

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Schutz der Antarktis

Forschungskennzahl (UFOPLAN) 370891101-2

**Erhebung und Auswertung von Daten zum Vorkommen, zu Verteilung und
Abundanzen von Meeressäugern in der Antarktis nach international
anerkannten Standards**

von

Dr. Helena Herr

Sacha Viquerat

Linn Sophia Lehnert

Prof. Dr. Ursula Siebert

Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung (ITAW)
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo)
Werftstraße 6
25761 Büsum

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Januar 2014

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Erhebung und Auswertung von Daten zum Vorkommen, zu Verteilung und Abundanzen von Meeressäugern in der Antarktis nach international anerkannten Standards
Autor(en)	Dr. Helena Herr Sacha Viquerat Linn Sophia Lehnert Prof. Dr. Ursula Siebert
Durchführende Institution (Name, Anschrift)	Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung (ITAW) Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo) Werftstraße 6 25761 Büsum
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2013
Forschungskennzahl (FKZ)	370891101-2
Seitenzahl des Berichts	91
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Wale, Abundanz erfassung, Antarktis, <i>Distance Sampling</i>

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Collection and analysis of data on occurrence, distribution and abundance of cetaceans in the Southern Ocean following international standards
Author(s)	Dr. Helena Herr Sacha Viquerat Linn Sophia Lehnert Prof. Dr. Ursula Siebert
Performing Organisation (Name, Address)	Institute for Terrestrial and Aquatic Wildlife Research (ITAW) University of Veterinary Medicine Hannover, Foundation (TiHo) Werftstraße 6 25761 Büsum Germany
Funding Agency	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Report Date (Year)	2013
Project No. (FKZ)	370891101-2
No. of Pages	91
Supplementary Notes	
Keywords	Cetaceans, abundance estimation, Antarctica, distance sampling

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	10
Abkürzungen	15
Fachtermini.....	16
Kurzbeschreibung	19
Abstract.....	20
1 Einleitung.....	22
2 Planung und Ablauf des Vorhabens (Material und Methoden).....	24
2.1 Sichtungsmethoden.....	25
2.1.1 Distance Sampling Surveys.....	25
2.1.2 Tracking.....	31
2.2 Konzept "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis"	33
3 Ergebnisse	34
3.1 Erhobene Sichtungsdaten.....	34
3.1.1 Krähennestsurvey	34
3.1.2 Helikoptersurvey.....	43
3.1.3 Tracking.....	53
3.1.4 Diskussion der Ergebnisse und ihr Beitrag zum Wissenstand zu Vorkommen, Verbreitung und Abundanz von Walen in der Antarktis	58
3.1.5 Zusammenfassung.....	62
3.2 Vergleich unterschiedlicher Sichtungsmethoden	62
3.2.1 Krähennest vs. Helikopter	62
3.2.2 Krähennest vs. Walog	68
3.2.3 Krähennest vs. IR.....	72
3.2.4 Tracking vs. Walog.....	78
3.2.5 Synopse des Vergleichs unterschiedlicher Sichtungsmethoden.....	80
3.2.6 Zusammenfassung.....	82
3.3 Zusammenfassung des Konzepts "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis"	82
4 Synthese der Ergebnisse.....	84
5 Ausblick.....	86
6 Quellenverzeichnis.....	88
Anlagen	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Darstellung der Fahrtrouten der beiden Polarsternexpeditionen ANT25-2 (2008/2009) und ANT27-2 (2010/2011).....	24
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Berechnung der Streifenbreite. Beim "Line-transect" <i>Distance Sampling</i> gibt es keinen maximalen Beobachtungsbereich oder eine vorab definierte Breite des Beobachtungstreifens, innerhalb dessen beobachtet wird. Es werden stattdessen alle gesichteten Tiere aufgenommen und die Beobachter zeichnen mit jeder erfassten Sichtung die Distanz x von der Transektlinie bis zum erfassten Tier auf (linker Teil der Grafik). Die Methode berücksichtigt dabei, dass Tiere von den Beobachtern übersehen werden können. Die im linken Teil der Grafik transparent dargestellten Tiere stehen entsprechend für nicht erfasste Tiere. Aus den gemessenen Distanzen wird nachträglich die Flächengrundlage für die Dichteberechnung ermittelt, indem der Gesamtheit der erfassten Distanzen eine Detektionsfunktion (rote Kurve) angepasst wird (rechter Teil der Grafik). Mit Hilfe dieser Kurve wird die Distanz ermittelt, innerhalb derer ebenso viele Tiere nicht erfasst, wie außerhalb zusätzlich erfasst wurden (blau schraffierte Bereiche). Die so ermittelte Streifenbreite (<i>esw</i>) entspricht damit der einseitigen Flächengrundlage, auf der alle Tiere dieser Seite erfasst wurden und die der Dichteberechnung zugrunde gelegt wird.	27
Abbildung 3:	Schematische Darstellung zur Berechnung der Distanz einer Sichtung von der Transektlinie. Für jede Sichtung wird der rechtwinklige Inklinationswinkel α festgehalten. Zusammen mit der bekannten Flughöhe kann darüber die rechtwinklige Distanz der Sichtung zur Transektlinie berechnet werden.	30
Abbildung 4:	Einteilung des Untersuchungsgebiets in fünf Strata: Südafrika (SA), Neumayer (NM), Weddellmeer (WS), Antarktischer Sund (AAS) und Westliche Antarktische Halbinsel (WAP).	31
Abbildung 5:	Schematische Darstellung eines <i>Tracking</i> -Ereignisses. Ein zum Zeitpunkt t_1 gesichtetes Tier wird zu insgesamt sechs weiteren Zeitpunkten (t_{2-7}) wiedergesichtet und jeder Wiedersichtungszeitpunkt wird samt horizontalem Winkel (relativ zur Schiffsachse) und der Distanz zum Schiff aufgezeichnet.	32
Abbildung 6:	Streckenabschnitte der Expeditionen ANT25-2 und ANT27-2 entlang derer Aufwand im Rahmen der Krähennestsurveys stattfand.....	35
Abbildung 7:	Geografische Positionen aller im nördlichen Teil des Stratums SA (zwischen Südafrika und 45°S) im Rahmen der Krähennestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.	37

Abbildung 8:	Geografische Positionen aller im südlichen Teil des Stratums SA (zwischen 45°S und 60°S) im Rahmen der Krähennestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.	37
Abbildung 9:	Geografische Positionen aller in den Strata NM und WS im Rahmen der Krähennestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.....	38
Abbildung 10:	Geografische Positionen aller in den Strata AAS und WAP im Rahmen der Krähennestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.....	38
Abbildung 11:	Grafische Darstellung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine <i>right truncation</i> bei 2000 m vorgenommen.	40
Abbildung 12:	Grafische Darstellung der Detektionsfunktion für Zwergwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine <i>right truncation</i> bei 800 m vorgenommen.	41
Abbildung 13:	Darstellung aller durchgeführten Helikopterflüge während beider Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2.	44
Abbildung 14:	Geografische Positionen aller im nördlichen Teil des Stratums SA zwischen Südafrika und 45°S im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.	46
Abbildung 15:	Geografische Positionen aller im südlichen Teil des Stratums SA, zwischen 45°S und 60°S im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.	46
Abbildung 16:	Geografische Positionen aller in den Strata NM und WS im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Sichtungen.	47
Abbildung 17:	Geografische Positionen aller in den Strata AAS und WAP im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.....	47

Abbildung 18:	Grafische Darstellung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen der Helikoptersurveys. Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine <i>right truncation</i> bei 2 000 m vorgenommen.....	49
Abbildung 19:	Grafische Darstellung der Detektionsfunktion der Helikoptersurveys für alle Zwergwale im Mittel (durchgezogene Linie) und für die einzelnen Stufen der verwendeten Kovariablen "Seastate" (Punkte). Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine <i>right truncation</i> bei 1 000 m vorgenommen.....	50
Abbildung 20:	Darstellung des Stratums WAP und dessen Abdeckung im Rahmen des Helikoptersurveys auf der Polarsternexpedition ANT27-2. Für dieses Stratum wurden Abundanz für Großwale, Buckel-, Finn- und Zwergwale abgeschätzt.....	53
Abbildung 21:	Grafische Darstellung aller <i>Tracks</i> getrennt nach Arten: Seiwal, unidentifizierter Großwal, Buckelwal, Schwertwal und Zwergwal. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf der absoluten Distanz zum Schiff der jeweiligen Individuen für jede Spezies. Jeder Punkt markiert dabei eine aufgenommene Sichtung (beginnend mit der Initialsichtung), die Linie stellt den interpolierten Weg des Individuums zwischen zwei aufeinander folgenden Sichtungen dar.....	55
Abbildung 22:	Darstellung aller Buckelwal- und Zwergwaltracks. Die Distanz jeder Wiedersichtung ist relativ zur Distanz der Initialsichtung dargestellt. Die Initialsichtung wird mit einer relativen Distanz von 100% angenommen. Eine Wiedersichtung mit einer Distanz von > 100% entspricht einer weiteren Entfernung vom Schiff, eine relative Distanz von < 100% hingegen einer Annäherung.....	56
Abbildung 23:	Modellierung des Verhaltens von Buckelwalen gegenüber dem Schiff mittels eines GAMM. Aufgetragen ist die vorhergesagte Änderung der Distanz eines Buckelwals zum Schiff relativ zur Initialdistanz der Sichtung. Dabei bedeutet die Verringerung der Relativedistanz zum Schiff eine Annäherung an das Schiff. Die Fehlerbreite ist durch gestrichelte schwarze Linien angegeben und basiert auf der errechneten Varianz der Sichtungsdistanzen sowie der Varianz zwischen den einzelnen <i>Tracking</i> -Ereignissen individueller Buckelwale (als Mixed Effect Model).	57
Abbildung 24:	Modellierung des Verhaltens von Zwergwalen gegenüber dem Schiff mittels eines GAMM. Aufgetragen ist die vorhergesagte Änderung der Distanz eines Zwergwals zum Schiff relativ zur Initialdistanz der Sichtung. Dabei bedeutet die Verringerung der	

Relativdistanz zum Schiff eine Annäherung an das Schiff. Die Fehlerbreite ist durch gestrichelte schwarze Linien angegeben und basiert auf der errechneten Varianz der Sichtungsdistanzen sowie der Varianz zwischen den einzelnen *Tracking*-Ereignissen individueller Zwergwale (als Mixed Effect Model). Robustheit ist nur bis zu etwa 650 s nach der Initialsichtung gegeben, danach kollabiert das Modell aufgrund der geringen Stichprobengröße. 58

Abbildung 25: Extrapolation des Variationskoeffizienten der *Encounter rates* der Zwergwalsichtungen basierend auf dem Helikoptersurvey pro Stratum; Farbige Punkte markieren den gemessen Wert innerhalb eines Stratums, die Kurve gibt die Extrapolation des Variationskoeffizienten an; die waagerechte grüne (gestrichelte) Linie markiert den niedrigsten, real erreichten Variationskoeffizienten; zur Erreichung eines real gemessenen Variationskoeffizienten von 21,97 in Stratum NM wäre demnach in Stratum WS eine Erhöhung des Aufwands um etwa 2 500 km notwendig. 67

Abbildung 26: Extrapolation des Variationskoeffizienten der *Encounter rates* der Zwergwalsichtungen basierend auf dem Krähennestsurvey pro Stratum; Farbige Punkte markieren den gemessen Wert innerhalb eines Stratums, die Kurve gibt die Extrapolation des Variationskoeffizienten an; die grüne Linie markiert den niedrigsten, real erreichten Variationskoeffizienten; zur Erreichung eines real gemessenen Variationskoeffizienten von 23,10% in Stratum NM wäre demnach in Stratum WS eine Erhöhung des Aufwands um etwa 800 km notwendig. 68

Abbildung 27: Beispiel einer deutlichen Übereinstimmung zwischen Krähennestsichtung und einer im zugehörigen 60 Minuten Intervall gelegenen Detektion der IR Kamera. Rot markiert ist jeweils die Position des Schiffs zum Zeitpunkt der Sichtung aus dem Krähennest bzw. der Detektionen durch die IR Kamera. Die gestrichelten Linien geben die Richtung und Distanz zur Sichtung (grünes Kreuz) bzw. IR Detektion (blaues Sternchen) an. Das Schiffssymbol zum Zeitpunkt der Krähennestsichtung gibt die gesichtete Art an, in diesem Fall einen südlichen Zwergwal (rote Raute). Die schraffierten Flächen der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten um die Sichtungs- bzw. Detektionsposition sind abhängig von dem Fehler der Distanzmessung sowie dem Fehler der Winkelmessung. Die relative Zeitdifferenz zwischen IR Detektion und Krähennestsichtung ist in Sekunden über der Schiffsposition angegeben. In diesem Beispiel konnte eine 11 s zuvor erfolgte IR Detektion eindeutig einer Krähennestsichtung zugeordnet werden. 75

Abbildung 28: Beispiel einer nicht erfolgten Übereinstimmung zwischen einer Krähennestsichtung und aller im zugehörigen 60 Minuten Intervall gelegenen Detektionen der IR Kamera. Rot markiert ist jeweils die Position des Schiffs zum Zeitpunkt der Sichtung aus

dem Krähenneest bzw. der Detektionen durch die IR Kamera. Die gestrichelten Linien geben die Richtung und Distanz zur Sichtung (grünes Kreuz) bzw. IR Detektion (blaues Sternchen) an. Weitere in diesem Zeitraum gelegene Krähenneestsichtungen sind in violetter Farbe dargestellt. Das Schiffssymbol zum Zeitpunkt der Krähenneestsichtung gibt die gesichtete Art entsprechend der Legende an. Die schraffierten Flächen der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten um die Sichtungs- bzw. Detektionsposition sind abhängig von dem Fehler der Distanzmessung sowie dem Fehler der Winkelmessung. Die relative Zeitdifferenz zwischen IR Detektion und Krähenneestsichtung ist in Sekunden über der Schiffsposition angegeben. In diesem Beispiel konnte keine IR Detektion der untersuchten Krähenneestsichtung zugeordnet werden..... 76

Abbildung 29: Schematische Darstellung des Vergleichs von Tracking - und Brückensichtungen. Für den schematisch dargestellten Track werden innerhalb des Zeitraums von der Erstsichtung (t_1) bis zur letzten Sichtung (t_7) die Walogeinträge überprüft und festgestellt ob eine Sichtung im gleichen Zeitraum stattgefunden hat..... 79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Darstellung des Suchaufwands sowie der Zahl der erfassten Sichtungen und Individuen während beider durchgeführten Krähennestsurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2.....	35
Tabelle 2:	Verteilung des Aufwands (Effort) im Rahmen der Krähennestsurveys beider Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 auf die einzelnen Strata.	36
Tabelle 3:	Erfasste Walarten während beider durchgeführten Krähennestsurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 mit Anzahl der Sichtungen und Individuenzahl.....	36
Tabelle 4:	Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Als bestes Modell wurde g_1 identifiziert, eine half-normal Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariable = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariable, AIC = <i>Akaike Information Criterion</i> , ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC. Modelle ohne angegebenen AIC Werte konvergierten nicht.	39
Tabelle 5:	Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für Zwergwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Als bestes Modell wurde g_1 identifiziert, eine half-normal Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariable = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariable, AIC = <i>Akaike Information Criterion</i> , ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC. Modelle ohne AIC Werte konvergierten nicht.	41
Tabelle 6:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Großwale insgesamt in jedem Stratum, basierend auf den Krähennestsurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.....	42
Tabelle 7:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Buckelwale in jedem Stratum, basierend auf der Detektionsfunktion für Großwale des Krähennestsurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall	42
Tabelle 8:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Zwergwale in jedem Stratum, basierend auf den Krähennestsurveys. SE =	

	Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.....	42
Tabelle 9:	Darstellung des Suchaufwands sowie der Zahl der erfassten Sichtungen und Individuen während beider durchgeführten Helikoptersurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2.....	43
Tabelle 10:	Verteilung des Aufwands im Rahmen der Helikoptersurveys beider Expeditionen auf die einzelnen Strata.....	43
Tabelle 11:	Erfasste Walarten während beider durchgeführten Helikoptersurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 mit Sichtungs- und Individuenzahl.....	45
Tabelle 12:	Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen der Helikoptersurveys. Als bestes Modell wurde g_2 identifiziert, eine half-normal Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariablen = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariablen, AIC = <i>Akaike Information Criterion</i> , ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC.	48
Tabelle 13:	Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für alle Zwergwale im Rahmen der Helikoptersurveys. Als bestes Modell wurde g_9 identifiziert, eine half-normal Funktion unter Einbeziehung des Seastates als Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariablen = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariablen, AIC = <i>Akaike Information Criterion</i> , ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC.....	50
Tabelle 14:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Großwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE= Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI= 95% Konfidenzintervall.	51
Tabelle 15:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Buckelwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.....	51
Tabelle 16:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Finnwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.	52
Tabelle 17:	Auflistung der ermittelten <i>Encounter rates</i> (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km ²) für Zwergwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.....	52

Tabelle 18:	Abundanzen von Großwalen allgemein, Buckel-, Finn- und Zwergwalen im WAP Stratum (322 303 km ²), basierend auf den ermittelten Dichten aus den Daten der Helikoptersurveys. Die Werte sind auf die nächste Ganzzahl gerundet. CI = 95% Konfidenzintervall.....	53
Tabelle 19:	Auflistung aller <i>Tracks</i> mit mindestens zwei Sichtungen der gleichen Gruppe. Angegeben sind der Zeitpunkt und die geografische Position (lat = latitude/geografische Breite; lon = longitude/geografische Länge) der ersten Sichtung, die Art, die Gruppengröße und die Anzahl der erfassten Sichtungen für jeden <i>Track</i>	54
Tabelle 20:	Ergebnisse der "Line transect" Distance Sampling Methode bezogen auf alle Großwale (Pottwale, unidentifizierte Großwale sowie alle Bartenwale mit Ausnahme der Zwergwale); CV = Variationskoeffizient.....	59
Tabelle 21:	Ergebnisse der "Line transect" <i>Distance Sampling</i> Methode bezogen auf Buckelwale; CV = Variationskoeffizient.....	59
Tabelle 22:	Ergebnisse der "Line transect" <i>Distance Sampling</i> Methode bezogen auf alle Zwergwale; CV = Variationskoeffizient.....	59
Tabelle 23:	Halbierte <i>Encounter rates</i> für Zwergwale aus den Krähenneestsurveys der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 zum Vergleich mit anderen, einseitig durchgeführten Walerfassungen.....	60
Tabelle 24:	Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Großwal <i>Encounter rates</i> pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähenneestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (** = 0,01, * = 0,05, . = 0,1).....	63
Tabelle 25:	Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwal <i>Encounter rates</i> pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähenneestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (** = 0,01, * = 0,05, . = 0,1).....	63
Tabelle 26:	Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Großwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähenneestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (** = 0,01, * = 0,05, . = 0,1).....	64
Tabelle 27:	Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähenneestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (** = 0,01, * = 0,05, . = 0,1).....	64
Tabelle 28:	Darstellung der Ergebnisse eines binomialen Tests zur Ermittlung der Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode.	

Dargestellt sind die Ergebnisse bezogen auf die Brückensichtungen, die auch vom Krähenest gesehen wurden. Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Große Wale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*; CI = 95% Konfidenzintervall. 70

Tabelle 29: Darstellung der Ergebnisse eines binomialen Tests zur Ermittlung der Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode. Dargestellt sind die Ergebnisse bezogen auf die Krähenestsichtungen, die auch von der Brückenbesetzung gesehen wurden. Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Großwale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, Südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*; CI = 95% Konfidenzintervall. 70

Tabelle 30: Darstellung der Sichtungen die jeweils nur von einer Methode (Brücke bzw. Krähenest) innerhalb des gleichen Beobachtungszeitraums erfasst wurden. Von der Darstellung ausgenommen sind alle Sichtungen, die von beiden Methoden erfasst wurden (Duplikate). Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Großwale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, Südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*..... 71

Tabelle 31: Darstellung der Ergebnisse eines binomialen Tests zur Ermittlung der Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode bezogen auf die Gesamtheit aller Sichtungen die jeweils nur von einer Methode (Brücke bzw. Krähenest) innerhalb des gleichen Beobachtungszeitraums erfasst wurden. Von der Darstellung ausgenommen sind alle Sichtungen, die von beiden Methoden erfasst wurden (Duplikate) Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Großwale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, Südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal.

Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*; Anteil_{Brücke}: relativer Anteil der Brückensichtungen an Gesamtsichtungszahl; Anteil_{Krähennest}: relativer Anteil der Krähennestsichtungen an Gesamtsichtungszahl; CI = 95% Konfidenzintervall der jeweiligen Methode. 71

Tabelle 32: Auszug der ersten 28 von 53 Ergebnissen der manuellen Analyse der graphischen Darstellung der IR Detektionen. ID = eindeutige Identifikationsnummer der Krähennestsichtung; unixtime = Zeitpunkt der Krähennestsichtung in Sekunden seit dem 01.01.1970 00:00:00 UTC; Survey = Ausfahrt; Gruppengröße = Vom Krähennest beobachtete Gruppengröße; Distanz [m] = Distanz zur Sichtung in Metern; Sichtungswinkel = Winkel zur Sichtung relativ zur Schiffsrichtung; Schiffsrichtung = Schiffskurs; Übereinstimmung = Einschätzung der Übereinstimmung zwischen IR Kamera und Krähennestsichtung. Negativ = wurde nicht von der IR Kamera detektiert, wahrscheinlich = wurde wahrscheinlich von der IR Kamera detektiert, positiv = wurde von der IR Kamera detektiert..... 77

Tabelle 33: Ergebnis des Binomialtests zur Bestimmung der Erfolgsquote der IR Kamera. Dargestellt sind die Ergebnisse bezogen auf die Krähennestsichtungen; CI = 95% Konfidenzintervall. 78

Tabelle 34: Darstellung der Übereinstimmung zwischen Brückensichtungen und Tracking-Sichtungen aus dem Krähennest. 80

Abkürzungen

AAS	Stratum "Antarktischer Sund"
AIC	Akaike Information Criterion
ΔAIC	Differenz des AIC-Werts zum niedrigsten AIC-Wert aller verglichenen Modelle
AWI	Alfred-Wegener-Institut, Helmholtzzentrum für Polar- und Meeresforschung
AUG	Ausführung des Umweltschutzprotokolls zum Antarktisvertrags
CI	Konfidenzintervall
CV	coefficient of variation (Variationskoeffizient)
CCAMLR	Commission for the Conservation of Antarctic Living Resources
esw	effective strip half-width (effektive Streifenbreite)
ft	Englische Fuß (10 ft = 3,048 m)
GAM	Generalised Additive Model
GAMM	Generalised Additive Mixed Model
GLM	Generalised Linear Model
$g(x)$	Wahrscheinlichkeitsfunktion
$g(0)$	Wert der Wahrscheinlichkeitsfunktion auf der Transektlinie
IR	Infrarot
IFAW	International Fund for Animal Welfare
ITAW	Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung
IWC	International Whaling Commission (Internationale Walfangkommission)
KI	Konfidenzintervall
kn	Knoten (1 kn = 0,514 m/s)
NM	Stratum "Neumayer"
SA	Stratum "Süd Afrika"
SE	standard error (Standardfehler)
sm	Seemeile (nach DIN 1301: 1852 m)
TiHo	Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
UBA	Umweltbundesamt
Walog	Walerfassungssystem an Bord des FS Polarstern, mit dessen Hilfe die nautischen Offiziere Informationen zu Walsichtungen speichern können
WAP	Stratum "Westliche Antarktische Halbinsel"
WS	Stratum "Weddellmeer"

Fachtermini

Abundanz	Die Gesamtzahl der Tiere in einem definierten Gebiet.
Aikaike Information Criterion	Aikaike Informations Kriterium (AIC). Kriterium zur Auswahl eines Modells in der angewandten Statistik. Beurteilt werden die Anpassungsgüte des geschätzten Modells an die vorliegenden empirischen Daten (Stichprobe) sowie die Komplexität des Modells, gemessen an der Anzahl der Parameter.
Aufwand	Äquivalent zu Effort. Im Beobachtungsmodus abgeseuchte Strecke.
Beobachterfehler	Fehler im Rahmen des <i>Distance sampling</i> der dadurch entsteht, dass die Beobachter Tiere übersehen können.
Big Eyes	besonders leistungs- und lichtstarke, auf einem Stativ montierte Ferngläser (15x30).
Binomialtest	Familie statistischer Tests, mit denen Hypothesen über Merkmale überprüft werden können, die genau zwei diskrete Ausprägungen annehmen können (Erfolg oder Misserfolg).
Cramér-von Mises Test	Statistischer Test, der die Hypothese überprüft, ob eine gemessene Häufigkeitsverteilung sich von einer zweiten Häufigkeitsverteilung unterscheidet.
Cue Counting	Erfassungsmethode bei der jeder Sichtungsauslöser (<i>cue</i>) festgehalten wird, d.h. im Kontext eines Walsurveys z.B. jede Sichtung eines Körperteils, jeder Blas etc.
Detektionsfunktion	Die Detektionsfunktion gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein Beobachter oder ein Beobacherteam in einer beliebigen Entfernung vom Transekt ein Tier sehen konnte und wird durch aufwändige, numerische Verfahren bestimmt.
Dichte	Die flächenbezogene Häufigkeit einer Art, als lokale Dichte bezogen auf den unmittelbaren Bereich des Aufwands, angegeben in Tieren / km ² .
Effort	Äquivalent zu Aufwand. Im Beobachtungsmodus abgeseuchte Strecke.
Encounter rate	Anzahl der Gruppensichtungen pro Aufwandskilometer, angegeben in Sichtungen / km.
esw	effective half-strip width; effektive halbe Streifenbreite. Die Distanz von der Transektlinie, ab der ein Beobachter(team) ebenso viele Tiere übersieht wie sieht. Bei einem Survey der zu beiden Seiten der Transektlinie beobachtet hat, beschreibt die doppelte <i>esw</i> die Breite des tatsächlich beobachteten Transektstreifens.
Fixed Effects	Durch Kovariablen generierte Effekte, d.h. konstante Einflüsse aus gemessenen Versuchsgrößen. Im Gegensatz dazu: <i>Random Effects</i> .
GAM	Generalised Additive Model; generalisiertes additives Modell. Ein additives Modell geht nicht von einem linearen Zusammenhang zwischen der Antwortgröße und der betrachteten Variablen aus und kann dadurch komplexe Zusammenhänge modellieren. Die Geralisierung bezieht sich auf die freie Wahl der Familie der Fehlerverteilung innerhalb des Modells, wodurch auch nicht normal verteilte Fehler akkurat modelliert werden können.
GAMM	Erweiterung eines GAM (s.o.) um ein "Mixed Effect Model" (s.u.).

GLM	Generalised Linear Model; generalisiertes lineares Modell. Verallgemeinerung des klassischen linearen Regressionsmodells in der Regressionsanalyse. Im Gegensatz zu klassischen linearen Modellen, die eine Gaußsche Fehlerverteilung erfordern, kann in GLMs eine beliebige Fehlerverteilung angegeben werden (unter anderem Normal-, Binomial-, Poisson-, Gamma-, Tweedie-, und eine inverse Gaußverteilung).
half normal	halb normal. Beschreibung einer der Detektionsfunktion zugrunde liegenden Verteilung. Da alle Sichtungen in der Distance Sampling Auswertung "auf eine Seite geklappt" werden, wird zur Modellierung eine halbierte, glockenförmige Gaußsche Normalverteilung genutzt.
hazard rate	Beschreibung einer der Detektionsfunktion zugrunde liegenden Verteilung. Alternative zur halb normalen Verteilung, die möglicherweise sehr stark abfallende Daten besser modelliert.
Initialsichtung	Die erste Sichtung, die während eines <i>Tracks</i> von einem Tier / einer Gruppe gemacht wurde.
Key	die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Funktion (hier: half normal oder hazard rate).
Konfidenzintervall	Beschreibt das Intervall, innerhalb dessen eine bestimmte prozentuale Menge aller möglichen Ergebniswerte liegt. Typischerweise wird dieses Intervall auf 95% bezogen angegeben, d.h. dass 95% aller möglichen Ergebniswerte innerhalb des angegebenen Intervalls liegen.
Kovariable	Erklärende Variable, die zur Minimierung der Variabilität eines Modells analysiert wird.
Linientransekt	Ein Streckenabschnitt, der möglichst gerade zwischen einem definierten Start und einem definierten Endpunkt verläuft. Im <i>Distance Sampling</i> Kontext beschreibt ein Linientransekt im Gegensatz zu einem Streifentransekt die Strecke entlang derer Sichtungen mitsamt der Sichtungsdistanz erfasst werden/wurden. Ein Linientransekt hat keine vorab festgelegte Breite. Die Breite wird nach der Datenaufnahme empirisch aus den Daten in Form der (doppelten) esw ermittelt.
Modellierung	Die Beschreibung einer Antwortvariablen durch erklärende Variablen, die es erlaubt, weiterfassende und generelle Aussagen über den Einfluss der erklärenden Variablen und Angaben zur Ungewissheit eines Ergebnisses zu machen.
Mixed Effect Model	Gemischtes Modell. Ein statistisches Modell, das sowohl <i>fixed</i> als auch <i>random Effects</i> enthält. Durch gemessene Kovariablen generierte Effekte bezeichnet man als <i>fixed effects</i> , jene durch das Versuchsdesign generierten Effekte bezeichnet man als <i>random effects</i> .
Random Effects	Durch das Versuchsdesign generierte Effekte, die die Varianz einer einzelnen gemessenen Variable erklären, zum Beispiel Schwankungen bei der wiederholten Aufnahme einer Messgröße innerhalb des gleichen Versuchsdurchlauf.
right truncation	Beschneidung der Sichtungsdaten jenseits einer bestimmten Distanz. Sichtungen, die jenseits dieser Distanz erfasst wurden, werden als Ausreißer von der Analyse ausgeschlossen, um die Güte der Modellierung der Detektionsfunktion zu wahren. Im Rahmen der <i>Distance Sampling</i> Methode werden zufällige Sichtungen in untypisch hohen Entfernungen von der Analyse ausgeschlossen.

Streifentransekt	Eine Transektlinie mit festgelegter Breite als Beobachtungstreifen, innerhalb dessen ausschließlich beobachtet wird.
Track	Verfolgung eines Tiers/ einer Tiergruppe durch die Aufzeichnung wiederholter Sichtungen.
Tracking	Dedizierter Versuch, einen oder mehrere Tracks eines Tiers/einer Gruppe von Tieren zu erhalten. Nach einer Erstsichtung wird angestrebt, so viele Wiedersichtungen der gleichen Gruppe wie möglich aufzuzeichnen. Um Tiere schon früh und in großer Entfernung vom Schiff detektieren zu können, um einen möglichst langen Track zu erhalten, bedarf es einer leistungsfähigen Optik (typischerweise Big Eyes).
Verfügbarkeitsfehler	Fehler im Rahmen des <i>Distance Sampling</i> der dadurch entsteht, dass nicht alle Tiere vom Beobachter gesehen werden können, da sie z. T. nicht "verfügbar" (z.B. untergetaucht) sind.
z-Test	Auch Gauß-Test. Der z-Test bezeichnet eine Gruppe von Hypothesentests mit standardnormaler Testprüfgröße unter der Nullhypothese und prüft anhand von Stichproben-Mittelwerten, Hypothesen über die Erwartungswerte der Stichprobengrundgesamtheit.

Kurzbeschreibung

Während der antarktischen Sommer der Jahre 2008 (ANT25-2) und 2010 (ANT27-2) wurden parallel verschiedene Methoden zur Erfassung von Walen in der Antarktis vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), sowie dem Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung (ITAW) von Bord des FS Polarstern aus durchgeführt. Im Rahmen des vorliegenden Projekts führte das ITAW schiffsbasierte (Krähennest) und fluggestützte (Helikopter) *Distance Sampling* Surveys durch und unternahm eine *Tracking*studie. In einem parallel zu diesem ausgeführten Projekt erprobte das AWI ein Kamerasystem zur automatisierten Blasdetektion von Walen im Infrarotbereich (IR) und analysierte die systematisch vom nautischen Personal erfassten, opportunistischen Walsichtungsdaten der Brücke (Walog). Neben einer Kenntniserweiterung über das Vorkommen von Walen und deren Dichteverteilung in der Antarktis sollten die Erfassungen einem Methodenvergleich dienen, einer Einschätzung der Qualität der Daten und die Methoden auf ihre Anwendbarkeit in einem Mitigationskontext evaluiert werden. Des Weiteren wurde ein Konzept für "Biologische Begleituntersuchungen" auf Reisen in die Antarktis erstellt, um künftige Datenerhebungen optimieren und vereinheitlichen zu können.

Der Gesamtaufwand der Helikoptersurveys betrug 28 273 km und es wurden 268 Walsichtungen mit insgesamt 753 Individuen erfasst. Der Gesamtaufwand des Krähennestsurveys betrug 2 885 km und es wurden 105 Sichtungen mit insgesamt 198 Individuen beobachtet. Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*) stellten die von beiden Methoden am häufigsten beobachtete Walart dar, gefolgt von Antarktischen Zwergwalen (*Balaenoptera bonaerensis*). Robuste Minimalschätzungen der Dichte konnten in 5 a posteriori definierten Strata für Großwale allgemein, Antarktische Zwergwale sowie Buckelwale ermittelt werden. Hohe Großwaldichten traten auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel auf, während Zwergwale im Weddellmeer in erhöhten Dichten vorkamen. Westlich der Antarktischen Halbinsel erreichte der Helikoptersurvey eine repräsentative Abdeckung eines umgrenzten Gebiets und erlaubte die Abschätzung von Minimalabundanzen für Buckel-, Finn- und Antarktische Zwergwale. Für das Gebiet von 322 303 km² Größe wurden Abundanzen von 3 960 [95% Konfidenzintervall: 2 396 – 6 523] Buckelwalen, 200 [33 – 1 065] Finnwalen sowie 3 228 [832 – 12 280] Zwergwalen ermittelt.

Während des schiffsbasierten *Distance Samplings* konnten *Tracks* von 11 Buckelwal- und 4 Zwergwalegruppen aufgezeichnet werden. Eine Modellierung mittels generalisierter additiver Modelle (GAMs) deutete auf eine Tendenz zur Annäherung von Buckelwalen auf das Schiff zu, während das Verhalten der Zwergwale erratisch schien und sich nicht eindeutig einer gerichteten Bewegung zuweisen ließ.

Der Methodenvergleich beider *Distance Sampling* Methoden ergab, dass sich die unterschiedlichen jeweils vom Helikopter- und Krähennestsurvey ermittelten *Encounter rates* und Dichten nur in Ausnahmefällen statistisch voneinander unterscheiden. Helikoptersurveys erwiesen sich zudem als sehr effiziente Erfassungsmethode in der Antarktis. Ihre Ergebnisse waren im Vergleich mit denen des Krähennestsurveys mit einem kleineren Fehler assoziiert und sind damit als robuster erachtet. Der Vergleich zwischen gezielten Walbeobachtungen aus dem Krähennest und den opportunistischen Walerfassungen der Brücke des FS Polarstern bezogen auf gleiche Beobachtungszeiträume zeigte, dass 22,45% [95% Konfidenzintervall: 15,98% - 30,06] der Sichtungen des *Distance Sampling* Teams im Krähennest auch von der Brücke gesehen wurden. Umgekehrt registrierte das Krähennestteam 64,10% [47,18% - 78,80%] der Brückensichtungen. Innerhalb der parallelen Beobachtungszeiträume wurden 89,06% [82,33% - 93,89%] aller Brücken- und Krähennestsichtungen vom *Distance Sampling* Team

gestellt. 22 von 53 Sichtungen aus dem Krähennest konnten von der IR Kamera detektiert werden, die Analysen ergaben eine Erfolgsquote der IR Kamera von 41,51% [28,14% - 55,87%]. Ein Vergleich der Anzahl der von der IR Kamera detektierten Wale, die den Krähennestbeobachtern entgingen, war nicht möglich, da sich die unspezifischen Blasdetektionen der IR Kamera bislang nicht auf Individuenbasis aggregieren lassen.

Die Ergebnisse des Projekts weisen die spezifische Eignung der verschiedenen Methoden für unterschiedliche Anwendungsbereiche nach. Es konnte gezeigt werden, dass *Distance Sampling* Surveys einen guten Beitrag zur Kenntniserweiterung über das Walvorkommen in der Antarktis liefern können. Insbesondere die Ergebnisse des Helikoptersurveys belegen die Durchführbarkeit design-basierter Line-transect *Distance Sampling* Surveys im Rahmen von Biologischen Begleituntersuchungen in der Antarktis, die zu gebietsspezifischen Dichten und Abundanzen führen. Daher sollten die Bestrebungen dahin gehen, den Aufwand gezielter Walerfassungssurveys auf Reisen in die Antarktis zu maximieren. Im Kontext der Mitigation von seismischen Untersuchungen ermöglicht die IR Kamera rund um die Uhr Waldetektionen, auch nachts und bei Wetterbedingungen, die einen dedizierten Walsurvey unmöglich machen würden. Sofern es die Sichtungsbedingungen jedoch gestatten, sind dedizierte Walbeobachter wahrscheinlich besser in der Lage, alle Wale in der Umgebung zu detektieren und eine sichere Mitigation zu gewährleisten. Als idealer Mitigationsansatz wurde ein komplementärer Einsatz beider Methoden identifiziert.

Abstract

Multiple methods to observe cetaceans in Antarctic waters were concurrently conducted during two expeditions of RV Polarstern in the Antarctic summers of 2008/9 (ANT25-2) and 2010/11 (ANT27-2). The Institute for Terrestrial and Aquatic Wildlife Research (ITAW) conducted aerial (helicopter) as well as ship-board (crow's nest) distance sampling Surveys and a Tracking study. Concurrently, the Alfred-Wegener-Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (AWI) tested an infrared camera for the automated detection of whale blows and additionally evaluated opportunistic cetacean sighting data logged by the bridge personnel of RV Polarstern (WALOG). Besides providing data contributing to the knowledge on cetacean distribution and their density in the Southern Ocean, all methods were to be evaluated for their use with respect to mitigation efforts that will be a requirement for future seismic investigations potentially conducted from board of the research vessel. Additionally, a concept for biological monitoring on opportunistic platforms was developed in order to optimise and standardise future cetacean assessments in the Antarctic.

A total length of 28,273 km was covered on-effort by aerial surveys, recording 268 sightings of 753 individuals. 2,885 km were surveyed from the crow's nest and 105 sightings comprising 198 individuals were logged. In both survey methods, Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) represented the most observed species, followed by Antarctic minke whales (*Balaenoptera bonaerensis*). Robust density estimates of large whales in general, Antarctic minke whales and humpback whales were obtained for 5 a-posteriori defined strata. High densities of large whales were identified on the west side of the Antarctic, while Antarctic minke whales dominated in the Weddell Sea. The helicopter survey achieved a representative coverage of a defined survey area on the western side of the Antarctic Peninsula, allowing for the estimation of minimal abundances of humpback, fin and Antarctic minke whales. The abundance of humpback whales was estimated at 3,960 [95% CI: 2.396 – 6.523], of fin whales at

200 [33 – 1.065] and of Antarctic minke whales at 228 [832 – 12,280] within a 322,303 km² area.

11 humpback whale and 4 Antarctic minke whale groups were successfully tracked. The tracks were analysed by means of a GAM and revealed a tendency in humpback whales for approaching the ship. Antarctic minke whales did not show any distinct behavioural pattern.

The comparison of methods proved that differences in encounter rates and density estimates obtained by ship-board and aerial surveys were not significantly different from each other. Helicopter surveys were shown to be very efficient in the Antarctic environment and estimates obtained by the method were more robust and associated with better error statistics than those of the crow's nest surveys. Comparing the crow's nest sightings with the sightings made by the bridge personnel during crow's nest effort periods revealed that 22.45% [95% CI: 15.98% - 30.06] of the sightings of the distance sampling team were also recorded by the bridge. Vice versa the crow's nest detected 64.10% [47.18% - 78.80%] of the sightings logged in by the bridge during the same time span. The crow's nest observers contributed 89.06% [82.33% - 93.89%] of all observations recorded on board during the crow's nest on effort time (excluding duplicates recorded by crow's nest and bridge).

During concurrent effort times of IR camera and distance sampling survey, 22 of 53 sightings from the crow's nest were detected by the camera, identified by matching blows. The success rate of the camera was judged at 41.51% [28.14% - 55.87%]. A reciprocal comparison, analysing how many animals detected by the camera remained undetected by the crow's nest observers was not possible, as unspecific blow detections of the camera cannot yet be aggregated to reflect cetacean individuals present in the area.

Altogether, the results of this project highlight the specific areas of application for the respective methods. Distance sampling surveys were shown to provide valuable data for density and abundance estimation contributing to knowledge on cetacean distribution in Antarctic waters. Especially the helicopter surveys demonstrated, that design-based line-transect surveys can be conducted from platforms of opportunity and lead to area based density and abundance estimates. Distance sampling efforts during expeditions to the Antarctic should therefore be intensified in order to assess robust baseline data and as a stepping stone to further modelling. The IR camera provides a very useful tool for mitigation, as it detects whales around the clock and is relatively independent from weather and light conditions, which often render dedicated cetacean surveys impossible. As long as sighting conditions allow, however, dedicated cetacean observers probably provide a safer means for detecting animals present in the vicinity of the ship. This concerns smaller species with inconspicuous blows in particular. Finally, a complementary application of both dedicated cetacean survey and IR camera would potentially provide the best conditions for a thorough mitigation during seismic investigations.

1 Einleitung

Informationen zu Bestandsgrößen, räumlicher Verteilung und Habitatnutzung von Walen in der Antarktis sind wichtig für die Beurteilung möglicher Auswirkungen menschlicher Eingriffe in den Lebensraum der Tiere. Wale sind besonders akustischen Störeinflüssen gegenüber sensibel, da sie über ein äußerst empfindliches Gehör verfügen und auf dieses für Kommunikation, Orientierung und Beutefindung angewiesen sind (Richardson et al. 1995). Seismische Untersuchungen verfügen in diesem Zusammenhang über ein erhebliches Störpotential (Gordon et al. 2003). Wissenschaftliche Untersuchungen in der Antarktis, so auch der Einsatz seismischer Methoden, unterliegen nach dem Gesetz zur Ausführung des Umweltschutzprotokolls zum Antarktisvertrag (AUG) einem Genehmigungsvorbehalt. Nach dem AUG müssen die potentiellen Auswirkungen des geplanten Eingriffs auf alle Schutzgüter geprüft werden und eine Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn keine schädlichen Veränderungen in der Verbreitung, Häufigkeit oder Produktivität der Tiere und ihrer Populationen zu erwarten sind. Für eine solche Beurteilung bedarf es verlässlicher Daten zu den Schutzgütern, in diesem Fall zur Verteilung, Dichte und Habitatnutzung der Wale, als Entscheidungsgrundlage. Gleichermaßen machen Managementbestrebungen deutlich, dass die gleichen Informationen dringend benötigt werden, um die Tiere in ihrem Habitat bestmöglich zu schützen. Dazu gehört zum Beispiel die aktuelle Erarbeitung von Schutzgebietsvorschlägen in der Antarktis durch die *Commission for the Conservation of Antarctic Living Resources* (CCAMLR) oder die fortlaufende Diskussion innerhalb der Internationalen Walfangkommission (IWC) um den wissenschaftlichen Walfang der Japaner und dessen Fangquoten. Für Beides wären verlässliche Informationen zu Verteilung und Bestand hilfreich, zum Einen um Schutzbestrebungen räumlich sinnvoll zu platzieren, zum anderen um den Einfluss des Menschen auf die Bestände besser einschätzen zu können.

Das Wissen über die Walbestände in der Antarktis ist im Vergleich zu anderen Meeresgebieten äußerst gering. Bis heute gibt es kaum verlässliche Abundanzschätzungen oder detaillierte Informationen zur Verbreitung und Dichte der Walarten im Südpolarmeer. Die bislang umfassendsten Daten zum Walvorkommen in der Antarktis lieferten drei zirkum-antarktische Surveys, die zwischen 1979 und 2004 unter der Schirmherrschaft der IWC durchgeführt wurden (Ensor et al. 2007). Ihr Ziel war eine Bestandserhebung der antarktischen Walarten zur Beurteilung ihres Erhaltungszustands nach der jahrzehntelangen Ausbeutung ihrer Bestände durch den kommerziellen Walfang. Diese schiffsgestützten Walerfassungen beschränkten sich allerdings aus logistischen Gründen auf die eisfreien Gewässer von 60°S bis zur Packeisgrenze und ließen die eisbedeckten Gewässer unbeprobte (Ensor et al. 2007). Selbst im antarktischen Sommer umgeben jedoch noch ca. 3-4 Mio. km² Meereis verschiedener Dichte und Konzentration den antarktischen Kontinent (Gloersen et al. 1993) und stellen ein produktives und dynamisches Habitat im Südpolarmeer für viele Walarten dar. Dieses blieb im Rahmen der Untersuchungen unberücksichtigt. Des Weiteren unterschieden sich die angewendeten Erfassungsmethoden zwischen den drei zirkum-antarktischen Surveys untereinander, so dass festgestellte Unterschiede in den ermittelten Abundanzschätzungen bis heute nicht eindeutig interpretiert werden können (z.B. Branch 2007). Die IWC ist bislang nicht in der Lage für einen Großteil der antarktischen Walarten Abundanzschätzungen anzugeben (Leaper et al. 2008).

Dieses Projekt sollte dazu beitragen, zusammen mit dem vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtzzentrum für Polar und Meeresforschung (AWI) parallel durchgeführten Projekt "Umsetzung der Monitoringvereinbarung zwischen AWI und UBA zum Schutz der Wale" (FKZ 3708 91 10 1), Kenntnislücken zur Habitatnutzung der Wale in der Antarktis zu schließen und Entscheidungsgrundlagen für Genehmigungsprozesse zu schaffen. Es sollte Methoden zur

Erhebung von Waldaten vergleichen, um zukünftigen Datenerhebungen den Weg zu weisen, bestehende Datensätze bewerten und zukünftig vergleichbare Datensätze erzeugen zu können. Im Einzelnen umfasste dieses Projekt folgende Aufgaben:

- a) Ein Ziel des Projekts war die Erhebung und Auswertung von Walsichtungsdaten nach international anerkannten Standards zur Ermittlung räumlicher Verteilungsmuster, lokaler Dichten und Abundanzen von Walen in der Antarktis. Dabei sollten die Walerfassungen von Bord des Forschungsseisbrechers Polarstern stattfinden, um eine Abdeckung auch der eisbedeckten Meeresgebiete zu ermöglichen.
- b) Zusätzlich sollten mögliche Verhaltensreaktionen von Walen (Annäherungs- oder Ausweichverhalten) auf das FS Polarstern untersucht werden, zum einen zur Beurteilung des Störpotentials von Schiffen auf Wale, zum anderen um mögliche Fehler schiffsbasierter Erfassungen besser einschätzen zu können.
- c) Ein weiteres Ziel war ein Methodenvergleich zur Überprüfung der Effizienz und Anwendbarkeit verschiedener Erfassungsmethoden. Einerseits galt es die im Rahmen dieses Projekts angewendeten Sichtungsmethoden (Krähennestsurvey, Helikoptersurvey, Tracking) zu vergleichen. Andererseits zielte der Methodenvergleich auf eine Effizienzbestimmung des Infrarot-assistierten, automatisierten Waldetektionsverfahrens, welches vom AWI im Rahmen des o.g., parallel durchgeführten Projekts erprobt wurde. Zuletzt sollte der Datenvergleich einer Validierung der vom Brückenpersonal systematisch erfasste Walsichtungen ("Walog") dienen. "Walog" ist ein an Bord des FS Polarstern etabliertes Walerfassungssystem, mit dessen Hilfe die nautischen Offiziere die Position und weitere Informationen zu Walsichtungen speichern können.
- d) Zuletzt sollte ein Konzept für "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis" erarbeitet werden, welches sowohl Auftraggebern als auch Wissenschaftlern als Entscheidungsgrundlage für die Gestaltung von Begleituntersuchungen dienen kann.

2 Planung und Ablauf des Vorhabens (Material und Methoden)

Während zweier Fahrten¹ des deutschen Forschungseisbrechers Polarstern von Dezember 2008 bis Januar 2009 (ANT25-2) und November 2010 bis Februar 2011 (ANT27-2) wurden Sichtungsdaten von Wale mittels verschiedener Erfassungsmethoden erhoben. Dazu wurden *Distance Sampling* Surveys von zwei verschiedenen Beobachtungsplattformen durchgeführt: schiffsbasiert vom Krähenest, einer Plattform am Mast des FS Polarstern in ca. 28 m Höhe über dem Meeresspiegel, sowie fluggestützt von den bordeigenen Helikoptern (BO 105) aus. Um das Verhalten der Wale gegenüber dem Schiff zu untersuchen, wurden *Tracking*-Beobachtungen vom Krähenest aus unternommen. Abbildung 1 zeigt die Fahrtrouten der beiden Expeditionen.

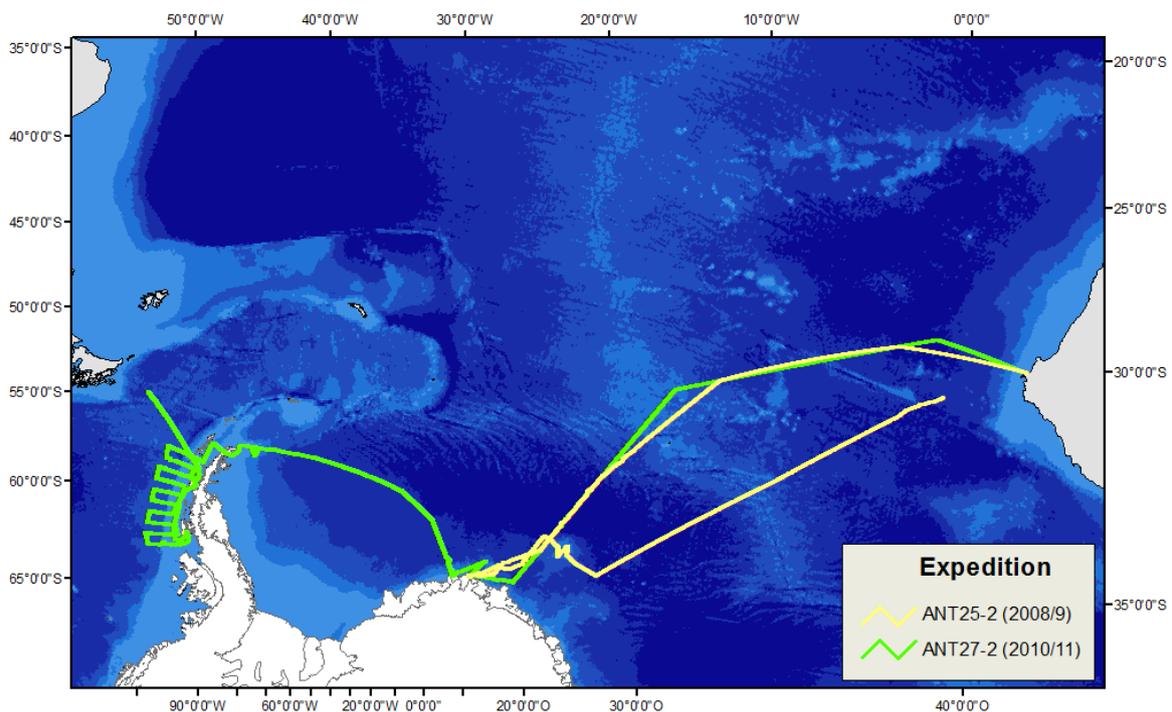


Abbildung 1: Darstellung der Fahrtrouten der beiden Polarsternexpeditionen ANT25-2 (2008/2009) und ANT27-2 (2010/2011)

Im Folgenden werden der theoretische Hintergrund der angewendeten Sichtungsmethoden sowie die praktische Durchführung während der Expeditionen erläutert. Zudem werden die Auswertungsmethode, die eingehenden Fragestellungen zum Datenvergleich und die Zielsetzungen für das erarbeitete Konzept dargestellt.

¹ Für die vorgenommenen Datenvergleiche wurden zusätzlich Sichtungsdaten einer dritten Polarsternexpedition (ANT28-2, 2011/2012) herangezogen, die allerdings nicht im Rahmen dieses Projekts unternommen wurde und deshalb nicht näher beschrieben oder ausgewertet wird.

2.1 Sichtungsmethoden

2.1.1 Distance Sampling Surveys

2.1.1.1 Line-transect Distance Sampling

Distance Sampling ist eine international anerkannte und etablierte Methode zur Abschätzung der Abundanz und Dichte von Wildtierpopulationen (Buckland et al. 2001). Für die Erfassung von Meeressäugern hat sich die spezielle Form des "Line-transect" *Distance Samplings* etabliert. Grundannahmen dieser Methode sind, dass (a) nicht alle Tiere erfasst werden und (b) die Wahrscheinlichkeit ein Tier zu sichten mit zunehmender Entfernung vom Transekt abnimmt (Buckland et al. 2001). Bei der "Line-transect" *Distance Sampling* Methode dienen Transektlinien als Stichprobe im Untersuchungsgebiet. Die Transektlinien werden abgeflogen oder abgefahren und dabei alle Sichtungen der Zieltierart(en) aufgenommen. Im Idealfall sind diese Transektlinien in einem gleichmäßigen Design über das Untersuchungsgebiet verteilt. Als wichtigste Information wird die rechtwinklige Distanz x des erfassten Tieres (bzw. der Tiergruppe) zur Transektlinie festgehalten (Abbildung 2). Mit Hilfe dieser Messungen kann im Nachhinein die effektiv abgesuchte Fläche, die effektive Streifenbreite esw ("effective strip half-width") (Hiby & Lovell 1998, Buckland et al. 2001) ermittelt werden. Dazu wird der Gesamtheit der gemessenen Distanzen x eine Wahrscheinlichkeitsfunktion $g(x)$, die sogenannte Detektionsfunktion, angepasst. $g(x)$ beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Sichtung in jeder Entfernung x von der Transektlinie erfasst wird (Abbildung 2). Hierbei werden auch Umweltparameter, welche die Detektionswahrscheinlichkeit beeinflussen könnten, als Kovariablen in die Analyse einbezogen und es wird untersucht, in wieweit sie die Modellierung beeinflussen und demzufolge in die Detektionsfunktion integriert werden müssen. Beim "Line-transect" *Distance Sampling* dient die esw zusammen mit der Länge L der abgeflogenen Strecke als Flächengrundlage für die Dichteberechnung. Die esw gibt für jede Seite des Transekts die Distanz μ von der Transektlinie an, außerhalb welcher die Wahrscheinlichkeit Tiere zu sichten genauso groß ist, wie die Wahrscheinlichkeit, sie innerhalb dieser zu übersehen (Abbildung 2).

Die so ermittelte effektive Streifenbreite stellt damit die Fläche dar, auf welcher effektiv alle verfügbaren Tiere erfasst wurden (Tiere, die außerhalb μ erfasst wurden ersetzen sozusagen die Tiere, die innerhalb μ von den Beobachtern übersehen wurden). Die esw stellt daher eine ideale Flächengrundlage für die Dichteberechnungen dar. Mit der esw als Flächengrundlage berechnet sich die Dichte D nach Formel (1),

$$(1) \hat{D} = \frac{n \cdot s}{2 \cdot esw \cdot L}$$

mit n = Sichtungszahl, s = mittlere Gruppengröße und L = Gesamtlänge der Transekte. Da die esw pro Beobachtungsseite ermittelt wird, bilden erst $2 \cdot esw$ die gesamte Streifenbreite (Evans & Hammond 2004).

Eine weitere Grundannahme des "Line-transect" *Distance Sampling* ist, dass alle Tiere, die sich direkt auf der Transektlinie (Distanz von der Transektlinie = 0 m) befinden, auf jeden Fall erfasst werden, d.h. $g(0) = 1$. Im Fall von marinen Säugetieren und insbesondere bei Walen ist dies nicht möglich, da tauchende Tiere für die Beobachter nicht sichtbar sind (Verfügbarkeitsfehler). Ist $g(0) < 1$, so sind die ermittelten Dichten und Abundanzen Minimalanschätzungen.

Während der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Surveys fand die "Line-transect" *Distance Sampling* Methode sowohl während des Krähennestsurveys als auch des Helikoptersurveys Anwendung.

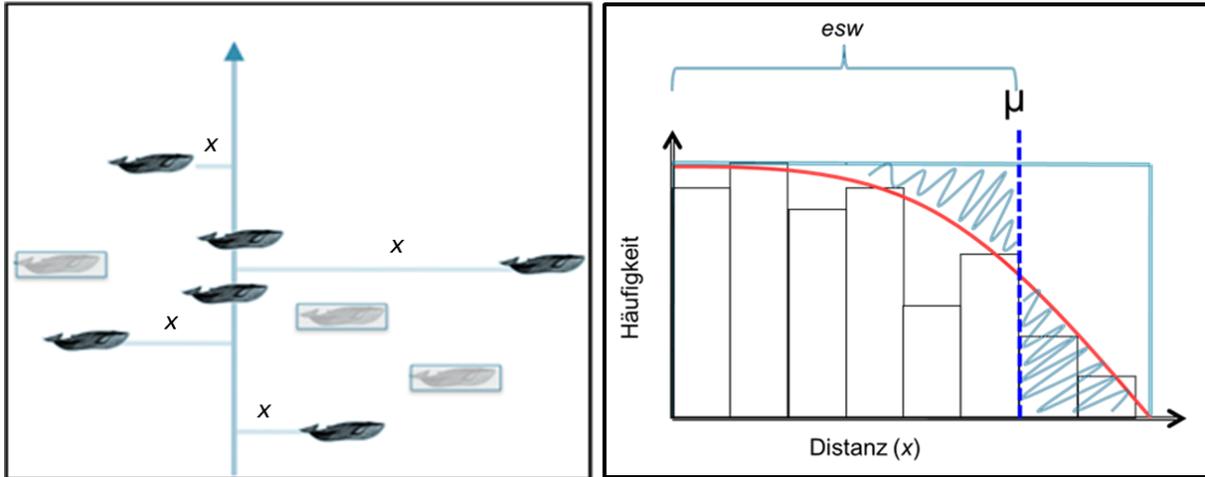


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Berechnung der Streifenbreite. Beim "Line-transect" *Distance Sampling* gibt es keinen maximalen Beobachtungsbereich oder eine vorab definierte Breite des Beobachtungstreifens, innerhalb dessen beobachtet wird. Es werden stattdessen alle gesichteten Tiere aufgenommen und die Beobachter zeichnen mit jeder erfassten Sichtung die Distanz x von der Transektlinie bis zum erfassten Tier auf (linker Teil der Grafik). Die Methode berücksichtigt dabei, dass Tiere von den Beobachtern übersehen werden können. Die im linken Teil der Grafik transparent dargestellten Tiere stehen entsprechend für nicht erfasste Tiere. Aus den gemessenen Distanzen wird nachträglich die Flächengrundlage für die Dichteberechnung ermittelt, indem der Gesamtheit der erfassten Distanzen eine Detektionsfunktion (rote Kurve) angepasst wird (rechter Teil der Grafik). Mit Hilfe dieser Kurve wird die Distanz ermittelt, innerhalb derer ebenso viele Tiere nicht erfasst, wie außerhalb zusätzlich erfasst wurden (blau schraffierte Bereiche). Die so ermittelte Streifenbreite (esw) entspricht damit der einseitigen Flächengrundlage, auf der alle Tiere dieser Seite erfasst wurden und die der Dichteberechnung zugrunde gelegt wird.

2.1.1.2 Krähennestsurvey

Der schiffsbasierte *Distance Sampling Survey* wurde vom Krähennest aus durchgeführt. Jede Beobachtungsschicht im Krähennest bestand aus drei Personen. Zwei Beobachter beobachteten jeweils die linke bzw. rechte Seite des Transekts, von der Grundlinie direkt voraus bis 90° querab des Schiffes. Sie beobachteten mit dem bloßen Auge und nutzten Ferngläser (Fujinon 7 x 50) nur zur Verifizierung von Sichtungen, zur Artbestimmung sowie zur Distanzmessung (über die Retikel-Skala der Ferngläser). Die dritte Person erfüllte die Aufgabe des Datenrekorders. Sie saß in der Kanzel des Krähennests und bediente einen mit einem GPS-Gerät (Garmin e-Trex) verbundenen Computer (Panasonic Toughbook), auf dem die Software "LOGGER 2000" (IFAW) lief. Die Kommunikation zwischen dem Datenrekorder und den Beobachtern erfolgte über Funkgeräte. Während der Computer kontinuierlich die GPS-Position aufzeichnete, trug der Datenrekorder die Wetter- und Sichtungsbedingungen ein und aktualisierte sie fortlaufend. Folgende Informationen wurden aufgezeichnet: Seastate (Beaufort), Dünung, Sonnenreflexion auf dem Wasser (Winkel und Intensität), Eisbedeckung und subjektive Einschätzung der Sichtungsbedingungen. Im Falle einer Sichtung meldete der Beobachter diese per Funk und auf Tastendruck des Datenrekorders speicherte das Programm automatisch die GPS-Position und die Uhrzeit. Folgende vom Beobachter durchgegebenen Informationen trug der Datenrekorder zudem ein: Art, Individuenzahl, horizontaler Richtungswinkel (relativ zur Fahrtrichtung), Distanz zur Sichtung bzw. Retikel im Fernglas, Kälberanteil, Sichtungsauslöser, Verhalten und Schwimmrichtung (relativ zur Fahrtrichtung).

Die Position der drei Teammitglieder wurde meist nach einer halben Stunde rotiert, um niemanden länger als eine halbe Stunde den gleichen Umweltbedingungen (insbesondere dem Fahrtwind) auszusetzen. Die Beobachtungen erfolgten entlang der vorgegebenen Schiffsroute, ohne dass der Krähenstreckensurvey auf diese Einfluss nehmen konnte. Die Durchführung des Surveys erfolgte nur bis zu einem Seastate 5 (da bei höheren Seastates Wale nicht mehr verlässlich gesichtet werden können) und ab einer Mindestgeschwindigkeit des Schiffs von 8 kn (um die Wahrscheinlichkeit zu minimieren, dass Wale das Schiff überholen und doppelt gesichtet werden). Gerade bei Eisbrechaktivitäten des Schiffes waren Beobachtungen vom Krähenstreckensurvey aufgrund der zu geringen Fahrtgeschwindigkeit oft nicht möglich und schlechte Wetterbedingungen reduzierten die Beobachtungszeit stark.

2.1.1.3 Helikoptersurvey

Für die fluggestützten *Distance Sampling Surveys* dienten die bordeigenen Helikopter vom Typ "BO 105" als Beobachtungsplattform. Die Flüge wurden auf einer konstanten Flughöhe von ca. 600 ft (ca. 183 m) und unter Einhaltung einer konstanten Geschwindigkeit von 90 - 100 kn (ca. 160 km/h) durchgeführt. Das Beobacherteam bestand aus drei Personen: Hinter dem Piloten saß an beiden Fenstern links und rechts jeweils ein Beobachter. Sie beobachteten die Bereiche links und rechts des Transektes, etwa ab einem Inklinationwinkel von 60° (dies entspricht einer Entfernung ab 105 m von der Transektlinie), da der Bereich direkt unter dem Helikopter (90° - 60°) durch die nicht-ausgewölbten Fenster nicht einsehbar ist. Links neben dem Piloten saß der Frontbeobachter, der den linken Bereich direkt unter dem Helikopter (90° - 60°) beobachtete (die Helikopter haben eine bis zum Boden verglaste Front). Durch diese Aufgabenverteilung konnte die linke Transektseite vollständig beobachtet werden, die rechte nur ab 60°. Aus diesem Grund gingen in die spätere Ermittlung der Streifenbreite lediglich die Sichtungen der linken Seite ein. Einem Beobachter kam jeweils zusätzlich die Funktion des Datenrekorders zu. Während der Expedition ANT25-2 war dies der Frontbeobachter. Für die Expedition ANT27-2 wurde diese Aufgabe dem rechten hinteren Beobachter übertragen, da seine Sichtungen nicht in die Ermittlung der Streifenbreite eingehen würden und von ihm durch die Zusatzbelastung übersehene Sichtungen eher tolerierbar wären als beim Frontbeobachter. Die Kommunikation zwischen Beobachtern, Datenrekorder und Pilot erfolgte über ein Interkommunikationssystem.

Der Datenrekorder bediente einen Laptop (Panasonic Toughbook) der an ein GPS-Gerät (Garmin e-Trex) angeschlossen war. Die verwendete Software "VOR" (Conservation Research Ltd.) zeichnete kontinuierlich die GPS-Position auf und der Datenrekorder gab die Wetter- und Sichtungsbedingungen fortlaufend aktuell ein. Folgende Informationen wurden kontinuierlich aufgezeichnet: Seastate, Eisbedeckung, Wolkenbedeckung, Sonnenreflexion (Winkel und Stärke) und subjektive Einschätzung der Sichtungsbedingungen durch die Beobachter. Alle Walsichtungen gab der Datenrekorder direkt in den Computer ein, der die Sichtungssposition und -zeit automatisch speicherte. Folgende Informationen gab der Datenrekorder zusätzlich für jede Sichtung ein: Art, Gruppengröße, Inklinationwinkel, Kälberanteil, Verhalten, Schwimmrichtung (relativ zur Flugrichtung), Aufenthalt über oder unter der Wasseroberfläche, Sichtungsauslöser und mögliche Reaktionen auf den Helikopter. Über den Inklinationwinkel kann im Nachhinein die rechtwinklige Distanz der Sichtung zur Transektlinie anhand Formel (2) berechnet werden (Abbildung 3).

$$(2) x = r \cdot \tan(90^\circ - \alpha)$$

Mit r = konstante/bekannte Flughöhe, α = Inklinationwinkel.

Grundsätzlich erfolgte die Sichtungsmeldung und Messung des Inklinationwinkels durch die beiden hinteren Beobachter zu genau dem Zeitpunkt, an dem sich die Sichtung rechtwinklig

zum Transekt befand. Da der Frontbeobachter geradeaus beobachtete, war ihm eine rechtwinklige Meldung der Sichtung nicht möglich. Er gab daher als zusätzliche Information zum Inklinationwinkel den jeweiligen horizontalen Richtungswinkel der Sichtung relativ zum Transekt an, um später ebenfalls die rechtwinklige Distanz der Sichtung zum Transekt berechnen zu können.

Konnte eine Sichtung nicht direkt identifiziert werden oder lag eine Unsicherheit bezüglich der Gruppengröße vor, wurde der Aufwand unterbrochen und der Helikopter an die Sichtung angenähert bis die entsprechenden Informationen erfasst werden konnten. Nach erfolgreicher Identifikation kehrte der Helikopter zur Transektlinie zurück und der Aufwand wurde fortgesetzt. Dieses Verfahren des Unterbrechens des Aufwands zur genaueren Inspektion einer Sichtung findet häufig Anwendung während Meeressäugererfassungen nach der Line-Transect Methode und ist als "closing mode" bekannt (z.B. Calambokidis & Barlow 2004, Hedley et al. 2004, Strindberg & Buckland 2004).

Die Flüge und das Transektdesign mussten generell "ad-hoc" geplant werden und konnten keinem vorab erstellten Surveydesign folgen. Die Durchführung eines Fluges unterliegt zu jeder Zeit der Genehmigung durch die Schiffs- und Fahrtleitung. Zusätzlich müssen die Wetterbedingungen sowohl den Sicherheitsansprüchen genügen als auch geeignete Beobachtungsvoraussetzungen erfüllen. Zudem müssen der sonstige Schiffsbetrieb sowie der Einsatz von Geräten einen Helikoptereinsatz zulassen. Aus diesen Gründen konnte ein jeder Flug nur wenige Stunden im Voraus geplant werden. Waren die Voraussetzungen für einen Flug erfüllt, wurden die Flüge für eine maximale Strecke von etwa 160 sm geplant, die durch die Sicherheitsbestimmungen vorgegebene Maximaldistanz. Das grundlegende Transektdesign für einen Flug entsprach einem Quadrat mit 40 sm Kantenlänge und bestand jeweils aus vier Transekten. Ausrichtung und Länge der einzelnen Transekte wurden individuell den vorliegenden Umweltbedingungen und anderen Ansprüchen an die Durchführung des Fluges angepasst. Auf der Expedition ANT27-2 folgte das FS Polarstern auf der Westseite der antarktischen Halbinsel einem durch einen Krillsurvey vorgegebenen Transektdesign. Aufgrund der längeren Verweildauer in einem umgrenzten Gebiet war es hier möglich, für das entsprechende Gebiet ein Surveydesign vorab zu entwerfen und abzufliegen.

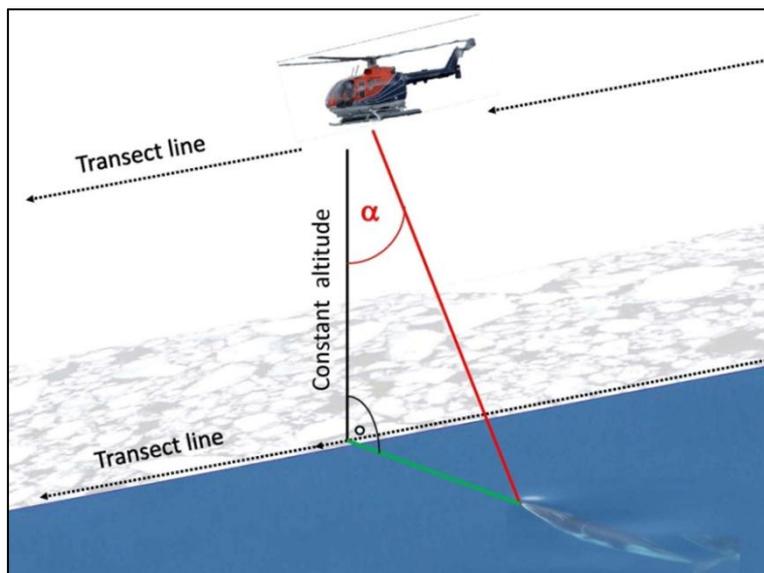


Abbildung 3: Schematische Darstellung zur Berechnung der Distanz einer Sichtung von der Transektlinie. Für jede Sichtung wird der rechtwinklige Inklinationswinkel α festgehalten. Zusammen mit der bekannten Flughöhe kann darüber die rechtwinklige Distanz der Sichtung zur Transektlinie berechnet werden.

2.1.1.4 Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mit dem Paket "distance" (Miller 2013) in R Version 3.0.1 (R Core Team 2013) ausgewertet. Zunächst wurden artspezifische Detektionsfunktionen für alle Arten modelliert, für die eine ausreichende Sichtungszahl vorlag ($n > 40$). Grundsätzlich sind Detektionsfunktionen artspezifisch bzw. stehen in deutlicher Beziehung zu Größe und Verhalten der Zieltierart. Kleinere, unauffälligere Arten haben mit wachsender Entfernung von der Transektlinie eine geringere Wahrscheinlichkeit entdeckt zu werden als größere, oberflächenaktivere Arten oder solche mit großem Blas, den man von weither sehen kann. Buckland et al. (2001) empfehlen 60 – 80 Sichtungen als Grundlage für eine robuste Detektionsfunktion, geben allerdings als Mindestzahl 40 Sichtungen an. Die erhobenen Umwelt- und Sichtungsparameter, welche die Detektionswahrscheinlichkeit beeinflussen können, wurden als Kovariablen in die Analyse einbezogen. Dabei wurde untersucht, in wie weit sie die Modellierung beeinflussen und demzufolge in die Detektionsfunktion integriert werden müssen. Zusammen mit der ermittelten effektiven Streifenbreite esw , welche die vom Programm berechnete Breite des durch die Beobachter erfassten Bereichs beschreibt, konnten so artspezifische Dichten ermittelt werden. Von den Daten des Helikoptersurveys wurden für die Dichteberechnung lediglich die Daten der linken Seite (des linken Beobachters und des Frontbeobachters) verwendet, da, wie oben beschrieben, die rechte Seite nicht vollständig beobachtet werden konnte (also bezieht sich die Dichte der Helikoptersurveys auf die einseitige Fläche $esw \cdot L$).

Für die Beurteilung der Waldichten wurde das Gesamtgebiet entlang der Polarstern Fahrtrouten beider Fahrten a posteriori in fünf Strata eingeteilt:

- 1) Südafrika (SA): der Bereich zwischen Südafrika und $60^\circ S$
- 2) Neumayer (NM): der Bereich südlich von $60^\circ S$ bis zur Schelfeisgrenze vor der Neumayerstation III
- 3) Weddellmeer (WS): der Streckenabschnitt entlang des Weddellmeeres
- 4) Antarktischer Sund (AAS)
- 5) Westliche Antarktische Halbinsel (WAP)

Die Einteilung der Strata erfolgte vornehmlich nach geographischen und damit einhergehenden habitatspezifischen Gesichtspunkten, um die Basis für einen Vergleich von Ergebnissen innerhalb des Untersuchungsgebietes zu schaffen. Dabei umfasste das Stratum SA den gesamten Bereich außerhalb des südlichen Ozeans, welcher im Rahmen der Surveys abgedeckt wurde. Trotz des Fokus des Projekts auf der Antarktis sollte dieser Bereich mit ausgewertet werden, da ein erheblicher Teil des Aufwands in diesem Meeresgebiet stattfand und gute Voraussetzungen für einen Methodenvergleich bot. Das Stratum WAP umfasste den Bereich westlich der Antarktischen Halbinsel, das Stratum WS das Weddellmeer. Die Unterscheidung wurde vorgenommen, um diese beiden in vieler Hinsicht unterschiedlichen Habitats beidseitig der Antarktischen Halbinsel getrennt voneinander zu betrachten. Das vergleichsweise kleine Stratum AAS kennzeichnet den Antarktischen Sund, der als Verbindung zwischen dem Weddellmeer und der Westseite der Antarktischen Halbinsel geographisch eine Sonderstellung einnimmt. Das Stratum NM umfasst den Bereich südlich von $60^\circ S$ bis zur

Schelfeisgrenze vor der Neumayerstation III und beschreibt den östlich des Weddellmeers gelegenen Teil des Untersuchungsgebiets. Die Strata sind in Abbildung 4 dargestellt. Für die im Stratum WAP durchgeführten Helikoptererfassungen konnte ein Surveydesign vorab entworfen werden (s.u.). Günstige Wetterbedingungen ermöglichten eine repräsentative Abdeckung des Stratum WAP durch die Helikopterflüge, so dass eine Abundanzberechnung basierend auf den Flugdaten möglich war. Für alle anderen Strata wurden ausschließlich lokale Dichten berechnet: die Dichten beziehen sich damit lediglich auf die berechnete Streifenbreite und erlauben keine Extrapolation auf ein größeres Untersuchungsgebiet, sind jedoch für einen Vergleich zwischen den Strata geeignet.

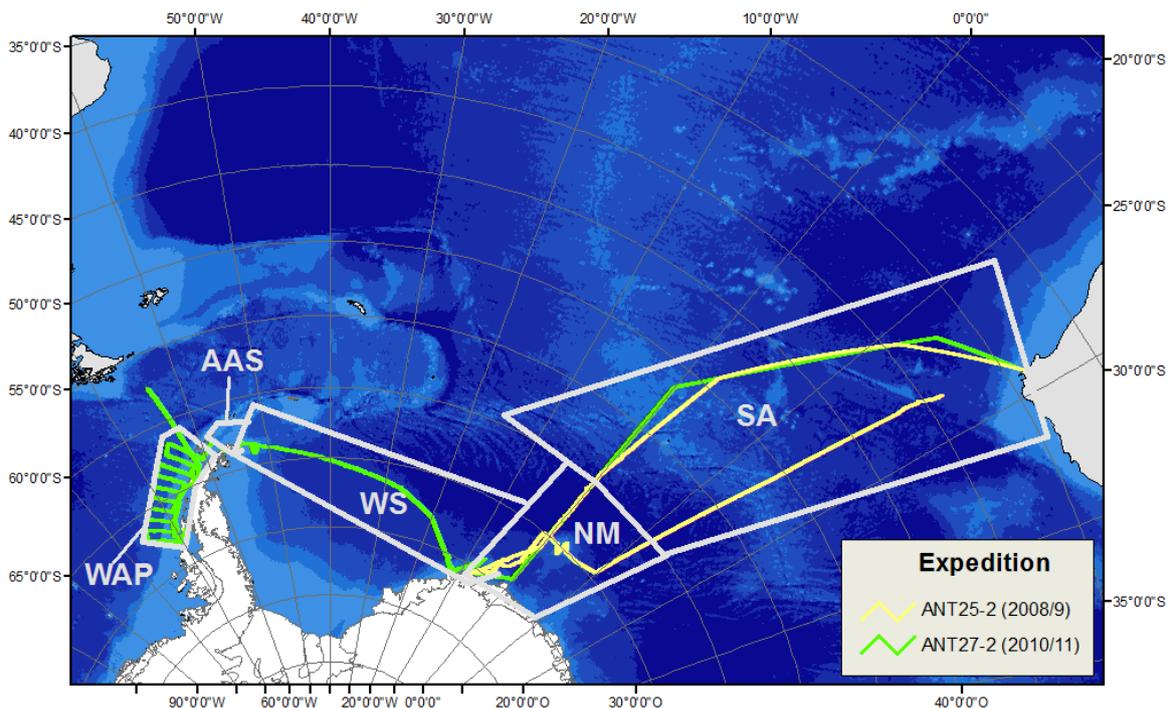


Abbildung 4: Einteilung des Untersuchungsgebiets in fünf Strata: Südafrika (SA), Neumayer (NM), Weddellmeer (WS), Antarktischer Sund (AAS) und Westliche Antarktische Halbinsel (WAP).

2.1.2 Tracking

2.1.2.1 Tracking-Beobachtungen

Das *Tracking* (engl. *to track* = verfolgen) bezeichnet das Verfolgen einer einzelnen Sichtung unter Aufzeichnung jeder einzelnen Wiedersichtung. Es wurde zusätzlich oder anstatt des *Distance Sampling Surveys* vom Krähenest aus durchgeführt. *Tracking* kann nur unter äußerst guten Sichtungsbedingungen erfolgreich ausgeführt werden. Zu hoher Seegang oder Eisbrechen machen es unmöglich, das Fernglas ruhig genug zu halten, um die Wasseroberfläche bei entsprechend großer Vergrößerung kontinuierlich zu beobachten. Waren ausreichend gute Beobachtungsbedingungen gegeben, unternahm ein sogenannter "Tracker" Beobachtungen mit Hilfe der "Big Eyes", besonders leistungsstarken Ferngläsern, für die auf jeder Seite des Krähenests ein schwenkbares Stativ montiert war. Der Tracker wählte jeweils die Beobachtungsseite mit den angenehmeren Umweltbedingungen (d.h. geringerem Fahrtwind). Fortan beobachtete er den gesamten Frontbereich bis zum Horizont. Erfolgte eine Sichtung, notierte ein ihm zur Seite gestellter Beobachter die Uhrzeit (über eine mit einem GPS-Gerät kalibrierte Stoppuhr), den horizontalen Richtungswinkel der Sichtung relativ zur

Fahrtrichtung und die Zahl der Retikel (zur späteren Berechnung der Distanz), den Sichtungsauslöser, die Art, die Individuenzahl, das Verhalten, den Kälberanteil und die Schwimmrichtung. Der Tracker versuchte dann, das gesichtete Tier oder die gesichtete Tiergruppe zu verfolgen und gab jede Wiedersichtung entsprechend zu Protokoll. Wiedersichtungen wurden solange wie möglich und wenn möglich, mindestens bis die Sichtung querab des Schiffes lag, aufgezeichnet. Die Datenaufzeichnung erfolgte manuell, da der Tracker beide Hände für die Big Eyes benötigte und kein Funkgerät bedienen konnte, um die Daten an den Datenrekorder in der Kanzel weiterzugeben. Die handschriftlichen Aufzeichnungen wurden dann im Anschluss digitalisiert und die GPS-Positionen über die kalibrierte Uhrzeit ergänzt.

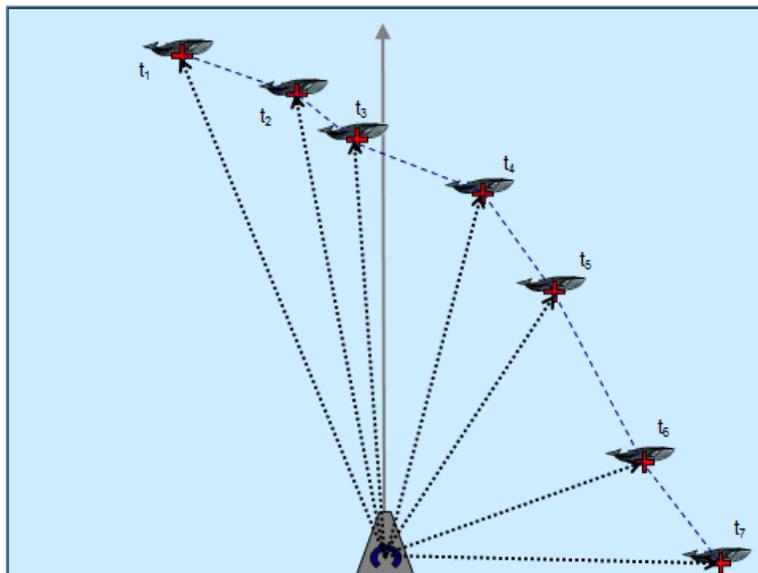


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines *Tracking*-Ereignisses. Ein zum Zeitpunkt t_1 gesichtetes Tier wird zu insgesamt sechs weiteren Zeitpunkten (t_{2-7}) wiedergesichtet und jeder Wiedersichtungszeitpunkt wird samt horizontalem Winkel (relativ zur Schiffsachse) und der Distanz zum Schiff aufgezeichnet.

2.1.2.2 Auswertung

Die aufgezeichneten Tracks dienten zur Analyse des Verhaltens der Wale gegenüber dem Schiff. Hierzu wurde auf Basis der *Tracking*-Daten beider Surveys ein generalisiertes additives Modell (GAM; Generalised Additive Model) entwickelt. Das GAM sollte die Annahme überprüfen, ob eine Annäherung oder eine Entfernung der Tiere gegenüber dem Schiff nachweisbar ist. Im Gegensatz zu konventionellen Modellierungen, zum Beispiel generalisierten linearen Modellen (GLM; Generalised Linear Model), geht das GAM nicht von einem linearen Zusammenhang zwischen der Antwortgröße und der betrachteten Variablen aus. Dadurch können komplexe Zusammenhänge modelliert werden, die im Umfeld einer GLM Analyse zu keinem signifikanten Resultat führen würden. Modelliert wurde die Distanz der Tiere zum Schiff über den Verlauf der individuellen Wiedersichtungen gegen die seit der Erstsichtung verstrichene Zeit. Um die individuell unterschiedlichen Initialdistanzen der Sichtungen zu relativieren, wurden alle Distanzänderungen relativ zur Initialdistanz angegeben, welcher eine relative Distanz von 100% zugeordnet wurde. Demnach entsprach eine Distanz von $> 100\%$ zu einem beliebigen Zeitpunkt nach der Initialsichtung einer Entfernung des gesichteten Tieres vom Schiff, eine relative Distanz von $< 100\%$ hingegen einer Annäherung an das Schiff. Da die verschiedenen Sichtungen einer Spezies im statistischen Kontext Stichprobenwiederholungen darstellen, wurde das GAM um ein "Mixed Effect Model" zu einem GAMM (Generalised Additive Mixed Model) erweitert. Dabei berücksichtigt das

Modell nun zur Varianzberechnung und somit zur Validierung des Modells im Vergleich zum GAM zusätzlich die Varianz, die sich aus den individuellen Sichtungen ergibt bzw. ergeben könnte. Dies steigert nicht nur die Robustheit des Modells, es erlaubt auch die Vorhersage von Fluchtdistanzen unabhängig von einer Individuenkennung, die mit einer Modellierung über die Sichtungsnummer als Faktor nicht möglich wäre.

Da das Verhalten gegenüber dem Schiff artspezifische Unterschiede aufweisen kann, erfolgte die Modellierung getrennt nach Arten.

2.2 Konzept "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis"

In die Antarktis reisende Schiffe werden häufig als opportunistische Plattformen für "Biologische Begleituntersuchungen" genutzt. Dabei werden Daten zum Walvorkommen entlang der vorgegebenen Reiseroute erhoben. Während die Menge der so erhobenen Daten beträchtlich ist, ist ihre Qualität grundsätzlich heterogen, da wechselnde Wissenschaftlerteams verschiedenen Erfassungsmethoden und -protokollen folgen und unterschiedliche Ansprüche an die Qualifikation der Beobachter sowie die Sichtungsbedingungen stellen. Ein Vergleich der erhobenen Datensätze bzw. eine gemeinsame Auswertung der Datensätze wird zusätzlich durch verschiedene Datenformate und unterschiedliche zeitliche Auflösungen der Datensätze, erfasste Informationen und Präzision der Aufzeichnungen erschwert bis unmöglich gemacht. Um eine Vergleichbarkeit von Daten aus "Biologischen Begleituntersuchungen" zu ermöglichen, ist es notwendig, nach einer abgestimmten und international anerkannten Methode zu verfahren und einem gleichbleibenden, standardisierten Protokoll zu folgen. Ein Ziel des vorliegenden Projekts war, ein entsprechendes Konzept für "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis" zu erarbeiten, welches sowohl Auftraggebern als auch Wissenschaftlern als Entscheidungsgrundlage für die Gestaltung von Begleituntersuchungen dienen kann. Hierzu wurden verschiedene Erfassungsmethoden dahingehend beleuchtet, welchen Erkenntnisgewinn sie ermöglichen und für die Erhebung welcher Daten sie geeignet sind. Das Konzept sollte eine geeignete Erfassungsdurchführung beschreiben und entsprechende Feldleitfäden enthalten, die die praktische Umsetzung an Bord ermöglichen und zukünftigen Wissenschaftlerteams eine Datenerhebung nach einheitlichen Vorgaben aufzeigt.

3 Ergebnisse

3.1 Erhobene Sichtungsdaten

3.1.1 Krähenneestsurvey

Im Rahmen der Krähenneestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 wurde in 161 Aufwandsstunden eine Strecke von 2 885 km im Beobachtungsmodus ("on effort") abgedeckt und dabei 105 Sichtungen mit 198 Walen aufgenommen (Tabelle 1). Die Beobachtungsabschnitte entlang der Schiffsroute sind in Abbildung 6 dargestellt, die Verteilung des Aufwands (Effort) auf die einzelnen Strata in Tabelle 2. Der Hauptteil des Aufwands entfiel auf die Strata SA und NM, da nur diese während der beiden Expeditionen vom Schiff aufgesucht wurden. Insgesamt wurden Sichtungen von acht verschiedenen Walarten im Rahmen der Krähenneestsurveys erfasst (Tabelle 3). Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*) stellten die am häufigsten vom Krähenneest aus gesichtete Art mit 39 Sichtungen und 75 gesichteten Individuen dar, gefolgt von Antarktischen Zwergwalen (*Balaenoptera bonaerensis*) mit 30 Sichtungen und insgesamt 39 Tieren. Alle weiteren Arten wurden vergleichsweise selten gesichtet. 21 Sichtungen waren Großwale, die nicht näher identifiziert werden konnten. In den meisten Fällen war dies auf die zu große Distanz der Tiere zum Schiff zurückzuführen. Ein gesichteter Schnabelwal konnte ebenfalls nicht bis zur Art identifiziert werden. Abbildung 7 bis Abbildung 10 zeigen die einzelnen Sichtungspositionen. In den Strata NM und WS wurden ausschließlich Zwergwale und unidentifizierte Großwale gesichtet, in den Strata AAS und WAP dominierten Buckelwale, von denen lokale "Hotspots" ausgemacht werden konnten. Ein weiterer "Hotspot" an Großwalen lag in der weiteren Umgebung der Insel Bouvet (54°25.8' S, 3°22.8' O) im südlichen Teil des Stratum SA (Abbildung 8).

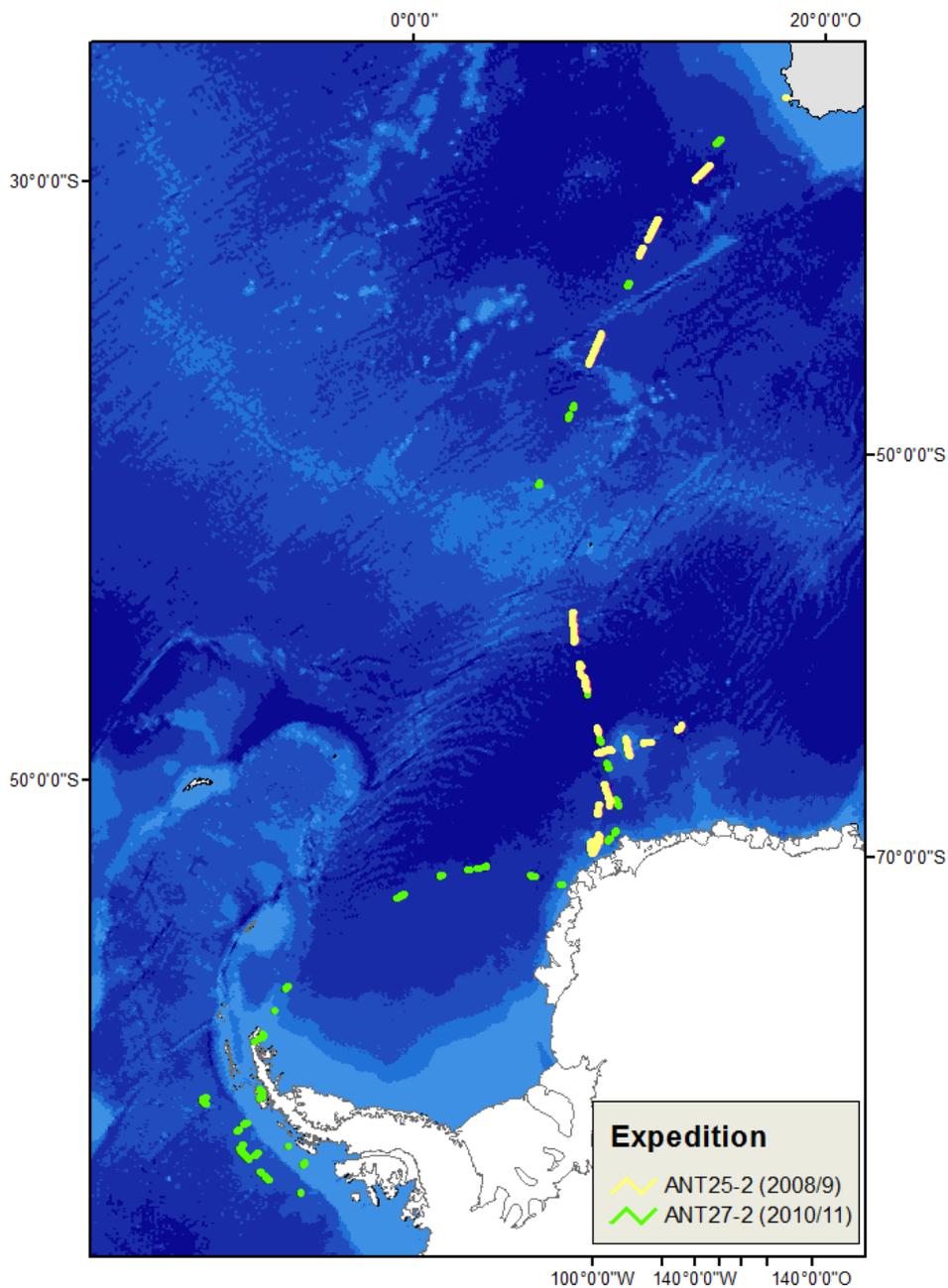


Abbildung 6: Streckenabschnitte der Expeditionen ANT25-2 und ANT27-2 entlang derer Aufwand im Rahmen der Krähennestsurveys stattfand.

Tabelle 1: Darstellung des Suchaufwands sowie der Zahl der erfassten Sichtungen und Individuen während beider durchgeführten Krähennestsurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2.

Expedition	Abgesuchte Strecke (km)	Sichtungen	Individuen
ANT25-2	2008	56	124
ANT27-2	877	49	74
Gesamt	2885	105	198

Tabelle 2: Verteilung des Aufwands (Effort) im Rahmen der Krähennestsurveys beider Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 auf die einzelnen Strata.

Stratum	ANT25-2 Effort (km)	ANT27-2 Effort (km)	Gesamt Effort (km)
SA	1080	104	1184
NM	928	212	1140
WS	0	190	190
AAS	0	38	38
WAP	0	333	333
Gesamt	2008	877	2885

Tabelle 3: Erfasste Walarten während beider durchgeführten Krähennestsurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 mit Anzahl der Sichtungen und Individuenzahl.

Walart	ANT25-2		ANT27-2		Gesamt	
	Sichtungen	Individuen	Sichtungen	Individuen	Sichtungen	Individuen
Südlicher Entenwal (<i>Hyperoodon planifrons</i>)	-	-	1	2	1	2
Buckelwal (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	14	36	25	39	39	75
Antarktischer Zwergwal (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>)	22	28	8	11	30	39
Unid. Großwal	8	13	13	13	21	26
Finnwal (<i>Balaenoptera physalus</i>)	5	10	1	2	6	12
Schwertwal (<i>Orcinus orca</i>)	1	6	-	-	1	6
Pottwal (<i>Physeter macrocephalus</i>)	4	29	-	-	4	29
Seiwal (<i>Balaenoptera borealis</i>)	1	1	-	-	1	1
Unid. Schnabelwal	1	1	-	-	1	1
Stundenglasdelfin (<i>Lagenorhynchus cruciger</i>)	-	-	1	7	1	7
Gesamt	56	124	49	74	105	198

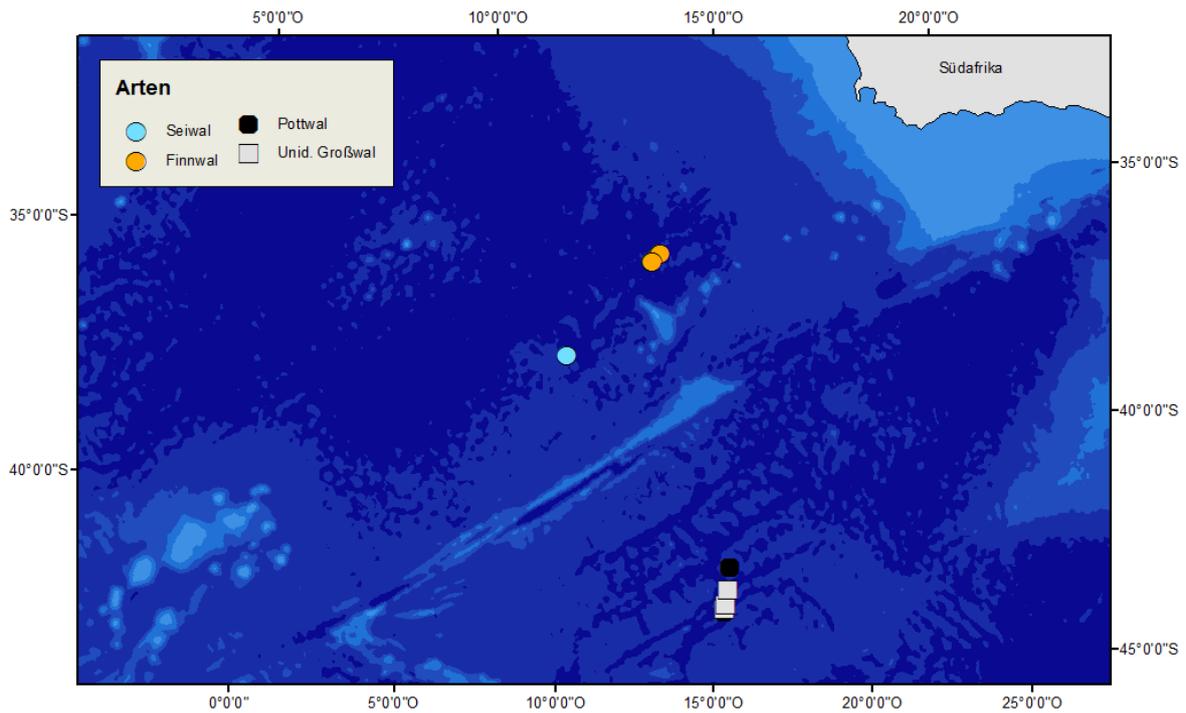


Abbildung 7: Geografische Positionen aller im nördlichen Teil des Stratums SA (zwischen Südafrika und 45°S) im Rahmen der Krähenneestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

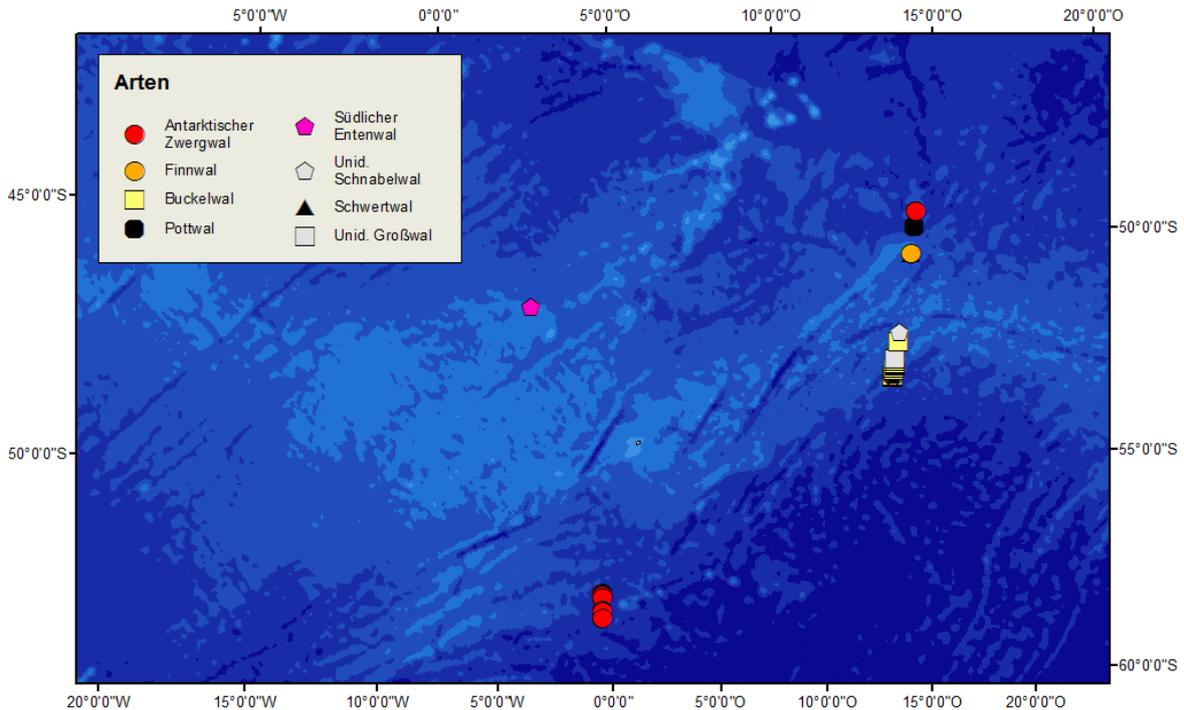


Abbildung 8: Geografische Positionen aller im südlichen Teil des Stratums SA (zwischen 45°S und 60°S) im Rahmen der Krähenneestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

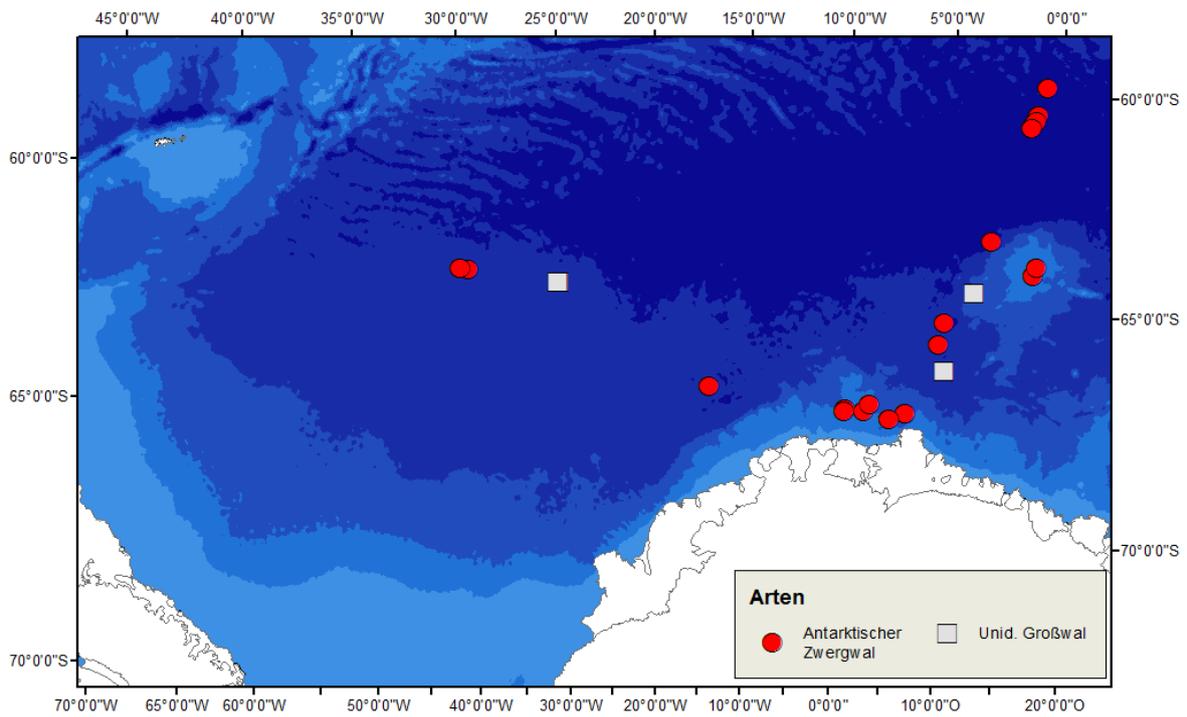


Abbildung 9: Geografische Positionen aller in den Strata NM und WS im Rahmen der Krähenneestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

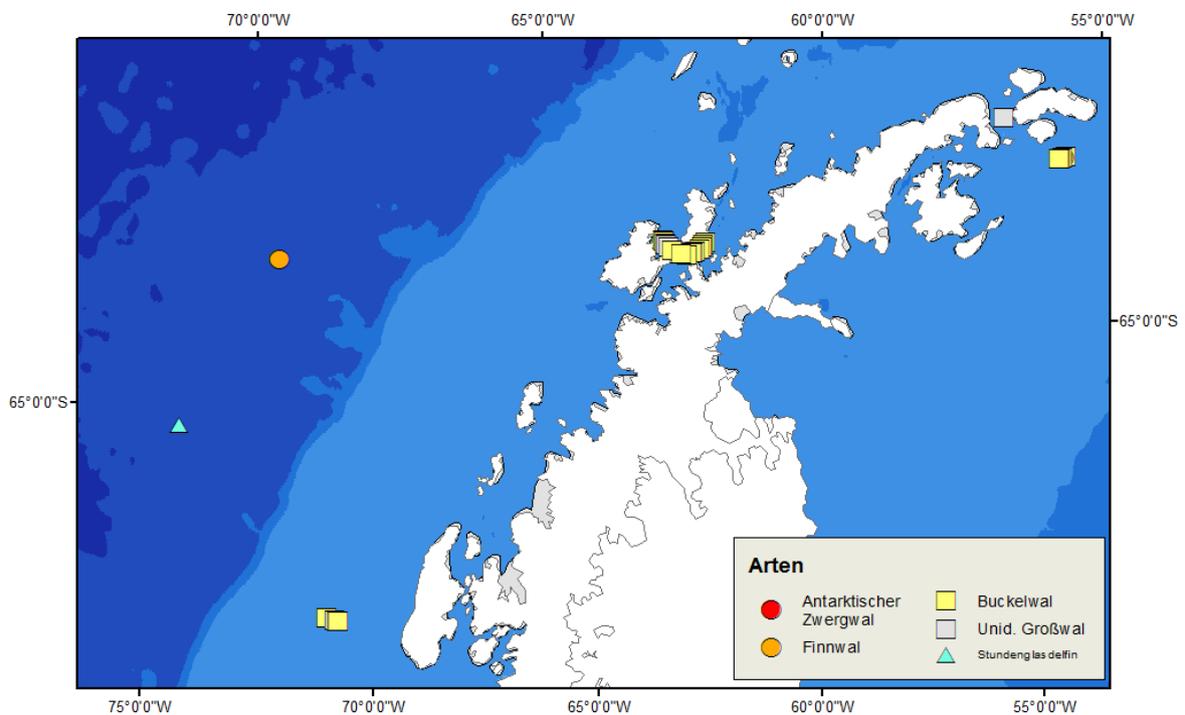


Abbildung 10: Geografische Positionen aller in den Strata AAS und WAP im Rahmen der Krähenneestsurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

3.1.1.1 Distance Auswertung

Da es einer ausreichend hohen Sichtungszahl ($n = 40$) bedarf, um eine Detektionsfunktion modellieren zu können, konnte nicht für jede gesichtete Walart einzeln eine

Detektionsfunktion angepasst werden. Aus diesem Grund wurde eine gemeinsame Detektionsfunktion für alle gesichteten Großwale (Pottwale, unidentifizierte Großwale sowie alle Bartenwale mit Ausnahme der Zwergwale) und, getrennt davon, eine eigene Detektionsfunktion für Antarktische Zwergwale modelliert. Zwergwale weisen ein wesentlich unauffälligeres Verhalten als die größeren Bartenwalarten auf, sind kleiner und haben einen kleinen Blas. Aus diesem Grund ist es naheliegend, dass sich die Detektionswahrscheinlichkeit und *esw* von jener der Großwale unterscheidet. Für die anderen identifizierten kleineren Arten (zum Beispiel Delphinarten) reichte die Anzahl der Sichtungen nicht aus, um eine eigene Detektionsfunktion zu modellieren. Die Auswahl des jeweils besten Modells erfolgte auf der Grundlage des niedrigsten AIC Werts (*Akaike Information Criterion*, zum Beispiel Akaike 1974, Bozdogan 1987, Anderson et al. 1994), eines Auswahlkriteriums zur Bemessung der Anpassungsgüte eines Modells.

Als bestes Modell für die Großwale stellte sich eine "half normal" (halb normale) Funktion heraus. Die Detektionsfunktion schloss keine der erhobenen Sichtungs- und Umweltparameter als weitere Kovariablen ein (vergl. Kapitel 2.1.1.4), da das Modell mit "Distanz zur Transektlinie" als einziger Variablen (Grundmodell beim *Distance Sampling*) die besten Resultate erzielte (g_1 , Tabelle 4). Abbildung 11 zeigt eine grafische Darstellung der Detektionsfunktion für alle Großwale. Sie basiert auf insgesamt 53 Sichtungen, wobei eine Beschneidung der Daten jenseits von 2 000 m vorgenommen wurde (*right truncation* bei 2000 m). Dadurch wurden 12 der ursprünglich 65 Sichtungen jenseits dieser Distanz als Ausreißer von der Analyse ausgeschlossen, um die Güte der Modellierung zu wahren. Der Cramér-von Mises Test zur Einschätzung der Güte der Detektionsfunktion zeigte, dass die Funktion nicht signifikant vom Erwartungswert abwich ($P = 0,95$; gleichförmig gewichtet). Die *esw* wurde entsprechend der Detektionsfunktion auf 1 031 m bemessen.

Tabelle 4: Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Als bestes Modell wurde g_1 identifiziert, eine half-normal Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariable = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariable, AIC = *Akaike Information Criterion*, ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC. Modelle ohne angegebenen AIC Werte konvergierten nicht.

Model	Key	Kovariable	AIC	ΔAIC
g_1	half normal	-	784,55	0,00
g_2	half normal	Subjektive Sichtungsbedingung	785,72	1,17
g_3	half normal	Wolkenbedeckung	-	-
g_4	half normal	Eisbedeckung	786,63	2,08
g_5	half normal	Sichtungsauslöser	-	-
g_6	half normal	Beobachter	787,01	2,46
g_7	half normal	Sonnenreflexion	-	-
g_8	half normal	Seestate	-	-

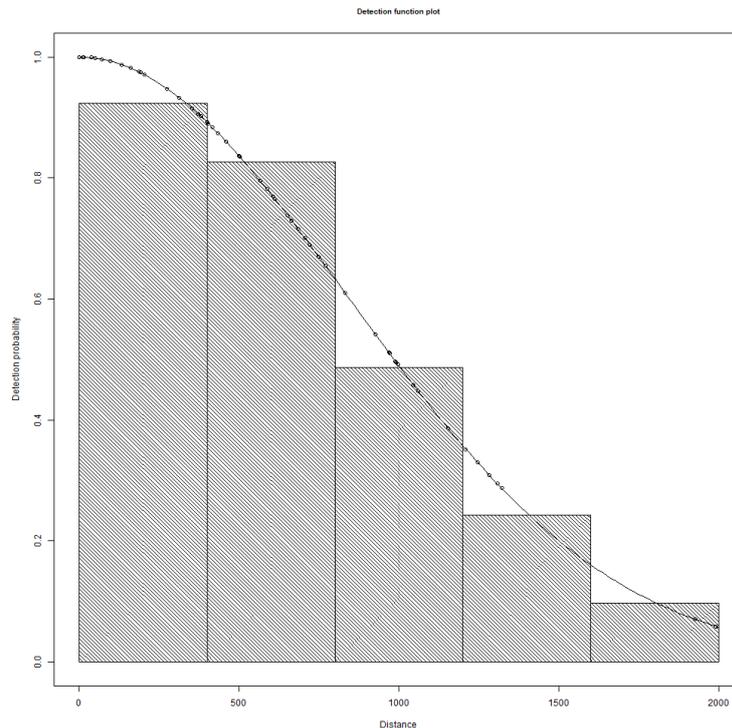


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine *right truncation* bei 2000 m vorgenommen.

Als bestes Modell für Zwergwale wurde eine "half normal" Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen (g_1) identifiziert. Nur die Modelle unter Einbeziehung der Kovariablen "Subjektive Sichtungsbedingung" (g_2) und "Eisbedeckung" (g_4) konvergierten (Tabelle 5). Für andere Kovariablen war die Stichprobe zu gering, um alle Stufen der Kovariablen statistisch sinnvoll zu erfassen. Abbildung 12 zeigt die Detektionsfunktion für Zwergwale basierend auf 35 Sichtungen. Durch eine *right truncation* bei 800 m wurden 4 der ursprünglich 39 Sichtungen jenseits dieser Distanz als Ausreißer von der Analyse ausgeschlossen, um die Güte der Modellierung zu wahren. Der Cramér-von Mises Test zur Einschätzung der Güte der Detektionsfunktion zeigte, dass die Funktion nicht signifikant vom Erwartungswert abwich ($P = 0,06$). Die *esw* wurde entsprechend der Detektionsfunktion auf 467 m berechnet.

Tabelle 5: Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für Zwergwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Als bestes Modell wurde g_1 identifiziert, eine half-normal Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariable = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariable, AIC = Akaike Information Criterion, ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC. Modelle ohne AIC Werte konvergierten nicht.

Model	Key	Kovariable	AIC	ΔAIC
g_1	half normal	-	355,39	0,00
g_2	half normal	Subjektive Sichtungsbedingung	360,50	5,11
g_3	half normal	Wolkenbedeckung	-	-
g_4	half normal	Eisbedeckung	361,10	5,71
g_5	half normal	Sichtungsauslöser	-	-
g_6	half normal	Beobachter	-	-
g_7	half normal	Sonnenreflexion	-	-
g_8	half normal	Seastate	-	-

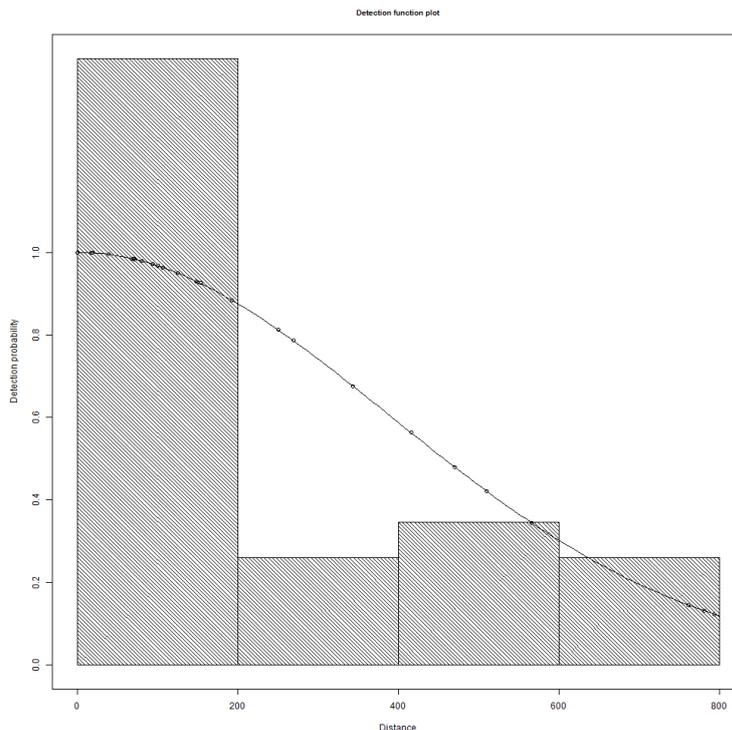


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Detektionsfunktion für Zwergwale im Rahmen des Krähennestsurveys. Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine *right truncation* bei 800 m vorgenommen.

Mittels der angepassten Detektionsfunktion konnten art- bzw. gruppenspezifische Dichten für jedes Stratum ermittelt werden. Neben einer Dichte für Großwale allgemein, wurden artspezifisch die lokalen Dichten von Buckelwalen in jedem Stratum ermittelt, indem die Detektionsfunktion für Großwale auf die Buckelwalsichtungen angewendet wurde. Da zur Ermittlung einer eigenen Detektionsfunktion für Buckelwale zu wenige Sichtungen vorlagen, wurden die Buckelwaldichten basierend auf der Detektionsfunktion für alle Großwale ermittelt.

Es ist davon auszugehen, dass die Detektionsfunktionen für die verschiedenen Großwalarten vergleichbar sind. Die ermittelten *Encounter rates* und Dichten für Großwale insgesamt sind in Tabelle 6, für Buckelwale in Tabelle 7, für Antarktische Zwergwale in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 6: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Großwale insgesamt in jedem Stratum, basierend auf den Krähennestsurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0135	0,0079	58,75%	0,0225	0,0122	54,12%	0,008 - 0,0636
NM	0,0018	0,0012	69,75%	0,0009	0,0006	70,54%	0,0002 - 0,0031
WS	0,0210	0,0211	100%	0,0102	0,0103	100%	0,0015 - 0,0673
AAS	0,1566	0,0134	08,56%	0,1519	0,0311	20,47%	0,0915 - 0,2522
WAP	0,0752	0,0377	50,11%	0,0496	0,0248	50,06%	0,0185 - 0,1332

Tabelle 7: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Buckelwale in jedem Stratum, basierend auf der Detektionsfunktion für Großwale des Krähennestsurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0076	0,0074	96,79%	0,0078	0,0076	97,36%	0,0015 - 0,0416
NM	0	0	0%	0	0	0%	0 - 0
WS	0	0	0%	0	0	0%	0 - 0
AAS	0,1305	0,0395	30,24%	0,1392	0,0446	32,01%	0,0572 - 0,3387
WAP	0,0602	0,0322	53,55%	0,0409	0,0228	55,84%	0,0137 - 0,1214

Tabelle 8: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Zwergwale in jedem Stratum, basierend auf den Krähennestsurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0059	0,0049	83,34%	0,0063	0,0053	84,20%	0,0014 - 0,0284
NM	0,0140	0,0032	23,10%	0,0197	0,0069	34,75%	0,01 - 0,039
WS	0,0158	0,0089	56,70%	0,0281	0,0192	68,35%	0,007 - 0,1128
AAS	0,0261	0,0079	30,24%	0,0559	0,0182	32,53%	0,0232 - 0,1347
WAP	0	0	0%	0	0	0%	0 - 0

Die höchste Großwaldichte lag im Stratum AAS vor, gefolgt von den Strata WAP und SA. In den Strata NM und WS waren keine Großwale anzutreffen und die Dichten und *Encounter rates* waren entsprechend niedrig. Buckelwale stellten den Hauptanteil der Großwalsichtungen dar und spiegelten das gleiche Verteilungsmuster über die Strata wider. Die höchsten Zwergwaldichten lagen in den Strata AAS, WS und NM vor. Im Stratum WAP wurden keine

Zwergwale im Rahmen des Krähennestsurveys registriert, im Stratum SA war die Dichte nur sehr gering. Typischerweise für einen Survey von marinen Säugern sind die mit den Dichteschätzungen assoziierten Standardfehler und Variationskoeffizienten hoch und die Konfidenzintervalle breit.

3.1.2 Helikoptersurvey

Die Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 deckten 28 273 km über eine Gesamtflugzeit von 232 h im Beobachtungsmodus ("on effort") ab. Dabei wurden 268 Sichtungen mit 753 Walen aufgenommen (Tabelle 9). Abbildung 13 gibt einen Überblick über die geografische Verteilung des Aufwands (Effort) und zeigt die abgeflogenen Helikopterstrecken. Der meiste Aufwand (d.h. die meisten abgeflogenen Kilometer) entfiel auf die Strata SA und NM, da nur diese während beider Expeditionen beprobt wurden. Doch auch in den Strata WS und WAP konnte ein ähnlich hoher Aufwand während nur einer Expedition (ANT27-2) erzielt werden. Insgesamt wurden Sichtungen von 14 verschiedenen Walarten erfasst (Tabelle 11). Buckelwale stellten die am häufigsten gesichtete Art mit 98 Sichtungen und 215 gesichteten Individuen dar, gefolgt von Antarktischen Zwergwalen mit 63 Sichtungen mit insgesamt 86 Tieren. Finnwale (*Balaenoptera physalus*) wurden in 22 Sichtungen mit insgesamt 57 Individuen aufgenommen. Alle anderen Arten wurden vergleichsweise selten gesichtet. 45 Sichtungen konnten nicht auf Artniveau bestimmt werden. Trotz der Anwendung des "closing mode" konnten nicht alle Sichtungen identifiziert werden, da aus Zeitgründen nicht jede Sichtung genauer inspiziert werden konnte, besonders solche in sehr großer Entfernung. Zusätzlich tauchten Tiere teilweise ab, bevor sie näher identifiziert werden konnten.

Tabelle 9: Darstellung des Suchaufwands sowie der Zahl der erfassten Sichtungen und Individuen während beider durchgeführten Helikoptersurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2.

Expedition	Effort (km)	Sichtungen	Individuen
ANT25-2	13 417	115	383
ANT27-2	14 856	153	370
Gesamt	28 273	268	753

Tabelle 10: Verteilung des Aufwands im Rahmen der Helikoptersurveys beider Expeditionen auf die einzelnen Strata.

Stratum	ANT25-2 Effort (km)	ANT27-2 Effort (km)	Gesamt Effort (km)
SA	7 985	2 265	10 250
NM	5 432	1 962	7 394
WS	0	4 542	4 542
AAS	0	119	119
WAP	0	5 968	5 968
Gesamt	13 417	14 856	28 273

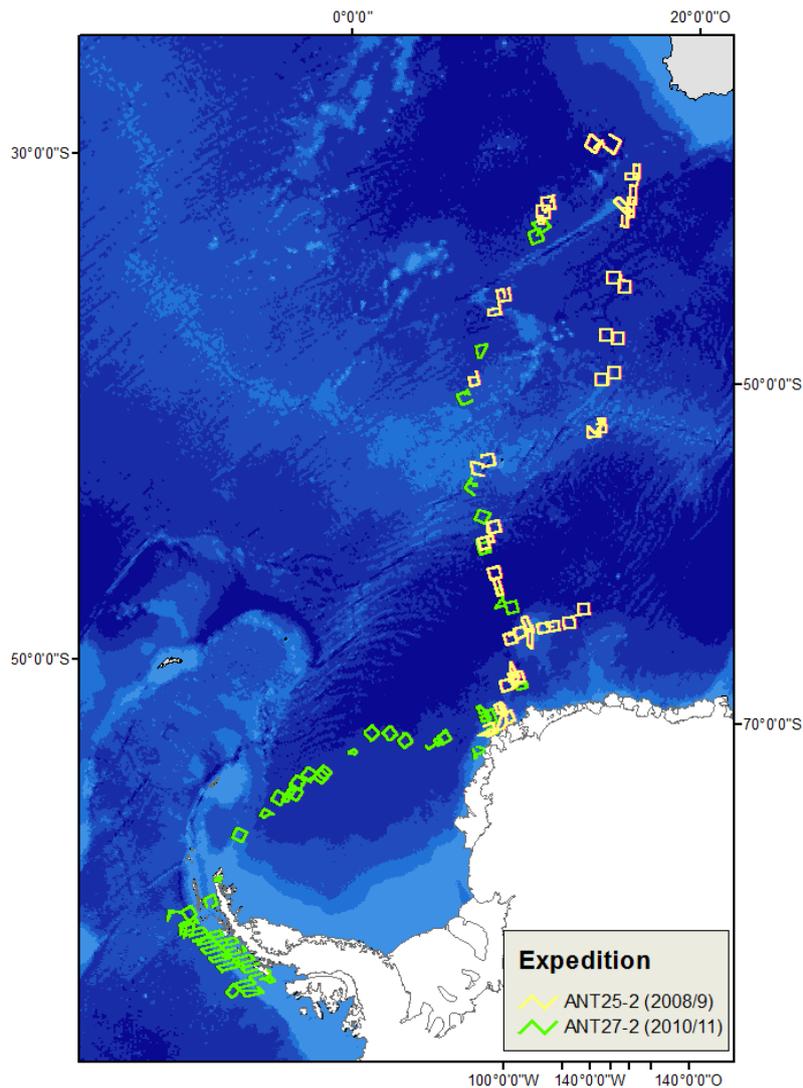


Abbildung 13: Darstellung aller durchgeführten Helikopterflüge während beider Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2.

Auf Abbildung 14 bis Abbildung 17 ist die Verteilung der Sichtungen im Untersuchungsgebiet für beide Expeditionen gemeinsam dargestellt. Während in den Strata SA und WAP eine Vielzahl an Arten und viele Großwale gesichtet wurden, waren in den Strata NM und WS ausschließlich Zwergwale (*Balaenoptera bonarensis* / *B. acutorostrata*) und Schwertwale (*Orcinus orca*) nachweisbar. Das Stratum WAP wies besonders hohe Zahlen an Buckelwalen auf. Im südlichen Teil des Stratums SA wurden in der Nähe der Insel Bouvet mehrere "Hotspots" mit besonders vielen Sichtungen von Buckel- und Finnwalen verzeichnet, an einem "Hotspot" auch vermehrt Zwergwale (Abbildung 15). Als weitere besondere Sichtung ist ein Blauwal (*Balaenoptera musculus*) im Stratum WAP hervorzuheben.

Tabelle 11: Erfasste Walarten während beider durchgeführten Helikoptersurveys auf den Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 mit Sichtungs- und Individuenzahl.

Walart	ANT25-2		ANT27-2		Gesamt	
	Sichtungen	Individuen	Sichtungen	Individuen	Sichtungen	Individuen
Antarktischer Zwergwal (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>)	23	27	40	59	63	86
Zwergwal (<i>Balaenoptera acutorostrata</i>)	-	-	1	2	1	2
Zwergwal oder Antarktischer Zwergwal	-	-	1	6	1	6
Blauwal (<i>Balaenoptera musculus</i>)	-	-	1	1	1	1
Finnwal (<i>Balaenoptera physalus</i>)	16	49	5	8	21	57
Seiwal (<i>Balaenoptera borealis</i>)	2	5	4	31	6	36
Buckelwal (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	40	103	58	112	98	215
Südlicher Glattwal (<i>Eubalaena australis</i>)	1	2	-	-	1	2
Pottwal (<i>Physeter macrocephalus</i>)	6	15	-	-	6	15
Schwertwal (<i>Orcinus orca</i>)	2	5	4	64	6	69
Rauhzahndelfin (<i>Steno bredanensis</i>)	3	143			3	143
Stundenglasdelfin (<i>Lagenorhynchus cruciger</i>)	-	-	1	3	1	3
Langflossen-Grindwal (<i>Globicephalus melas</i>)	-	-	1	13	1	13
Südlicher Entenwal (<i>Hyperoodon planifrons</i>)	3	7	8	13	11	20
Layard-Wal (<i>Mesoplodon layardii</i>)	1	3	2	13	3	16
Unidentifizierter Großwal	13	19	20	30	33	49
Unidentifizierter Kleinwal	1	1	-	-	1	1
Unidentifizierter Delfin	-	-	1	4	1	4
Unidentifizierter Schnabelwal	-	-	4	9	4	9
Wahrscheinlich Zwergwal	1	1	2	2	3	3
Kleinwal oder Robbe	3	3	-	-	3	3
Gesamt	115	383	153	370	268	753

Erhebung und Auswertung von Daten zum Vorkommen, zu Verteilung und Abundanzen von Meeressäugern in der Antarktis

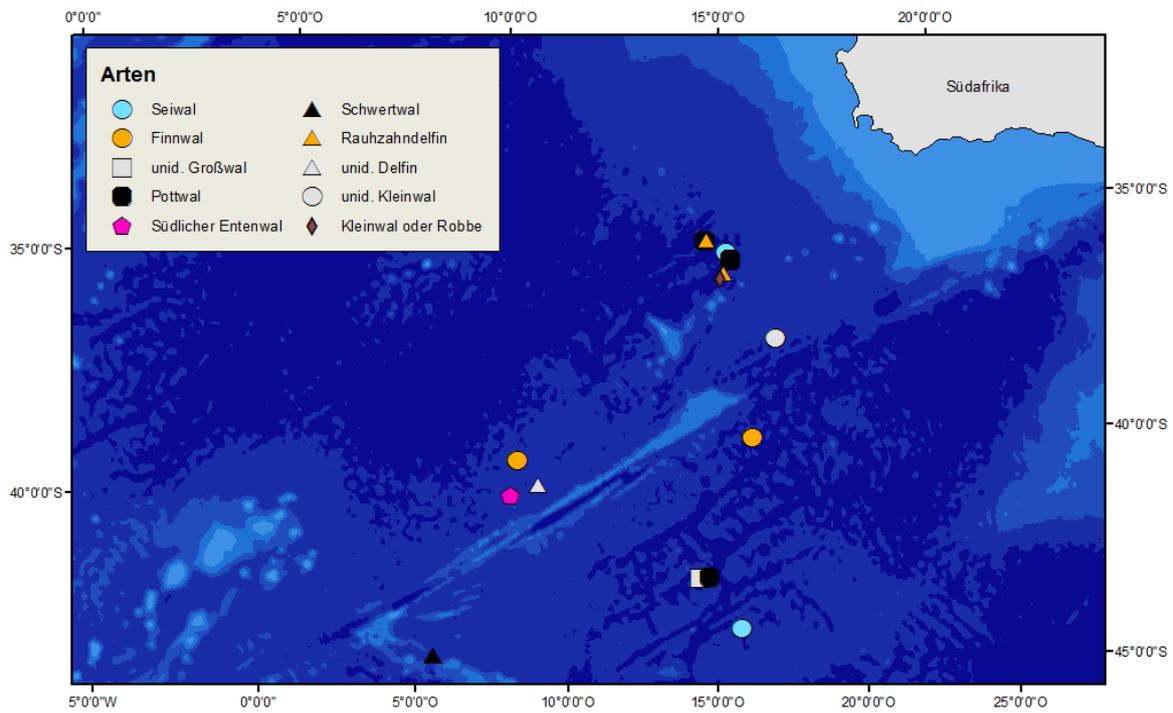


Abbildung 14: Geografische Positionen aller im nördlichen Teil des Stratum SA zwischen Südafrika und 45°S im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

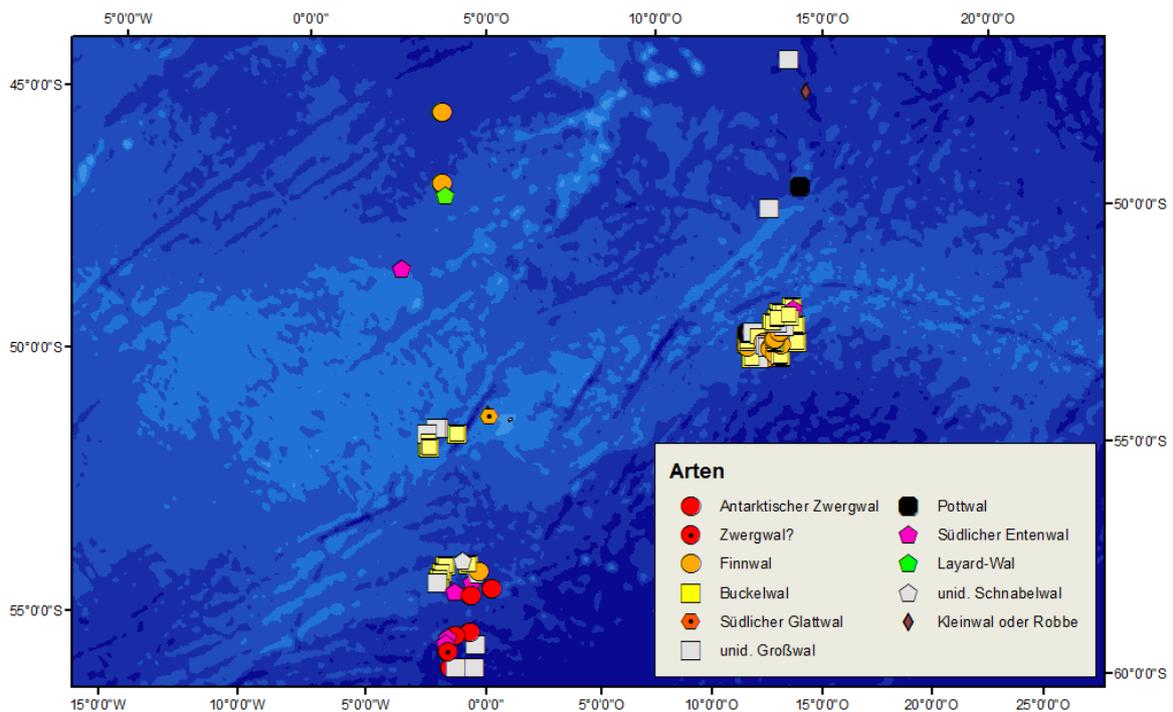


Abbildung 15: Geografische Positionen aller im südlichen Teil des Stratum SA, zwischen 45°S und 60°S im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

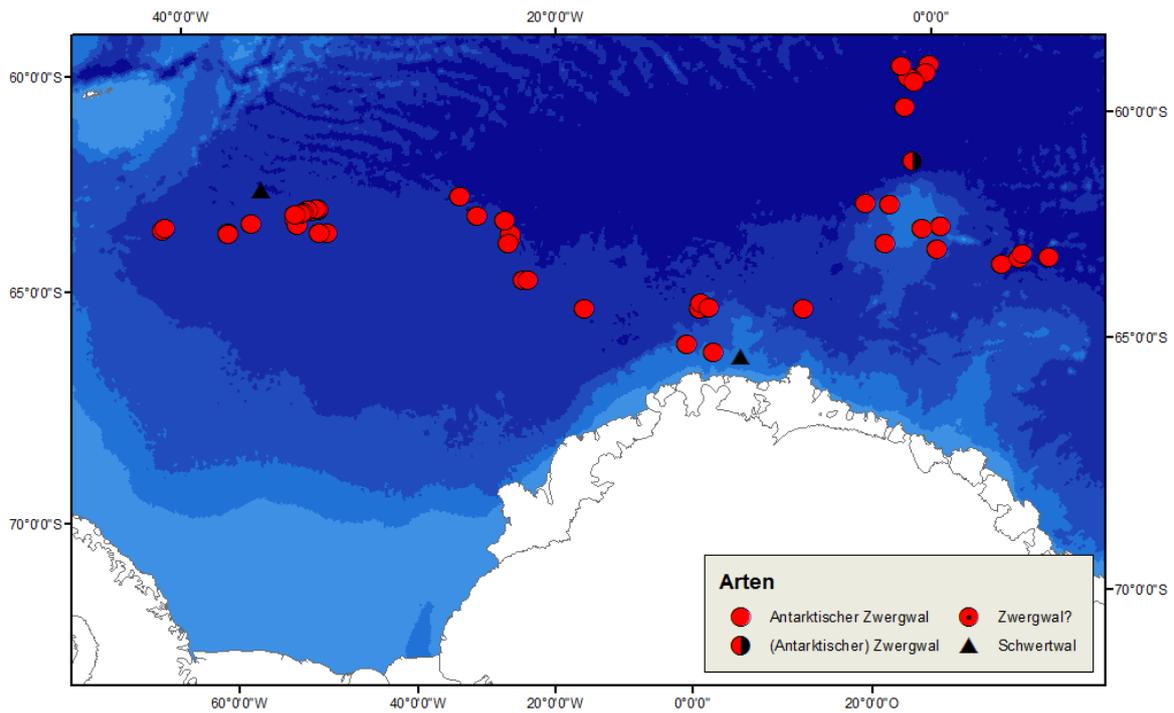


Abbildung 16: Geografische Positionen aller in den Strata NM und WS im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Sichtungen.

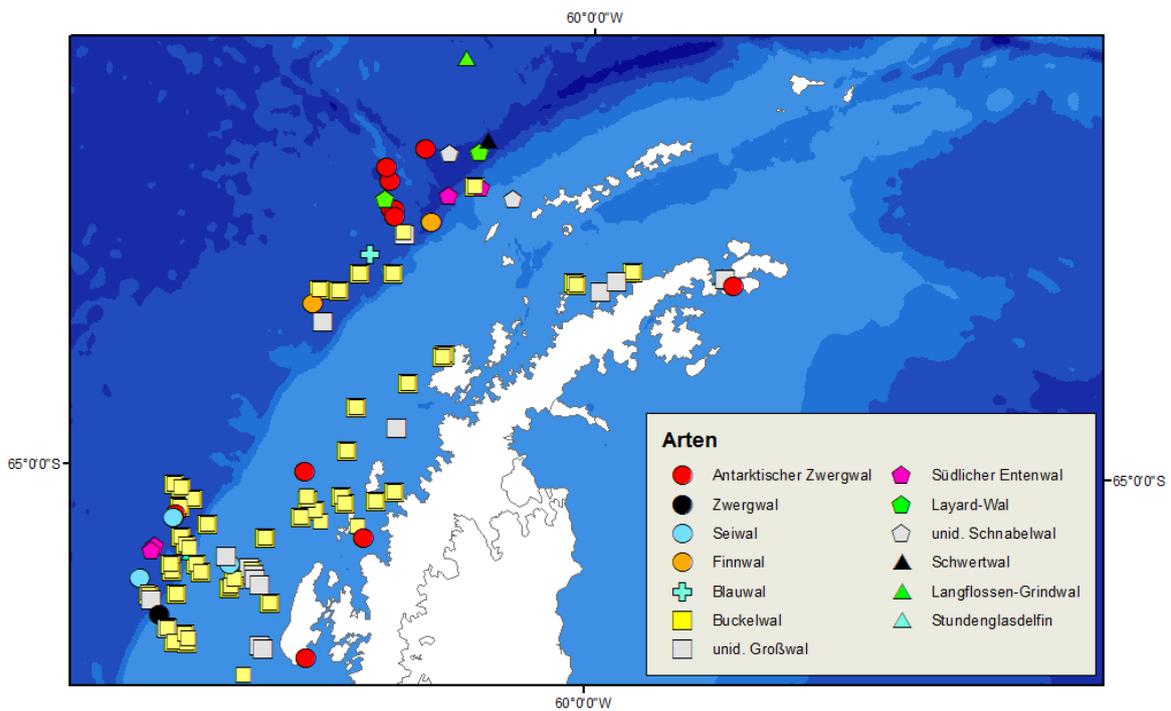


Abbildung 17: Geografische Positionen aller in den Strata AAS und WAP im Rahmen der Helikoptersurveys während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 aufgenommenen Walsichtungen.

3.1.2.1 Distance Auswertung

Für die Modellierung der Detektionsfunktion wurden nur die Sichtungen der linken Seite (linker Beobachter und Frontbeobachter) herangezogen, da nur der linke Streifen komplett

beobachtet werden konnte (s.o.). Dadurch reduzierte sich die Gesamtzahl der Sichtungungen auf 178 Sichtungungen, die der Modellierung der Detektionsfunktion zugrunde gelegt werden konnten. Da es einer ausreichend hohen Sichtungszahl ($n - 40$) bedarf, um eine Detektionsfunktion modellieren zu können, konnte nicht für jede gesichtete Art einzeln eine Detektionsfunktion angepasst werden. Aus diesem Grund wurde, wie schon im Rahmen der Auswertungen der Krähennestdaten, eine gemeinsame Detektionsfunktion für alle gesichteten Großwale und eine gesonderte Detektionsfunktion für Zwergwale (Antarktische und Nördliche Zwergwale, Sichtungungen die "Zwergwalartig" waren sowie unbestimmte Zwergwale) ermittelt, da diese ein wesentlich unauffälligeres Verhalten aufweisen und kleiner sind. Für die kleineren gesichteten Zahnwalarten lagen, wie schon während des Krähennestsurveys, nicht ausreichend Sichtungungen zur Modellierung einer Detektionsfunktion vor. Die Auswahl des jeweils besten Modells basierte auch hier auf dem niedrigsten AIC Wert.

Als bestes Modell für die Großwale stellte sich eine "half normal" (halb normale) Funktion heraus. Die Detektionsfunktion schloss keine weiteren Kovariablen ein, da das Modell mit "Distanz zur Transektlinie" als einziger Variablen (Grundmodell beim *Distance Sampling*) die besten Resultate erzielte (g_2 , Tabelle 12). Abbildung 18 zeigt eine grafische Darstellung der Detektionsfunktion für alle Großwale. Sie basiert auf insgesamt 83 Sichtigungen, wobei eine *right truncation* bei 2 000 m vorgenommen wurde. Dadurch wurden 4 Sichtigungen jenseits dieser Distanz von der Analyse ausgeschlossen, um die Güte der Modellierung zu wahren. Der Cramér-von Mises Test zur Einschätzung der Güte der Detektionsfunktion zeigte, dass die Funktion nicht signifikant vom Erwartungswert abwich ($P = 0,16$; gleichförmig gewichtet). Die *esw* wurde entsprechend der Detektionsfunktion auf 818 m bemessen.

Tabelle 12: Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen der Helikoptersurveys. Als bestes Modell wurde g_2 identifiziert, eine half-normal Funktion ohne Einbeziehung weiterer Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariable = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariable, AIC = *Akaike Information Criterion*, ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC.

Model	Key	Kovariable	AIC	ΔAIC
g_1	hazard rate	-	1199,99	3,50
g_2	half normal	-	1196,48	0,00
g_3	half normal	Subjektive Sichtungsbedingung	1197,36	0,88
g_4	half normal	Wolkenbedeckung	1197,96	1,48
g_5	half normal	Eisbedeckung	1198,16	1,68
g_6	half normal	Sichtungsauslöser	1199,19	2,70
g_7	half normal	Beobachter	1199,36	2,88
g_8	half normal	Sonnenreflexion	1199,64	3,15
g_9	half normal	Seastate	1201,86	5,37

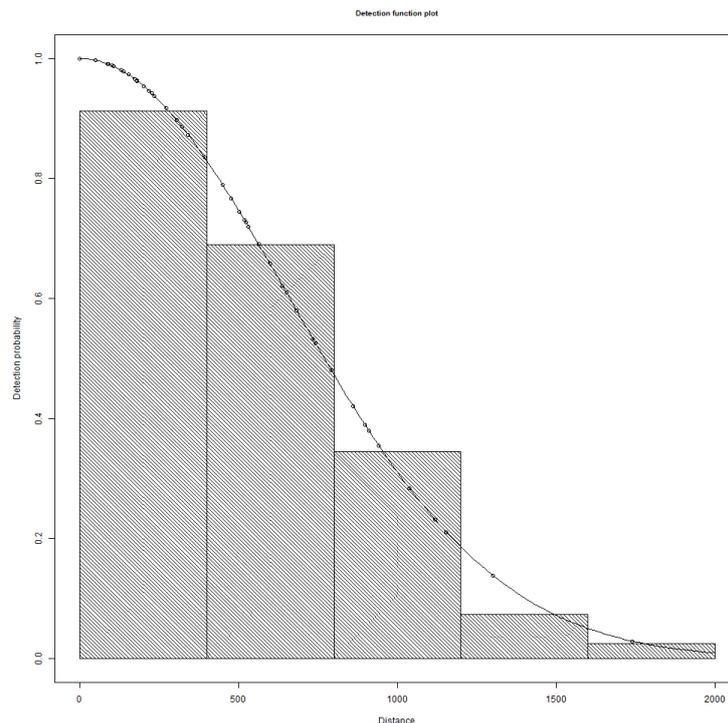


Abbildung 18: Grafische Darstellung der Detektionsfunktion für alle Großwale im Rahmen der Helikoptersurveys. Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine *right truncation* bei 2 000 m vorgenommen.

Als bestes Modell für Zwergwale wurde eine "half normal" Funktion unter Einbeziehung des Seastates als Kovariablen (g_9) identifiziert. Keines der Modelle konvergierte unter Einbeziehung der Kovariablen Wolkenbedeckung (g_4), Eisbedeckung (g_5) oder Beobachter (g_6 , Tabelle 13). Dies ist darauf zurückzuführen, dass angesichts der geringen Sichtungszahl die Stufen der Kovariablen nicht statistisch sinnvoll ausgewertet werden konnten. Abbildung 19 zeigt die Detektionsfunktion für Zwergwale, wobei eine *right truncation* bei 1 000 m vorgenommen wurde, die 6 Sichtungen jenseits dieser Distanz von der Analyse ausschloss, um die Güte der Modellierung zu wahren. Der Cramér-von Mises Test zur Einschätzung der Güte der Detektionsfunktion zeigte, dass die Funktion nicht signifikant vom Erwartungswert abwich ($P = 0,74$). Die *esw* wurde entsprechend der Detektionsfunktion auf 453 m bemessen.

Tabelle 13: Darstellung aller getesteten Funktionsmodelle und der korrespondierenden AIC Werte zur Modellierung der Detektionsfunktion für alle Zwergwale im Rahmen der Helikoptersurveys. Als bestes Modell wurde g_9 identifiziert, eine half-normal Funktion unter Einbeziehung des Seastates als Kovariablen. Key = die der Detektionsfunktion zugrunde liegende Verteilung, Kovariable = die in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendete Kovariable, AIC = Akaike Information Criterion, ΔAIC = Differenz im AIC zu dem niedrigsten AIC.

Modell	Key	Kovariable	AIC	ΔAIC
g_1	hazard rate	-	437,98	4,63
g_2	half normal	-	437,48	4,13
g_3	half normal	Subjektive Sichtungsbedingung	438,80	5,45
g_4	half normal	Wolkenbedeckung	-	-
g_5	half normal	Eisbedeckung	-	-
g_6	half normal	Sichtungsauslöser	439,17	5,82
g_7	half normal	Beobachter	-	-
g_8	half normal	Sonnenreflexion	439,54	6,19
g_9	half normal	Seastate	433,35	0,00

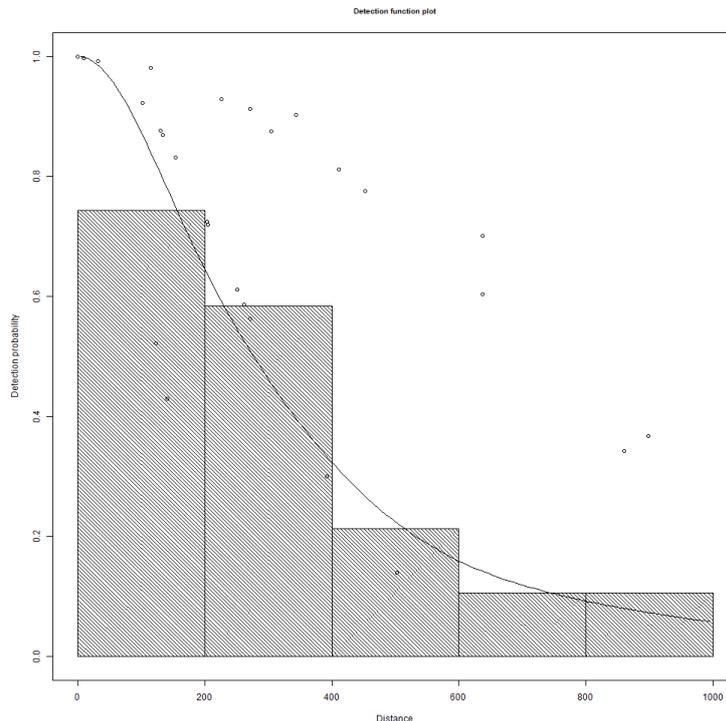


Abbildung 19: Grafische Darstellung der Detektionsfunktion der Helikoptersurveys für alle Zwergwale im Mittel (durchgezogene Linie) und für die einzelnen Stufen der verwendeten Kovariablen "Seastate" (Punkte). Aufgetragen sind die Detektionswahrscheinlichkeit gegen die Distanzen (in m), als weiteres Element ist ein skaliertes Histogramm der Beobachtungen in einzelnen Distanzklassen angegeben, anhand derer die Detektionsfunktion getestet wird. Es wurde eine *right truncation* bei 1000 m vorgenommen.

Mittels der angepassten Detektionsfunktion konnten art- bzw. gruppenspezifische Dichten für jedes Stratum ermittelt werden. Die Detektionsfunktion für Großwale wurde zusätzlich auf die

Buckel- und Finnwalsichtungen angewendet, um artspezifische Dichten zu erhalten. Von den anderen Großwalarten lagen nicht ausreichend Sichtungen für diesen Vorgang vor. Die *Encounter rates* und die lokalen Dichten für Großwale, Finn- und Buckelwale sind in Tabelle 14 bis Tabelle 16, für Zwergwale in Tabelle 17 dargestellt. Dabei stellen die *Encounter rates* die Gesamtzahl aller Sichtungen beider Beobachterseiten pro Strecke dar. Die Dichten hingegen beziehen sich auf die *esw* und basieren auf der ermittelten Detektionsfunktion, welche ausschließlich auf den Sichtungen der linken Seite basiert. Die *Encounter rates* ermöglichen so einen intuitiven Vergleich mit Studien, die keine Dichteberechnungen präsentieren, während die im Rahmen dieses Projekts ermittelten Dichten eine um die Fläche und die Sichtungswahrscheinlichkeit korrigierte Größe darstellen. Die höchste Großwaldichte wurde für das Stratum WAP ermittelt, mit 0,0149 Tieren/km² [95% Konfidenzintervall: 0,0094 – 0,0237], gefolgt von Stratum SA mit 0,0134 Tieren/km² [0,0071 – 0,0252]. In den Strata NM und WS wurden keine Großwale erfasst. Die Buckelwaldichten lagen sehr nah an den Großwaldichten, Finnwale wurden in deutlich geringeren Dichten angetroffen. Die Zwergwaldichte war mit 0,0265 Tieren/km² [0,0023 – 0,2997] am höchsten in den Strata AAS und WS (0,0115 Tiere/km² [0,0048 – 0,0275]), am geringsten in Stratum SA (0,0007 Tiere/km² [0,0002 – 0,0027]).

Tabelle 14: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Großwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE= Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI= 95% Konfidenzintervall.

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0077	0,0019	25,23%	0,0134	0,0044	32,97%	0,0071 - 0,0252
NM	0	0	0%	0	0	0%	0
WS	0	0	0%	0	0	0%	0
AAS	0,0084	0,0080	94,95%	0,0103	0,0098	95,35%	0,0011 - 0,0945
WAP	0,0116	0,0021	18,30%	0,0149	0,0035	23,51%	0,0094 - 0,0237

Tabelle 15: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Buckelwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0041	0,0012	28,26%	0,0076	0,0027	34,76%	0,0039 - 0,0149
NM	0	0	0%	0	0	0%	0
WS	0	0	0%	0	0	0%	0
AAS	0	0	0%	0	0	0%	0
WAP	0,0084	0,0016	19,35%	0,0119	0,0031	25,78%	0,0072 - 0,0196

Tabelle 16: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Finnwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0018	0,0007	40,77%	0,0037	0,0020	55,27%	0,0013 - 0,0102
NM	0	0	0%	0	0	0%	0
WS	0	0	0%	0	0	0%	0
AAS	0	0	0%	0	0	0%	0
WAP	0,0003	0,0002	69,00%	0,0006	0,0006	99,45%	0,0001 - 0,0032

Tabelle 17: Auflistung der ermittelten *Encounter rates* (Sichtungen/km) und lokalen Dichten (Individuen/km²) für Zwergwale in jedem Stratum basierend auf den Helikoptersurveys. SE = Standardfehler, CV = Variationskoeffizient, CI = 95% Konfidenzintervall.

Region	Encounter rate [Sicht./km]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{SE}	Dichte _{CV}	Dichte _{CI}
SA	0,0006	0,0003	46,52%	0,0007	0,0005	74,20%	0,0002 - 0,0027
NM	0,0030	0,0007	21,97%	0,0029	0,0012	41,34%	0,0013 - 0,0064
WS	0,0053	0,0015	28,01%	0,0115	0,0053	46,09%	0,0048 - 0,0275
AAS	0,0084	0,0092	109,01%	0,0265	0,0294	110,78%	0,0023 - 0,2997
WAP	0,0017	0,0006	33,19%	0,0097	0,0073	75,73%	0,0025 - 0,0369

Für das Stratum WAP wurde eine ausreichend repräsentative Abdeckung eines a posteriori definierten Surveygebiets im Rahmen der Helikoptersurveys erreicht (Abbildung 20), die eine Abundanzschätzung für Finn-, Buckel-, Großwale allgemein und Zwergwale erlaubte. Die berechneten Abundanzwerte für das 322 303 km² große Stratum WAP sind in Tabelle 18 dargestellt.

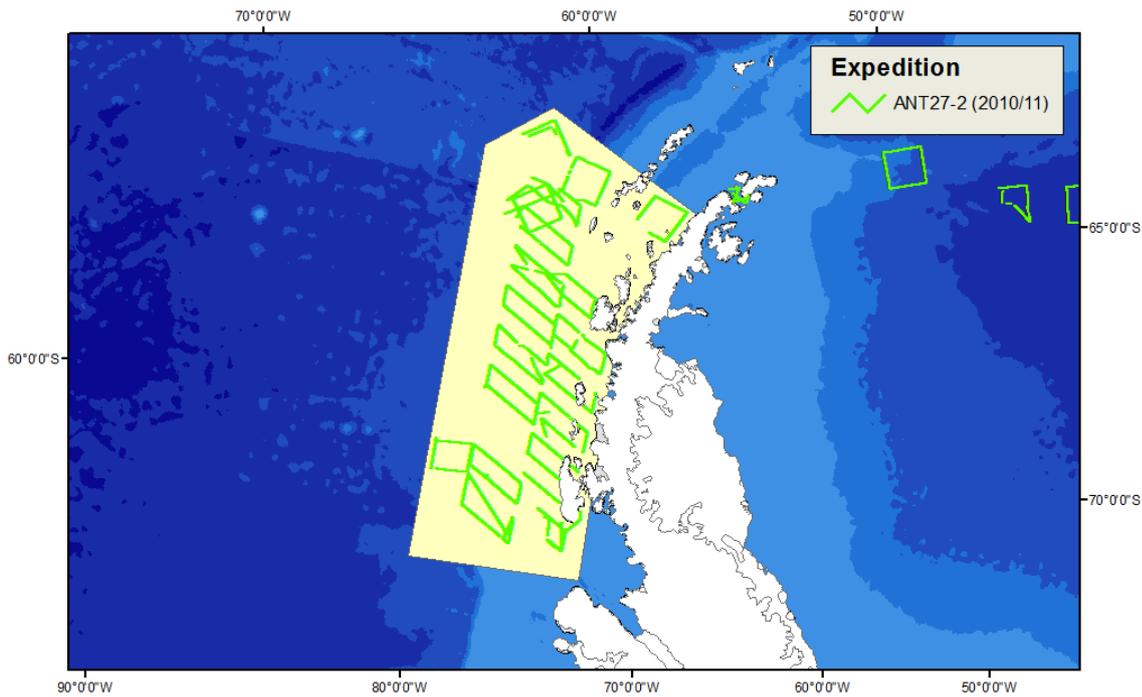


Abbildung 20: Darstellung des Stratums WAP und dessen Abdeckung im Rahmen des Helikoptersurveys auf der Polarsternexpedition ANT27-2. Für dieses Stratum wurden Abundanz für Großwale, Buckel-, Finn- und Zwergwale abgeschätzt.

Während die abgeschätzten Zahlen für Buckel- und Zwergwale ähnlich hoch sind, ist das mit der Zwergwalabundanz assoziierte Konfidenzintervall wesentlich größer als das der Buckelwale. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Sichtungsdistanzen der Buckelwale im Stratum WAP gleichmäßiger verteilt waren, als dies bei den Zwergwalen der Fall war (siehe auch Abbildung 18 im Vergleich zu Abbildung 19). Die dadurch entstandene Varianz beeinflusst direkt die Güte der Detektionsfunktion, welche bei Zwergwalen zu einem vergleichsweise hohen Variationskoeffizienten von 75,73% im Stratum WAP führt (im Gegensatz zu einem vergleichsweise niedrigen Variationskoeffizienten von 25,78% bei Buckelwalen). Die Schätzung der Buckelwalabundanz ist damit als robuster anzusehen.

Tabelle 18: Abundanz von Großwalen allgemein, Buckel-, Finn- und Zwergwalen im WAP Stratum (322 303 km²), basierend auf den ermittelten Dichten aus den Daten der Helikoptersurveys. Die Werte sind auf die nächste Ganzzahl gerundet. CI = 95% Konfidenzintervall.

Art	Abundanz	Abundanz _{CI}
Großwale	4959	3128 - 7887
Buckelwale	3960	2396 - 6523
Finnwale	200	33 - 1065
Zwergwale	3228	832 - 12280

3.1.3 Tracking

Die Anforderungen an die Sichtungsbedingungen zur erfolgreichen Durchführung des *Trackings* sind hoch. *Tracking*-Beobachtungen können nur bei sehr guten Bedingungen unternommen werden. Zu hoher Seegang oder die durch das Eisbrechen verursachte

Bewegung des Schiffes können es unmöglich machen, die Big Eyes ruhig genug zu halten, um die Wasseroberfläche bei entsprechend starker Vergrößerung kontinuierlich zu beobachten. Nur an 7 Surveytagen waren solche Bedingungen gegeben. An diesen Tagen konnten 19 Walgruppen aus vier verschiedenen Arten erfolgreich *getrackt* werden. In Tabelle 19 sind alle erfolgreichen *Tracks*, d.h. alle *Tracks* mit mindestens einer Wiedersichtung, dargestellt. Abbildung 21 stellt diese *Tracks* grafisch dar.

Tabelle 19: Auflistung aller *Tracks* mit mindestens zwei Sichtungen der gleichen Gruppe. Angegeben sind der Zeitpunkt und die geografische Position (lat = latitude/geografische Breite; lon = longitude/geografische Länge) der ersten Sichtung, die Art, die Gruppengröße und die Anzahl der erfassten Sichtungen für jeden *Track*.

Survey	Datum/Zeit	lat	lon	Art	Gruppen - größe	Anzahl Sichtungen
ANT25-2	08/12/2008 05:04:13	-39,5291	11,0802	Seiwal	1	2
ANT25-2	12/12/2008 05:43:03	-57,6809	0,5794	Zwergwal	1	6
ANT25-2	12/12/2008 05:57:03	-57,7325	0,5463	Zwergwal	1	5
ANT25-2	12/12/2008 09:57:57	-58,2089	0,3467	Zwergwal	1	4
ANT25-2	13/12/2008 15:17:53	-61,4102	-0,0500	Zwergwal	1	2
ANT25-2	29/12/2008 12:56:47	-53,2918	13,5928	Buckelwal	2	6
ANT25-2	29/12/2008 13:02:37	-53,2769	13,5971	Buckelwal	2	8
ANT25-2	29/12/2008 13:27:27	-53,2137	13,6151	Buckelwal	4	4
ANT25-2	30/12/2008 10:22:27	-50,8050	14,2867	Schwertwal	1	13
ANT27-2	20/01/2011 16:43:00	-66,3239	-68,4598	Buckelwal	1	2
ANT27-2	20/01/2011 16:47:36	-66,3328	-68,4836	Buckelwal	1	2
ANT27-2	20/01/2011 17:04:02	-66,3642	-68,5677	Buckelwal	2	5
ANT27-2	20/01/2011 17:04:42	-66,3654	-68,5710	Buckelwal	k. A.	5
ANT27-2	20/01/2011 17:14:46	-66,3846	-68,6216	Unid. Großwal	1	3
ANT27-2	20/01/2011 17:31:07	-66,4152	-68,7036	Buckelwal	1	2
ANT27-2	20/01/2011 17:31:40	-66,4162	-68,7063	Buckelwal	1	2
ANT27-2	20/01/2011 17:39:44	-66,4312	-68,7476	Buckelwal	2	23
ANT27-2	20/01/2011 18:30:49	-66,5280	-69,0070	Buckelwal	1	22

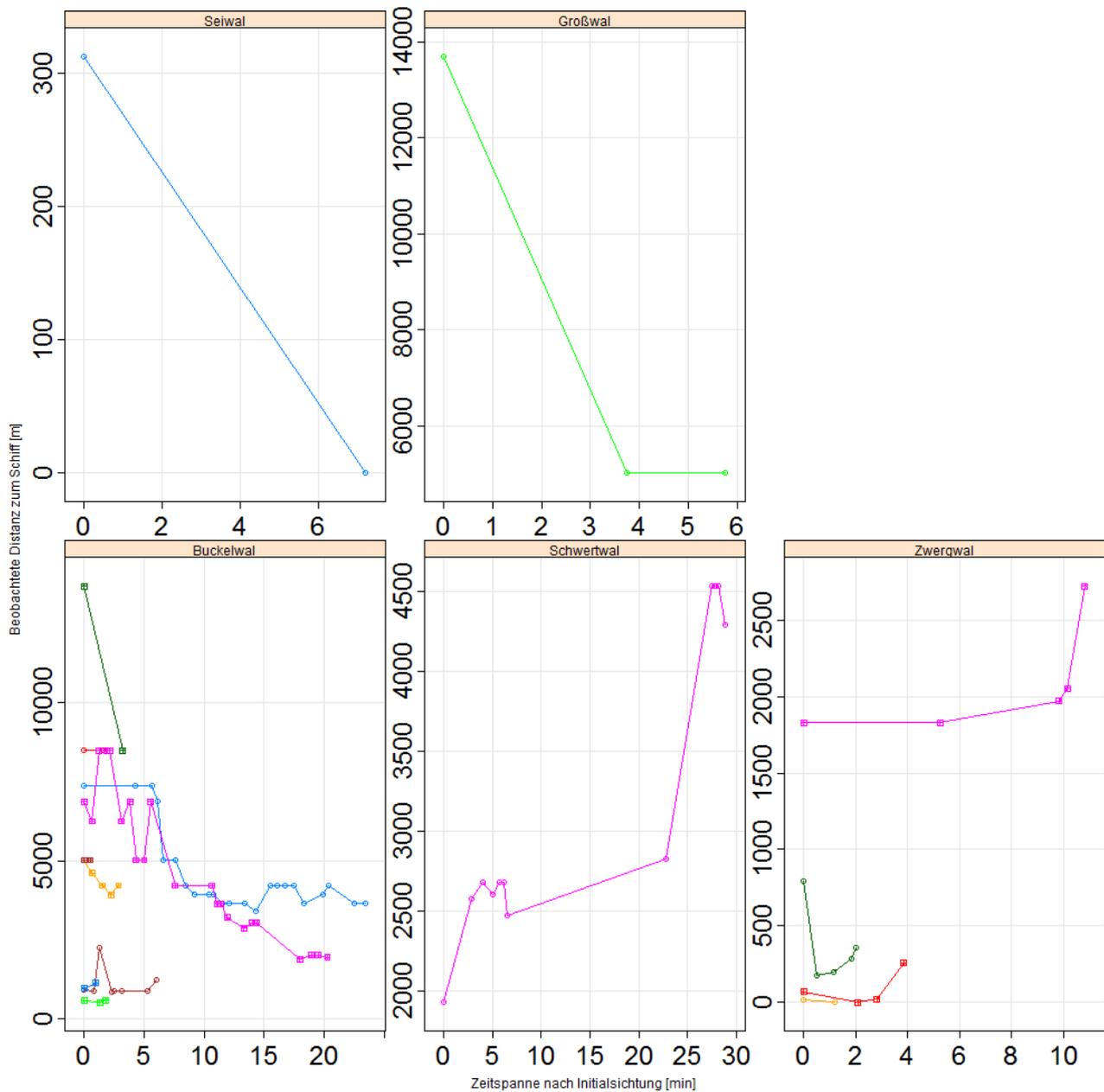


Abbildung 21: Grafische Darstellung aller *Tracks* getrennt nach Arten: Seiwal, unidentifizierter Großwal, Buckelwal, Schwertwal und Zwergwal. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf der absoluten Distanz zum Schiff der jeweiligen Individuen für jede Spezies. Jeder Punkt markiert dabei eine aufgenommene Sichtung (beginnend mit der Initialsichtung), die Linie stellt den interpolierten Weg des Individuums zwischen zwei aufeinander folgenden Sichtungen dar.

Aufgrund der geringen Stichprobengröße konnte die Analyse mittels eines GAMM nur für Zwergwale (4 *Tracks*) und Buckelwale (11 *Tracks*) vorgenommen werden, da für alle anderen Walarten keine ausreichende Anzahl an *Tracks* vorlag. Um die unterschiedlichen Distanzen der *Tracks* zum Schiff zu vereinheitlichen, wurde die Distanz zum Schiff, in der ein Tier zu Beginn einer *Track*aufzeichnung gesichtet wurde, als Initialdistanz definiert (im Folgenden definiert als Initialsichtung).

Die räumlichen Darstellungen der *Tracks* weisen auf ein Annäherungsverhalten der Buckelwale in Richtung auf das Schiff (Abbildung 22). Die Modellierung unterstreicht eine klare allmähliche Annäherung der Buckelwale an das Schiff (Abbildung 23). Als relevant

identifizierte das "Mixed Effect Model" (vergl. Kapitel 2.1.1.4) der Buckelwale lediglich die Zeit, die seit der Initialsichtung vergangen war ($p < 0,001$). Das "Überschießen" der Initialdistanz im Moment der Initialsichtung ist als Artefakt des Modells zu werten und beeinflusst nicht dessen Aussage (Abbildung 23).

Im Gegensatz dazu scheint die Bewegung der Zwergwale zufällig zu sein. Sowohl die einfache Darstellung des Verhaltens der Zwergwale (Abbildung 22) als auch deren Modellierung (Abbildung 24) zeigen keine erkennbaren Muster in der Distanz zum Schiff im Verlauf über die Zeit. Es bleibt allerdings zu bedenken, dass die Analyse insgesamt auf einer kleinen Stichprobe basiert. Der Untersuchung des Buckelwalverhaltens liegen elf *Tracks* zugrunde, der des Zwergwalverhaltens lediglich vier. Des Weiteren ist anzumerken, dass die Robustheit des Modells für Zwergwale 650 s nach der Initialsichtung zusammenbricht (siehe Abb. 24) und jenseits dieser Zeitspanne keine aussagekräftigen Vorhersagen mehr zulässt.

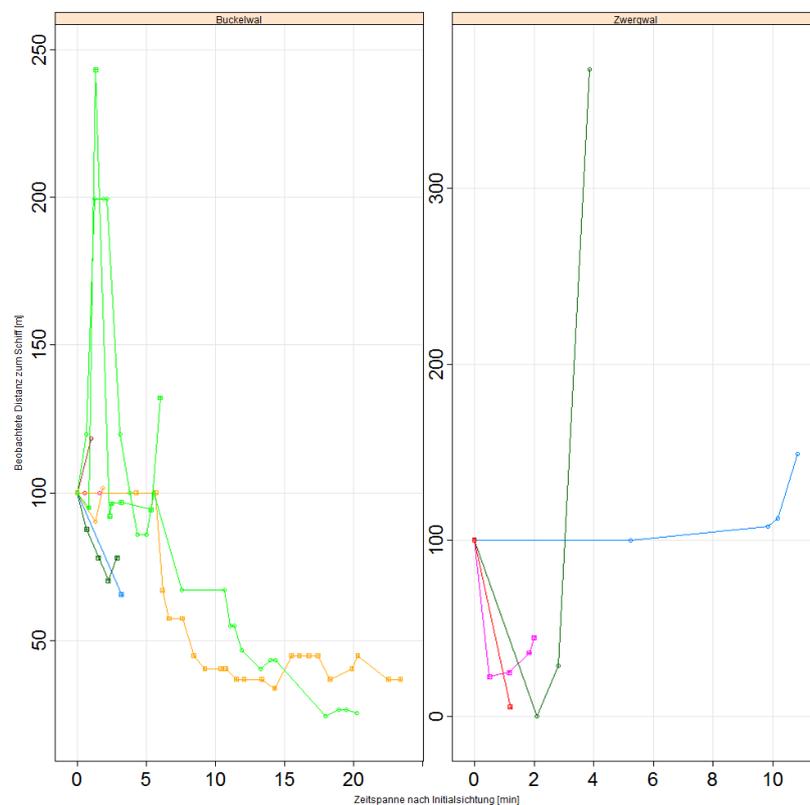


Abbildung 22: Darstellung aller Buckelwal- und Zwergwaltracks. Die Distanz jeder Wiedersichtung ist relativ zur Distanz der Initialsichtung dargestellt. Die Initialsichtung wird mit einer relativen Distanz von 100% angenommen. Eine Wiedersichtung mit einer Distanz von > 100% entspricht einer weiteren Entfernung vom Schiff, eine relative Distanz von < 100% hingegen einer Annäherung.

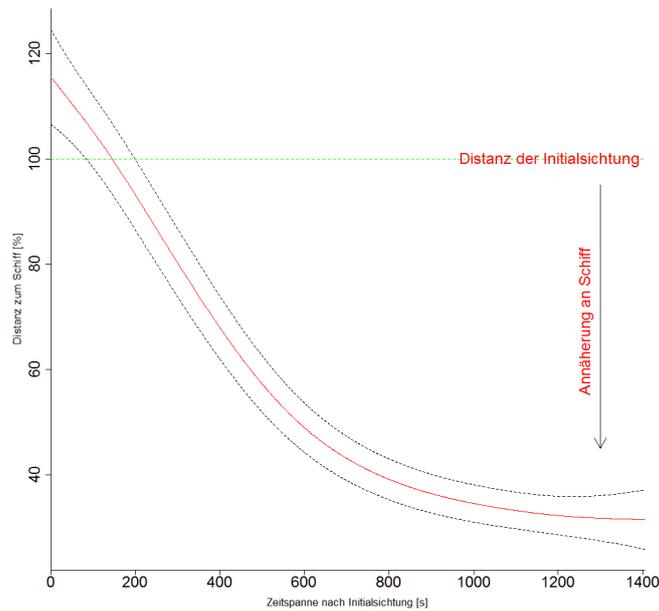


Abbildung 23: Modellierung des Verhaltens von Buckelwalen gegenüber dem Schiff mittels eines GAMM. Aufgetragen ist die vorhergesagte Änderung der Distanz eines Buckelwals zum Schiff relativ zur Initialdistanz der Sichtung. Dabei bedeutet die Verringerung der Relativedistanz zum Schiff eine Annäherung an das Schiff. Die Fehlerbreite ist durch gestrichelte schwarze Linien angegeben und basiert auf der errechneten Varianz der Sichtungsdistanzen sowie der Varianz zwischen den einzelnen *Tracking*-Ereignissen individueller Buckelwale (als Mixed Effect Model).

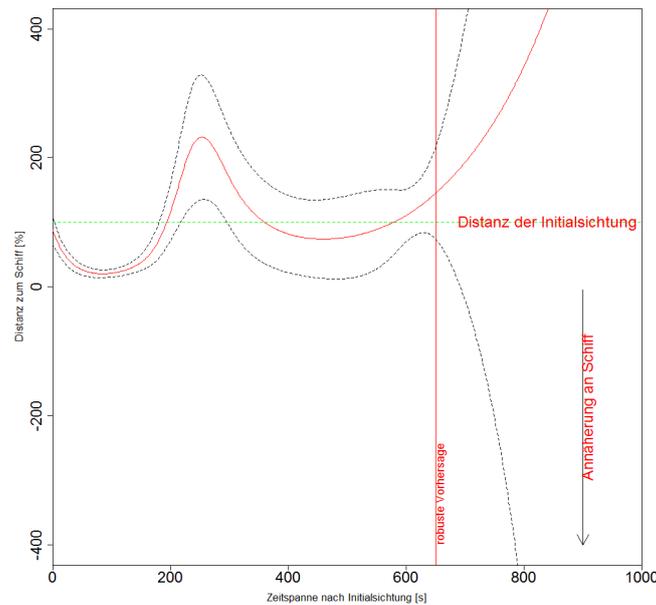


Abbildung 24: Modellierung des Verhaltens von Zwergwalen gegenüber dem Schiff mittels eines GAMM. Aufgetragen ist die vorhergesagte Änderung der Distanz eines Zwergwals zum Schiff relativ zur Initialdistanz der Sichtung. Dabei bedeutet die Verringerung der Relativedistanz zum Schiff eine Annäherung an das Schiff. Die Fehlerbreite ist durch gestrichelte schwarze Linien angegeben und basiert auf der errechneten Varianz der Sichtungsdistanzen sowie der Varianz zwischen den einzelnen *Tracking*-Ereignissen individueller Zwergwale (als Mixed Effect Model). Robustheit ist nur bis zu etwa 650 s nach der Initialsichtung gegeben, danach kollabiert das Modell aufgrund der geringen Stichprobengröße.

3.1.4 Diskussion der Ergebnisse und ihr Beitrag zum Wissenstand zu Vorkommen, Verbreitung und Abundanz von Walen in der Antarktis

Die Ergebnisse der *Distance Sampling* Surveys zeigen eine heterogene Verteilung von Walarten in der Antarktis. Die eisreichen Gewässer des Weddellmeeres werden von Zwergwalen dominiert, während in den eisfreieren Gewässern westlich der Antarktischen Halbinsel eine wesentlich größere Artenvielfalt anzutreffen ist und viele Großwale, insbesondere Buckelwale, vorkommen.

Die ermittelten Dichten stellen Basisdaten dar, die zum Vergleich mit späteren Erfassungen herangezogen sowie zum relativen Vergleich zwischen Strata genutzt werden können. Es liegen hierzu für Großwale allgemein (Pottwale, unidentifizierte Großwale sowie alle Bartenwale mit Ausnahme der Zwergwale), Buckelwale und Antarktische Zwergwale robuste Minimalschätzungen der Dichte für jedes Stratum vor (Zusammenfassung der Ergebnisse in Tabelle 20 bis Tabelle 22).

Tabelle 20: Ergebnisse der "Line transect" Distance Sampling Methode bezogen auf alle Großwale (Pottwale, unidentifizierte Großwale sowie alle Bartenwale mit Ausnahme der Zwergwale); CV = Variationskoeffizient

Schiff					Helikopter			
Region	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{CV}	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{CV}
SA	0,0135	58,75	0,0225	54,12	0,0077	25,23	0,0134	32,97
NM	0,0018	69,75	0,0009	70,54	0,0000	0	0	0
WS	0,0210	100,21	0,0102	100,75	0,0000	0	0	0
AAS	0,1566	8,56	0,1519	20,47	0,0084	94,95	0,0103	95,35
WAP	0,0752	50,11	0,0496	50,06	0,0116	18,30	0,0149	23,51

Tabelle 21: Ergebnisse der "Line transect" Distance Sampling Methode bezogen auf Buckelwale; CV = Variationskoeffizient

Schiff					Helikopter			
Region	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{CV}	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{CV}
SA	0,0076	96,79	0,0078	97,36	0,0041	28,26	0,0076	34,76
NM	0,0000	0	0	0	0,0000	0	0	0
WS	0,0000	0	0	0	0,0000	0	0	0
AAS	0,1305	30,24	0,1392	32,01	0,0000	0	0	0
WAP	0,0602	53,55	0,0409	55,84	0,0084	19,35	0,0119	25,78

Tabelle 22: Ergebnisse der "Line transect" Distance Sampling Methode bezogen auf alle Zwergwale; CV = Variationskoeffizient

Schiff					Helikopter			
Region	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{CV}	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{CV}	Dichte [Tiere/km ²]	Dichte _{CV}
SA	0,0059	83,34	0,0063	8,42	0,0006	46,52	0,0007	7,42
NM	0,0140	23,10	0,0197	34,75	0,0030	21,97	0,0029	41,34
WS	0,0158	56,70	0,0281	68,35	0,0053	28,01	0,0115	46,09
AAS	0,0261	30,24	0,0559	32,53	0,0084	109,01	0,0265	110,78
WAP	0	0	0	0	0,0017	33,19	0,0097	75,73

Die *Encounter rates* des Krähenneestsurveys steigen in allen drei Gruppen in Richtung Süden und Westen (SA, NM, WS, AAS, WAP) und sind zumeist im Stratum AAS am höchsten. Einzig die Buckelwale fehlen gänzlich in den Strata NM und WS. Die *Encounter rates* des Helikoptersurveys deuten einen ähnlichen Trend an, jedoch wurden keine Buckelwale in den Strata NM, WS oder AAS erfasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwar bezogen auf die *Encounter rates* der subjektive Eindruck einer Buckelwaldominanz auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel bestätigt wird (vergl. Abbildung 10 und Abbildung 17). Die wesentlich schmalere Streifenbreite, die den Zwergwalsichtungen zu Grunde gelegt werden muss, relativiert diesen Unterschied bei der Betrachtung der Dichten jedoch, die danach ähnlich hoch und statistisch nicht voneinander zu trennen sind (Tabelle 20 bis Tabelle 22).

Um zu beurteilen, welchen Beitrag die Ergebnisse zum derzeitigen Wissensstand zum Vorkommen und der Verteilung von Walen in der Antarktis leisten, lohnt sich ein Blick auf andere Studien. Die meisten Schiffssurveys folgen einer Vielzahl unterschiedlicher Erfassungsmethoden. Publierte Daten zu Waldichten entstammen zumeist Surveys, die auf Streifentransekten basieren (häufig im Rahmen einer Seevogelerfassung, z.B. Joiris 1991, Ainley et al. 2007). Der dadurch zugrunde gelegte Flächenbezug entspricht nicht dem empirisch ermittelten des *Distance Samplings* und die hierauf basierenden Dichten sind nicht ohne Einschränkungen mit den hier ermittelten vergleichbar. Die im Rahmen des Krähenestsurveys ermittelten *esws* für Großwale (1 044 m) und Zwergwale (466 m) unterscheiden sich in ihrer Breite deutlich und legen nahe, dass ein einheitlich zugrunde gelegter Flächenbezug (wie z.B. von 800 m bei Ainley et al. 2007) nicht allen Arten gerecht wird. Kasamatsu et al. (2000) ermittelten mit Streifentransekten Zwergwaldichten in der Bellingshausen und Amundsen See von 0,003 – 0,15 Tieren/km², wobei der Erfassungsbereich nicht eingegrenzt war und bis zum Horizont reichte. Die Erfassungen im Rahmen des vorliegenden Projekts in vergleichbaren Strata ergaben Dichten von 0,0281 [95% CI: 0,0070 - 0,1128] im Weddellmeer (Stratum WS) und 0,0197 [0,0100 - 0,0390] Tiere/km² in Stratum NM. Damit liegen die Ergebnisse am unteren Spektrum der von Kasamatsu et al. (2000) ermittelten Werte.

Fast unmittelbar vergleichbar sind im Fall der Schiffserfassungen die *Encounter rates* verschiedener Surveys. Hierbei muss beachtet werden, dass teilweise nur zu einer, teilweise zu beiden Seiten des Schiffes beobachtet wird und entsprechend auch eine unterschiedliche Anzahl Beobachter im Einsatz sind, was sich auf die Zahl der Detektionen auswirkt. Deshalb bietet es sich zum Vergleich an, die *Encounter rates* zweiseitiger Beobachtungen (so auch der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten) zu halbieren, um eine Vergleichsbasis zu haben (siehe Tabelle 23). Vergleichsdaten für *Encounter rates* verschiedener Erfassungen in der Antarktis stehen nur für Antarktische Zwergwale zur Verfügung.

Tabelle 23: Halbierte *Encounter rates* für Zwergwale aus den Krähenestsurveys der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 zum Vergleich mit anderen, einseitig durchgeführten Walerfassungen.

Region	Encounter rate [Sicht./km ²]	Encounter rate _{SE}	Encounter rate _{CV}
SA	0,0030	0,0025	41,67
NM	0,0070	0,0016	11,55
WS	0,0079	0,0045	28,35
AAS	0,0131	0,0040	15,12
WAP	0	0	0

Ainley et al. (1985) ermittelten für die Amundsen und Bellingshausen See eine *Encounter rate* von 0,0241 Sichtungen/km², Ainley et al. (2007) für das gleiche Gebiet 0,0114 Sichtungen/km². Diese Gebiete liegen südlich des WAP Stratum, in dem keine Zwergwale vom Schiff aus erfasst wurden (Tabelle 23).

Für einen Vergleich des Helikoptersurveys mit den Ergebnissen anderer Erfassungen finden sich in der Literatur nur wenige Werte, die vergleichbar sind. Gutt et al. (2009) stellten, basierend auf der gleichen Erfassungsmethodik, im Weddellmeer Dichten Antarktischer Zwergwale im Bereich des Larsen Schelfeises zwischen $0,007 - 0,073$ Tiere/ km^2 fest. Die hier ausgewerteten Helikoptersurveys ergaben im Weddellmeer Dichten, die sich mit dem unteren Bereich dieser Schätzungen decken ($0,0115$ Tiere/ km^2 [$0,0048 - 0,0275$]). Kelly et al. (2009) führten flugzeuggestützte Zwergwalerfassungen in der Ostantarktis durch und kamen zu Dichten von $0,02$ Tieren/ km^2 , was den vorliegenden Ergebnissen ebenfalls sehr ähnlich ist.

Die im Rahmen dieses Projekts ermittelten Dichten basieren auf einer empirisch aus den erhobenen Daten ermittelten Flächengrundlage. Für die abgedeckten Gebiete geben sie um Aufwand und Detektionswahrscheinlichkeit korrigierte Tierdichten an. Sie bieten damit eine robustere Datengrundlage als *Encounter rates*, denen die Flächenkorrektur und Korrektur um eine a priori unbekannt und wahrscheinlich von Kovariablen beeinflusste Detektionswahrscheinlichkeit fehlt. Ebenfalls sind sie verlässlicher als Daten aus Streifentransekterfassungen, denen eine vorab festgelegte Fläche zu Grunde gelegt wird und die somit ebenfalls die Detektionswahrscheinlichkeit nicht berücksichtigten (siehe zum Beispiel Ainley et al. 2007). Ebenso wie Schätzungen basierend auf reinen *Encounter rates* oder Streifentransekten, ist die hier bestimmte Dichte begrenzt auf die tatsächlich abgesuchte Fläche (d.h. eine lokale Dichte). Für Aussagen zu Dichten und daraus abgeleiteten Abundanz für ein definiertes Untersuchungsgebiet muss entweder ein vorab geplanter Survey durchgeführt werden, der das entsprechende Gebiet repräsentativ und gebietsweit mit Transektlinien abdeckt, oder auf Modellierungsverfahren zurückgegriffen werden (zum Beispiel Forney 1995, Hedley & Buckland 2004).

Des Weiteren sind die ermittelten Dichten und Abundanz als Minimalschätzungen zu betrachten, da keine Korrektur für (a) untergetauchte und somit "nicht verfügbare" Tiere (sog. "availability bias", Marsh & Sinclair 1989), sowie (b) vom Beobachter auf der Transektlinie übersehene Tiere (sog. "perception bias") vorgenommen werden konnte (vergl. Buckland et al 2001) und man davon ausgehen muss, dass $g(0) < 1$ ist (vergl. Kapitel 2.1.1.1). Eine $g(0)$ Korrektur ermöglichen nur Surveys mit doppelter Plattform, d.h., dass der gleiche Beobachtungsabschnitt von zwei Beobachtern unabhängig voneinander abgesehen wird. Dafür werden zwei hintereinander liegende, visuell und akustisch voneinander getrennte Beobachtungsplattformen (im Fall des Helikoptersurveys z.B. zwei Sitzreihen oder zwei hintereinander fliegende Helikopter) benötigt, um den Anteil der übersehenen Tiere bestimmen zu können. Dies war im Rahmen der durchgeführten Surveys logistisch nicht möglich. Trotz dieser Einschränkungen dienen die im Rahmen dieses Projekts ermittelten Dichten als ein verlässliches Maß zum Vergleich von Walvorkommen zwischen den Strata, für das Stratum WAP können die abgeschätzten Werte als robuste Minimalabundanz angenommen werden.

Die Analyse des *Trackings* lieferte erste Hinweise darauf, dass das Schiff als Beobachtungsplattform einen Einfluss auf die Sichtungsrates hat und die Zahl der gesichteten Tiere nicht unabhängig von der Anwesenheit des Schiffes sein könnte. Hierbei lagen artspezifische Unterschiede vor, so dass man keine allgemeine Aussage über die Wirkung des Schiffes treffen kann. Im Fall der Buckelwale scheint es eine Tendenz zur Annäherung der Tiere an das Schiff zu geben, wodurch es zu einer erhöhten Sichtungsrates und damit einer Überschätzung der Dichte kommen kann. Im Fall der Zwergwale war kein eindeutiges Verhaltensmuster erkennbar, weder eine Annäherung noch eine Entfernung der Tiere als Reaktion auf das Schiff. Allerdings war die Stichprobe für Zwergwale beim *Tracking* sehr gering. Ainley et al. (2007) beschreiben ein Fluchtverhalten von Zwergwalen gegenüber dem

Schiff in offenem Wasser sowie in Wasser mit geringer Eisbedeckung, basierend auf den subjektiven Eindrücken der Beobachter. Im tieferen Packeis hingegen stellten sie ein Ausbleiben dieser Reaktion der Tiere fest. Die geringe Stichprobenzahl ließ leider keine getrennte Analyse für Beobachtungen in verschiedenen Eisbedeckungen zu. Möglicherweise führt diese Abhängigkeit von der Eisbedeckung aber zu den nicht eindeutig zu interpretierenden Ergebnissen hinsichtlich des Verhaltens der Zwergwale. Eine eingehendere Untersuchung dieses Zusammenhangs ist für die Zukunft wünschenswert, allerdings gestaltet sich das *Tracking* bei schweren Eisbedingungen als sehr schwierig. Daher ist zu bezweifeln, ob eine repräsentative Analyse des Verhaltens von Zwergwalen über alle Eisbedeckungsgrade mittels *Tracking* möglich wäre.

3.1.5 Zusammenfassung

Mittels Helikopter- und Krähenneestsurveys nach der "Line-transect" *Distance Sampling* Methode wurden lokale Waldichten für fünf verschiedene Strata in antarktischen Gewässern ermittelt. Zusätzlich zu lokalen Dichten für die Gruppe Großwale (Pottwale, unidentifizierte Großwale, sowie alle Bartenwale mit Ausnahme der Zwergwale) konnten artspezifische Dichten für Buckel-, Finn- und Antarktische Zwergwale abgeschätzt werden. Hohe Großwaldichten lagen auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel (Stratum WAP) und im Antarktischen Sund vor (Stratum AAS), Zwergwale traten im Weddellmeer (Stratum WS) in erhöhten Dichten auf. Auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel (Stratum WAP) ließ eine im Rahmen des Helikoptersurveys erreichte repräsentative Abdeckung eines Teilgebiets die Abschätzung von Minimalabundanzen für die drei oben genannten Arten zu. Für dieses Gebiet von einer Fläche von 322 303 km² Größe wurden Abundanzen von 3 960 [95% Konfidenzintervall: 2 396 – 6 523] Buckelwalen, 200 [33 – 1 065] Finnwalen sowie 3 228 [832 – 12 280] Zwergwalen ermittelt.

Tracking-Beobachtungen führten zu ersten Erkenntnissen über das Verhalten von Buckel- und Zwergwalen gegenüber dem FS Polarstern: Buckelwale wiesen eine Tendenz zur Annäherung an das Schiff auf, während das Verhalten der Zwergwale erratischer schien und sich nicht eindeutig einer gerichteten Bewegung zuweisen ließ. Verhaltensreaktionen der Tiere auf das Schiff verletzen eine zentrale Annahme ("no responsive movement") des "Line-transect" *Distance Samplings* (Buckland et al. 2001) und können zu Über- oder Unterschätzung der Dichten führen. Hierin kann, zusätzlich zu den unterschiedlichen Surveygeschwindigkeiten während der Helikopter- und Krähenneestsurveys, eine Erklärung für die beobachteten Unterschiede in der Dichte liegen.

3.2 Vergleich unterschiedlicher Sichtungsmethoden

3.2.1 Krähennest vs. Helikopter

Der Krähenneestsurvey und der Helikoptersurvey wurden beide nach der Methode des "Line-transect" *Distance Sampling* durchgeführt und kamen dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der *Encounter rates* und Dichten für die einzelnen Walarten (Tabelle 6 - 8, und 14 - 17). Insgesamt liegen die Werte der Krähenneesterfassungen höher als die der Helikoptersurveys, weisen jedoch auch höhere Standardfehler auf. Höhere *Encounter rates* im Rahmen von Schiffssurveys im Vergleich zu Flugsurveys sind bekannt (Dawson et al. 2008). Durch die wesentlich geringere Fahrtgeschwindigkeit während der Schiffssurveys im Vergleich zu den Flugsurveys haben die Wale mehr Zeit, innerhalb des Beobachtungsfeldes aufzutauchen und von den Beobachtern erfasst zu werden (Dawson et al. 2008, Kelly et al. 2012). Dadurch werden auf dem vergleichsweise langsamer abgesehenen Streckenabschnitt im Rahmen eines

Schiffssurveys mehr Wale erfasst als während eines Flugsurveys. Schiffssurveys erzielen somit höhere *Encounter rates*. Allerdings berücksichtigen *Encounter rates* nicht die abgesuchte Fläche, sondern beziehen sich nur auf die abgesuchte Strecke (Kilometerzahl), unabhängig von einer Streifenbreite und den vorherrschenden Sichtungsbedingungen. So wäre es theoretisch möglich, dass sich eine wesentlich höhere Sichtungszahl gleichzeitig auf einen wesentlich breiteren erfassten Streifen bezieht und die jeweils ermittelten Dichten tatsächlich näher beieinander lägen. Die *Distance Sampling* Analysen ergaben für Großwale Unterschiede in der effektiven Streifenbreite (*esw*) zwischen den Erfassungsmethoden, wonach vom Helikopter mit 818 m ein schmalerer Streifen effektiv erfasst wurde als vom Schiff, bei dem die *esw* bei 1 031 m entsprach. Insgesamt sind die Dichteschätzungen mit relativ großen Konfidenzintervallen assoziiert. Zum Vergleich zweier Dichten auf statistisch signifikante Unterschiede wird im Kontext der *Distance Sampling* Methode ein Vergleich mittels z-Test empfohlen (Buckland et al. 2001). Der z-Test überprüft anhand der Konfidenzintervalle zweier Werte die Hypothese, ob diese nicht der gleichen Grundmenge entstammen und sich somit statistisch voneinander unterscheiden. Für den Test wurde angenommen, dass sowohl die auf Helikoptersichtungen als auch die auf Krähennestsichtungen basierenden Dichten annähernd normalverteilt und die Stichprobenzahl ausreichend hoch war (Buckland et al. 2001). Daraus ergaben sich die in Tabelle 24 bis Tabelle 27 dargestellten Ergebnisse zweiseitiger z-Tests.

Tabelle 24: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Großwal *Encounter rates* pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** = 0,001, ** = 0,01, * = 0,05, . = 0,1).

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	<i>Encounter rate</i> [Sichtung/km]	<i>Encounter rate</i> _{SE}	<i>Encounter rate</i> [Sichtungen/km]	<i>Encounter rate</i> _{SE}	z Score	p-Wert	Signifikanz
SA	0,0135	0,0079	0,0077	0,0019	0,7138	0,4753	
NM	0,0018	0,0012	0	0	1,5	0,1336	
WS	0,0210	0,0211	0	0	0,9953	0,3196	
AAS	0,1566	0,0134	0,0084	0,0080	9,4961	0	***
WAP	0,0752	0,0377	0,0116	0,0021	1,6844	0,0921	.

Tabelle 25: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwal *Encounter rates* pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** = 0,001, ** = 0,01, * = 0,05, . = 0,1).

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	<i>Encounter rate</i> [Sichtungen/km]	<i>Encounter rate</i> _{SE}	<i>Encounter rate</i> [Sichtungen/km]	<i>Encounter rate</i> _{SE}	z Score	p-Wert	Signifikanz
SA	0,0059	0,0049	0,0006	0,0003	1,0796	0,2803	
NM	0,0140	0,0032	0,0030	0,0007	3,3581	0,0008	***
WS	0,0158	0,0089	0,0053	0,0015	1,1634	0,2447	
AAS	0,0261	0,0079	0,0084	0,0092	1,4596	0,1444	
WAP	0	0	0,0017	0,0006	-2,8333	0,0046	**

Tabelle 26: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Großwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** = 0,001, ** = 0,01, * = 0,05, = 0,1).

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	Dichte [Ind./km ²]	Dichte _{SE}	Dichte [Ind./km ²]	Dichte _{SE}	z Score	p-Wert	Signifikanz
SA	0,0225	0,0122	0,0134	0,0044	0,7017	0,4829	
NM	0,0009	0,0006	0	0	1,5	0,1336	
WS	0,0102	0,0103	0	0	0,9903	0,3220	
AAS	0,1519	0,0311	0,0103	0,0098	4,3426	<0,0001	***
WAP	0,0496	0,0248	0,0149	0,0035	1,3855	0,1659	

Tabelle 27: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** = 0,001, ** = 0,01, * = 0,05, = 0,1).

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	Dichte [Ind./km ²]	Dichte _{SE}	Dichte [Ind./km ²]	Dichte _{SE}	z Score	p-Wert	Signifikanz
SA	0,0063	0,0053	0,0007	0,0005	1,0519	0,2928	
NM	0,0197	0,0069	0,0029	0,0012	2,3988	0,0164	*
WS	0,0281	0,0192	0,0115	0,0053	0,8334	0,4046	
AAS	0,0559	0,0182	0,0265	0,0294	0,8503	0,3952	
WAP	0	0	0,0097	0,0073	-1,3288	0,1839	

Signifikante Unterschiede in den durch die verschiedenen Methoden ermittelten *Encounter rates* lagen für Großwale in den Strata AAS und WAP, für Zwergwale in den Strata NM und WAP vor. Signifikante Unterschiede in den durch die verschiedenen Methoden ermittelten Dichten lagen bei Großwalen nur im Stratum AAS und den Zwergwalen im Stratum NM vor.

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die mittels verschiedener Methoden ermittelten *Encounter rates* statistisch nur in wenigen Fällen voneinander unterscheiden und die ermittelten Dichten statistisch nur in Ausnahmefällen voneinander trennbar sind. Der diskutierte Vorteil höherer *Encounter rates* im Rahmen von Schifferfassungen gegenüber Flugerafassungen tritt damit in den Hintergrund.

Gleichzeitig bieten Helikoptererfassungen gegenüber den Krähennesterfassungen den Vorteil, dass bei gleichem Zeitaufwand eine wesentlich größere Strecke abgedeckt und trotz der geringeren *Encounter rate* schneller eine hohe Zahl an Sichtungen erzielt werden kann. Bei 161 h Zeitaufwand über 2 885 km mit einer Gesamtzahl von 105 Sichtungen erfasst das Krähennest 0,65 Sichtungen pro Aufwandsstunde. Der Helikoptersurvey verzeichnet dagegen bei 232 h Zeitaufwand über 28 273 km mit einer Gesamtzahl von 268 Sichtungen 1,16 Sichtungen pro Aufwandsstunde. Da die Auswertung von *Distance Sampling* Daten eine Mindestzahl an Beobachtungen verlangt, ist es wichtig, die Anzahl der Sichtungen,

insbesondere derer nahe der Transektlinie, zu maximieren, die *Encounter rate* ist dabei zweitrangig.

Der bereits mehrfach angesprochene mögliche Einfluss auf die Wale durch die Beobachterpräsenz, im vorliegenden Fall also die Vermeidung bzw. Annäherung der Wale an das Schiff, spielt eventuell eine nicht unwesentliche Rolle bei den qualitativen Unterschieden zwischen den beiden Surveymethoden. Es ist davon auszugehen, dass sich durch die hohe Surveygeschwindigkeit während der Helikoptersurveys keine Beeinträchtigung der beobachteten Dichten durch genannte Effekte wie Vertreibung oder Annäherung einstellen konnte, während der Einfluss dieser nur schwer messbaren Größe während des Krähennestsurveys umso schwerer wiegen könnte, wie die *Tracking*-Beobachtungen andeuten.

Walerfassungen sind nur bei guten Wetterbedingungen sinnvoll durchführbar, da mit schlechterem Wetter die Entdeckungswahrscheinlichkeit stark abnimmt und dadurch die Aussagekraft der Daten (d.h. die Verlässlichkeit der Ergebnisse) erheblich gemindert wird. Gerade in der Antarktis herrschen extreme und häufig wechselnde Wetterbedingungen mit manchmal nur kurzen Zeitfenstern für einen Walsurvey. Die Flugerfassungen bieten die Möglichkeit, diese kleinen Wetterfenster mit geeigneten Erfassungsbedingungen effektiver (in Bezug auf Abdeckung und zurückgelegte Strecke sowie Sichtungszahl) zu nutzen als das bei einer standortgebundenen Erfassung aus dem Krähennest möglich ist.

Die Sicherheit der Artbestimmung im Rahmen der Helikoptersurveys wird durch den "closing mode" gewährleistet und ermöglicht eine Identifikation auch bei weiter entfernten Sichtungen oder schwierig zu identifizierenden Arten, z.B. Schnabelwalen. Daher umfassen die Helikopterdaten Sichtungen von insgesamt 14 verschiedenen Arten, während aus dem Krähennest nur 8 verschiedene Arten aufgezeichnet wurden. Vom Krähennest aus blieben 21% der Sichtungen unidentifiziert (22 von insgesamt 105 Sichtungen), im Rahmen der Helikoptersurveys konnten 16,8% der Sichtungen (45 von insgesamt 268 Sichtungen) nicht bis auf Artniveau identifiziert werden.

Im Vergleich zum standortgebundenen Schiffsurvey ermöglichen Helikoptersurveys ein vom Schiffskurs unabhängiges Surveydesign. So konnte zum Beispiel der Aufenthalt in Stratum WAP dazu genutzt werden, einen systematischen Survey mit repräsentativer Gebietsabdeckung ad hoc zu konzipieren und durchzuführen. Dies ermöglichte, dass Abundanzen für ein 322 303 km² großes Gebiet ermittelt werden konnten. Nur ein Surveydesign, das eine gegebene Fläche ausreichend abdeckt, kann verlässliche Zahlen zur Abundanz einer Art liefern. Im Rahmen des Krähennestsurveys war dies zu keiner Zeit gegeben, da in diesem Fall ausschließlich dem Schiffskurs gefolgt wurde.

Die Ergebnisse der Helikoptersurveys zeichnen sich im Vergleich mit den Ergebnissen aus den Krähennestsurveys bei vergleichbaren Dichten und *Encounter rates* bis auf wenige Ausnahmen (vor allem in Stratum AAS) durch kleinere Variationskoeffizienten aus (als die Ergebnisse der Krähennestsurveys). Variationskoeffizienten stellen ein wichtiges Kriterium zur Planung weiterer Surveys und zur Analyse von temporalen Trends dar (siehe Buckland et al. 2001). Die statistische Aussagekraft des typischerweise im Rahmen von *Distance Sampling* verwendeten z-Tests zum Vergleich von Dichtewerten oder *Encounter rates* (wie oben durchgeführt) ist eng an den assoziierten Variationskoeffizienten gekoppelt (Wade & DeMaster 1999, Plumptre 2000). Kleine Variationskoeffizienten ermöglichen es also, die Ansprüche eines statistischen Tests (zum Beispiel eines z-Tests) zu erhöhen, sodass ein zufälliger signifikanter Unterschied zwischen zwei Werten sehr unwahrscheinlich wird. Je kleiner der Variationskoeffizient, desto höher ist demnach die Aussagekraft der Ergebnisse aus statistischen Tests zum Vergleich zweier Werte. Daher gilt es primär den Variationskoeffizienten so gering wie möglich zu halten, um

Unterschiede zwischen verschiedenen Ergebnissen statistisch aussagekräftig feststellen zu können. Analysiert man die zurückgelegte Strecke und den daraus resultierenden Variationskoeffizienten der *Encounter rates* der Helikopter bzw. Krähenneestsurveys pro Stratum, so manifestiert sich der Eindruck der hohen Effizienz der Helikoptersurveys (am Beispiel der Zwergwale dargestellt in Abbildung 25 und Abbildung 26). So führte der mit dem Helikopter erzielte relativ hohe Aufwand zu niedrigen Variationskoeffizienten, wobei die Unterschiede zwischen den Strata relativ gleichmäßig verteilt sind (Abbildung 25). Im Gegensatz dazu weisen die Variationskoeffizienten der *Encounter rates* der Zwergwale aus dem Krähenneestsurvey (Abbildung 26) stärker ausgeprägte Unterschiede zwischen den Strata bei einem deutlich geringeren Aufwand auf. Basierend auf der Annahme von Buckland et al. (2001) ist es möglich, den wahrscheinlichen Variationskoeffizienten einer nachfolgenden Studie anhand einer vorherigen Studie zu bestimmen, wenn man den Variationskoeffizienten und den dazu gehörigen Aufwand kennt (Formel 3, siehe Buckland et al. 2001, p. 241).

$$(3)VK_{erw} = VK_{vorh} \cdot \sqrt{\left(\frac{L_{vorh}}{L_{erw}}\right)}$$

mit VK_{erw} = erwarteter Variationskoeffizient, VK_{vorh} = vorheriger Variationskoeffizient, L_{erw} = erwarteter (geplanter) Aufwand und L_{vorh} = vorheriger (realisierter) Aufwand.

In Abbildung 26 und Abbildung 27 ist der erwartete Variationskoeffizient als Kurve für jedes Stratum dargestellt. Aus den Diagrammen ist abzulesen, welcher Aufwand benötigt wird, um den minimalen Variationskoeffizienten einer Spezies eines Surveys zu erreichen. In den Abbildungen ist exemplarisch der jeweils niedrigste real erreichte Variationskoeffizient einer Artengruppe dargestellt und als grüne Linie markiert. Deutlich zu erkennen ist, dass es einer enormen Erhöhung des Aufwands im Krähenneest bedarf, um eine geringe Verbesserung im Variationskoeffizienten zu erreichen (Abbildung 25 und Abbildung 26). Die Helikoptersurveys befanden sich schon mit dem während der Polarsternexpeditionen ANT25-2 und ANT27-2 erreichten Aufwand auf einem flachen Teil der Kurve, erreichten also einen Bereich vergleichsweise niedriger Variationskoeffizienten. Bei einer durchschnittlichen Abdeckung von 121,9 km/h während der Helikoptersurveys wäre eine Verbesserung des Variationskoeffizienten durch eine Aufwandserhöhung deutlich effizienter zu gestalten als bei einer Abdeckung von nur 17,9 km/h während des Krähenneestsurveys.

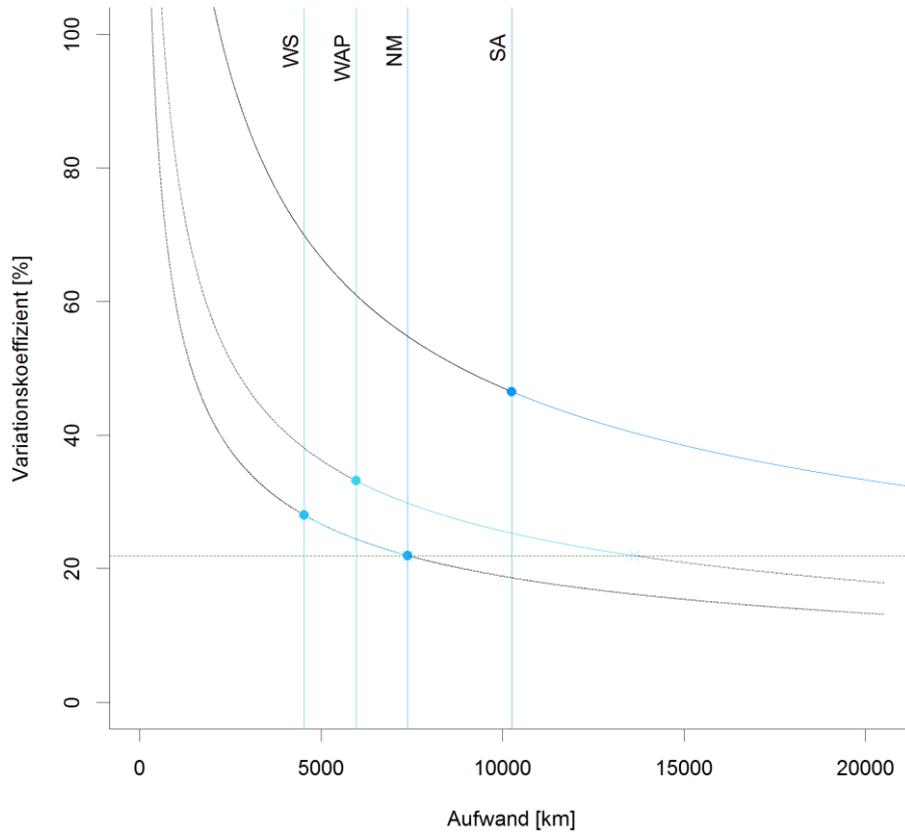


Abbildung 25: Extrapolation des Variationskoeffizienten der *Encounter rates* der Zwergwalsichtungen basierend auf dem Helikoptersurvey pro Stratum; Farbige Punkte markieren den gemessenen Wert innerhalb eines Stratums, die Kurve gibt die Extrapolation des Variationskoeffizienten an; die waagerechte grüne (gestrichelte) Linie markiert den niedrigsten, real erreichten Variationskoeffizienten; zur Erreichung eines real gemessenen Variationskoeffizienten von 21,97 in Stratum NM wäre demnach in Stratum WS eine Erhöhung des Aufwands um etwa 2 500 km notwendig.

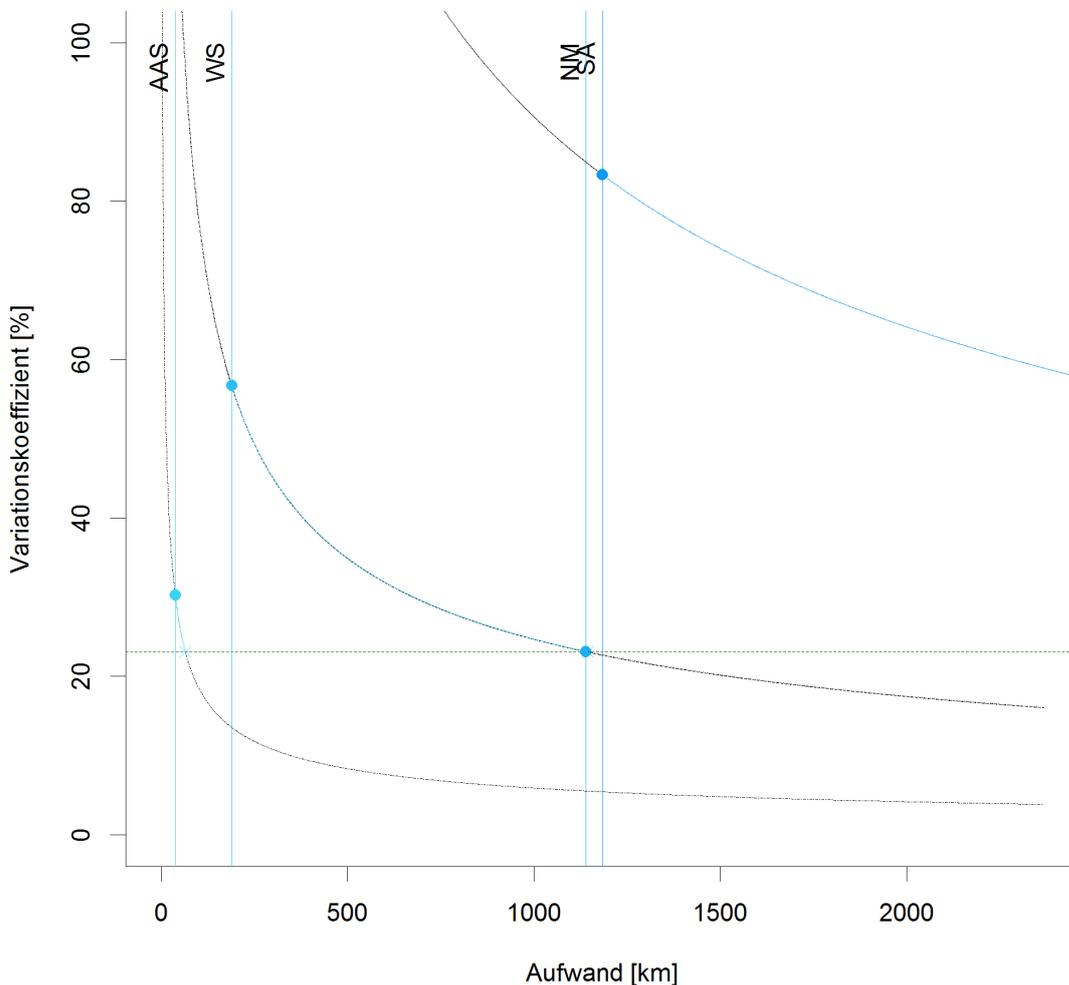


Abbildung 26: Extrapolation des Variationskoeffizienten der Encounter rates der Zwergwalsichtungen basierend auf dem Krähennestsurvey pro Stratum; Farbige Punkte markieren den gemessenen Wert innerhalb eines Stratums, die Kurve gibt die Extrapolation des Variationskoeffizienten an; die grüne Linie markiert den niedrigsten, real erreichten Variationskoeffizienten; zur Erreichung eines real gemessenen Variationskoeffizienten von 23,10% in Stratum NM wäre demnach in Stratum WS eine Erhöhung des Aufwands um etwa 800 km notwendig.

3.2.2 Krähennest vs. Walog

Der Vergleich zwischen Sichtungen im Rahmen des Krähennestsurveys und Sichtungen des Brückenpersonals (Walog - Sichtungen) galt der Überprüfung, wie viele Sichtungen das Brückenpersonal im Vergleich zu einem Team geschulter Walbeobachter bei der Durchführung eines gezielten Walsurveys erfasst. Es ist davon auszugehen, dass das nautische Personal aufgrund weiterer, von der Walbeobachtung unabhängiger Verpflichtungen weniger Zeit mit intensiver Walbeobachtungen verbringen kann, als es dem Walbeobachtungsteam möglich ist. Im Rahmen dieses Vergleichs wurde statistisch überprüft, welchen Anteil an den Sichtungen, die ein gezielter Walsurvey aufnimmt, auch von den nautischen Offizieren erfasst wird, sowie umgekehrt, ob von nautischen Offizieren Sichtungen erfasst werden, die dem Beobachtungsteam entgehen.

Es wurde für diese Analyse ein zweiseitiger Vergleich der erfolgten Sichtungen vorgenommen. Durch den Vergleich der Krähennestsichtungen mit den Brückensichtungen als Sichtungsvorgabe sowie umgekehrt, war es möglich, die Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode zu bestimmen. Hierzu wurde mit einem Binomialtest die Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode ermittelt, unter der Annahme, dass die alternative Methode die Anzahl der zu erreichenden Sichtungen vorgibt. Dabei wurden die Datensätze auf übereinstimmende Surveyzeiten innerhalb eines zeitlichen Puffers von ± 30 Minuten um den durch den gezielten Walsurvey (Krähennestsurvey) vorgegebenen Beobachtungszeitraum beschränkt, da die Brückenbesatzung per Definition immer als "on effort" angenommen wird. Ein manueller Vergleich jeder Sichtung mit jenen der Alternativmethode innerhalb des durch die Sichtungszeit vorgegebenen Zeitintervalls verifizierte oder falsifizierte eine übereinstimmende Sichtung beider Beobachtungsmethoden. Als starke Kriterien für eine übereinstimmende Sichtung galten eine geringe zeitliche Differenz zwischen der vorgegebenen Sichtung und mindestens einer Sichtung der Alternativmethode, sowie die zeitlich isolierte Gruppierung einer Sichtung mit einer passenden Sichtung der Alternativmethode. Als zusätzliches, schwaches Kriterium für eine mögliche Übereinstimmung dienten die Artangabe, die zu Großwalen (Buckelwale, Seiwale, Finnwale, Pottwale, unidentifizierte Großwale), mittleren Walen (Zwergwale, Schwertwale, Südliche Entenwale) und Kleinwalen (Stundenglasdelfine und unidentifizierter Kleinwal) gruppiert wurde, um möglichen Bestimmungsfehlern auf Artebene entgegen zu wirken. Für Zwergwale und Buckelwale wurde der Vergleich zudem auch auf Artebene vorgenommen. Als weiteres schwaches Kriterium zur Beurteilung einer Sichtungsübereinstimmung wurde zuletzt auch die Gruppengröße herangezogen, die jedoch abhängig vom individuellen Tauchverhalten einzelner Gruppenmitglieder ist und somit stärker über die Zeit variieren kann als die Artangabe, und ein nicht besonders geeignetes Kriterium darstellt.

Die Ergebnisse zeigten, dass das Krähennest durchschnittlich 64,10% [95% Konfidenzintervall: 47,18% - 78,80%] aller Brückensichtungen erfasste (Tabelle 10), während die Brücke nur 22,45% [15,98% - 30,06%] aller Krähennestsichtungen entdeckte (Tabelle 11). Zwischen den verschiedenen Walgruppen und -arten unterschieden sich die Ergebnisse nicht stark. Die größten Übereinstimmungen lagen beidseitig bei den Großwalen und speziell bei den Buckelwalen. Die Übereinstimmung von 100% im Fall der Zwergwale mit der Brücke als Vorgabengeber basiert lediglich auf einer einzigen Sichtung.

Tabelle 28: Darstellung der Ergebnisse eines binomialen Tests zur Ermittlung der Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode. Dargestellt sind die Ergebnisse bezogen auf die Brückensichtungen, die auch vom Krähennest gesehen wurden. Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Große Wale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*; CI = 95% Konfidenzintervall.

Gruppe	Erfolgsquote	CI	Übereinstimmungen	Vorgaben	Vorgabengeber
Große Wale	69,23%	48,21% - 85,67%	18	26	Brücke
Mittlere Wale	55,56%	21,2% - 86,3%	5	9	Brücke
Kleine Wale	50,00%	6,76% - 93,24%	2	4	Brücke
Buckelwale	65,00%	40,78% - 84,61%	13	20	Brücke
Zwergwale	100,00%	2,5% - 100%	1	1	Brücke
Andere	61,11%	35,75% - 82,7%	11	18	Brücke
Gesamt	64,10%	47,18% - 78,8%	25	39	Brücke

Tabelle 29: Darstellung der Ergebnisse eines binomialen Tests zur Ermittlung der Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode. Dargestellt sind die Ergebnisse bezogen auf die Krähennestsichtungen, die auch von der Brückenbesatzung gesehen wurden. Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Großwale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, Südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*; CI = 95% Konfidenzintervall.

Gruppe	Erfolgsquote	CI	Übereinstimmungen	Vorgaben	Vorgabengeber
Große Wale	27,27%	18,32% - 37,81%	24	88	Krähennest
Mittlere Wale	15,79%	7,48% - 27,87%	9	57	Krähennest
Kleine Wale	0%	0% - 84,19%	0	2	Krähennest
Buckelwale	27,78%	16,46% - 41,64%	15	54	Krähennest
Zwergwale	20,93%	10,04% - 36,04%	9	43	Krähennest
Andere	18,00%	08,58% - 31,44%	9	50	Krähennest
Gesamt	22,45%	15,98% - 30,06%	33	147	Krähennest

Um beurteilen zu können, welchen Anteil die beiden Methoden an der Gesamtzahl aller im gleichen Zeitraum erfassten Sichtungen beigetragen haben, wurden zunächst alle Duplikate, also Sichtungen, die von beiden Methoden erfasst wurden aus dem Datensatz ausgenommen. Die verbleibende Menge an nur einfach aufgezeichneten Sichtungen wurde als 100% der verfügbaren Sichtungen angenommen und der Anteil, den beide Methoden daran hatten ermittelt (Tabelle 30 und Tabelle 31). Hierbei zeigt sich ein deutlicher Unterschied in der Zahl der erfassten Sichtungen zwischen dedizierten Walbeobachtern und Brückenpersonal innerhalb des gleichen Beobachtungszeitraums (Tabelle 30). Für alle Walgruppen stellten die Beobachter im Krähennest den höchsten Anteil an der Gesamtsichtungszahl. Deutlich wird dies vor allem bei der Gruppe der Großwale sowie der mittleren Wale. Hier beträgt der Anteil der Krähennestsichtungen an der Gesamtzahl der Großwalsichtungen 88,89% [79,28% – 95,08%]

bzw. 92,31% [84,46% - 97,86%] der Sichtungen von mittleren Wale. Im Vergleich dazu stellt die Brücke 11,11% [4,92% - 20,72%] und 7,69% [2,14% - 18,54%] der respektiven Sichtungen (Tabelle 31).

Tabelle 30: Darstellung der Sichtungen die jeweils nur von einer Methode (Brücke bzw. Krähenest) innerhalb des gleichen Beobachtungszeitraums erfasst wurden. Von der Darstellung ausgenommen sind alle Sichtungen, die von beiden Methoden erfasst wurden (Duplikate). Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Großwale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, Südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*.

Gruppe	Brückensichtungen	Krähenestsichtungen	Gesamt
Große Wale	8	64	72
Mittlere Wale	4	48	52
Kleine Wale	2	2	4
Buckelwale	7	39	46
Zwergwale	0	34	34
Andere	7	41	48
Gesamt	14	114	128

Tabelle 31: Darstellung der Ergebnisse eines binomialen Tests zur Ermittlung der Erfolgsquote der jeweiligen Beobachtungsmethode bezogen auf die Gesamtheit aller Sichtungen die jeweils nur von einer Methode (Brücke bzw. Krähenest) innerhalb des gleichen Beobachtungszeitraums erfasst wurden. Von der Darstellung ausgenommen sind alle Sichtungen, die von beiden Methoden erfasst wurden (Duplikate) Dabei wurden die Walarten zusätzlich in Gruppen analysiert, um so möglichen Bestimmungsfehlern entgegenzuwirken und einzelne Walarten, die eine ausreichend hohe Stichprobenzahl aufweisen, genauer zu analysieren. Großwale: Buckelwal, Seiwal, Finnwal, Pottwal, unbekannter Großwal; Mittlere Wale: Zwergwale, Schwertwal, Südlicher Entenwal; Kleine Wale: Stundenglasdelfin, unbekannter Kleinwal. Zwergwale umfassen *B. bonaerensis* und *B. acutorostrata*; Anteil_{Brücke}: relativer Anteil der Brückensichtungen an Gesamtsichtungszahl; Anteil_{Krähenest}: relativer Anteil der Krähenestsichtungen an Gesamtsichtungszahl; CI = 95% Konfidenzintervall der jeweiligen Methode.

Gruppe	Anteil _{Brücke}	CI _{Brücke}	Anteil _{Krähenest}	CI _{Krähenest}
Große Wale	11,11%	4,92% - 20,72%	88,89%	79,28% - 95,08%
Mittlere Wale	7,69%	2,14% - 18,54%	92,31%	81,46% - 97,86%
Kleine Wale	50%	6,76% - 93,24%	50%	6,76% - 93,24%
Buckelwale	15,22%	6,34% - 28,87%	84,78%	71,13% - 93,66%
Zwergwale	0%	0% - 10,28%	100%	89,72% - 100%
Andere	14,58%	6,07% - 27,76%	85,42%	72,24% - 93,93%
Gesamt	10,94%	6,11% - 17,67%	89,06%	82,33% - 93,89%

Bei der Betrachtung der Ergebnisse muss man berücksichtigen, dass der Aufwand der Brücke im Vergleich zu dem des Krähennests heterogen ist. Zusätzlich zum nautischen Personal befinden sich auf der Brücke häufig weitere Personen, ggf. sogar Vogelbeobachter, die gezielt die Meeresoberfläche absuchen. Diese Personen können das nautische Personal auf Sichtungen aufmerksam machen und zur Artidentifikation beitragen. Zu anderen Gelegenheiten ist ein nautischer Offizier auf sich allein gestellt und muss zudem anderen Aufgaben als der gezielten Walbeobachtung nachgehen. Die Walogdaten ermöglichen somit keine Kontrolle über den Aufwand. Die Detektionswahrscheinlichkeit von Walen in der Umgebung des Schiffes dürfte deutlich abhängig von der Zahl der auf der Brücke anwesenden Personen sowie deren momentaner Primäraufgabe sein. Des Weiteren dürfte die Brücke eine vergleichsweise geringe Kontrolle über mögliche Wiedersichtungen haben. Nur bei kontinuierlicher Beobachtung kann ein Walbeobachter gewährleisten, dass er eine Sichtung nicht zweimal erfasst. Aus diesem Grund ist es möglich, dass unter den Walogsichtungen wiederholt Sichtungen des gleichen Tieres registriert sind, die vom Krähennest korrekt als solche identifiziert und nur einmal festgehalten wurden. Zudem wurden die Walogdaten mit einem zeitlichen Puffer von 30 Minuten um die Beobachtungszeiten des Krähennestsurveys ausgewählt und umfassen damit einen insgesamt längeren Beobachtungszeitraum als die Krähennestdaten. So können die Brückensichtungen Sichtungen umfassen, die aus dem jeweils insgesamt einstündigen Puffer um die Beobachtungszeiten aus dem Krähennest stammen, und bei kurzer Verweildauer des Wales in der Umgebung des Schiffes den Krähennestbeobachtern nicht zur Verfügung standen. Daher ist eine eher noch höhere Erfolgsquote der Krähennestsichtungen als die ermittelte naheliegend. Diese Ergebnisse dienen daher lediglich als Richtwerte für eine qualitative Beurteilung der Effektivität der beiden verglichenen Methoden.

3.2.3 Krähennest vs. IR

Die im Rahmen des parallel durchgeführten Projekts vom AWI erprobte IR Kamera detektiert die thermische Signatur des Walblas (vergl. Zitterbart et al. 2013). Für eine Validierung der Funktion der Kamera und ihre Einsetzbarkeit für Mitigationzwecke z.B. im Rahmen seismischer Untersuchungen ist es wichtig zu überprüfen, ob die Kamera in der Lage ist, alle, oder wenigstens den Großteil aller anwesenden Wale, zumindest aber derer, die durch gezielte Walbeobachtungen erfasst werden können, zu detektieren. Um die Detektionen der IR Kamera zu überprüfen, wurde ein Vergleich zwischen den Sichtungen des Krähennestsurveys und den im gleichen Zeitraum aufgezeichneten Detektionen durch die IR Kamera vorgenommen. Da die IR Kamera auf der Expedition ANT25-2 noch nicht im Einsatz war, wurden für den Datenvergleich neben den Daten der Expedition ANT27-2 die Sichtungsdaten aus dem vom ITAW durchgeführten Krähennestsurvey einer nachfolgenden Fahrt (ANT28-2 (2011/2012)) herangezogen, während derer die Kamera im Einsatz war.

Um Krähennest und IR Kameradetektionen vergleichbar zu machen, wurden in beiden Fällen nur jene Datensätze berücksichtigt, die innerhalb der jeweiligen Effortzeiten inklusive eines 30 min Puffers lagen. D. h. es wurden nur die Daten betrachtet, die erhoben wurden während beide Methoden zeitgleich im Einsatz waren, mit 30 min Zugabe jeweils vor und nach den Aufwandseinheiten. Dadurch konnte die Erfolgsquote der IR Kamera direkt mit den erfolgreichen Detektionen der Beobachter im Krähennest verglichen werden: Für jede Krähennestsichtung konnte überprüft werden, ob das entsprechende Tier oder die Tiergruppe durch mindestens eine Blasdetektion im Datensatz der IR Kamera repräsentiert ist. Aufgrund der unspezifischen Detektion jedes individuellen Blases durch die IR Kamera (und damit grundsätzlich einer hohen Zahl an Detektionen, die auf ein Einzeltier/ eine einzelne Gruppe

zurückzuführen sind) und das Fehlen der Information über Individuenzahl und Spezies, wäre eine umgekehrte Überprüfung, ob jede Detektion der Kamera auch von den Beobachtern erfasst wurde, nicht sinnvoll. Die Beobachter erfassen jedes Tier nur ein einziges Mal bei dessen Erstsichtung, während Mehrfachsichtungen desselben Tieres durch die IR Kamera die Norm sind. Ein beidseitiger Vergleich wie im Fall der "Krähennest vs. Walog" Überprüfung ist erst möglich, wenn die Kameradetektionen aggregiert und auf Individuenbasis zusammengefasst werden können.

Für die Analyse der Übereinstimmungen zwischen Detektionen und Sichtungen, wurden zunächst die genauen Aufenthaltspositionen aller aufgezeichneten Ereignisse (IR Detektionen und Krähennestsichtungen) berechnet. Sowohl die IR Datenbank als auch die Datenbank des Krähennestsurveys zeichnen zu den Sichtungs- und Detektionsvermerken nur die Schiffsposition auf. Diese unterscheidet sich jedoch natürlich von dem genauen Aufenthaltsort des erfassten Tieres. Beide Methoden, der visuelle Survey sowie die IR Kamera Detektionen, erfassen aber zusätzlich den horizontalen Winkel vom Schiff zur Sichtung sowie die radiale Distanz. Damit können die räumlichen Komponenten einer Sichtung bzw. Detektion anhand der Haversin'schen Formel (4) bestimmt werden. Diese ermöglicht die genaue Positionsbestimmung einer Sichtung in bekannter Distanz und bekanntem Winkel zur Schiffsposition.

$$(4) \begin{pmatrix} \varphi_2 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} asin\left(\sin(\varphi_1) \cdot \cos\left(\frac{d}{R_E}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \sin\left(\frac{d}{R_E}\right) \cdot \cos(\delta)\right) \\ \lambda_1 + atan2\left(\cos\left(\frac{d}{R_E}\right) - \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\varphi_2), \sin(\delta) \cdot \sin\left(\frac{d}{R_E}\right) \cdot \cos(\varphi_1)\right) \end{pmatrix}$$

Dabei ist φ_1 die geographische Länge der Schiffsposition, φ_2 die zu errechnende geographische Länge der Beobachtung, λ_1 die zu errechnende geographische Breite der Schiffsposition, λ_2 die zu errechnende geographische Breite der Beobachtung, δ der horizontale Winkel der Sichtung relativ zur Schiffsrichtung, d ist die radiale Distanz zur Sichtung und R_E ist der mittlere Radius der Erdkugel (hier als 6371 km angenommen). Alle Winkel sind im Bogenmaß anzugeben. $atan2$ ist definiert in (5).

$$(5) \text{atan2}(y, x) := \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & y \geq 0, x < 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & y < 0, x < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & y < 0, x = 0 \\ \text{nicht definiert} & y = 0, x = 0 \end{cases}$$

Mittels der vorhandenen Distanzen, dem horizontalen Winkel zur Schiffsachse und der Schiffspositionen zur Sichtungszeit konnten so die Positionen der Tiere zum Zeitpunkt der Sichtung bzw. Detektion bestimmt werden. Da sowohl die gemessene Distanz als auch der gemessene Winkel mit einem individuellen Fehler verknüpft sind, wurde zusätzlich zu der momentanen Position eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Tiere um die berechnete Position herum berechnet. Die distale Aufenthaltswahrscheinlichkeit wurde bestimmt, indem die Distanz in Sichtungsrichtung um den Fehler der Distanzmessung erhöht bzw. erniedrigt wurde. Die laterale Komponente der Aufenthaltswahrscheinlichkeit ergab sich aus der Breite des gemessenen Winkels zur Sichtung \pm des Fehlers der Winkelangabe. Mangels einer präzisen

Angabe für den Winkelfehler und vor dem Hintergrund des qualitativen Charakters der Darstellung der Sichtungen wurde dieser auf $\pm 5^\circ$ gesetzt.

Aus der konvexen Hülle der berechneten Punkte der Aufenthaltswahrscheinlichkeit konnte nun ein Polygon berechnet werden, welches die tatsächliche Position einer Beobachtung mit 95%iger Wahrscheinlichkeit angibt (s. schraffierte Flächen in Abbildung 27 und Abbildung 28). Zur Validierung der Detektionen der IR Kamera durch die visuellen Beobachtungen aus dem Krähennest wurden zu jeder Sichtung aus dem Krähennest alle Detektionen der IR Kamera dargestellt, die innerhalb eines 60 minütigen Zeitfensters um die Sichtung lagen (Beispiele siehe Abbildung 27 und Abbildung 28). Alle so identifizierten möglichen Übereinstimmungen zwischen einer IR Kameradetektion und einer Beobachtersichtung wurden im Anschluss manuell auf Überlappung bzw. Nähe der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten und allgemeine Plausibilität überprüft und abschließend als übereinstimmende Sichtung verifiziert oder falsifiziert (Tabelle 32). Insgesamt 53 Sichtungen aus dem Krähennest lagen aus den parallelen Beobachtungszeiträumen beider Methoden vor und konnten dieser Überprüfung zugrunde gelegt werden. Für 22 dieser Sichtungen konnten IR Detektionen wie oben beschrieben verifiziert werden (Tabelle 33).

Aus der Menge der Übereinstimmungen zwischen IR Kameradetektionen und der Gesamtzahl der Beobachtersichtungen wurde anhand eines Binomialtests eine Erfolgsquote für die IR Kameradetektionen bestimmt (Tabelle 33).

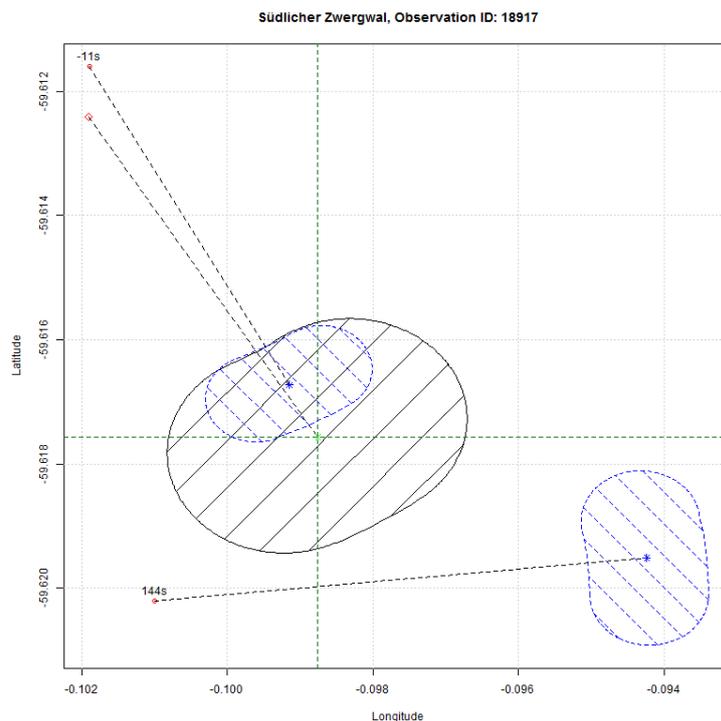


Abbildung 27: Beispiel einer deutlichen Übereinstimmung zwischen Krähennestsichtung und einer im zugehörigen 60 Minuten Intervall gelegenen Detektion der IR Kamera. Rot markiert ist jeweils die Position des Schiffs zum Zeitpunkt der Sichtung aus dem Krähenneest bzw. der Detektionen durch die IR Kamera. Die gestrichelten Linien geben die Richtung und Distanz zur Sichtung (grünes Kreuz) bzw. IR Detektion (blaues Sternchen) an. Das Schiffssymbol zum Zeitpunkt der Krähenneestsichtung gibt die gesichtete Art an, in diesem Fall einen südlichen Zwergwal (rote Raute). Die schraffierten Flächen der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten um die Sichtungs- bzw. Detektionsposition sind abhängig von dem Fehler der Distanzmessung sowie dem Fehler der Winkelmessung. Die relative Zeitdifferenz zwischen IR Detektion und Krähenneestsichtung ist in Sekunden über der Schiffsposition angegeben. In diesem Beispiel konnte eine 11 s zuvor erfolgte IR Detektion eindeutig einer Krähenneestsichtung zugeordnet werden.

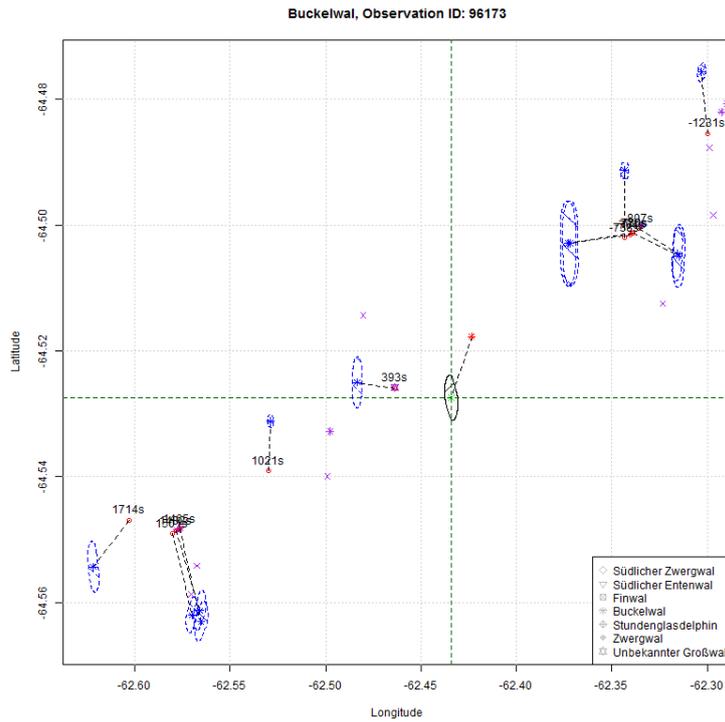


Abbildung 28: Beispiel einer nicht erfolgten Übereinstimmung zwischen einer Krähennechtsichtung und aller im zugehörigen 60 Minuten Intervall gelegenen Detektionen der IR Kamera. Rot markiert ist jeweils die Position des Schiffs zum Zeitpunkt der Sichtung aus dem Krähennecht bzw. der Detektionen durch die IR Kamera. Die gestrichelten Linien geben die Richtung und Distanz zur Sichtung (grünes Kreuz) bzw. IR Detektion (blaues Sternchen) an. Weitere in diesem Zeitraum gelegene Krähennechtsichtungen sind in violetter Farbe dargestellt. Das Schiffssymbol zum Zeitpunkt der Krähennechtsichtung gibt die gesichtete Art entsprechend der Legende an. Die schraffierten Flächen der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten um die Sichtungs- bzw. Detektionsposition sind abhängig von dem Fehler der Distanzmessung sowie dem Fehler der Winkelmessung. Die relative Zeitdifferenz zwischen IR Detektion und Krähennechtsichtung ist in Sekunden über der Schiffssposition angegeben. In diesem Beispiel konnte keine IR Detektion der untersuchten Krähennechtsichtung zugeordnet werden.

Tabelle 32: Auszug der ersten 28 von 53 Ergebnissen der manuellen Analyse der graphischen Darstellung der IR Detektionen. ID = eindeutige Identifikationsnummer der Krähennechtsichtung; unixtime = Zeitpunkt der Krähennechtsichtung in Sekunden seit dem 01.01.1970 00:00:00 UTC; Survey = Ausfahrt; Gruppengröße = Vom Krähennecht beobachtete Gruppengröße; Distanz [m] = Distanz zur Sichtung in Metern; Sichtungswinkel = Winkel zur Sichtung relativ zur Schiffsrichtung; Schiffsrichtung = Schiffskurs; Übereinstimmung = Einschätzung der Übereinstimmung zwischen IR Kamera und Krähennechtsichtung. Negativ = wurde nicht von der IR Kamera detektiert, wahrscheinlich = wurde wahrscheinlich von der IR Kamera detektiert, positiv = wurde von der IR Kamera detektiert.

ID	unixtime	Survey	Latitude	Longitude	Art	Gruppengröße	Distanz [m]	Sichtungswinkel	Schiffsrichtung	Übereinstimmung
15396	1291700000	ANTXXVII2	-50,8703	0,6774	Südl. Entenwal	2	300	345	206,2	Negativ
18917	1323767684	ANTXXVIII2	-59,6124	-0,1019	Ant. Zwergwal	2	600	346	176,8	Positiv
21428	1323779051	ANTXXVIII2	-60,0558	-0,0986	Unid. Großwal	1	500	320	64,6	Wahrscheinlich
21820	1323780745	ANTXXVIII2	-60,1126	-0,0790	Unid. Großwal	1	100	30	207,1	Wahrscheinlich
26917	1292221384	ANTXXVII2	-61,2929	0,0010	Ant. Zwergwal	1	400	350	179,7	Negativ
30336	1324019947	ANTXXVIII2	-67,3576	-2,1689	Ant. Zwergwal	1	1100	300	223,4	Positiv
31977	1324044363	ANTXXVIII2	-68,1431	-3,1069	Unid. Großwal	1	1500	5	0	Negativ
33268	1292440448	ANTXXVII2	-64,4158	-0,0178	Ant. Zwergwal	1	500	340	174,6	Wahrscheinlich
35698	1292503858	ANTXXVII2	-65,8105	0,0593	Unid. Großwal	1	1000	355	171,9	Negativ
39125	1324715743	ANTXXVIII2	-68,9533	-0,1407	Ant. Zwergwal	1	150	345	308,3	Positiv
39716	1324722196	ANTXXVIII2	-68,7215	-0,2649	Ant. Zwergwal	1	850	90	352,6	Negativ
40120	1325082128	ANTXXVIII2	0	0	Unid. Großwal	1	800	60	0	Negativ
40356	1325084648	ANTXXVIII2	-58,4650	0,0051	Ant. Zwergwal	1	100	5	333,2	Positiv
40689	1292666911	ANTXXVII2	-67,9431	-0,0010	Unid. Großwal	1	350	290	179,5	Negativ
43241	1292764757	ANTXXVII2	-69,2849	-1,5742	Ant. Zwergwal	1	300	75	232,6	Negativ
43774	1292774204	ANTXXVII2	-69,5442	-2,5770	Ant. Zwergwal	1	600	20	218,8	Negativ
56756	1293375068	ANTXXVII2	-69,5785	-15,9715	Ant. Zwergwal	1	200	295	316,9	Positiv
63099	1293600444	ANTXXVII2	-66,8260	-26,0767	Unid. Großwal	1	1000	330	296,8	Negativ
63262	1293601098	ANTXXVII2	-66,8108	-26,1530	Unid. Großwal	1	500	45	297,1	Negativ
63351	1293601463	ANTXXVII2	-66,8021	-26,1949	Unid. Großwal	1	100	170	296,4	Negativ
63396	1293601643	ANTXXVII2	-66,7981	-26,2159	Unid. Großwal	1	400	300	295,5	Negativ
66358	1293718657	ANTXXVII2	-66,1232	-31,7272	Ant. Zwergwal	1	120	350	284,0	Negativ
81815	1294478358	ANTXXVII2	-63,6772	-55,4741	Buckelwal	2	500	30	249,5	Wahrscheinlich
81962	1294478953	ANTXXVII2	-63,6891	-55,5287	Ant. Zwergwal	2	600	35	247,1	Wahrscheinlich
82154	1294479750	ANTXXVII2	-63,7027	-55,5921	Buckelwal	3	250	50	241,6	Positiv
83805	1294494663	ANTXXVII2	-63,3901	-56,6771	Unid. Großwal	1	800	280	323,6	Wahrscheinlich
93332	1294919678	ANTXXVII2	-64,4174	-63,0242	Buckelwal	1	150	300	142,0	Wahrscheinlich
93369	1294919817	ANTXXVII2	-64,4222	-63,0144	Buckelwal	1	150	80	138,2	Positiv

Das Ergebnis des Binomialtests zeigte deutlich, dass die IR Kamera über alle Walarten aggregiert im Durchschnitt 41,51% [95% Konfidenzintervall: 28,14% - 55,87%] der Krähennechtsichtungen detektieren konnte, wenn im günstigsten Fall davon ausgegangen wird, dass alle zweifelhaften (d.h. "wahrscheinlichen") Detektionen den positiven Detektionen zuzuordnen sind (Tabelle 33). Da Krähennechtsichtungen stets eine Artkennung haben, konnte die Erfolgsquoten für verschiedene Walgruppen ermittelt werden. Aufgrund der geringen Stichprobengröße war diese Analyse nur für Buckelwale, unidentifizierte Wale und einer Gruppe bestehend aus allen übrigen, vom Krähennecht detektierten Walarten möglich.

Tabelle 33: Ergebnis des Binomialtests zur Bestimmung der Erfolgsquote der IR Kamera. Dargestellt sind die Ergebnisse bezogen auf die Krähennestsichtungen; CI = 95% Konfidenzintervall.

Gruppe	Erfolgsquote	CI	Detektionen	Vorgaben
Buckelwal	50,00%	28,22%- 71,88%	11	22
Unidentifizierte Wale	17,65%	3,80%- 43,43%	3	17
Andere	57,14%	28,86%- 82,34%	8	14
Gesamt	41,51%	28,14%- 55,87%	22	53

Die Analysen zeigen an, dass die IR Kamera insgesamt weniger als die Hälfte aller vom Krähennestsurvey erfassten Sichtungen detektieren konnte. Es konnte allerdings nicht überprüft werden, wie viele Tiere sich hinter den zusätzlichen Detektionen durch die IR Kamera verbergen, die möglicherweise nicht von den Beobachtern erfasst wurden. Wie oben erläutert erlaubte die vorliegende Datenaufbereitung der IR Daten einen Vergleich in diese Richtung nicht. Es kann also nicht die generelle Aussage getätigt werden, dass die Kamera nur halb so viele Sichtungen wie ein geschultes Walbeobachtungsteam aufnimmt. Für eine generelle Aussage fehlt die Information darüber, wie viele Tiere durch die Kamera zusätzlich zu denen vom Krähennest erfassten detektiert wurden. Bei der Bewertung der Erfolgsquote der Kamera muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass die Positionsermittlung der Sichtungen und Detektionen eng an die Präzision der Distanz- und Winkelmessungen gebunden ist. Besonders im Fall der Krähennestsichtungen, für die beide Messungen manuell erfolgen, besteht ein erhöhtes (menschliches) Fehlerpotential, welches schwer abschätzbar ist. Größere Fehler könnten zu einer geringeren Übereinstimmung der Sichtungen und Detektionen und damit einer Unterschätzung der Erfolgsquote der IR Kamera führen. Um dies zu überprüfen, wäre eine Validierung der Winkel- und Distanzmessungen der Krähennestsichtungen notwendig, welche aber im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt werden konnte.

3.2.4 Tracking vs. Walog

Der Vergleich zwischen *Tracking*-Beobachtungen und den Walogdaten galt der Überprüfung, welchen Anteil an Tieren, die offenkundig länger im Beobachtungsbereich des Schiffes verweilten, von der Brücke detektiert wurden und mit welcher zeitlichen Differenz. Für diese Analyse wurden lediglich die Zeitabschnitte der *Tracks* zu Grunde gelegt, von der ersten bis zu letzten Sichtung. Dieses Vorgehen basierte auf der Annahme, dass die *Tracker* mit den leistungsstarken Big Eyes und zudem im Krähennest auf der wesentlich höheren Plattform als die Brücke positioniert, Sichtungen früher detektieren als die Brücke. Da die *Tracker* gezielt versuchten, die Sichtung nicht aus den Augen zu verlieren und sie zu verfolgen bis sie das Schiff passiert hatte, ist eine Sichtung durch die Brücke nach der letzten aufgezeichneten *Tracker*-Sichtung eher unwahrscheinlich. Die Analyse war auf die Gesamtzahl der Sichtungen eines *Tracks* (im Gegensatz zur Überprüfung einer jeden einzelnen Tracking-Sichtung) beschränkt. Sie überprüfte daher unspezifisch, ob sich eine Sichtung der Brücke innerhalb des Zeitintervalls des *Tracks* (zwischen der ersten und der letzten Sichtung des *Tracks*) befand (Tabelle 34). Ein Binomialtest (19 Vorlagen, 6 Erfolge) ergab eine Erfolgsquote der Brücke im Vergleich zu den *Tracking*-Sichtungen von 31,58% [95% Konfidenzintervall: 12,58% - 56,55%]. Im Vergleich zu den vorherigen Ergebnissen aus den Vergleichen zwischen Brücke und Krähennest liegt dieser Wert leicht höher, ist durch sein großes Konfidenzintervall aber nicht davon zu unterscheiden. Der Erfolg in der Artidentifizierung lag bei 80% (5 Sichtungen von 6 mit übereinstimmender Artidentifizierung). *Track* 1 konnte als einzige der fünf Übereinstimmungen nicht richtig bestimmt werden, wurde jedoch vom Brückenpersonal auch

nur als möglicher ("possible") Zwergwal eingestuft. Die verbleibenden Übereinstimmungen wurden vom nautischen Personal alle zumindest als "wahrscheinlich" ("probable") angegeben. Die Zeitdifferenz zwischen einer Initialsichtung der *Tracker* und der mit dem *Track* gleichzusetzende Brückensichtung liegt immer jenseits von 120 s und ist ein Hinweis auf den kleineren Beobachtungsradius des Brückenpersonals (siehe auch Abbildung 29). Dabei ist zu bedenken, dass ein langes *Tracking* die Chancen der Brücke ungleich erhöhte, ebenfalls ein Tier zu beobachten (Buckelwal *Track* 16 – 19, Tabelle 34).

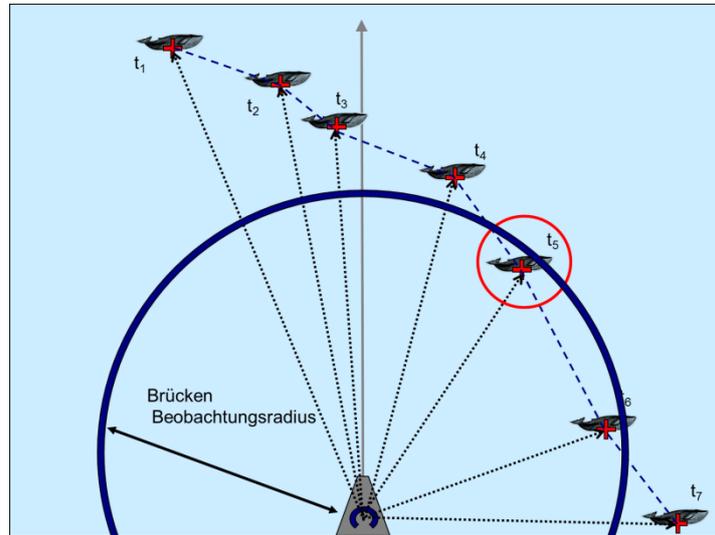


Abbildung 29: Schematische Darstellung des Vergleichs von Tracking - und Brückensichtungen. Für den schematisch dargestellten Track werden innerhalb des Zeitraums von der Erstsichtung (t_1) bis zur letzten Sichtung (t_7) die Walogeinträge überprüft und festgestellt ob eine Sichtung im gleichen Zeitraum stattgefunden hat.

Tabelle 34: Darstellung der Übereinstimmung zwischen Brückensichtungen und Tracking-Sichtungen aus dem Krähennest.

ID	Krähennest		Brücke			
	Art	Gruppengröße	Art	Gruppengröße	Zeitdifferenz	Sicherheit der Artbestimmung
1	Seiwal	2	Zwergwal	3	407	possible
2	Zwergwal	2	nicht detektiert	0	0	
3	Zwergwal	1	nicht detektiert	0	0	
4	Zwergwal	2	Zwergwal	3	123	definite
5	Zwergwal	1	nicht detektiert	0	0	
6	Buckelwal	2	nicht detektiert	0	0	
7	Buckelwal	2	nicht detektiert	0	0	
8	Buckelwal	4	nicht detektiert	0	0	
9	Schwertwal	5	nicht detektiert	0	0	
10	Buckelwal	1	nicht detektiert	0	0	
11	Buckelwal	1	nicht detektiert	0	0	
12	Buckelwal	1	nicht detektiert	0	0	
13	Buckelwal	2	nicht detektiert	0	0	
14	Unidentifizierter Großwal	1	nicht detektiert	0	0	
15	Buckelwal	1	nicht detektiert	0	0	
16	Buckelwal	3	Buckelwal	4	448	definite
17	Buckelwal	3	Buckelwal	3	514	definite
18	Buckelwal	3	Buckelwal	3	1124	probable
19	Buckelwal	2	Buckelwal	3	1156	probable

3.2.5 Synopse des Vergleichs unterschiedlicher Sichtungsmethoden

Der Vergleich aller im Rahmen des Methodenvergleichs analysierten Erfassungsmethoden zeigt, dass jede Methode in einem verschiedenen Anwendungsbereich sinnvoll eingesetzt werden kann. *Distance Sampling* Surveys bieten die einzige Möglichkeit zur Bestimmung von Dichten, die um die Sichtungswahrscheinlichkeit korrigiert sind und einen echten Flächenbezug aufweisen. Sollen verlässliche, vergleichbare Dichtewerte ermittelt werden, muss auf diese Methode zurückgegriffen werden. Sollen zudem Abundanz und Dichte von Walen für

ein bestimmtes Gebiet erhoben werden, gilt es zusätzlich, dieses Gebiet repräsentativ im Rahmen des Surveys abzudecken und nach Möglichkeit vorab ein Surveydesign zu erstellen. Für die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Surveys gilt einschränkend zu erwähnen, dass kein Korrekturfaktor für $g(0)$ erhoben werden konnte, d.h. für die Wahrscheinlichkeit, einen Teil der Tiere direkt auf der Transektlinie nicht zu erfassen. Ohne diesen Korrekturfaktor sind alle Schätzungen Minimalabschätzungen und bleiben hinter den tatsächlichen Zahlen zurück. Trotzdem bieten sie eine robuste Basis für Dichtevergleiche zwischen Gebieten und Zeiten und stellen eine verlässliche Messgröße dar.

Im Vergleich zwischen beiden verwendeten Plattformen stellen Helikoptersurveys die effizientere Methode dar, da sie bei geringerer Aufwandszeit schneller zu auswertbaren Ergebnissen führen und in den wechselhaften Witterungsbedingungen der Antarktis flexibler eingesetzt werden können. Sie ermöglichen eine bessere Gebietsabdeckung, sind mit einem geringeren Variationskoeffizienten versehen als schiffsbasierte Erfassungen und sind effizienter in der Artenbestimmung. Sie erzielen zwar eine grundsätzlich geringere *Encounter rate* und geringere Dichte als schiffsbasierte Erfassungen, dieser Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant. Der Vergleich der Sichtungsmethoden ergab, dass sich die durch fluggestützte und schiffsgestützte Walerfassungen ermittelten Dichten statistisch nur in Ausnahmen signifikant unterscheiden.

Schiffsbasierte Erfassungen hingegen scheinen eine Verhaltensreaktion der Zieltierarten hervorrufen zu können, wie die Ergebnisse der *Tracking-Analysen* zeigten, was eine Grundannahme des *Distance Samplings* verletzt. Eine Anlockung genauso wie eine Vertreibung der Tiere durch die Untersuchungsplattform führt zu einer Verfälschung der Ergebnisse durch Über- bzw. Unterschätzung der Dichte. Ein dedizierter Krähennestsurvey kann unter Berücksichtigung dieses potentiellen Fehlers trotzdem aussagekräftige Ergebnisse erzielen. Wenn Beobachtungen im Kontext von Mitigation durchgeführt werden, stellt ein Helikoptersurvey keine gleichwertige Alternative dar. Der Krähennestsurvey detektierte nachweislich einen hohen Anteil der in der Umgebung des Schiffes anwesenden Wale zumeist auf Artniveau.

Im Vergleich zwischen Beobachtungen eines geschulten Walbeobachtungsteams im Krähennest und den Walerfassungen durch das nautische Personal auf der Brücke zeigte sich, dass die Brücke innerhalb eines identischen Beobachtungszeitraums samt 30 minütigem Puffer nur etwa 22,45% [95% Konfidenzintervall: 15,98% - 30,06%] der Sichtungen aus dem Krähennest detektierte, während das Krähennest 64,10% [47,18% - 78,8%] der Sichtungen der Brücke erfasste. Mögliche Mehrfacherfassungen der gleichen Tiere/Tiergruppen durch die Brücke, sowie der um den Puffer erweiterte Beobachtungszeitraum legen nahe, dass die Erfolgsquote des Krähennests eher noch höher anzusiedeln ist. Gemessen an allen nur einfach erfassten Sichtungen (d.h. unter Ausschluss der durch beide Methoden erfassten Duplikate) trägt das Krähennest knapp 90% der Gesamtsichtungen bei, die Brücke nur 10%. Dies ist nicht verwunderlich, da das nautische Personal primär andere Aufgaben als Walbeobachtungen zu erfüllen hat. Der Vergleich zeigt lediglich, dass die Beobachtungen des Brückenpersonals z.B. für Mitigationzwecke ungeeignet sind, da ein Großteil der in der Schiffsumgebung anwesenden Wale nicht erfasst wird. Die Erfassungen des nautischen Personals stellen jedoch eine gute Datenquelle zur Speisung von Habitatmodellen dar, da sie kontinuierlich "on effort" sind, Art und Gruppengrößen bestimmen und ohne große zusätzliche Kosten oder Aufwand erhebliche Datenmengen erzeugen können. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich um opportunistisch erfasste Daten handelt, denen jegliches Maß für Aufwand und Flächenbezug fehlt.

Die IR Kamera detektierte nachweislich in der Umgebung des Schiffes anwesende Wale, allerdings nicht alle, die ein geschultes Beobacherteam entdecken konnte. Die Validierung der IR Kamera durch das Krähenestteam wies nach, dass die IR Kamera 41,51% [95% Konfidenzintervall: 28,14%– 55,87%] der durch das Krähenest erfassten Walgruppen detektierte. Umgekehrt konnte nicht überprüft werden, wieviele Wale die Kamera im gleichen Beobachtungszeitraum zusätzlich zu denen vom Krähenestteam erfassten Tieren detektierte, da die einzeln aufgezeichneten Blasereignisse derzeit noch nicht auf Individuenbasis aggregiert d.h. einzelnen Tieren zugeordnet werden können. Vor dem Hintergrund, dass menschliche Walbeobachtungen personalaufwändig sind und weder rund um die Uhr, noch bei allen Wetterbedingungen durchgeführt werden können, bietet die IR Kamera eine sinnvolle Mitigationsmaßnahme, sofern kein Beobachtungsteam zur Verfügung steht. Bei ausschließlicher Verwendung dieser Methode besteht allerdings die Gefahr, einen Anteil der anwesenden Wale nicht zu detektieren. Dies trifft besonders auf die meisten kleineren Walarten zu, die einen kleinen, unscheinbaren Blas erzeugen. Hier ist ein Beobacherteam deutlich im Vorteil, da es diese Tiere anhand der Körper, Fluken oder anderer Indizien entdecken kann.

3.2.6 Zusammenfassung

Ein Vergleich aller im Rahmen des Methodenvergleichs analysierten Erfassungsmethoden wies die unterschiedliche Eignung der Methoden für verschiedene Anwendungsbereiche nach. Der Vergleich schiffsbasierter und luftgestützter *Distance Sampling* Surveys zeigte, dass die beiden Methoden unterschiedliche Waldichten ergeben, wobei diese aber statistisch nicht voneinander zu trennen sind. Während luftgestützte Erfassungen grundsätzlich zu etwas niedrigeren (wenn auch statistisch nicht signifikant niedrigeren) Dichten führen, vereinen sie eine Vielzahl anderer Vorteile, wie z.B. einen niedrigeren Variationskoeffizienten, eine höhere Gebietsabdeckung in geringerer Zeit, eine höhere Sichtungszahl pro Zeiteinheit und eine bessere Artidentifikation. Der Vergleich zwischen Krähenestsurvey und IR Kamera ergab, dass die IR Kamera nur 41,51% [95% Konfidenzintervall: 28,14%– 55,87%] der durch das Krähenest detektierten Sichtungen aufzeichnete. Eine umgekehrte Überprüfung, zu ermitteln welcher Anteil der durch die Kamera detektierten Wale während des Krähenestsurveys übersehen wird, war methodisch nicht möglich, da die Kameradetektionen bislang nicht auf Individuenbasis aggregiert werden können. Das nautische Personal entdeckte laut Datenvergleich etwa 22,45% [95% Konfidenzintervall: 15,98% - 30,06%] der Sichtungen aus dem Krähenest, während das Krähenest 64,10% [47,18% - 78,8%] der Sichtungen der Brücke erfasste.

3.3 Zusammenfassung des Konzepts "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis"

Für "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis" wird die Durchführung eines *Distance Sampling* Surveys empfohlen (sofern dies möglich ist). Mit nur geringem Mehraufwand im Vergleich zu Streifentransekterfassungen, die derzeit der gängige Standard biologischer Begleitforschung sind, robustere Daten erhoben werden, da diese Daten um Aufwand und Sichtungswahrscheinlichkeit korrigiert werden können. Erhebungen, die einem einheitlichen, standardisierten Protokoll folgen, können vergleichbare Daten erzeugen, die gemeinsam ausgewertet werden können. Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Konzept erstellt, welches ausführlich die Vor- und Nachteile verschiedener Sichtungsmethoden erläutert und darlegt, für welche Auswertungsschritte die erhobenen Daten einer bestimmten Methode genutzt werden können. Es erklärt die Anforderungen an ein Beobachtungsteam, sowie an das

Schiff als Beobachtungsplattform. Entsprechend der Empfehlung zur Durchführung von *Distance Sampling* Surveys im Rahmen von "Biologischen Begleituntersuchungen", wurden Feldleitfäden zur praktischen Anwendung der Methode sowohl im Rahmen eines Helikopter Surveys, als auch eines Krähennestsurveys entwickelt. Das Konzept und die Feldleitfäden sind Teil des Anhangs dieses Berichts.

4 Synthese der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus den *Distance Sampling* Surveys erbrachten Dichtewerte für Großwale, Buckelwale, Finnwale und Zwergwale in fünf verschiedenen Strata, für ein Stratum konnten zudem Abundanz abgeschätzt werden. Die Dichtewerte können als Index zum Vergleich von Waldichten zwischen den Strata genutzt werden und weisen die unterschiedliche Dichteverteilung von Walen in der Antarktis nach. Demnach finden sich in den eisbedeckteren Gewässern des Weddellmeeres und vor der Neumayerstation III vornehmlich Zwergwale, auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel ist eine höhere Artenvielfalt anzutreffen, neben Zwergwalen kommen auch vermehrt Großwale, vor allem Buckelwale, vor. Am Beispiel des Stratum WAP konnte aufgezeigt werden, dass bei ausreichender Verweildauer des Schiffes in einem umgrenzten Gebiet, mittels Helikoptersurveys Abundanz ermittelt werden können. Obwohl die Abundanz, gleichwie die Dichten, in Ermangelung einer $g(0)$ -Korrektur Minimalwerte sind, stellen sie einen guten Beitrag zur Kenntniserweiterung über das Walvorkommen in der Antarktis dar und liefern robuste Zahlen für dieses umgrenzte Gebiet.

Beide Methoden, der Helikoptersurvey und der Krähenneestsurvey erbrachten unterschiedliche *Encounter rates* und Dichten, wobei geringere *Encounter rates* vornehmlich auf die höhere Geschwindigkeit der Flugerfassungen zurückzuführen sind. Analysen der *Tracking*-Beobachtungen lieferten zudem erste Hinweise auf ein Annäherungsverhalten von Buckelwalen zum Schiff. Zumindest für diese Spezies könnte dieser Umstand zu einer erhöhten Detektionsrate vom Schiff im Vergleich zum Helikopter beitragen. Der oft benannte Nachteil der Flugerfassungen, dass eine geringe *Encounter rate* zur Unterschätzung der Bestände im Vergleich mit Schiffserfassungen führt, wurde in dieser Studie widerlegt. Zwar erzielen Flugerfassungen geringere *Encounter rates*, die auf Basis der erhobenen Daten ermittelten Dichten unterschieden sich jedoch nur in Ausnahmen statistisch signifikant von denen der Schiffserfassungen. Zumeist waren sie mit einem kleineren Fehler assoziiert und sind damit als robuster zu betrachten. Helikoptersurveys erwiesen sich zudem als sehr effiziente Erfassungsmethode in der Antarktis, da sie es ermöglichen, schon kleine Zeitfenster günstiger Erfassungsbedingungen effektiv zu nutzen und in kurzer Zeit viele Sichtungen aufzunehmen. Eine große Zahl an Sichtungen pro Kilometer Aufwand wird benötigt, um robuste Abundanzschätzungen nach der *Distance Sampling* Methode vornehmen zu können. Des Weiteren bieten Helikoptersurveys den Vorteil, dass sie den Einflussbereich des Schiffes verlassen können und somit Daten unabhängig von einem möglichen Anlockungsverhalten zu erheben, für welches diese Studie in Bezug auf Buckelwale erste Hinweise lieferte.

Ein Vergleich der Krähenneesterfassungen mit denen der Brücke (Walog) zeigte, dass innerhalb des gleichen Beobachtungszeitraums mindestens 9x mehr Sichtungen durch einen dedizierten Walsurvey als durch das nautische Personal erfasst werden. Bei einem direkten Vergleich der Sichtungen entdeckte die Brücke nur etwa ein Viertel aller Sichtungen, die von einem geschulten Walbeobachtungsteam während eines gezielten Surveys erfasst wurden. Dieses Erkenntnis unterstreicht den opportunistischen Charakter der Walog-Erfassungen. Das nautische Personal ist vorrangig mit anderen Aufgaben betraut und kann sich nicht kontinuierlich der Walbeobachtung widmen. Dadurch entgehen der Brücke Sichtungen und es kann zur Doppelerfassung von Tieren kommen. Darüber hinaus fehlt eine Aufwandserfassung. Ein großer Vorteil der Brückenerfassungen hingegen ist, dass sie potentiell rund um die Uhr Sichtungen aufnehmen kann und zu jeder Zeit "on effort" ist. Hierdurch können über den Zeitraum einer Expedition insgesamt mehr Sichtungen erfasst werden, als es einem dedizierten Walsurvey möglich ist. Dedizierte Walsurveys sind personalaufwändig und haben einen hohen Anspruch an die Umwelt- und Sichtungsbedingungen, um die Datenqualität zu gewährleisten,

die für eine Dichte- und Abundanzbestimmung erforderlich ist. Während die opportunistischen Brückendaten für Dichte- und Abundanzbestimmungen ungeeignet sind, stellen sie eine gute Datenquelle für Habitatmodelle dar, da die Bestimmung von Art und Gruppengrößen zum Großteil akkurat sind und auf diese Weise ohne große zusätzliche Kosten oder Aufwand erhebliche Datenmengen erzeugt werden können.

Die Effizienzbestimmung der IR Kamera ergab, dass die IR Kamera nur etwa die Hälfte der Sichtungen detektiert, die ein geschultes Walbeobachtungsteam während eines gezielten Surveys erfasst. Wieviele Wale die Kamera im gleichen Beobachtungszeitraum jedoch möglicherweise zusätzlich zu den vom Krähenestteam erfassten Tieren detektierte, konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht überprüft werden, da die einzeln aufgezeichneten Blasereignisse derzeit noch nicht auf Individuenbasis aggregiert, d.h. einzelnen Tieren zugeordnet werden können. Die Vorzüge der IR Kamera, insbesondere für einen Einsatz zu Mitigationzwecken im Rahmen von seismischen Untersuchungen sind zweifelsohne ihre dauerhafte Einsetzbarkeit und Funktionstüchtigkeit nachts sowie bei hohen Seastates. Bei schlechten Sichtungsbedingungen und besonders auch nachts stellen menschliche Beobachter keine Alternative zum IR Kamerasystem dar. Bei guten Sichtungsbedingungen hingegen ist ein geschultes Beobachtungsteam wahrscheinlich besser in der Lage, alle Wale in der Umgebung zu detektieren und eine sichere Mitigation zu gewährleisten. Insbesondere kleinere Walarten mit unscheinbarerem Blas, wie z.B. Schnabelwale, würden durch ein Walbeobachtungsteam besser erfasst werden können. Als tief tauchende Arten können gerade Schnabelwale durch seismische Untersuchungen besonders beeinträchtigt werden (z.B. Gordon et al. 2003, Cox et al. 2006, Barlow & Gisiner 2006). Vor dem Hintergrund, dass menschliche Walbeobachtungen personalaufwändig sind und weder rund um die Uhr, noch bei allen Wetterbedingungen durchgeführt werden können, bietet die IR Kamera eine sinnvolle Mitigationsmaßnahme, sofern kein Beobachtungsteam zur Verfügung steht. Eine komplementäre Anwendung beider Methoden würde ideale Voraussetzungen zur Mitigation schaffen.

5 Ausblick

Die im Rahmen dieses Projekts erhobenen *Distance Sampling* Daten ermöglichen lokale Dichtermittlungen von Walen. Um Dichten auf Flächen, die über das unmittelbar beobachtete Gebiet hinaus gehen, beziehen zu können, bedarf es nach der konventionellen *Distance Sampling* Methode eines vorabgeplanten Transektdesigns, welches die zu untersuchende Fläche repräsentativ abdeckt. Sind die Voraussetzungen hierfür nicht gegeben, ermöglichen Modellierungsverfahren eine auf eine größere Fläche bezogene Dichtermittlung - basierend auf *Distance Sampling* Daten. Insbesondere Density Surface Modelle (DSM) stellen eine geeignete (Hedley et al. 2004) und oftmals im Distance Sampling Kontext angewendete Methode dar (z.B. Katsanevakis 2007, Herr et al. 2009). Die Erstellung eines DSMs stellt einen nächsten sinnvollen Schritt im Rahmen der weiteren Auswertung der erhobenen Daten dar, um räumlich fein aufgelöst weitreichendere Aussagen zu den Walpopulationen in der Antarktis treffen zu können. Anders als das im Rahmen des parallel vom AWI durchgeführten Projekts erstellte Habitatsuitabilitymodell (HSM), welches auf den Walogdaten basiert und das die Eignung eines Habitats für Wale beschreibt, ermöglicht ein auf *Distance Sampling* Daten basiertes DSM die Modellierung von tatsächlichen Dichten. Hierin liegt die große Chance, basierend auf den erhobenen Daten einen wertvollen Beitrag zur Kenntnis über die Walverteilung, Dichte sowie, in Kombination mit Habitat Suitability Modellen des AWI, die effektive Besetzung geeigneter Habitate im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres zu leisten.

Insbesondere die Ergebnisse des Helikoptersurveys zeigen, dass mit ausreichender Aufenthaltszeit in einem umgrenzten Gebiet auch in der Antarktis design-basierte Line-transect *Distance Sampling* Surveys durchgeführt werden können. Diese systematischen Surveys können zu gebietsspezifischen Dichten und Abundanzen nach der konventionellen *Distance Sampling* Auswertung führen. Wiederholte Surveys in die gleichen Untersuchungsgebiete würden auf Grundlage dieser Datenbasis zeitliche Vergleiche und die Untersuchung von Abhängigkeit zu Umweltvariablen, wie z.B. Eisbedeckung, in einem (geografisch) gleich bleibenden Untersuchungsgebiet ermöglichen. Surveys in anderen Meeresgebieten könnten ergänzende Abundanz- und Dichteinformationen liefern und so die Abdeckung der Antarktis mit gezielten Walerfassungen und damit die Informationslage zur Verbreitung und Dichte von Walen in der Antarktis entscheidend verbessern. Die Bestrebungen sollten dahin gehen, den Aufwand gezielter Walerfassungssurveys auf Reisen in die Antarktis zu maximieren. Es sollten standardmäßig biologische Begleituntersuchungen etabliert werden, die entsprechend des erarbeiteten Konzepts systematisch *Distance Sampling* Daten erheben. Im Vergleich zu den derzeit verbreitet als Begleituntersuchungen durchgeführten Streifentransekterhebungen würde der geringe Mehraufwand eines dedizierten Walsurveys wesentlich belastbarere und aussagekräftigere Daten liefern.

Von besonders großem Interesse für die Bestandsermittlungen in der Antarktis wäre die Ermittlung eines Korrekturfaktors, d.h. die Bestimmung des $g(0)$ Wertes, zumindest für die am häufigsten gesichteten Arten, Buckelwal und Antarktischer Zwergwal. Hierfür bedarf es eines gezielten (schiffsbasierten) Double-Platform Surveys (vergl. Konzept für Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis, Anhang).

Für die Mitigation stellt ein komplementärer Einsatz eines geschulten Walbeobachtungsteams und der IR Kamera eine große Chance dar. Der 24-Std Einsatz der IR Kamera könnte eine kontinuierliche Waldetektion zu jeder Tages- und Nachtzeit, unabhängig von den Wetterbedingungen gewährleisten, während das Walbeobachtungsteam bei geeigneten Bedingungen eine positive Erweiterung zur Erfassung von Walen in der Umgebung darstellen könnte. Beide Methoden könnten weiterhin zur Validierung und Evaluation der anderen

Methode genutzt werden, um sich gegenseitig zu verbessern. Die Kamera könnte durch das Walbeobachtungsteam über nicht detektierte Wale in der Umgebung informiert und so der Detektionsalgorithmus weiter verbessert werden. Das Walbeobachtungsteam könnte von der Präzision der Entfernungs- und Winkelmessungen der Kamera profitieren und diese zur Evaluation der manuellen Messungen nutzen (vergl. Kapitel 4.2.3). Unterschiedliche Zeitstempel der Sichtungereignisse, basierend auf nicht miteinander kalibrierten Zeiterfassungssystemen zwischen den einzelnen/unterschiedlichen Methoden, ließen keine eindeutige Zuordnung von Einzelereignissen zu, die einen exakten Distanz- und Winkelvergleich erlauben würden. Dies wäre im Rahmen einer gezielten Studie mit kalibrierter Zeiterfassung zukünftig möglich.

6 Quellenverzeichnis

- Ainley, D.G. (1985): The biomass of birds and Mammals in the Ross Sea, Antarctica. IN Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. (eds) Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Hamburg, Germany.
- Ainley, D.G., Dugger, K.M., Toniolo, V., Gaffney, I. (2007): Cetacean occurrence patterns in the Amundsen and Bellingshausen Sea sector, Southern Ocean. *Marine Mammal Science* 23(2): 287–305.
- Akaike, H. (1974): A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6): 716 – 723.
- Anderson, D. R., Burnham, K. P., and White, G. C. (1994): AIC Model Selection in Overdispersed Capture-Recapture Data. *Ecology* 75: 1780 – 1793.
- Barlow, J., Gisiner, R. (2006): Mitigating, monitoring and assessing the effects of anthropogenic sound on beaked whales. *Journal of Cetacean Research and Management* 7(3): 239 – 249.
- Branch, T.A. (2007): Possible reasons for the appreciable decrease in abundance estimates for Antarctic minke whales from the IWC/SOWER surveys the second and the third circumpolar sets of cruises. Paper SC/59/IA7, International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- Bozdogan, H. (1987): Model selection and Akaike's Information Criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika* 52 (3): 345 – 370.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., Thomas, L. (2001): Introduction to distance sampling. Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, New York.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., Thomas, L. (2004): Advanced distance sampling. Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, New York.
- Calambokidis, J., Barlow, J. (2004): Abundance of blue and humpback whales in the eastern North Pacific estimated by capture-recapture and line-transect methods. *Mar. Mamm. Sci.* 20(1):63-85.
- Cox, T.M., Ragen, T.J., Read, A.J., Vos, E., Baird, R.W., Balcomb, K., Barlow, J., Caldwell, J., Cranford, T., Crum, L., Amico, A.D., Spain, G.D., Fernández, A., Finneran, J., Gentry, R., Gerth, W., Gulland, F., Hildebrandt, J., Houser, D., Hullar, T., Jepson, P.D., Ketten, D., MacLeod, C.D., Miller, P., Moore, S., Mountain, D.C., Palka, D., Ponganis, P., Rommel, S., Rowles, T., Taylor, B., Tyack, P., Wartzok, D., Gisiner, R., Mead, J., Benner, L. (2006): Understanding the impacts of anthropogenic sound on beaked whales. *Journal of Cetacean Research and Management* 7(3): 177 - 187.
- Dawson, S., Wade, P., Sooten, E., Barlow, J. (2008): Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats. *Mammal Review* 38: 19-49.
- Ensor, P., Komiya, H., Beasley, I., Fukutome, K., Tsuda, Y. (2007): 2006-2007 International Whaling Commission-Southern Ocean Whale and Ecosystem Research (IWC-SOWER) cruise: International Whaling Commission, Cambridge, UK: pp. 58
- Forney, K. (2000): Environmental Models of Cetacean Abundance: Reducing Uncertainty in Population Trends. *Conservation Biology* 14 (5):1271-1286.

- Gloersen, P., Campbell, W.J., Cavalieri, D.J., Comiso, J.C., Parkinson, C.L., Zwally, H.J. (1993): Satellite passive microwave observations and analysis of Arctic and Antarctic sea ice, 1978-1987. *Annals of Glaciology* 17: 149-154.
- Gordon, J., Gillespie, D., Potter, J., Frantzis, A., Simmonds, M.P., Swift, R., Thompson, D. (2003): A review of the effects of seismic surveys on marine mammals. *Marine Technology Society Journal* 37(4):16-34.
- Gutt, J., Barratt, I., Domack, E., d'Udekem d'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.E., Meißner, M., Montiel, A., Raes, M., Robert, H., Rose, A., Schepisi, E.S., Saucède, T., Scheidat, M., Schenke, H.-W., Seiler, J., Smith, C. (2010): Biodiversity change after climate-induced ice-shelf collapse in the Antarctic. *Deep-Sea Research II* 1-2: 74-83.
- Hedley, S.L., Buckland, S.T. (2004): Spatial models for Line Transect Sampling. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 9(2): 181-199.
- Herr, H., Scheidat, M., Lehnert, K., Siebert, U., (2009): Seals at sea: modelling seal distribution in the German bight based on aerial survey data. *Marine Biology* 15: 811 - 820.
- Joiris, C.R. (1991): Spring distribution and ecological role of seabirds and marine mammals in the Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biology* 11:415-424.
- Kasamatsu, F., Ensor, P., Joyce, G.G., Kimura, N. (2000): Distribution of minke whales in the Bellingshausen and Amundsen Seas (60°W-120°W), with special reference to environmental/physiographic variables. *Fisheries Oceanography* 9:214-223.
- Katsanevakis, S. (2007): Density surface modelling with line transect sampling as a tool for abundance estimation of marine benthic species: the *Pinna nobilis* example in a marine lake. *Marine Biology* 152: 77-85.
- Kelly, N., Peel, D., Pike, D., Bravington, M.V., Gales, N. (2009): An aerial survey for Antarctic minke whales in sea ice off east Antarctica: a pilot study. Paper SC/61/IA3, International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- Kelly, N., Murase, H., Kitikado, T., Kock, K.-H., Williams, R., Feindt-Herr, H., Wallø, L. (2012): Appraisal of methods and data to estimate abundance of Antarctic minke whales within sea ice covered areas of the Southern Ocean. Paper SC/64/IA10, International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- Leeper, R., Bannister, J., Branch, T.A., Clapham, P.J., Donovan, G.P., Matsuoka, K. Reilly, S., Zerbini, A.N. (2008): A review of abundance, trends and foraging parameters of baleen whales in the Southern Hemisphere. Paper SC/60/EM3, International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- Marsh, H., Sinclair, D.F. (1989): Correcting for availability bias in strip transect aerial surveys of aquatic fauna. *Journal of Wildlife Management* 53: 1017-1024.
- Miller, D.L. (2013): Distance: A simple way to fit detection functions to distance sampling data and calculate abundance/density for biological populations. R package version 0.7.2. <http://CRAN.R-project.org/package=Distance>
- Plumptre, A.J. (2000): Monitoring mammal populations with line transect techniques in African forests. *J. Appl. Ecol.* 37: 356-368.
- R Core Team (2013): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

- Richardson, W.J., Greene, C.R., Malme, C.I., Thomson, D.H. (1995): Marine mammals and noise. Academic Press, San Diego, USA.
- Strindberg, S, Buckland, S.T. (2004): Zigzag survey designs in line transect sampling. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 9(4): 443–461.
- Wade, P.R., DeMaster, D.P. (1999): Determining the optimum interval for abundance surveys. In: G.W. Garner, S.C. Amstrup, J.L. Laake, B.F.J. Manly, L.L. McDonald & D.G. Robertson (Eds), *Marine mammal survey and assessment methods* (pp. 53–66). A.A. Balkema, Rotterdam.
- Zitterbart, D.P., Kindermann, L., Burkhardt, E., Boebel, O. (2013): Automatic Round-the-Clock Detection of Whales for Mitigation from Underwater Noise Impacts. *PLOSone* 8(8): e71217.

Anlagen

Anlagen (öffentlich)

- Kurzfassung des Berichts
- Konzept "Biologische Begleituntersuchungen in der Antarktis"
 1. Konzept
 2. Feldleitfaden Schiffserfassungen
 3. Feldleitfaden Flugerfassungen
- Veröffentlichungen

Anlagen (nicht öffentlich)

- Sichtungsdatenbanken
- Erfolgskontrollbericht
- Interne Datenbewertung