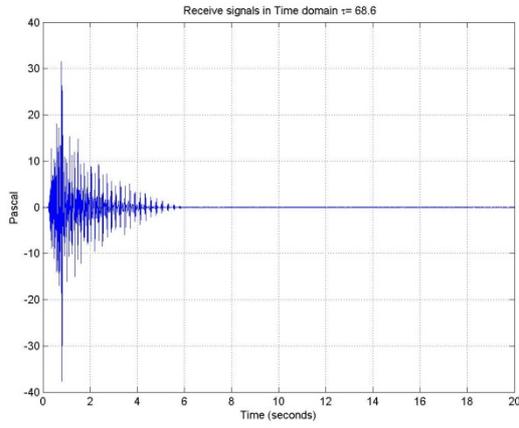


1000km

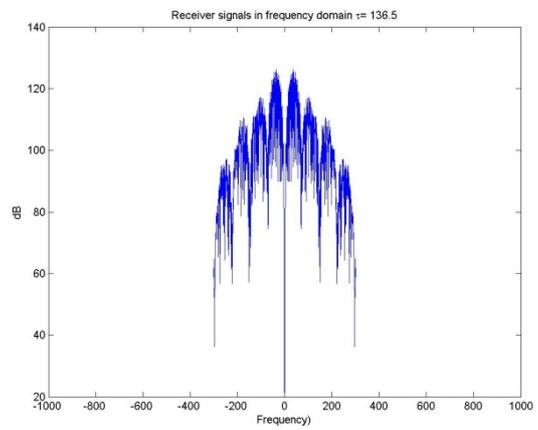
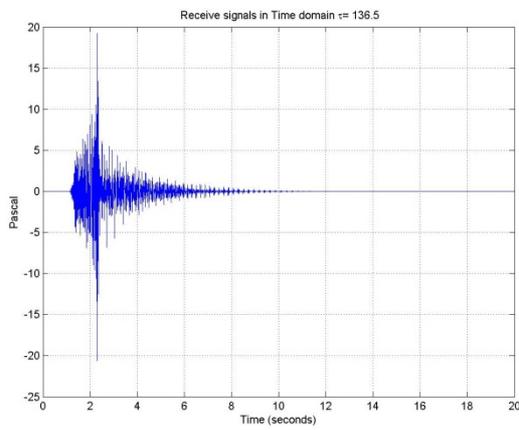


2000km

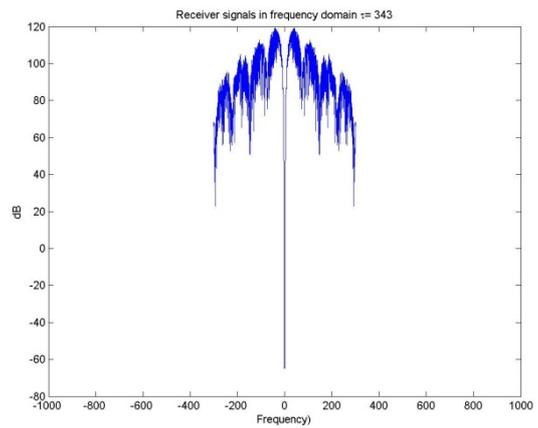
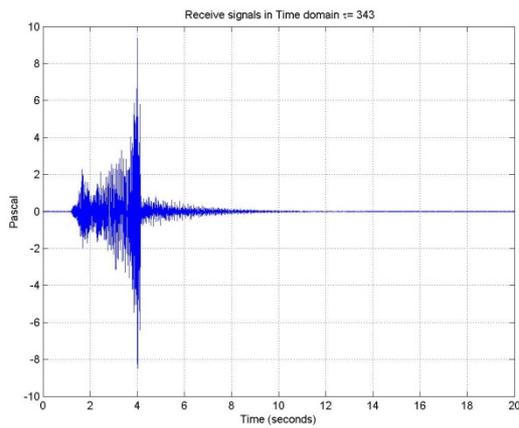
Empfängertiefe 50 m



100 km

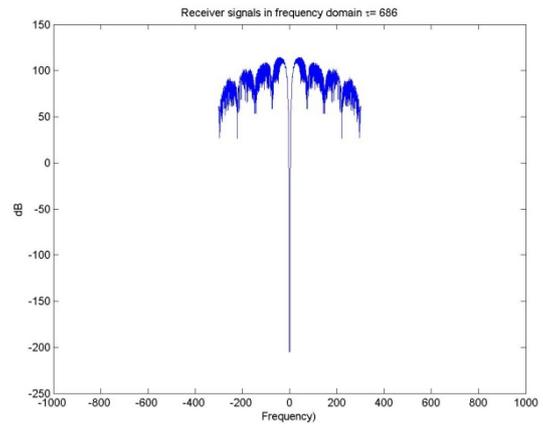
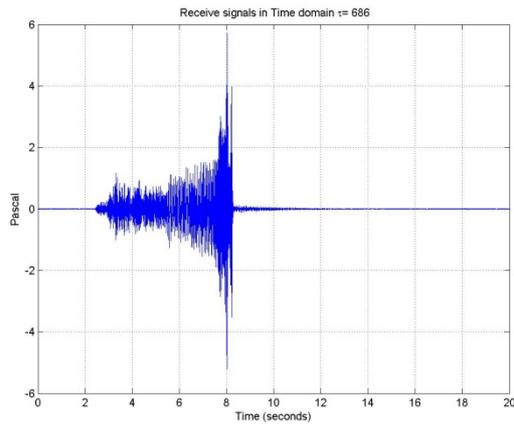


200 km

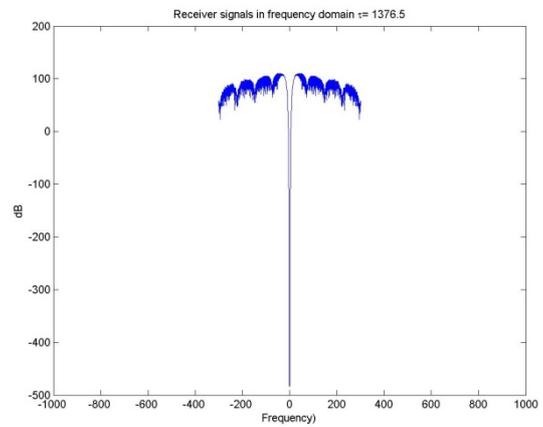
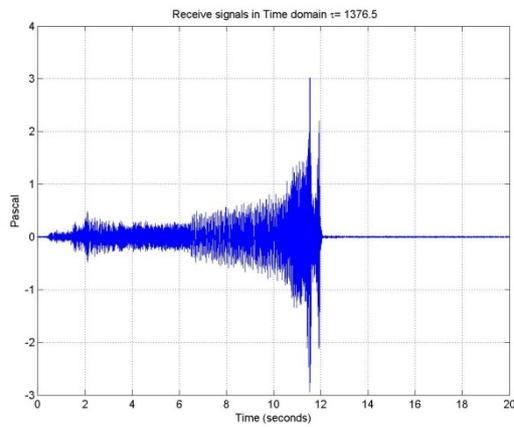


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis

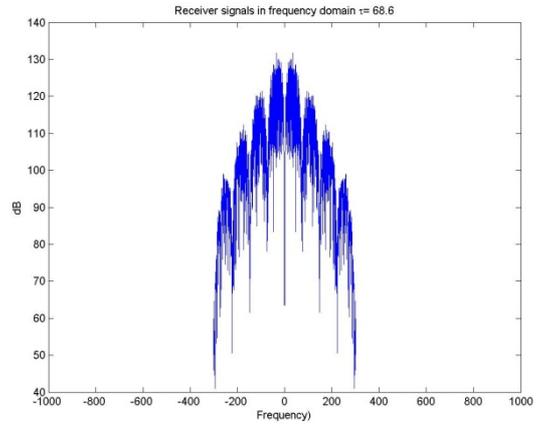
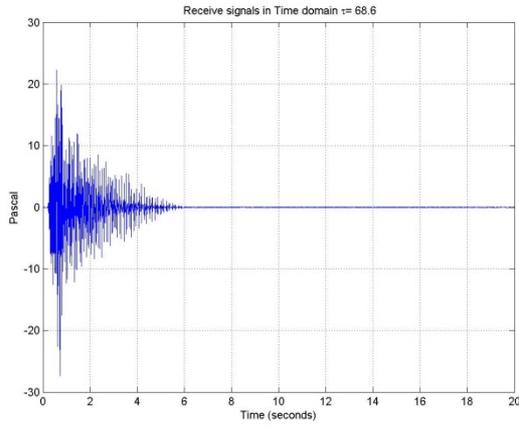


1000km

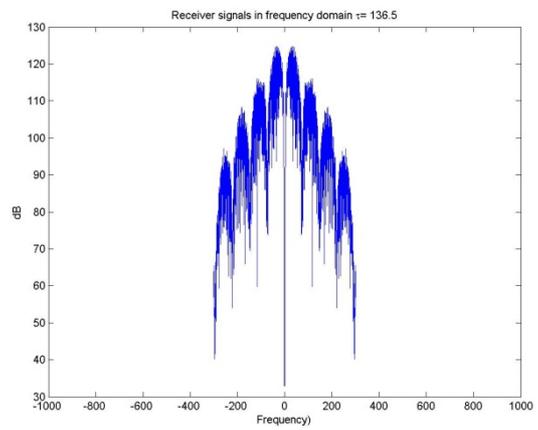
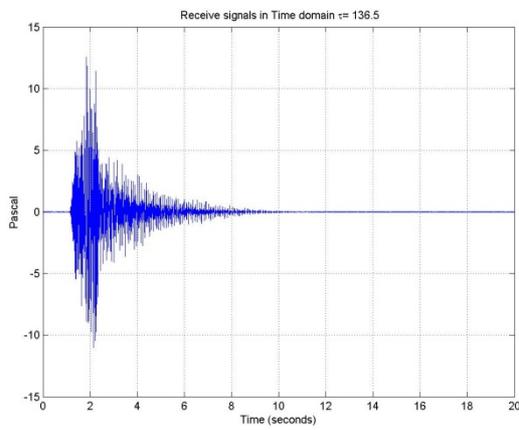


2000km

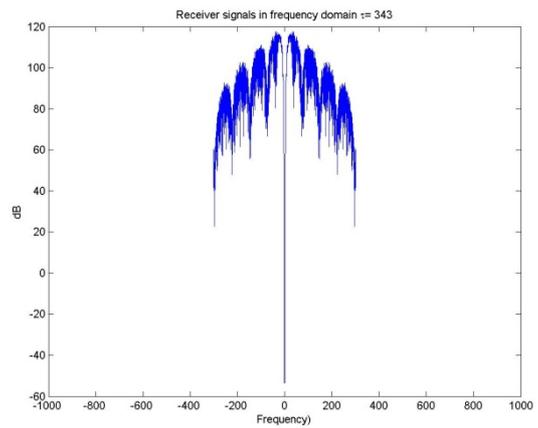
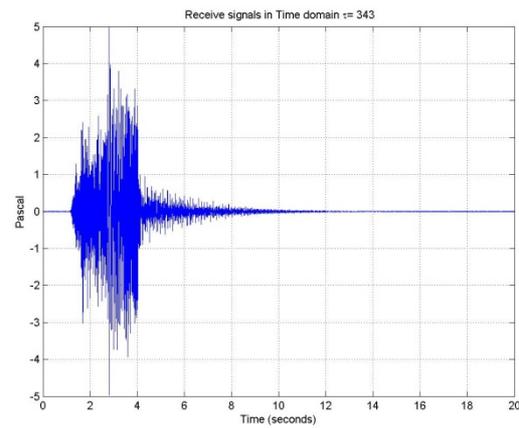
Empfängertiefe 200 m



100 km

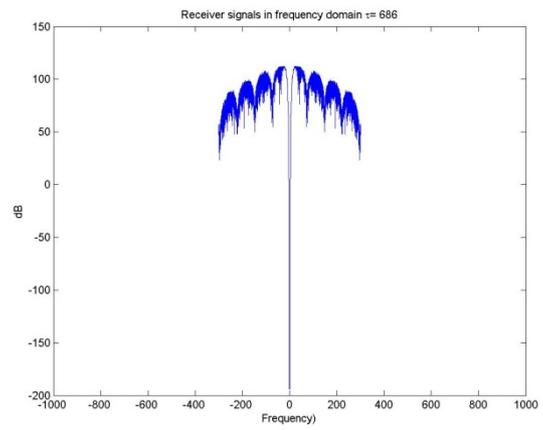
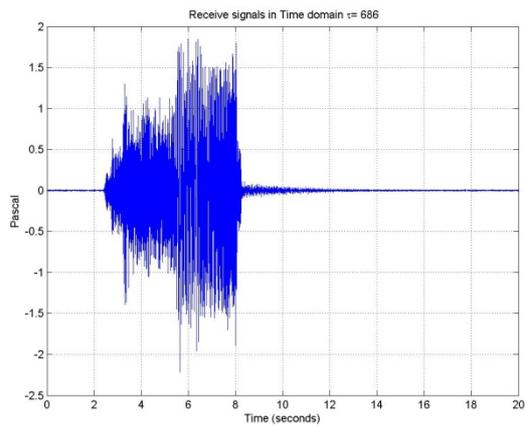


200 km

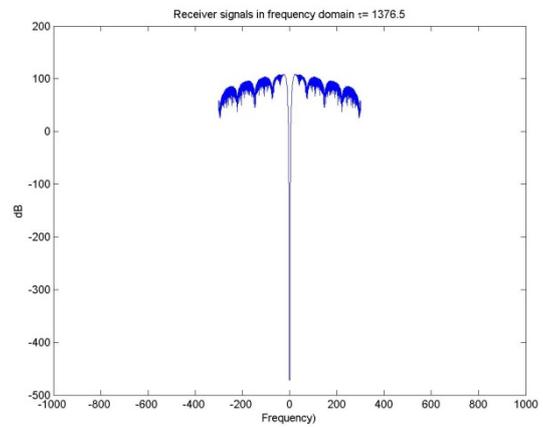
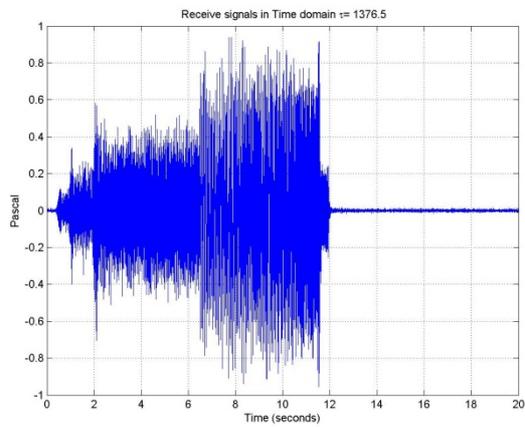


500 km

Potentielle Maskierungseffekte seismischer Surveys in der Antarktis



1000km



2000km

12 Anhang C: Ergebnisse der Maskierungsmodellierung