

**Modellierungen zu Populationsgrößen und räumlicher
Verteilung von Zwergwalen im antarktischen Packeis auf
der Grundlage von see- und luftgestützten
Tiersichtungen
(Förderkennzeichen 2811HS015)**

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung
(ITAW)

SCHLUSSBERICHT



Im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
Büsum, Dezember 2015

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

Prof. Prof. h. c. Dr. Ursula Siebert

Forschungsvorhaben Nr.: 2811HS015

Thema: Modellierung zu Populationsgrößen und
räumlicher Verteilung von Zwergwalen im
antarktischen Packeis auf Grundlage von
see- und luftgestützten Tiersichtungen

Laufzeit: 1.7.2011 – 31.9.2015

Berichtszeitraum: 1.7.2011 – 31.9.2015

Autoren: Dr. Helena Herr
Dipl. Biol. Sacha Viquerat
Prof. Prof. h. c. Dr. Ursula Siebert

**Zusammenarbeit
mit anderen Stellen:** PD Dr. Karl-Hermann Kock
Thünen Institut (TI)
Palmaille 9
22767 Hamburg

Dr. Natalie Kelly
CSIRO
Castray Esplanade
Hobart 700, Tasmania
Australien

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens	13
1.1	Planung und Ablauf des Vorhabens	13
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde.....	15
2	Material und Methoden	19
2.1	Line Transect Distance Sampling.....	21
2.2	Krähennestsurvey	23
2.3	Helikoptersurvey.....	24
2.4	<i>Distance Analyse</i>	25
3	Ergebnisse	27
3.1	Datenerhebung.....	27
3.1.1	Expedition ANT28-2	27
3.1.2	Expedition ANT29-3	27
3.1.3	Expedition ANT30-2	28
3.2	Verwendete Daten.....	30
3.3	Analyseergebnisse	34
3.3.1	Zwergwaldichten	34
3.3.1.1	Antarktische Zwergwaldichten in Beziehung zur Meereiskante	34
3.3.1.2	Dichteverteilung von Antarktischen Zwergwalen in Raum, Zeit und Beziehung zum Meereis	36
3.3.2	Finn und Buckelwalverteilung an der Westantarktische Halbinsel	46
3.3.3	Modellierung von Begegnungswahrscheinlichkeiten für Groß- und Zwergwale entlang des Greenwich Meridians basierend auf schiffsgestützten Erfassungen.....	57
3.4	Methodenvergleich	62
3.4.1	Stratumsbasierter Vergleich von Begegnungsraten und Dichten	62
3.4.2	Raumzeitlicher Vergleich von Begegnungsraten und Dichten.....	70
3.5	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	75
3.5.1	Antarktische Zwergwale	75
3.5.2	Finnwale und Buckelwale.....	76

3.5.3	Methodenvergleich	76
3.5.4	Wissenschaftliche Beiträge im Rahmen des Projekts	77
4	Zusammenfassung	80
5	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen	85
6	Literaturverzeichnis	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schiffstracks aller Polarstern Expeditionen, auf denen ein Schiffssurvey und / oder ein Helikoptersurvey durchgeführt wurde.....	19
Abbildung 2: Darstellung aller Strecken die im Beobachtungsmodus während der Helikoptersurveys abgeflogen wurden.....	20
Abbildung 3: Darstellung aller Strecken die im Beobachtungsmodus während der Krähenneestsurveys abgedeckt wurden.....	20
Abbildung 4: Beim <i>Line Transect Distance Sampling</i> wird die Distanz von der Transektlinie bis zum erfassten Tier für jede Sichtung erfasst. Aus diesen Distanzen wird nachträglich die Flächengrundlage für die Dichteberechnung ermittelt. Es werden alle Sichtungen unabhängig von ihrer Distanz zum Transekt erfasst. Die Methode berücksichtigt, dass Tiere übersehen werden können (transparente Tiere stellen nicht erfasste Tiere dar). Bei der später ermittelten Streifenbreite "ersetzt" der außerhalb des Streifens erfasste Anteil an Tieren den innerhalb des Streifens übersehenen Anteil. Die Streifenbreite entspricht damit der Flächengrundlage, auf der alle Tiere erfasst wurden.....	22
Abbildung 5: Die Berechnung der rechtwinkligen Entfernung x eines gesichteten Tieres zum Transekt erfolgt bei Flugzählungen über den Inklinationswinkel α unter zu Hilfenahme der bekannten, konstanten Flughöhe.....	25
Abbildung 6: Darstellung aller Sichtungspositionen von Bartenwalen und Pottwalen während der Helikoptersurveys aller sechs Expeditionen.....	32
Abbildung 7: Darstellung aller Sichtungspositionen von Zahnwalen (ohne Pottwale) die während der Helikoptersurveys aller sechs Expeditionen erfasst wurden.....	32
Abbildung 8: Darstellung aller Sichtungspositionen von Walen die während der Krähenneestsurveys auf den Expeditionen ANT25-2, ANT27-2, ANT28-2 und ANT30-2 erfasst wurden.....	33
Abbildung 9: Relative Abundanz von Zwergwalen in 25 km Abschnitten (negative Distanzen beziehen sich auf Bereiche jenseits der Eiskante (d.h. "im Eis")), für die Gebiete westlich (grün) und östlich (lila) von 30°. Westlich von 30° beginnt der Bereich des Weddellmeers. Die gestrichelte und die durchgängige Linie gibt jeweils den Flächenanteil von Eis und Wasser in jedem Abschnitt an. Die Abbildung ist publiziert in Williams et al. (2014).....	35
Abbildung 10: Verteilung der Zwergwalsichtungen in bestimmter Distanz zum Transekt (Balken). Die ausgewählte, dargestellte Detektionsfunktion entspricht einer half-normal Funktion, skaliert nach den zweistufigen Sichtungsbedingungen (moderat und gut). Die Kreise geben die Detektionswahrscheinlichkeit entsprechend der jeweiligen Distanz und des Einflusses der Sichtungsbedingungen an. Die Linie entspricht der mittleren, angepassten Detektionsfunktion.....	37

Abbildung 11: Aufteilung der Strata für die Zwergwaldichten für verschiedene Tage vorhergesagt wurden. WAP = West Antarctic Peninsula, EAP = East Antarctic Peninsula, WS = Weddell Sea und NM = Neumayer.	39
Abbildung 12: Die Grafiken auf der linken Seite zeigen die vorhergesagte Zwergwaldichte für drei verschiedene Tage im Stratum Neumayer (NM). Oben: 5.12.2006, Mitte: 19. Dezember 2008, Unten: 18. Dezember 2010. Die weiße Linie markiert die Position der ermittelten 15% Eiskante an dem spezifischen Tag. Die Abbildungen auf der rechten Seite stellen die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegrid wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Hohe Variationskoeffizienten deuten auf eine unsicherere Schätzung als niedrige.	41
Abbildung 13: Die Grafiken auf der linken Seite zeigen die vorhergesagte Zwergwaldichte für zwei verschiedene Tage im Stratum Weddell Sea (WS). Oben: 15.12.2006, Unten: 30. Dezember 2010. Die weiße Linie markiert die Position der ermittelten 15% Eiskante an dem spezifischen Tag. Die Abbildungen auf der rechten Seite stellen die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegrid wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Hohe Variationskoeffizienten deuten auf eine unsicherere Schätzung als niedrige.	42
Abbildung 14: Die Grafiken auf der linken Seite zeigen die vorhergesagte Zwergwaldichte für zwei verschiedene Tage im Stratum East Antarctic Peninsula (EAP). Oben: 14.01.2007, Unten: 11. Februar 2013. Die weiße Linie markiert die Position der ermittelten 15% Eiskante an dem spezifischen Tag. Die Abbildungen auf der rechten Seite stellen die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegrid wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Hohe Variationskoeffizienten deuten auf eine unsicherere Schätzung als niedrige.	43
Abbildung 15: Die Grafik auf der linken Seite zeigt die vorhergesagte Zwergwaldichte für das Stratum West Antarctic Peninsula (WAP). Die Abbildung auf der rechten Seite stellt die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegrid wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Insgesamt zeichnet sich diese Vorhersage durch hohe Variationskoeffizienten aus, da sie auf einer sehr kleinen Stichprobe basiert. Diese Vorhersage ist somit als nicht sehr robust einzuschätzen.	43
Abbildung 16: Darstellung des Helikopteraufwands (rote Linie) und der Krillstationen auf der Expedition ANT29-3. Schwarz hinterlegt ist der Schiffstrack.	47
Abbildung 17: Position aller Walsichtungen während des Helikoptersurveys auf der Expedition ANT29-3. Die weiß schraffierte Fläche bezeichnet Bereiche mit mindestens 15 % Eisbedeckung. Die weiße Linie	

kennzeichnet die Eiskante. Grau hinterlegt sind die Tracks des Helikoptersurveys.	48
Abbildung 18: Detektionsfunktionen für Buckelwale (links) und Finnwale (rechts), basierend auf jeweils 47 bzw. 80 Sichtungen. Es wurde eine <i>right truncation</i> bei 1 300 m für Buckelwale und 1000 m für Finnwale vorgenommen. Es wurden keine Kovariablen in die Funktionen für Buckelwale eingeschlossen, bei der Detektionsfunktion für Finnwale wurde die subjektiven Sichtungsbedingungen 'gut' und 'moderat' eingeschlossen.	48
Abbildung 19: Darstellung der Parameterglättung des besten Buckelwalmodells hw_3 . Die linke Seite zeigt die Interaktion von x,y an; grüne Linien markieren Bereiche über, rote Linien zeigen Bereiche unterhalb des Mittelwerts des Parameters an (schwarze Linie); Die rechte Seite zeigt die Vorhersage des Parameters Wassertiefe (depth_m) an.	50
Abbildung 20: Darstellung der Parameterglättung des besten Finnwalmodells fw_3 . Die linke Seite zeigt die Interaktion von x,y an; grüne Linien markieren Bereiche über, rote Linien zeigen Bereiche unterhalb des Mittelwerts des Parameters an (schwarze Linie); Die rechte Seite zeigt die Vorhersage des Parameters Wassertiefe (depth_m) an.	50
Abbildung 21: Vorhersage der Buckelwalverteilung im Surveyzeitraum (Januar – März 2013). Die grauen Kreuze markieren die tatsächlichen Sichtungspositionen von Buckelwalen während des Helikoptersurveys. Das Gebiet wurde in zwei Untergebiete (BS = Bransfield Strait und DP = Drake Passage) eingeteilt, für die separat die Abundanz abgeschätzt wurde.	51
Abbildung 22: Vorhersage der Finnwalverteilung im Surveyzeitraum (Januar – März 2013). Die grauen Kreuze markieren die tatsächlichen Sichtungspositionen von Finnwalen während des Helikoptersurveys. Das Gebiet wurde in zwei Untergebiete (BS = Bransfield Strait und DP = Drake Passage) eingeteilt, für die separat die Abundanz abgeschätzt wurde.	51
Abbildung 23: Darstellung der vorhergesagten Biomasse von <i>Euphausia superba</i> . Haupteffekte waren Temperatur in 200m Tiefe sowie eine räumliche Glättung von x und y. Lücken in der Vorhersage gehen auf fehlende Werte in den ozeanografischen Parametern (Temperatur in 200 m Tiefe) zurück.	53
Abbildung 24: Darstellung der vorhergesagten Biomasse von <i>Euphausia crystallorophias</i> . Haupteffekte waren Temperatur in 200m Tiefe sowie die Wassertiefe. Lücken in der Vorhersage gehen auf fehlende Werte in den ozeanografischen Parametern (Temperatur in 200 m Tiefe) zurück.	54
Abbildung 25: Darstellung der vorhergesagten Biomasse von <i>Thysanoessa macrura</i> . Haupteffekt war eine räumliche Glättung von x und y.	54
Abbildung 26: Vorhergesagte Buckelwaldichte gegen vorhergesagte Biomasse von <i>Euphausia superba</i> , <i>Euphausia crystallorophias</i> ,	

<i>Thysanoessa macrura</i> und der Gesamtbiomasse der drei Arten (von oben nach unten).....	55
Abbildung 27: Vorhergesagte Finnwaldichte gegen vorhergesagte Biomasse von <i>Euphausia. superba</i> , <i>Euphausia crystallorophias</i> , <i>Thysanoessa macrura</i> und der Gesamtbiomasse der drei Arten (von oben nach unten).....	56
Abbildung 28: Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Zwergwalen entlang eines 40° breiten Korridors entlang des Greenwich Meridians; Zur besseren Darstellung wurde die Vorhersage auf den tatsächlich abgedeckten Schiffstrack um die Vorhersage des gesamten Gebietes zwischen 20° West und 20° Ost erweitert. Rote Punkte markieren tatsächlich erfolgte Zwergwalsichtungen während der Surveys.	59
Abbildung 29: Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Buckelwalen entlang eines 40° breiten Korridors entlang des Greenwich Meridians; Zur besseren Darstellung wurde die Vorhersage auf den tatsächlich abgedeckten Schiffstrack um die Vorhersage des gesamten Gebietes zwischen 20° West und 20° Ost erweitert. Gelbe Quadrate markieren tatsächlich erfolgte Buckelwalsichtungen während der Surveys.....	60
Abbildung 30: Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Finnwalen entlang eines 40° breiten Korridors entlang des Greenwich Meridians; Zur besseren Darstellung wurde die Vorhersage auf den tatsächlich abgedeckten Schiffstrack um die Vorhersage des gesamten Gebietes zwischen 20° West und 20° Ost erweitert. Türkise Fünfecke markieren tatsächlich erfolgte Finnwalsichtungen während der Surveys.	61
Abbildung 31: Detektionsfunktionen für Großwale. Die linke Grafik zeigt die Ergebnisse der Sichtungen während des Helikoptersurveys, die rechte Grafik die des Schiffssurveys. Die vertikale Linie gibt die Position der esw wieder, welche die Grundlage zur effektiv beobachteten Fläche bildet.....	66
Abbildung 32: Detektionsfunktionen für Zwergwale. Die linke Grafik zeigt die Ergebnisse der Sichtungen während des Helikoptersurveys, die rechte Grafik die des Schiffssurveys. Die vertikale Linie gibt die Position der esw wieder, welche die Grundlage zur effektiv beobachteten Fläche bildet.....	67
Abbildung 33: Begegnungsraten von Großwalen (blaue Linie, Dreiecke) und Zwergwalen (rote Linie, Kreuze) innerhalb der raum-zeitlichen Einheiten; Die gestrichelte, grüne Linie markiert Identität, also ein gleiches Verhältnis beider Begegnungsraten; Aufgetragen ist eine Regression der beiden Begegnungsraten und die Koeffizienten der jeweiligen Regression ist in der Legende angegeben.....	71
Abbildung 34: Dichten von Großwalen (blaue Linie, Dreiecke) und Zwergwalen (rote Linie, Kreuze) innerhalb der raum-zeitlichen Einheiten; Die gestrichelte, grüne Linie markiert Identität, also ein gleiches Verhältnis beider Dichten; Aufgetragen ist eine Regression der	

beiden Dichten und die Koeffizienten der jeweiligen Regression
ist in der Legende angegeben. 72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenfassung des Aufwands (abgedeckte Beobachtungsstrecke) aller Expeditionen die für Auswertungen in Betracht gezogen wurden, getrennt nach schiffs- und fluggestützten Erfassungen.	21
Tabelle 2:	Überblick über alle erfassten Sichtungen und Individuen des Helikopter- und Schiffssurveys während der Expedition ANT28-2	27
Tabelle 3:	Überblick über alle erfassten Sichtungen des Helikoptersurveys während der Expedition ANT29-3	28
Tabelle 4:	Überblick über alle während der Expedition ANT30-2 im Rahmen des Helikoptersurveys und des Krähennestsurveys gesichteten Wale.	30
Tabelle 5:	Übersicht über alle Walarten die auf sechs Expeditionen während Helikopter und Schiffssurveys erfasst wurden. Angegeben sind getrennt nach Methode jeweils die Sichtungsanzahl sowie die Zahl der gesichteten Individuen.	31
Tabelle 6:	Übersicht über alle verwendeten Daten für die Analysen zu Zwergwaldichten im Eis. Alle analysierten Zwergwaldaten gingen in die spätere Modellierung ein. Für die Detektionsfunktion wurde nur der Teil der Sichtungen verwendet, die von der linken, komplett beobachteten Seite des Helikopters aus aufgenommen wurden.	36
Tabelle 7:	Übersicht über die Tage für welche eine gebietsspezifische Vorhersage der Zwergwaldichte erstellt wurde. Die Daten entsprechen den zeitlichen Mittelpunkten der einzelnen Surveys die das Gebiet besuchten. Bei dem Gebiet WAP flossen nur statische Prediktoren in das Modell ein, so dass eine tagesunabhängige Vorhersage vorgenommen werden konnte.	40
Tabelle 8:	Auf den Modellen basierend vorhergesagte Dichten und Abundanzen von Zwergwalen für alle Strata und Tage.	44
Tabelle 9:	Dichten und Abundanzen von Zwergwalen innerhalb und außerhalb der 15% Meereiszone für alle Vorhersagetage.	45
Tabelle 10:	Getestete Modelle im Zusammenhang mit der Density Surface Modleling Auswertung. Die jeweils besten Modelle sind in Fett markiert und basieren auf einer Evaluierung des UBRE Scores sowie der erklärten Varianz (dev.exp). hw Modelle beziehen sich auf Buckelwale, fw Modelle auf Finnwale.	49
Tabelle 11:	Abgeschätzte Dichte und Abundanz für Buckelwale und Finnwale in den Gebieten DP und BS. KI = Konfidenzintervall.	52
Tabelle 12:	Übersicht der getesteten Modelle; Modell referenziert das Kürzel des Modells; Formel gibt die getesteten Variablen innerhalb des Modells an; REML ist das <i>Maximum Likelihood</i> Maß für die Güte des Modells; Abweichung ist ein weiteres Maß für die Güte des Modells, welche die erklärte Abweichung zwischen den Stationen angibt; Stationen gibt die Anzahl der Stationen an, die auf Grund vollständiger Datensätze in die Modellierung eingingen.	53

Tabelle 13: Übersicht der in der Modellierung getesteten Variablen mit Quellenangabe; Neigung und Neigungsrichtung des Meeresbodens entstammen den Daten zur Tiefe bis zum Grund.....	58
Tabelle 14: Übersicht der in den logistischen Modellen genutzten Umweltparameter. Die Anzahl der Sterne zeigt das Signifikanzniveau des Parameters im entsprechenden Modell an (* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$, - = $p > 0,05$).	58
Tabelle 15: Darstellung des Suchaufwandes pro Stratum und Anzahl der Sichtungen für Zwerg-, Buckel- und Finnwale während der Schiffssurveys; G: Anzahl gesichteter Gruppen (bereits korrigiert); N: Anzahl Tiere; \hat{s} : mittlere Gruppengröße.....	62
Tabelle 16: Darstellung des Suchaufwandes pro Stratum und Anzahl der Sichtungen für Zwerg-, Buckel- und Finnwale während der Helikoptersurveys; G: Anzahl gesichteter Gruppen (bereits korrigiert); N: Anzahl Tiere; \hat{s} : mittlere Gruppengröße.....	63
Tabelle 17: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwal- Begegnungsraten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\cdot \leq 0,1$).	64
Tabelle 18: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Buckelwal- Begegnungsraten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\cdot \leq 0,1$).	64
Tabelle 19: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Finnwal-Begegnungsraten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\cdot \leq 0,1$).	65
Tabelle 20: Übersicht über die ermittelten halben effektiven Streifenbreiten (esw) für Zwerg-, und Großwale. Die doppelte esw bildet die Grundlage für den Flächenbezug der darauf aufbauenden Dichteberechnungen.	67
Tabelle 21: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\cdot \leq 0,1$).....	68
Tabelle 22: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Buckelwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*** $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\cdot \leq 0,1$).....	68
Tabelle 23: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Finnwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne	

kennzeichnen das Signifikanzniveau (***) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).....	68
Tabelle 24: Vergleich von Zwergwaldichten zwischen den Strata; p gibt die Signifikanz des Unterschieds zwischen der Stratumkombination an; Sig gibt das Signifikanzniveau an: (***) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).....	69
Tabelle 25: Vergleich von Finnwaldichten zwischen den Strata; p gibt die Signifikanz des Unterschieds zwischen der Stratumkombination an; Sig gibt das Signifikanzniveau an: (***) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).....	69
Tabelle 26: Vergleich von Buckelwaldichten zwischen den Strata; p gibt die Signifikanz des Unterschieds zwischen der Stratumkombination an; Sig gibt das Signifikanzniveau an: (***) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).....	70

1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Hauptziel des Projekts war die Ermittlung von Dichten und räumlichen Verteilungsmustern von Antarktischen Zwergwalen (*Balaenoptera bonaerensis*) und anderen Walarten im Südpolarmeer mit Hilfe von Flugzählungen und schiffsbasierten Erfassungen. Hierzu sollten Beobachtungen vom Krähennest entlang der Schiffsroute, sowie Flugzählungen mittels der bordeigenen Helikopter während drei Antarktisreisen in 2011/12, 2012/13 und 2014/15 vom Forschungsschiff (FS) Polarstern aus unternommen werden. Zusätzlich sollten bereits erhobene Daten aus ebensolchen Erfassungen während vergangener Fahrten in die Auswertung einbezogen werden. Modellierungsverfahren sollten genutzt werden, um die Sichtungsdaten in Zusammenhang mit Umweltparametern zu setzen und die Beziehung von Waldichten und Habitatparametern zu untersuchen, insbesondere von Zwergwaldichten und Eisparametern. Zusätzlich war im Rahmen der Auswertung vorgesehen, einen Methodenvergleich von Helikopter- und Schiffssurveys durchzuführen, um Aufschluss über die Effizienz und Anwendbarkeit von Flug- und Schiffssurveys in polaren Gebieten, insbesondere eisbedeckten, zu erlangen.

Die Auswertungen sollten u.a. zur Unterstützung der Internationalen Walfangkommission (IWC) beim „In-Depth Assessment“ von Zwergwalen in der Antarktis dienen. Um die Situation der Zwergwale besser beurteilen zu können, muss die IWC eine grundsätzliche Frage langfristig klären: Halten sich im Packeis (zeitweise) genügend Zwergwale auf, um den Unterschied zwischen CP II und CP III hinreichend zu erklären?

Das vorliegende Projekt sollte dazu beitragen Informationen zu Zwergwaldichten in Abhängigkeit von der Eiskonzentration zusammenzutragen.

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Über den Projektzeitraum wurden parallel bereits vorhandene Daten ausgewertet und neue Daten erhoben. Die neu erhobenen Daten wurden fortlaufend in die Analysen einbezogen. Zu Projektbeginn im August 2011 standen Daten von drei Antarktisexpeditionen zur Verfügung (vergl. Kapitel 3.2). Im Laufe des Projekts wurden während dreier weiterer Expeditionen in den Südsommern 2011/12, 2012/13 und 2014/15 weitere flug- und schiffsgestützte Sichtungsdaten erhoben (siehe Kapitel 3.1). Die Vorbereitung und Durchführung dieser Surveys war ein Hauptbestandteil des vorliegenden Projekts. Über die entsprechenden praktischen Arbeiten wurde detailliert in vier ausführlichen Zwischenberichten informiert (Siebert et al. 2012, Feindt-Herr und Siebert 2013, Feindt-Herr et al. 2014, Herr et al. 2015). Neben der Surveydurchführung wurden von Projektbeginn an Datenanalysen unternommen. Die erste Analyse widmete sich der Beziehung von Zwergwalen zur Meereiskante basierend auf den Helikopterdaten der ersten zwei

Expeditionen (Kapitel 3.3.1.1). Daran anschließend wurde eine erweiterte Analyse zur Verteilung von Zwergwalen in Zeit und Raum und in Abhängigkeit von verschiedenen Meereisparametern unternommen (Kapitel 3.3.1.2). Beide Analysen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem australischen Institut CSIRO unternommen. Nach der Expedition ANT29-3 (2012/13) wurde eine Analyse der Buckelwal- und Finnwalverteilung auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel in Zusammenhang mit dem dortigen Krillvorkommen aufgenommen, basierend auf den Daten dieser Expedition (Kapitel 3.3.2). Eine Auswertung der schiffsgestützten Daten war erst nach Abschluss der letzten Expedition sinnvoll möglich, da erst dann eine kritische Menge an Sichtungsdaten vorlag. Durch die geringere Streckenabdeckung pro Zeiteinheit während Schiffssurveys, kommen über einen vergleichbaren Zeitraum weniger abgedeckte Fläche und erfasste Sichtungen zusammen. Die Schiffssurveydaten wurden gen Ende des Projekts für eine Modellierung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Großwalen entlang des Greenwich Meridians genutzt, da sich in diesem Bereich der meiste schiffsgestützte Aufwand konzentriert hatte (Kapitel 3.3.3). Zum Abschluss wurde ein Methodenvergleich unternommen, der die Begegnungsraten und Dichten, die mittels der beiden Erfassungsmethoden erzielt wurden, gegenüberstellte und die Methoden auf ihre Vor- und Nachteile hin überprüfte.

Über die gesamte Laufzeit des Projekts wurden die vorläufigen Ergebnisse und Fortschritte mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft, vor Allem dem Wissenschaftsausschuss der IWC geteilt und es fand ein Austausch in internationalem Rahmen statt. Ab 2012 nahm die verantwortliche Wissenschaftlerin (Dr. Helena Herr) jedes Jahr an der Sitzung des Wissenschaftsausschusses der IWC teil und war an der Erstellung von insgesamt zehn Arbeitspapieren beteiligt, davon sechs im Kontext dieses Projektes. Eine aktive Beteiligung im IWC Wissenschaftsausschuss erfolgte auch in der Sea-Ice-Intersessional Working Group (Kelly et al. 2012). Die verantwortlichen Wissenschaftler (Dr. Helena Herr und Dipl. Biol. Sacha Viquerat) nahmen an sechs internationalen Konferenzen und drei Workshops teil und es wurde ein dreiwöchiger Forschungsaufenthalt bei CSIRO in Australien wahrgenommen. Während der Laufzeit des Projekts wurden zwei wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht, eine weitere zur Veröffentlichung akzeptiert und drei weitere stehen kurz vor der Einreichung bei wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Eine detaillierte Darstellung dieser Wissenschaftsbeiträge ist in Kapitel 3.5.4 aufgelistet.

Die Projektmitarbeiter beteiligten sich zudem an der Erarbeitung eines Vorschlags zur Einrichtung eines CCAMLR Schutzgebietes im antarktischen Weddellmeer und stellten die verfügbaren Waldaten zur Verfügung (Teschke et al. 2013).

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Bislang ist das Wissen über die Verteilung und Abundanz von Walen im Südpolarmeer gering und Schätzungen zum aktuellen Bestand variieren stark. Seit 1978 wurden von internationaler Seite aus unter der Regie der IWC (IDCR/SOWER) drei Fahrten (Zirkumantarktische Surveys CP I, II & III) zur Ermittlung der Populationsgröße von Walen (vornehmlich Zwergwalen) im Südpolarmeer durchgeführt. Diese reichten von 60° S bis zur Packeisgrenze (z.B. Branch und Butterworth 2001; Ensor et al. 2007), aus logistischen Gründen jedoch nie ins dichtere Meereis, jenseits der Meereisgrenze bei etwa 15% Eisbedeckung. Daher gibt es kaum Daten zum Walvorkommen im Meereis und wenig Anhaltspunkte dafür, welcher Anteil an Tieren sich in dichtem Eis aufhält. Die während der drei internationalen Erfassungsfahrten ermittelten Bestandsgrößen von Zwergwalen variieren stark. Dies liegt möglicherweise daran, dass verschiedene Erfassungsmethoden angewendet wurden (Branch und Butterworth 2001). Darüber hinaus existieren zu der Variation der Ergebnisse verschiedene Hypothesen (Zusammenfassung in Murase und Bravington (2012)) von denen eine besagt, dass durch den vermutlich großen Anteil von Zwergwalen im Packeis jeweils ein großer, dabei aber unterschiedlicher Anteil der Population während der einzelnen Fahrten nicht erfasst werden konnte, da die genutzten Schiffe nicht ins Eis vordringen konnten. Hierbei wird eine große Verteilungsveränderung der Tiere zwischen den einzelnen Fahrten bezüglich des Anteils im und außerhalb des Meereises impliziert. Eine zweite Hypothese besagt, dass die verschiedenen ermittelten Bestandsgrößen auf einem deutlichen Unterschied in der Meereis-Bedeckung der Untersuchungsgebiete zwischen den Untersuchungsjahren begründet liegen. Keine der Hypothesen konnte bisher überprüft werden. Zwei der drei Fahrten (CP II & III) verwendeten eine vergleichbare Methode, so dass die Ergebnisse einen direkten Vergleich erlauben. Die beiden Surveys ermittelten zirkumpolare Zwergwalabundanzen von 786 000 (Variationskoeffizient VK = 0,094) Tieren für CP II und 338 000 (VK = 0,079) für CP III. Die geschätzte Zahl nahm demnach von CP II zu CP III um 30% ab. Innerhalb des Wissenschaftsausschusses der IWC sind diese Abundanzschätzungen mittlerweile akzeptiert (IWC 2013) und wurden angenommen. Über den Hintergrund der Abnahme und ob es sich um eine tatsächliche Abnahme in Populationszahlen handelt, wird jedoch weiterhin debattiert. Branch (2006) legte eine Liste möglicher Ursachen vor, die den offensichtlichen Rückgang der Zwergwale zu erklären und qualitativ einzuschätzen versuchte, wie stark sich einzelne Faktoren in Hinblick auf den Rückgang der Zwergwale ausgewirkt haben könnten. Er schloss, dass der Faktor, der die größten Auswirkungen auf die Zwergwalhäufigkeit gehabt haben könnte, die Lage des Eisrandes und/oder Veränderungen in der Häufigkeit von Zwergwalen südlich der Eiskante (also im Meereis selbst) seien. Es ist seit den 50er Jahren bekannt, dass sich eine (unbekannte) Anzahl von Zwergwalen im Meereis aufhält, die durch herkömmliche Surveys,

wie sie die IWC durchführt und die an der Eiskante enden, nicht erfasst werden (Ensor 1989). Es ist unbekannt, ob und aus welchem Grunde sich der Anteil der Tiere im Packeis über die letzten Jahrzehnte geändert haben soll. Erkenntnisse zu den Hintergründen der verzeichneten Abnahme hätten bedeutende Auswirkungen auf das Management, insbesondere in Hinblick auf die Auswirkungen, die der sogenannte wissenschaftliche Walfang der Japaner auf die Zwergwalpopulationen hat. Gleichzeitig würden solche Erkenntnisse aber auch interessante ökologische Fragen zu den Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf das Ökosystem im Südpolarmeer aufwerfen, die im gleichen Zeitraum stattfanden (z.B. Nicol et al. 2008).

Flugzählungen sind derzeit die geeignetste Methode um Wale in eisbedeckten Regionen zu erfassen (Scheidat et al. 2011, Kelly et al. 2012). Viele Schiffe können aufgrund fehlender Eisgängigkeit gar nicht in eisbedeckte Gewässer vordringen. Eisgängige Schiffe müssen in dichterem Eis ihre Geschwindigkeit drosseln und können meist die minimale Surveygeschwindigkeit von 8 Knoten (Dawson et al. 2008) nicht aufrechterhalten. Des Weiteren ist bei Schiffssurveys der Effekt, den die Beobachtungsplattform (d.h. das Schiff) auf das Verhalten der Tiere hat, oft unbekannt. Sowohl eine Anlockung der Tiere, als auch ein Ausweichverhalten können auftreten. Beides beeinflusst die Sichtungsraten und somit das Surveyergebnis. Durch die hohe Geschwindigkeit und Flughöhe kann eine Verhaltensreaktion der Tiere auf Flugzeug oder Helikopter erst nach Passieren der Plattform erfolgen und somit keinen Einfluss auf die Detektionsrate nehmen.

Visuelle Erfassungen von Walen sind nur unter sehr guten Wetterbedingungen möglich. In der Antarktis sind diese selten gegeben. Flugsurveys ermöglichen es, die oft sehr kurzen und damit besonders kostbaren Zeitfenster mit guten Wetterbedingungen effektiv zu nutzen. In kurzer Zeit können so große Strecken abgedeckt, und in der Regel auch mehr Datenpunkte erhoben werden als in der gleichen Zeit vom Schiff aus. Dies ist für die spätere Datenanalyse von entscheidendem Nutzen, da es Mindestanforderungen an die Sichtungszahl gibt, um Detektionsfunktionen zu ermitteln (siehe Buckland et al. 2001 und Kapitel 2.1 dieses Berichts).

Zu beachten ist jedoch auch, dass durch die schnelle Fluggeschwindigkeit Wale nur wenig Zeit haben, um im Blickfeld der Beobachter aufzutauchen und erfasst zu werden. Dadurch erzielen Flugsurveys meist geringere Sichtungsraten als Schiffssurveys (Dawson et al. 2008). Inwieweit dies aber tatsächlich einen Nachteil gegenüber Schiffssurveys darstellt oder im Rahmen der Datenauswertung aufgefangen werden kann, sollte als Teil dieses Projekts untersucht werden (siehe Kapitel 3.4).

Zwei internationale Programme wurden bisher aufgelegt, um mehr über die Häufigkeit und Ökologie von Zwergwalen im Packeis zu erfahren: Die Australian Antarctic Division führte 2008- 2010 in der Ost-Antarktis einen Flugsurvey durch (Kelly et al. 2014). Dabei kam ein Flugzeug von der australischen Station Casey zum Einsatz ($66^{\circ}17'S$, $110^{\circ} 32'E$). Vorteil dieser Beobachtungsplattform war, dass sie erlaubt, die Sichtungsdaten durch zwei unabhängig voneinander operierende Beobachtergruppen erfassen zu lassen. Diese sogenannte Double-Platform Methode erlaubt die Berechnung eines Korrekturfaktors. Allerdings konnte der Survey nur ein sehr kleines Gebiet erfassen, da die Flüge auf den Radius der maximalen Reichweite des Flugzeuges von der Australischen Antarktisstation beschränkt waren (Kelly et al. 2014).

Seit 2006 führt das Institut für Terrestrische und Aquatische Wildtierforschung (ITAW) Walerfassungen vom FS Polarstern aus durch (vergl. Scheidat et al. 2011). Dieses zweite Programm wurde gemeinschaftlich mit dem IMARES (Wageningen, Niederlande) und dem Institut für Seefischerei des Johann Heinrich von Thünen Institutes in Hamburg im Jahr 2006 initiiert und seither vom ITAW fortgeführt. Das Programm verwendet den Eisbrecher FS Polarstern sowohl als Forschungsplattform für einen schiffsbasierten Survey, als auch als Ausgangspunkt für Helikoptersurveys in der weiteren Umgebung des Schiffs. Auf den ersten beiden Expeditionen in den Jahren 2006/7 und 2008/9 konnte die Durchführbarkeit dieses Ansatzes nachgewiesen werden, bei dem das Schiff als eine Zufallsplattform benutzt wurde von welcher aus gezielte Flugsurveys durchgeführt werden können (Scheidat et al. 2011). Die Daten der ersten 3 Surveys aus den Jahren 2006/7 und 2008/9 und 2010/11 bilden zusammen mit den im Rahmen dieses Projekts erhobenen Daten von Fahrten aus den Jahren 2011/12 und 2012/13 und 2014/15 die Grundlage für die Analysen.

Der Surveyaufwand der Erfassungen von dem FS Polarstern aus konzentrierte sich auf einen wesentlich größeren Bereich als das australische Programm und deckte Gewässer zwischen $57^{\circ} S$ und der Neumayer Station ($70^{\circ}39'S$, $08^{\circ}15'W$) und der Antarktischen Halbinsel ab. Die Stärken des deutschen Programms schließen seine Flexibilität durch die Nutzung von Helikoptern (im Gegensatz zu Flugzeugen) ein, die ein Verlassen des Surveykurses, bzw. Stillstand in der Luft, um Wale zu identifizieren und Gruppengrößen zu bestimmen, zu jeder Zeit erlauben. Zudem wird die Reichweite des Helikopters durch das gleichzeitige Fortsetzen des Schiffsurses erhöht. Nachteil des Helikoptersurveys, der das Schiff als opportunistische Plattform nutzt, ist die Unmöglichkeit vorab ein Surveydesign zu erstellen, welches ein bestimmtes Gebiet repräsentativ mit Transektlinien abdeckt. Da das Schiff sich kontinuierlich und unabhängig von der Flugplanung weiterbewegt, kann jeder Flug nur ad-hoc von der momentanen Position des Schiffes aus geplant werden. Ein vorab festgelegtes Surveydesign mit repräsentativer Gebietsabdeckung hingegen stellt die

Voraussetzung für eine konventionelle Auswertung und Populationsabschätzung dar. Ohne ein solches Surveydesign muss die Abschätzung über eine Modellierung erfolgen. Des Weiteren bietet der Helikopter nicht ausreichend Platz um zwei Teams an Bord zu nehmen und somit einen "Double-Platform" Survey durchzuführen. Nur mit Hilfe einer solchen zweiten, unabhängigen Plattform kann ein Korrekturfaktor für verpasste und getauchte Tiere ermittelt werden. Deshalb sind die im Rahmen des deutschen Programms erhobenen Dichten Minimaldichten – eine Mindestanzahl an Tieren im Gebiet.

2 Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes wurden Surveys auf drei Fahrten des FS Polarstern in die Antarktis unternommen: ANT28-2 (2011/12), ANT29-3 (2012/13) und ANT30-2 (2014/15). Während auf den Expeditionen ANT28-2 und ANT30-2 parallel schiffs- und fluggestützte Erfassungen durchgeführt wurden, konnte auf ANT29-3 ausschließlich ein Flugsurvey durchgeführt werden, da nur drei Schiffsplätze zur Verfügung standen und kein ausreichend großes Team für Schiffserfassungen an Bord gehen konnte. Aus der Zeit vor Projektbeginn standen Daten der Fahrten ANT23-8 (2006/07) mit fluggestützte Erfassungen sowie ANT25-2 (2008/09) und ANT27-2 (2010/11) jeweils mit Daten beider Methoden für Auswertungen zur Verfügung. Die Routen aller 6 Expeditionen sind in Abbildung 1 dargestellt. Der Aufwand (abgedeckte Beobachtungsstrecke) beider Methoden auf allen Expeditionen ist in Tabelle 1 gelistet, die Abbildung 2 zeigt die räumliche Verteilung des Helikoptersurveyaufwands, Abbildung 3 die Abschnitte der Schiffsrouten entlang derer ein Krähenneestsurvey durchgeführt wurde.

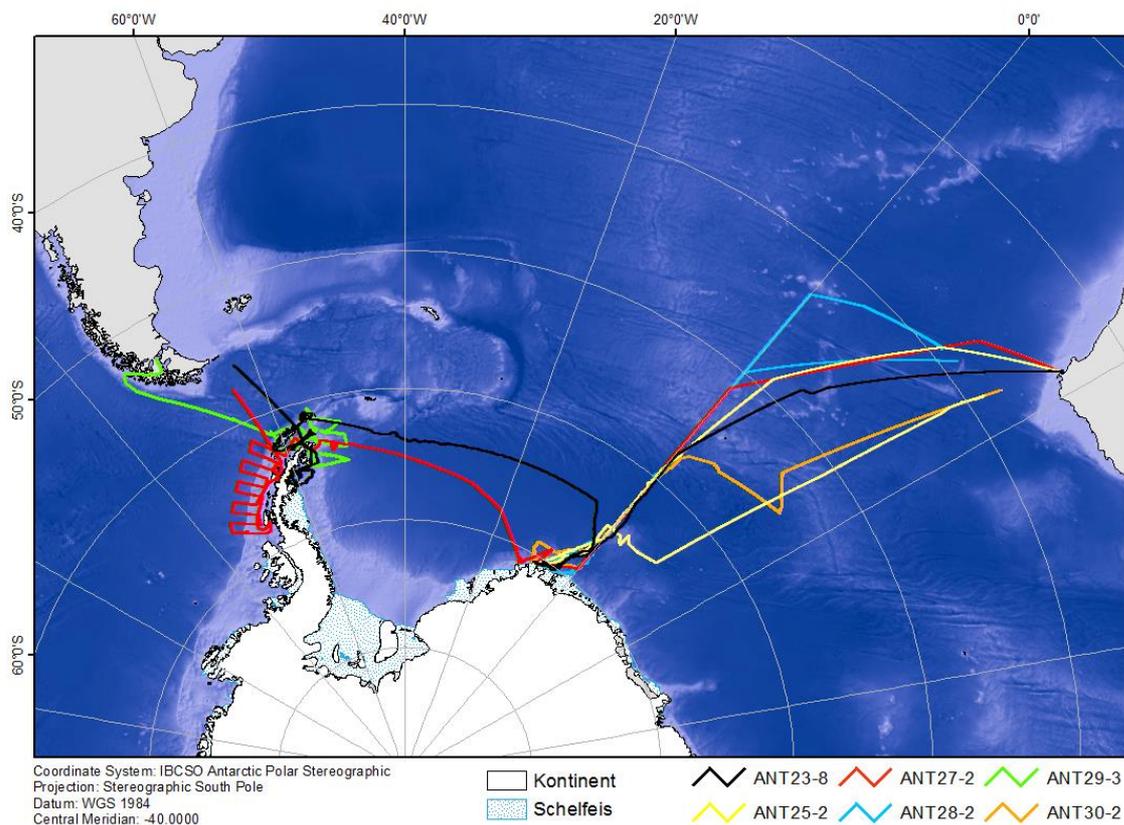


Abbildung 1: Schiffstracks aller Polarstern-Expeditionen, auf denen ein Schiffssurvey und / oder ein Helikoptersurvey durchgeführt wurde.

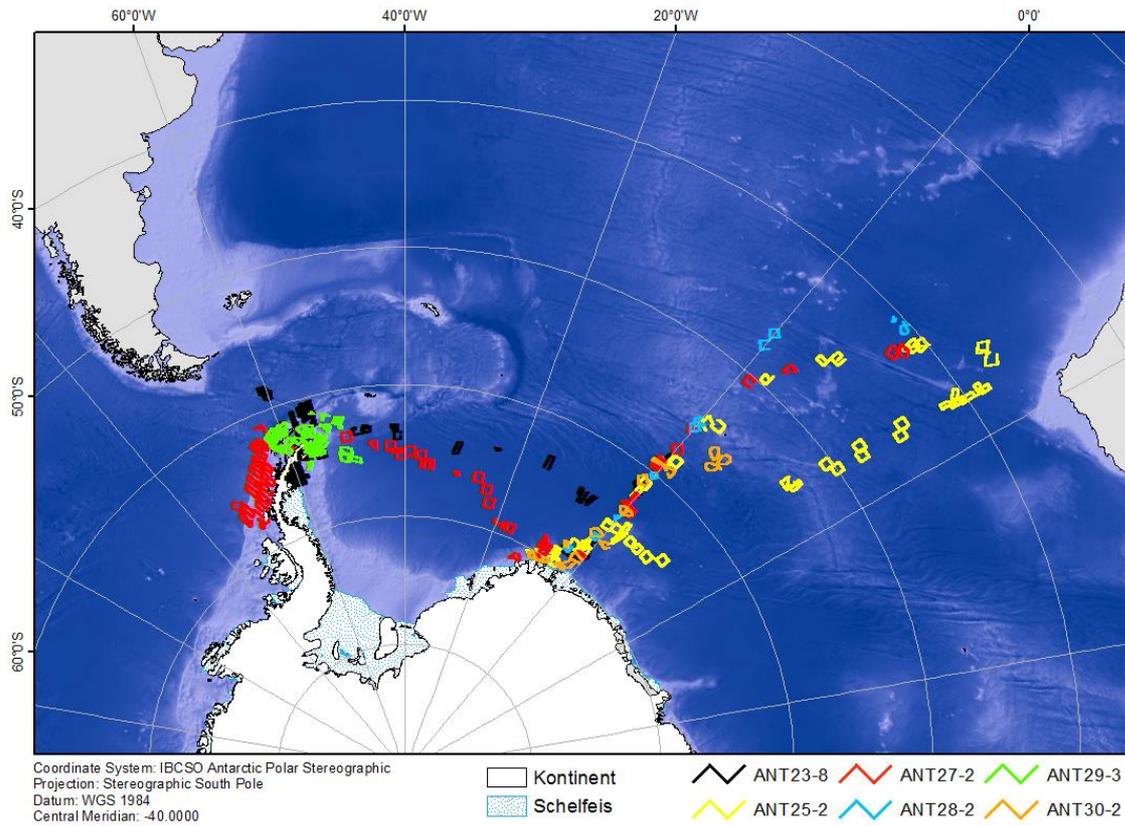


Abbildung 2: Darstellung aller Strecken die im Beobachtungsmodus während der Helikoptersurveys abgeflogen wurden.

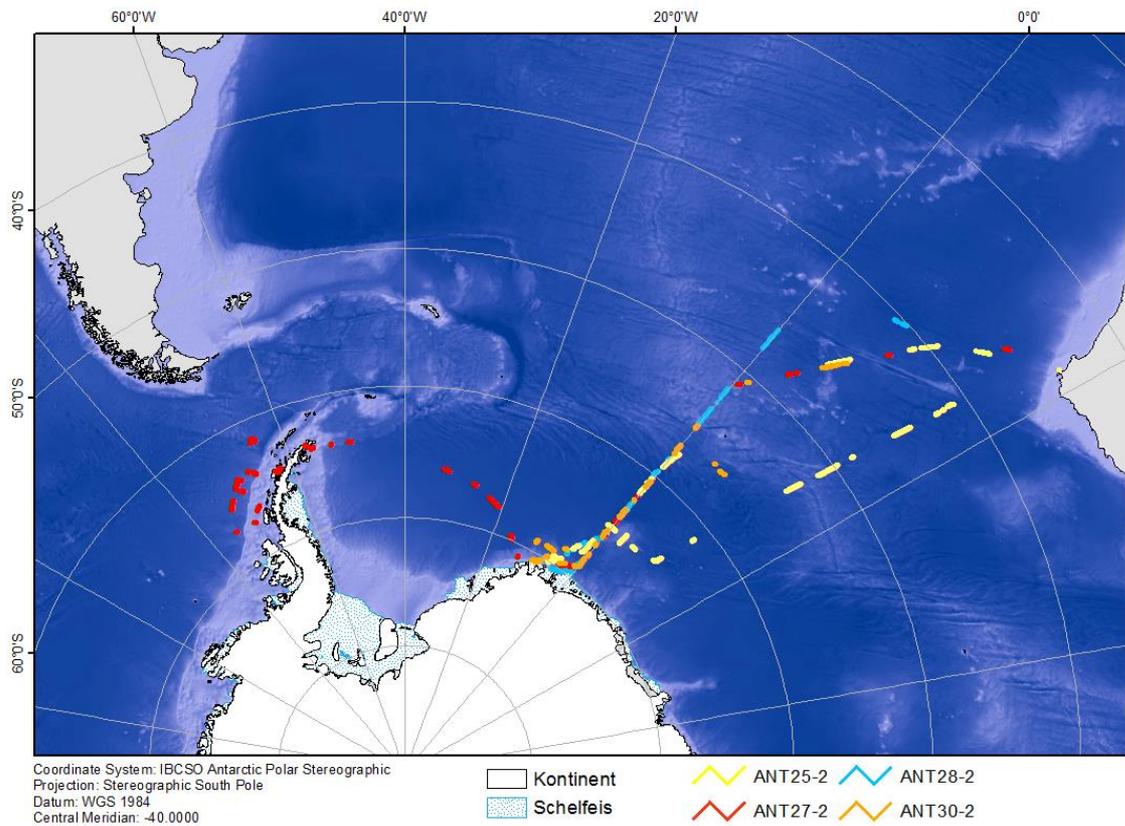


Abbildung 3: Darstellung aller Strecken die im Beobachtungsmodus während der Krähenneestsurveys abgedeckt wurden.

Tabelle 1: Zusammenfassung des Aufwands (abgedeckte Beobachtungsstrecke) aller Expeditionen die für Auswertungen in Betracht gezogen wurden, getrennt nach schiffs- und fluggestützten Erfassungen.

Expedition	Saison	Helikoptersurvey [km]	Schiffssurvey [km]
ANT23-8	2006/07	12.903	-
ANT25-2	2008/09	13.323	2.008
ANT27-2	2010/11	14.845	877
<i>Zwischensumme</i>	<i>2006 - 2011</i>	<i>41.071</i>	<i>2.885</i>
ANT28-2	2011/12	2.056	1.364
ANT29-3	2012/13	7.633	-
ANT30-2	2014/15	3.784	896
<i>Zwischensumme</i>	<i>2012 - 2015</i>	<i>13.473</i>	<i>2.260</i>
Gesamt		54.544	5.145

Die Surveymethoden und -protokolle waren während aller Expeditionen grundsätzlich die gleichen. Sie sind im Folgenden dargestellt. Zudem wird die beiden Surveymethoden zugrunde liegende theoretische Methodik des *Line Transect Distance Samplings* nach Buckland et al. (2001) erläutert.

2.1 Line Transect Distance Sampling

Das *Line Transect Distance Sampling* ist die etablierte Methode zur Meeressäugererfassung. Ihr Vorteil liegt vor Allem darin, dass die für die Dichteberechnung zu Grunde gelegte Fläche aus den Daten selbst bestimmt (generiert) und während des Surveys miterhoben wird.

Bei der *Line Transect Distance Sampling* Methode werden vorbestimmte Transektlinien abgeflogen oder abgefahren und dabei alle Sichtungen der Zieltierart(en) aufgenommen. Als wichtigste Information wird hierbei die rechtwinklige Distanz (x) des erfassten Tieres (bzw. der Tiergruppe) zum Transekt festgehalten (Abbildung 4). Mit Hilfe dieser Messungen wird die Fläche, die effektiv abgesucht wurde, die sogenannte effektive Streifenbreite *esw* ("effective strip width") (Hiby & Lovell 1998; Buckland et al. 2001) im Nachhinein ermittelt. Dazu wird der Gesamtheit der so gemessenen Entfernungen x mittels des Programms DISTANCE 6.0 (Thomas et al. 2010) eine Wahrscheinlichkeitsfunktion $g(x)$, die sogenannte Detektionsfunktion, angepasst. $g(x)$ beschreibt die Wahrscheinlichkeit, eine Sichtung in jeder Entfernung x vom Transekt zu erfassen. Beim *Line Transect Distance Sampling* dient die *esw* zusammen mit der Länge der abgeflogenen Strecke (L) als Flächengrundlage für die Dichteberechnung. Die *esw* gibt für jede Seite des Transekts die Distanz μ vom Transekt an, außerhalb welcher die Wahrscheinlichkeit Tiere zu sichten genauso groß ist, wie die Wahrscheinlichkeit sie innerhalb ihrer zu übersehen. Die so ermittelte effektive Streifenbreite stellt 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. Mit der esw als Flächengrundlage berechnet sich die Dichte (D) nach Formel (1)

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

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

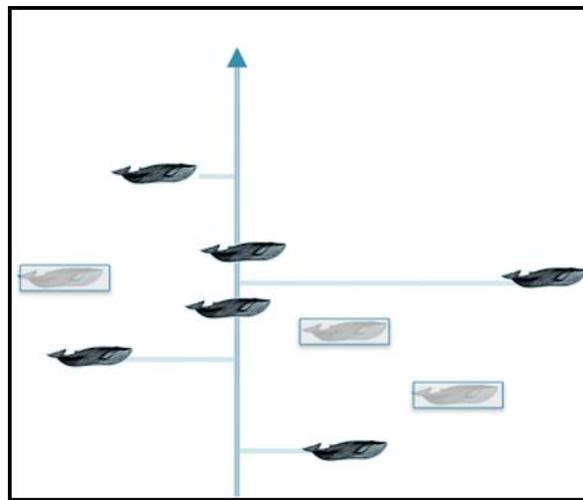


Abbildung 4: Beim *Line Transect Distance Sampling* wird die Distanz von der Transektlinie bis zum erfassten Tier für jede Sichtung erfasst. Aus diesen Distanzen wird nachträglich die Flächengrundlage für die Dichteberechnung ermittelt. Es werden alle Sichtungen unabhängig von ihrer Distanz zum Transekt erfasst. Die Methode berücksichtigt, dass Tiere übersehen werden können (transparente Tiere stellen nicht erfasste Tiere dar). Bei der später ermittelten Streifenbreite "ersetzt" der außerhalb des Streifens erfasste Anteil an Tieren den innerhalb des Streifens übersehenen Anteil. Die Streifenbreite entspricht damit der Flächengrundlage, auf der alle Tiere erfasst wurden.

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. $g(0) = 1$ (Buckland et al. 2001). Im Fall von Walen ist dies grundsätzlich nicht möglich, da untergetauchte Tiere für die Beobachter nicht sichtbar sind. Kann 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 (vergl. Buckland et al 2001), ist $g(0) < 1$ und führt zu einer Unterschätzung der Dichte und Abundanz. Eine $g(0)$ -Korrektur ermöglichen nur Surveys mit doppelter Plattform (sog. Double Platform Surveys), d.h., dass der gleiche Beobachtungsabschnitt von zwei Beobachtern unabhängig voneinander abgesucht wird. Dafür werden zwei hintereinander liegende, visuell und akustisch voneinander getrennte Plattformen benötigt, um den Anteil der übersehenen Tiere bestimmen zu können. Ohne

einen Korrekturfaktor entsprechen die ermittelten Dichten Minimalschätzungen. Dies trifft auch im vorliegenden Projekt zu.

2.2 Krähennestsurvey

Das Krähennest des FS Polarstern wurde als Plattform für schiffsbasierte Surveys nach der *Line Transect Distance Sampling* Methode entlang der Fahrtroute genutzt. Das Beobachtungsteam pro Krähennestschicht bestand aus drei Personen. Je ein Beobachter war auf der linken bzw. rechten Seite der Plattform positioniert und beobachtete das Gebiet vor und neben dem Schiff bis 270° (links) bzw. 90° (rechts) querab des Schiffes. Die Beobachtungen wurden mit bloßem Auge durchgeführt, Ferngläser wurden nur zur Artbestimmung und Distanzmessung eingesetzt. Die dritte Person des Beobacherteams, der Datenrekorder, saß in der Kanzel des Krähennests und bediente einen an ein GPS-Gerät angeschlossenen Laptop (Panasonic Toughbook) auf dem eine Software (LOGGER 2000 von IFAW oder AudioVOR (von Lex Hiby and Phil Lovell, beschrieben in Hammond et al. 1995)) zur Aufzeichnung des Surveys lief. Neben der automatischen, kontinuierlichen Aufzeichnung der Strecke wurden die aktuellen Umwelt- und Sichtungsbedingungen (Seegang, Wolkenbedeckung, Eisbedeckung, Sonnenreflexion auf der Wasseroberfläche, subjektive Einschätzung der Sichtungsbedingungen durch die Beobachter) vom Datenrekorder festgehalten und laufend aktualisiert. Erfolgte eine Sichtung, so wurde die Position unmittelbar gespeichert und die Beobachter gaben folgende Informationen an den Datenrekorder weiter: Art, Winkel zum Schiff, Reticules im Fernglas (zur späteren Umrechnung in die Distanz), Gruppengröße, Gruppenzusammensetzung, Verhalten, Auslöser der Sichtung (z.B. Körper, Blas etc.), Schwimmrichtung und ggf. beobachtete Reaktionen auf das Schiff. Mittels der Distanz (berechnet aus einer geeichten Tabelle für die Umrechnung von Reticules in Distanzen) und des Winkels wurde nachträglich die rechtwinklige Entfernung des Tieres zum Transekt berechnet (vergl. Helikoptersurvey-Methode Kapitel 2.3). Diese Distanzen wurden nach Abschluss des Surveys dazu genutzt, um in einer *Distance* Analyse die effektiv abgesuchte Streifenbreite abzuschätzen (siehe Kapitel 2.4).

Die Positionen und damit Aufgaben der drei Personen wurden nach jeder halben Stunde rotiert, um die Konzentration der Beobachter zu gewährleisten und niemanden länger als eine Stunde dem Fahrtwind und dem daraus resultierenden „windchill“ auszusetzen. Beobachtungen vom Krähennest wurden generell nur bei Schiffsgeschwindigkeiten von mindestens sieben Knoten durchgeführt (gemessen im Krähennest anhand der an den Bordcomputer gekoppelter Instrumente). Einige wenige Beobachtungen erfolgten jedoch auch bei reduzierter Geschwindigkeit während das Schiff kurzfristig durch massiveres Eis fuhr.

2.3 Helikoptersurvey

Der Helikoptersurvey wurde mit den zwei Bordhelikoptern des Typs „BO 105“ des FS Polarstern nach der *Line Transect Distance Sampling* Methode durchgeführt. Die einzelnen Flüge wurden „ad-hoc“, in Abhängigkeit von der gegebenen Position des Schiffes und den aktuellen Wetterbedingungen geplant. Während der Flüge wurden eine konstante Flughöhe von 600 Fuß (~185 m) und eine konstante Geschwindigkeit von 80-90 Knoten (~160 km/h) eingehalten. Das Beobacherteam im Helikopter bestand jeweils aus drei Personen. Zwei Beobachter waren je rechts und links auf der Rückbank des Helikopters positioniert und beobachteten die Bereiche zu den Seiten der abgeflogenen Transektlinie. Der dritte Beobachter saß auf dem linken Vordersitz und fokussierte die unmittelbare Umgebung entlang der Transektlinie durch die bis zum Boden verglaste Front des Helikopters. Gemeinsam gewährleisteten linker und vorderer Beobachter die komplette Abdeckung der linken Seite des Transekts. Der Observer auf der rechten Seite konnte den Transektteil unmittelbar unter dem Helikopter nicht einsehen und erfasste Daten erst ab etwa 80 m Distanz von der Transektlinie. Für die Modellierung der Detektionsfunktion (Kapitel 2.4) wurden deshalb nur die Sichtungen der linken Seite benutzt, für alle weiteren Analyseschritte konnten alle erhobenen Daten Berücksichtigung finden. Zusätzlich zum Beobachten bediente der hintere rechte Beobachter einen Laptop (Panasonic Toughbook) auf dem die Survey-Software AudioVOR (von Lex Hiby and Phil Lovell, beschrieben in Hammond et al. 1995) lief und gab fortlaufend Sichtungs- und Umweltinformationen ein. Durch ein an das Toughbook angeschlossenes GPS Gerät wurde die Flugroute kontinuierlich aufgezeichnet. Zusammen mit den GPS- Positionen wurden Daten zu Umwelt- und Sichtungsbedingungen analog zu den Krähenest-Surveys (vergl. 2.2.1) aufgenommen und laufend aktualisiert. Die Distanz zu allen Sichtungen wurde mit einem Inklinometer über den Inklinationswinkel α zur Sichtung festgehalten. Mit Hilfe des Inklinationswinkels kann man, unter Berücksichtigung der bekannten, konstanten Flughöhe, im Nachhinein die rechtwinklige Distanz x der einzelnen Sichtungen zur Transektlinie berechnen (Abb. 3). Diese Distanzen werden, analog zum Krähenestsurvey, dafür benötigt, die effektiv abgesuchte Streifenbreite mit Hilfe einer Detektionsfunktion abzuschätzen.

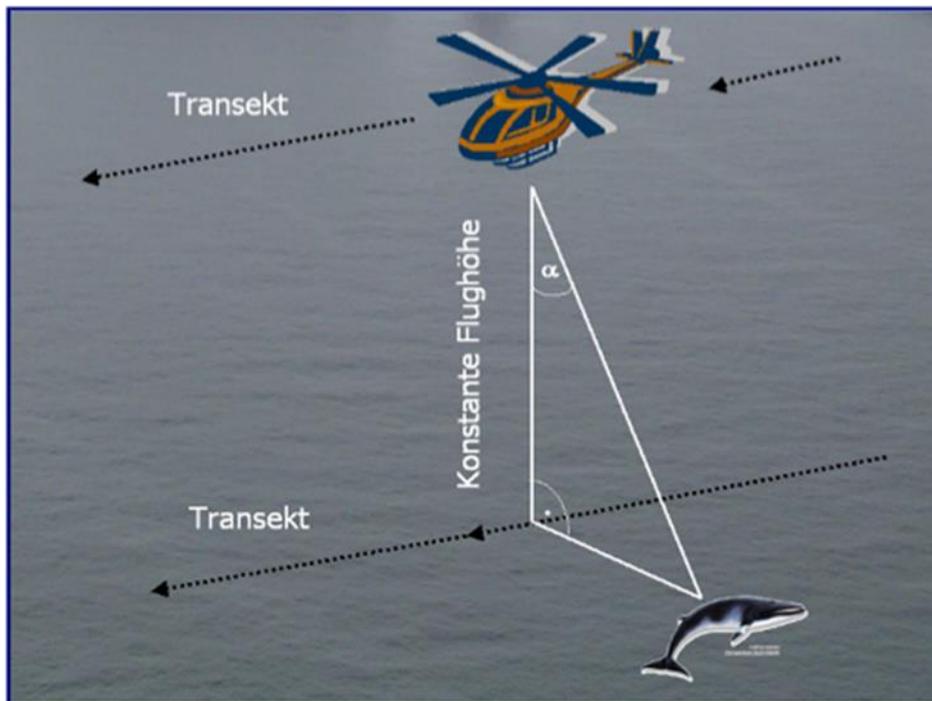


Abbildung 5: Die Berechnung der rechtwinkligen Entfernung x eines gesichteten Tieres zum Transekt erfolgt bei Flugzählungen über den Inklinationswinkel α unter Zuhilfenahme der bekannten, konstanten Flughöhe.

Die Kommunikation im Helikopter erfolgte über das bordeigene InterCom-System und Sichtungs- sowie Umweltinformationen wurden darüber an den Datenrekorder weitergegeben. Erfolgte eine Sichtung, ohne dass Art und Gruppengröße mit Sicherheit bestimmt werden konnten, wurde der Survey unterbrochen um sich der Sichtung zu nähern und sie auf Artniveau zu identifizieren („closing mode“). Nachdem Art und Gruppengröße (wenn möglich) bestimmt wurden, kehrte der Helikopter unmittelbar zur Transektlinie zurück und der Survey wurde fortgesetzt. Zur Gewährleistung der Artidentifikation und Gruppengröße wurde dabei in relevanten Fällen eine DSLR Kamera (Nikon D7) für fotografische Aufnahmen genutzt.

2.4 Distance Analyse

Die grundlegende Auswertungsmethode, die in fast allen hier dargestellten Analysen Anwendung fand, war die *Distance Analyse*. Sie dient der Ermittlung der (artspezifischen) Detektionsfunktion und korrespondierenden Streifenbreite *esw* (vergl. Kapitel 2.1). Das Vorgehen soll hier für alle Analysen gemeinsam erläutert werden, Besonderheiten und Abweichungen der speziellen Analysen werden in den einzelnen Kapiteln des Ergebnisteils (Kapitel 3) beschrieben.

Für die Modellierung der Detektionsfunktionen wurden aus dem Helikopterdatensatz nur die Sichtungen der linken Erfassungsseite verwendet, da nur hier eine vollständige Abdeckung des Transekts gegeben war (vergl. Kapitel 2.3), für die Daten der Krähennestsurveys jeweils

der vollständige Datensatz. Für die auf der ermittelten Detektionsfunktion aufbauende Modellierung wurden für beide Methoden immer alle verfügbaren Sichtungen beider Seiten berücksichtigt. Für die Analysen der Zwergwale wurden immer alle Sichtungen von Antarktischen Zwergwalen (*Balaenoptera bonaerensis*), Nördlichen Zwergwalen (*Balaenoptera acutorostrata*), Zwergwalen die nicht bis auf Artniveau identifiziert wurden (also *B. bonaerensis* oder *B. acutorostrata*) sowie Sichtungen, die als "zwergwalartig" aufgezeichnet wurden, verwendet.

Den rechtwinkligen Distanzen aller für die jeweilige Analyse zu berücksichtigenden Sichtungen wurde eine Detektionsfunktion angepasst. Es wurden *half-normal* und *hazard-rate* Formen getestet und die Auswahl des besten Modells erfolgte basierend auf Akaikes Informationskriterium (AIC; Akaike 1974). Teilweise wurde eine Beschneidung der Daten jenseits einer bestimmten Distanz vorgenommen, um Ausreißer mit besonders hohen Distanzen von der Analyse auszuschließen (sog. *right-truncation*).

Der Einfluss verschiedener Umwelt- und Sichtungsparemeter auf die Sichtungswahrscheinlichkeit wurde getestet. Dazu werden die entsprechenden Kovariablen in die Modellierung der Detektionsfunktion eingebunden und überprüft, ob ihr Einschluss das Modell verbessert. Grundsätzlich getestete Variablen waren Beaufort Seastate, Sichtsungsbedingungen (gut, moderat, schlecht) und Eisbedeckung.

3 Ergebnisse

3.1 Datenerhebung

Im Rahmen des Projekts wurden während dreier Expeditionen des FS Polarstern Sichtungsdaten von Walen mittels fluggestützter und schiffsbasierter Surveys erhoben. Die Ergebnisse der drei Expeditionen sind im Folgenden kurz dargestellt. Ausführliche Expeditionsberichte finden sich in den Zwischenberichten (Siebert et al. 2012, Feindt-Herr und Siebert 2013, Feindt-Herr et al. 2015).

3.1.1 Expedition ANT28-2

Auf der Expedition ANT28-2 vom 3. Dezember 2011 – 5. Januar 2012 wurden ein Helikopter- und ein Krähennestsurvey durchgeführt. Aufgrund vornehmlich widriger Wetterbedingungen und eines unfallbedingten Ausfalls der Helikopter nach der Hälfte der Reise, konnte nur wenig Beobachtungsstrecke abgedeckt (vergl. Tabelle 1) und dadurch vergleichsweise wenige Daten erhoben werden. In Tabelle 2 sind alle Sichtungsdaten der beiden Surveys für diese Expedition zusammengefasst. Für die Analyse der Zwergwaldichten im Eis mittels Helikoptersurveys lieferte diese Expedition leider keine Daten. Weitere Details über die Expedition sind im ersten ausführlichen Zwischenbericht (Siebert et al. 2012) dargestellt.

Tabelle 2: Überblick über alle erfassten Sichtungen und Individuen des Helikopter- und Schiffssurveys während der Expedition ANT28-2

Art	Helikoptersurvey Sicht./Ind.	Schiffssurvey Sicht./Ind.
Antarktischer Zwergwal (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>)	-	5 / 6
Buckelwal (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	1 / 1	-
Finnwal (<i>Balaenoptera physalus</i>)	1 / 1	-
Südlicher Entenwal (<i>Hyperoodon planifrons</i>)	2 / 3	-
Stundenglasdelfin (<i>Lagenorhynchus cruciger</i>)	1 / 3	-
Unidentifizierter Bartenwal	1 / 1	4 / 4
Gesamt	6 / 9	9 / 10

3.1.2 Expedition ANT29-3

Während der Expedition ANT29-3 vom 20. Januar 2013 – 21. März 2013 standen für unser Team nur drei Schiffsplätze zur Verfügung. Deshalb wurde nur ein Helikoptersurvey durchgeführt. Es wurden 265 Sichtungen mit insgesamt 669 Individuen entlang von 7.652 km Beobachtungsstrecke aufgenommen und sieben verschiedene Arten identifiziert (Tabelle 3).

Tabelle 3: Überblick über alle erfassten Sichtungen des Helikoptersurveys während der Expedition ANT29-3

Art	Helikoptersurvey Sicht./Ind.
Antarktischer Zwergwal (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>)	18 / 32
Buckelwal (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	68 / 130
Finnwal (<i>Balaenoptera physalus</i>)	123 / 354
Südlicher Entenwal (<i>Hyperoodon planifrons</i>)	1 / 2
Schwertwal (<i>Orcinus orca</i>)	7 / 73
Blauwal (<i>Balaenoptera musculus</i>)	1 / 1
Stundenglasdelfin (<i>Lagenorhynchus cruciger</i>)	2 / 9
Unidentifizierter Schnabelwal	1 / 3
Unidentifizierter Bartenwal	44 / 65
Gesamt	265 / 669

Die Sichtungen umfassten 18 Zwergwalgruppen mit insgesamt 32 Tieren, welche einen wichtigen Beitrag für die Modellierungen der Zwergwaldichten im Eis lieferten. Zusätzlich wurde auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel eine hohe Zahl an Sichtungen von Finnwalen (*Balaenoptera physalus*) und Buckelwalen (*Megaptera novaeangliae*) erfasst. Die Sichtungen dieser Expedition allein bildeten eine sehr gute Grundlage für eine Modellierung der Verteilung dieser beiden Walarten auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel. Die entsprechenden Auswertungen sind in Kapitel 3.3.2 dargestellt und werden in Kürze in der Fachzeitschrift *Polar Biology* veröffentlicht (Herr et al. 2016). Besonders hervorzuheben ist die beobachtete Aggregation von Finnwalen nördlich der South Shetland Islands, die dieses Gebiet für die Zeit der Expedition als einen Finnwal-Hotspot charakterisieren lässt. Weitere Details zur Expedition sind im zweiten Zwischenbericht (Feindt-Herr und Siebert 2013) ausgeführt.

3.1.3 Expedition ANT30-2

Auf der Expedition ANT30-2 vom 2. Dezember 2014 – 1. Februar 2015 wurde sowohl ein Helikoptersurvey als auch ein Krähennestsurvey durchgeführt. Aufgrund eines Schadens an der Antriebswelle konnte die Polarstern die Reise nach der Versorgung der Neumayer III Station nicht wie geplant Richtung Antarktische Halbinsel fortsetzen und es wurde die Rückkehr nach Kapstadt beschlossen. Während der Fahrt durch eisbedeckte Gebiete musste die Helikopterbesatzung fortan permanent in Bereitschaft für Eiserkundungsflüge sein, da das Schiff durch den Antriebsschaden nur noch über eine verminderte Eisbrechfähigkeit verfügte. Es waren in dieser Zeit keine Surveyflüge erlaubt. Die Versorgung der Neumayer III Station, die normalerweise in wenigen Tagen durchgeführt werden kann, verzögerte sich ebenfalls aufgrund der verminderten Eisbrechfähigkeit und

dauerte letztendlich 3 Wochen. Während dieser Zeit waren wegen der geringen Reisegeschwindigkeit von max. 3 Knoten und langen stationären Aufenthalten keine Krähennestarbeiten möglich. Aufgrund heftiger Stürme während der Rückfahrt konnten nur sehr bedingt Beobachtungen durchgeführt werden. Der erzielte Aufwand beider Methoden fiel somit geringer aus als erhofft. Für die Auswertungen zu Zwergwaldichten im Eis mittels Helikoptersurveys wurden keine verwertbaren Daten erhoben, da kaum Helikopterflüge in eisbedeckten Gebieten durchgeführt werden konnten und nur zwei Zwergwalsichtungen aufgenommen wurden. Trotzdem wurden, insbesondere im Rahmen des Krähennestsurveys, wichtige Daten zur Verteilung anderer Walarten erhoben. Entlang von 3.783 km abgedeckter Flugstrecke im Beobachtungsmodus wurden 28 Sichtungen von 33 Walen aufgezeichnet und drei verschiedene Arten identifiziert (Zwergwal, Finnwal und Buckelwal). Während des Krähennestsurveys wurde eine Strecke von 896 km abgedeckt und 103 Sichtungen von 151 Walen erfasst. Es wurden fünf verschiedene Arten identifiziert (Zwergwal, Finnwal, Buckelwal, Blauwal (*Balaenoptera musculus*) und Stundenglasdelfin (*Lagenorhynchus cruciger*)). Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Arten, Anzahl der Sichtungen und Individuen. Ein detaillierter Bericht über die Expedition wurde im vierten Zwischenbericht (Feindt-Herr et al. 2015) dargelegt.

Ein besonderes Ereignis ist hervorzuheben: Zwischen dem 15.01.2015 und dem 17.01.2015 kreuzte die Expedition ein Gebiet mit ungewöhnlich hoher Blauwaldichte. In diesem Zeitraum wurden auch drei Blauwalsichtungen im Beobachtungsmodus ("on effort") vom Krähennest aus aufgezeichneten. Leider ermöglichten widrige Wetterbedingungen keine Helikopterflüge in dieser Zeit und auch für die sinnvolle Durchführung des Krähennestsurveys reichten die Bedingungen die meiste Zeit in diesem Gebiet nicht aus. Es wurden allerdings unabhängig vom gezielten Survey (der einen bestimmten Standard in Bezug auf die Sichtungsbedingungen wahren muss) opportunistisch Blauwalsichtungen an Bord aufgezeichnet (von unseren Beobachtern "off effort", von anderen Wissenschaftlern und Crewmitgliedern an Bord und von der Brücke über das WALOG Programm (die systematische Walerfassung durch das Brückenpersonal der Polarstern)). Insgesamt wurden so 23 Blauwalsichtungen aufgezeichnet. Details zu diesem "Blauwal-Hotspot" wurden in einem IWC Papier dargestellt (Geelhoed et al. 2015).

Tabelle 4: Überblick über alle während der Expedition ANT30-2 im Rahmen des Helikoptersurveys und des Krähennestsurveys gesichteten Wale.

Art	Helikoptersurvey Sicht./Ind.	Schiffsurvey Sicht./Ind.
Antarktischer Zwergwal (<i>B. bonaerensis</i>)	2 / 2	2 / 2
Zwergwal (<i>B. bonaerensis</i> oder <i>B. acutorostrata</i>)	5 / 5	28 / 49
Buckelwal (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	16 / 19	18 / 20
Finnwal (<i>B. physalus</i>)	3 / 5	13 / 21
Blauwal (<i>B. musculus</i>)	-	3 / 3
Unidentifizierter Kleinwal	1 / 1	1 / 1
Unidentifizierter Walblas	-	22 / 23
Unidentifizierter Großwal	1 / 1	15 / 23
Gesamt	28 / 33	103 / 151

3.2 Verwendete Daten

Insgesamt standen für die Auswertungen im Rahmen des vorliegenden Projekts Daten von sechs Expeditionen zur Verfügung. Während der Expeditionen wurden vier Krähennestsurveys und sechs Helikoptersurveys durchgeführt. Insgesamt wurde eine Strecke von 54 544 km vom Helikopter aus abgedeckt, vom Krähennest wurde eine Strecke 5 145 km aus beobachtet (Tabelle 1).

Während der Helikoptersurveys wurden insgesamt 679 Sichtungen von 1.739 Walen erfasst (Tabelle 5). Insgesamt 16 verschiedene Walarten wurden identifiziert, darunter selten erfasste Arten wie der Gray Schnabelwal (*Mesoplodon grayi*) und der Arnoux Schnabelwal (*Berardius arnuxii*). Auch zwei Blauwale wurden gesichtet. Den Großteil der Sichtungen stellten Buckelwale (196 Sichtungen, 396 Individuen), Finnwale (158 Sichtungen, 440 Individuen) und Antarktische Zwergwale (154 Sichtungen, 279 Individuen) dar. Alle anderen Arten wurden im Vergleich dazu selten gesichtet. Mit 17 Sichtungen stellen Schwertwale (*Orcinus orca*) die Art mit der nächsthöchsten Sichtungszahl dar. Damit boten die Helikopterdaten erweiterte Analysen nur für Buckelwale, Finnwale und Zwergwale an. Des Weiteren ist zu beachten, dass nicht alle gesichteten Arten antarktische Walarten sind. Die Sichtung von Rauhzahndelfinen (*Steno bredanensis*) z.B. erfolgte wenige Tage nach Verlassen von Kapstadt.

In Abbildung 6 sind die Sichtungspositionen aller Bartenwale und Pottwale (*Physeter macrocephalus*) aufgezeigt. Die große Zahl an Sichtungen macht die Abbildung etwas unübersichtlich. Jedoch wird deutlich, dass in höheren Breiten vornehmlich Antarktische Zwergwale erfasst wurden, besonders im Bereich des Weddellmeers und der östlichen Antarktischen Halbinsel. An der Westantarktischen Halbinsel dominierten Buckelwale und

Finnwale, genauso auf der Anfahrt zu Neumayer III Station. Beide Blauwalsichtungen erfolgten ebenfalls westlich der Antarktischen Halbinsel.

Tabelle 5: Übersicht über alle Walarten die auf sechs Expeditionen während Helikopter und Schiffssurveys erfasst wurden. Angegeben sind getrennt nach Methode jeweils die Sichtungszahl sowie die Zahl der gesichteten Individuen.

Art	Helikoptersurvey Sicht./Ind.	Schiffssurvey Sicht./Ind.	Gesamt
Antarktischer Zwergwal (<i>B. bonaerensis</i>)	154 / 279	7 / 8	161 / 287
Nördlicher Zwergwal (<i>B. acutorostrata</i>)	1 / 2	-	1 / 2
Zwergwal (<i>B. bonaerensis</i> o. <i>B. acutorostrata</i>)	7 / 12	43 / 57	50 / 69
"wahrscheinlich Zwergwal"	3 / 3	28 / 49	31 / 52
Buckelwal (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	196 / 396	72 / 131	168 / 527
Finnwal (<i>B. physalus</i>)	158 / 440	19 / 33	177 / 473
Blauwal (<i>B. musculus</i>)	2 / 2	3 / 3	5 / 5
Seiwal (<i>B. borealis</i>)	6 / 36	2 / 3	8 / 39
Südkaper (<i>Eubalena australis</i>)	1 / 2	-	1 / 2
Pottwal (<i>Physeter macrocephalus</i>)	6 / 15	4 / 29	10 / 44
Unidentifizierter Großwal	86 / 128	19 / 27	105 / 155
Unidentifizierter Walblas	-	43 / 50	43 / 50
Unidentifizierter Bartenwal	-	1 / 1	1 / 1
Unidentifizierter Wal	3 / 3	3 / 3	6 / 6
Südlicher Entenwal (<i>Hyperoodon planifrons</i>)	16 / 28	1 / 2	17 / 30
Arnoux Schnabelwal (<i>Berardius arnuxii</i>)	1 / 4	-	1 / 4
Gray Zweizahnwal (<i>Mesoplodon grayi</i>)	1 / 5	-	1 / 5
Layard-Wal (<i>Mesoplodon layardii</i>)	4 / 19	-	4 / 19
Unidentifizierter Schnabelwal	5 / 12	1 / 1	6 / 13
Schwertwal (<i>Orcinus orca</i>)	17 / 175	13 / 66	30 / 241
Stundenglasdelfin (<i>Lagenorhynchus cruciger</i>)	4 / 15	3 / 22	7 / 37
Grindwal (<i>Globicephala melas</i>)	1 / 13	-	1 / 13
Rauhzahndelfin (<i>Steno bredanensis</i>)	3 / 143	-	3 / 143
Unidentifizierter Delfin	1 / 4	-	1 / 4
Unidentifizierter Kleinwal	3 / 3	2 / 2	5 / 7
Gesamt	679 / 1.739	264 / 487	943 / 2.226

Die Abbildung 7 zeigt die Positionen aller gesichteten Zahnwale (mit Ausnahme der Pottwale, die hier den Großwalen zugerechnet wurden und auf Abbildung 6 dargestellt sind). Es ist gut zu erkennen, dass Schwertwale besonders im Bereich der Antarktischen Halbinsel gesichtet wurden. Südliche Entenwale (*Hyperoodon planifrons*) waren die am häufigsten gesichtete Schnabelwalart und kamen über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt vor.

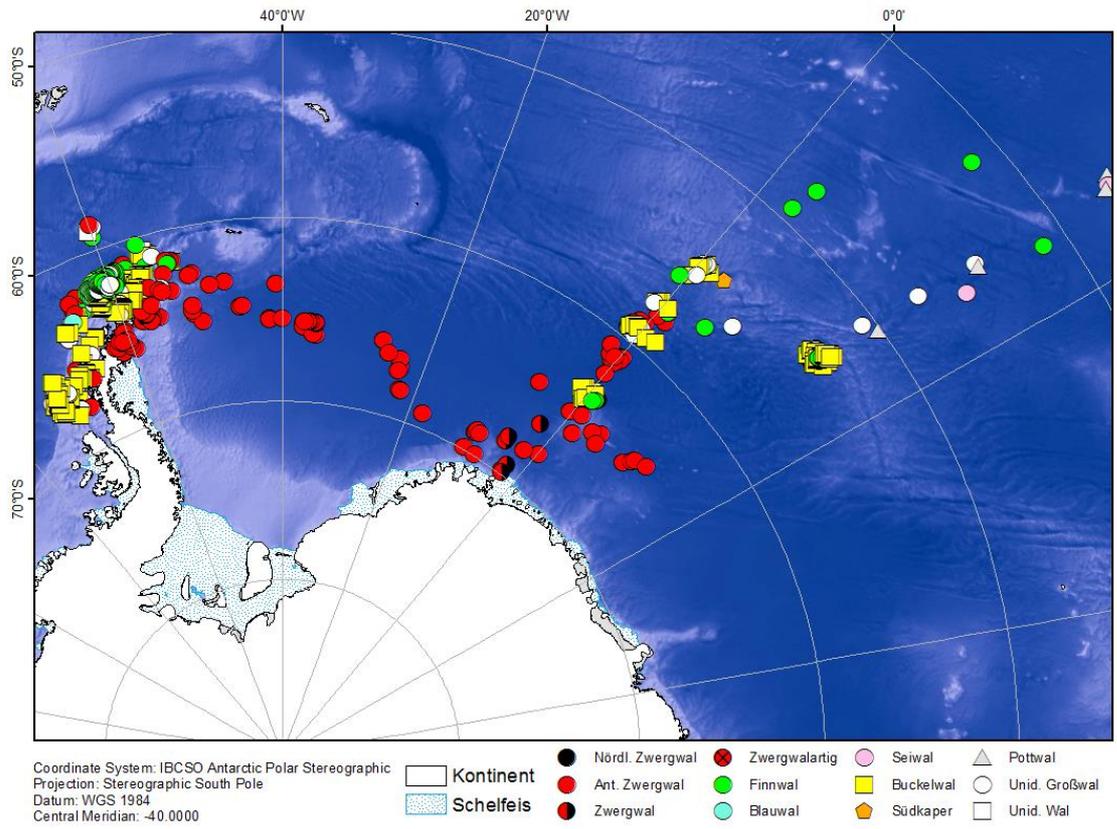


Abbildung 6: Darstellung aller Sichtungspositionen von Bartenwalen und Pottwalen während der Helikoptersurveys aller sechs Expeditionen.

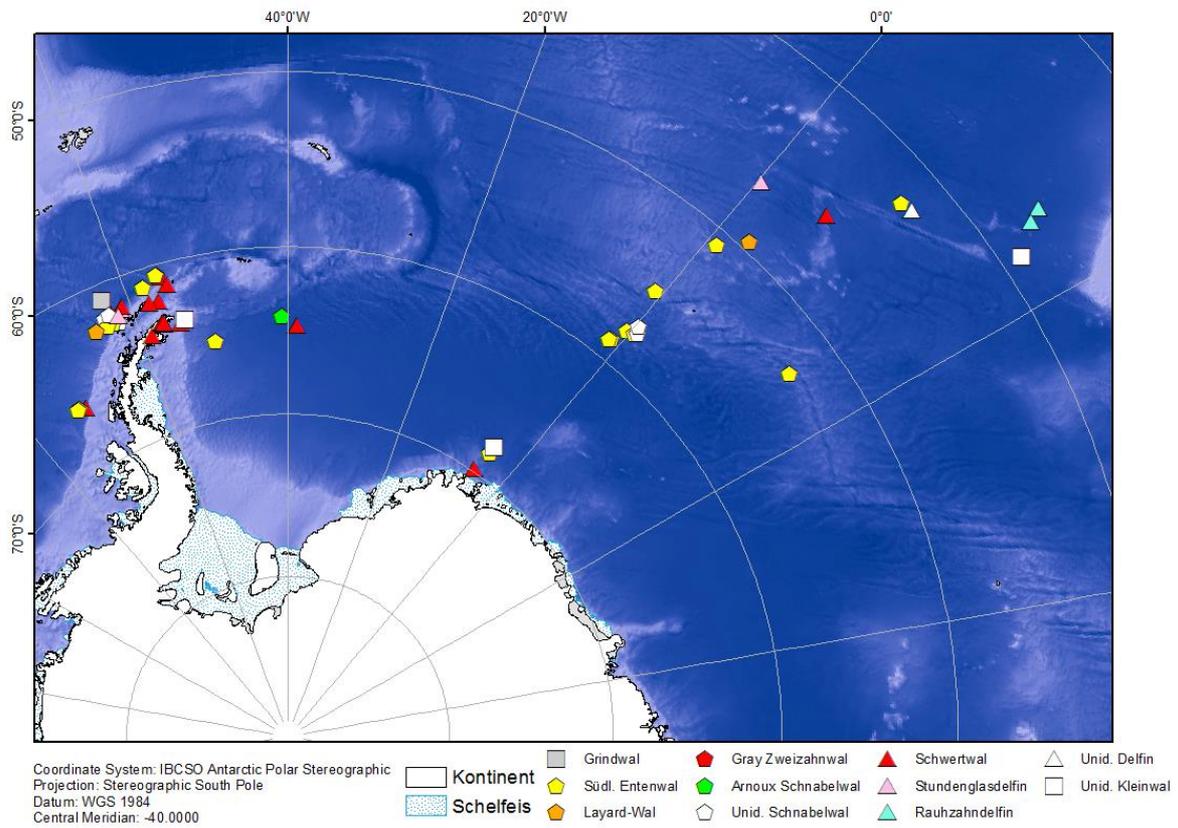


Abbildung 7: Darstellung aller Sichtungspositionen von Zahnwalen (ohne Pottwale) die während der Helikoptersurveys aller sechs Expeditionen erfasst wurden.

Im Rahmen der Krähenneestsurveys wurden insgesamt 264 Sichtungen von 487 Walen erfasst. Insgesamt 9 verschiedene Arten wurden identifiziert (Tabelle 5). Die höchsten Sichtungszahlen wurden für Buckelwale (72 Sichtungen, 131 Individuen) und Zwergwale (78 Sichtungen, 114 Individuen) erfasst, gefolgt von Finnwalen und Schwertwalen. Während der Krähenneestsurveys war es oftmals nicht möglich zwischen Antarktischen Zwergwalen und Nördlichen Zwergwalen zu unterscheiden, da die Tiere anders als beim Helikoptersurvey meist nur kurz beobachtet werden können und für die Identifikation entscheidende Merkmale (im Fall der Zwergwale die Färbung der Flipper) nicht sichtbar werden. Deshalb umfassen "Zwergwale" hier Antarktische Zwergwale, nicht bis auf Artniveau identifizierte Zwergwale und "zwergwalartige" Sichtungen. Des Weiteren enthält der Krähenneestdatensatz einen größeren Anteil an nicht identifizierten Walsichtungen und Aufzeichnungen von Walblas. Die schiffsbasierten Erfassungen erlauben keine Annäherung an Sichtungen zur Identifikation, so dass insbesondere Sichtungen in größerer Entfernung oft unidentifiziert bleiben müssen.

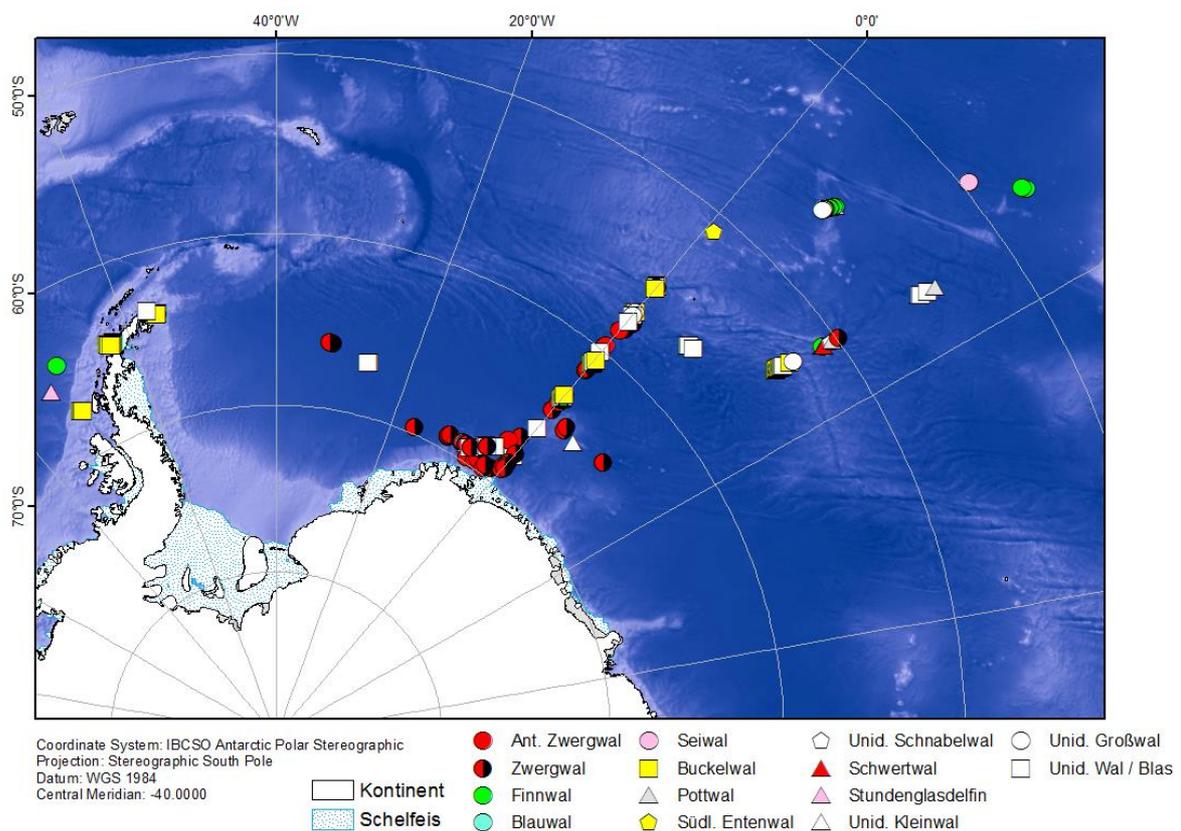


Abbildung 8: Darstellung aller Sichtungspositionen von Walen die während der Krähenneestsurveys auf den Expeditionen ANT25-2, ANT27-2, ANT28-2 und ANT30-2 erfasst wurden.

Für die weiteren Auswertungen wurden jeweils Teile des verfügbaren Datensatzes genutzt. Die genutzten Daten und Analysen sind in den folgenden Kapiteln beschrieben.

3.3 Analyseergebnisse

3.3.1 Zwergwaldichten

Im Rahmen des Projekts wurden zwei Modellierungen zur Untersuchung der Zwergwaldichten und ihrer Beziehung zu Eisparametern unternommen. Beide Analysen stützen sich ausschließlich auf die Helikopterdaten, da nur diese eine Beobachtung eisbedeckter Gebiete und nicht-eisbedeckter Gebiete bei Einhaltung gleicher Surveygeschwindigkeit und Lauterzeugung ermöglichten.

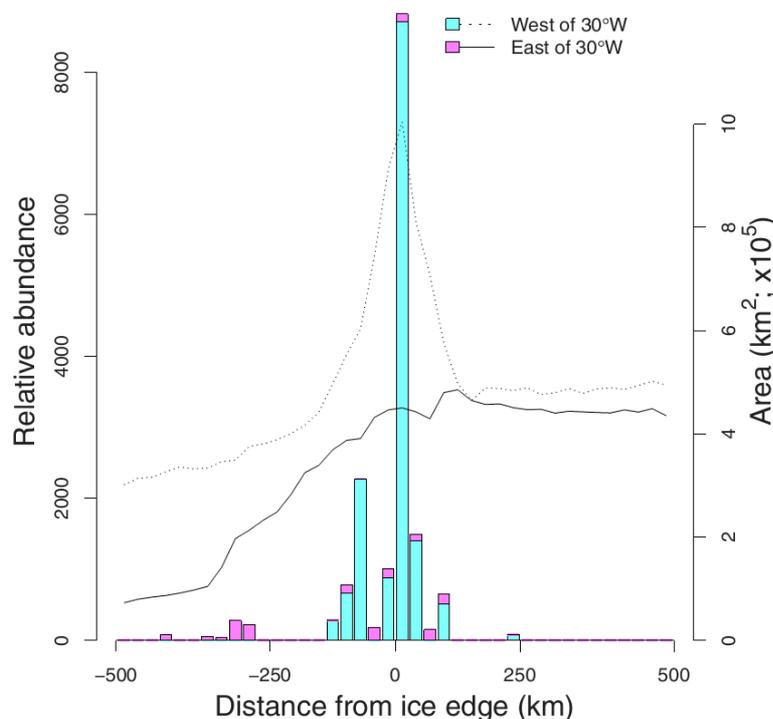
Zunächst wurden die Helikopterdaten der ersten zwei Antarktischfahrten (ANT23-8 und ANT25-2) genutzt, um die Dichte von Zwergwalen in Abhängigkeit von der Distanz zur Eiskante zu untersuchen. Diese Auswertung und ihre Ergebnisse sind in Kapitel 3.3.1.1 dargestellt und wurden bereits in der Zeitschrift *Scientific Reports* veröffentlicht (Williams et al. 2014). Im weiteren Verlauf des Projekts wurden dann die Helikopterdaten der folgenden Fahrten hinzugenommen und die Beziehung der Zwergwaldichte zu verschiedenen Habitatparametern untersucht. Die räumlich-zeitliche Verteilungen der Zwergwaldichte wurde in Abhängigkeit von diesen Parametern basierend auf den Modellen vorhergesagt. Die Ergebnisse dieses zweiten Ansatzes sind in Kapitel 3.3.1.2 dargestellt und werden in Kürze als Manuskript zur Veröffentlichung bei *Ecography* eingereicht (Herr et al. *in prep*).

3.3.1.1 Antarktische Zwergwaldichten in Beziehung zur Meereiskante

Für eine erste Analyse der Beziehung zwischen Meereis und Zwergwalvorkommen wurde ein quantitativer Vergleich von Zwergwaldichten zu beiden Seiten der Meereiskante vorgenommen, unter Berücksichtigung der Distanz von dieser. Hierfür wurde die Position der Eiskante tagesgenau für alle Surveytage aus Satellitendaten (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E)*, IUP, Universität Bremen) in ArcGIS10.2 (*ESRI Software*) berechnet. Als Eiskante wurde die äußere Grenze der größten zusammenhängenden Fläche mit mindestens 15% Eiskonzentration, basierend auf einer Auflösung von 6,25 km, gewählt. Die Definition der Eiskante bei einer Eiskonzentration von 15% ist die am häufigsten verwendete (Worby and Comiso 2004). Jedem Datenpunkt (Surveysegmente) wurde die spezifische Distanz zur Eiskante zugeordnet, wobei unterschieden wurde, ob es sich um eine Distanz vor oder hinter der Eiskante handelte. Distanzen jenseits der Eiskante (d.h. im Eis) wurde ein negatives Vorzeichen gegeben.

Die Sichtungsdaten aus den Helikoptersurveys der ersten zwei Expeditionen wurden zunächst in einer *Distance* Analyse (siehe Kapitel 2.4) verwendet, um eine Detektionsfunktion für Zwergwale zu ermitteln und die korrespondierende *esw* zu bestimmen. Für die weitere Modellierung wurden die Surveydaten in 30 km Segmenten aggregiert. Für jedes Segment wurde die Dichte der Zwergwale basierend auf der im

Segment abgedeckten Fläche und Zahl der erfassten Zwergwalsichtungen berechnet. Eine Abschätzung der relativen Abundanz (da kein Korrekturfaktor für verpasste Tiere berechnet werden konnte handelt es sich nicht um absolute Zahlen) für Zwergwale in Abhängigkeit von der Distanz zur Eiskante bis zu einer Entfernung von 500 km zur Eiskante wurde basierend auf den Segmentdichten und ihrer Distanz zur Eiskante am spezifischen Surveytag ermittelt. Hierfür wurden alle Segmente mit gleicher Distanz zur Eiskante in 25 km Gruppierungen (d.h. 0-25 km Distanz zur Eiskante, 25-50 km Distanz usw.) zusammengefasst. Für jede dieser 25 km - Einheiten wurde eine durchschnittliche Zwergwaldichte berechnet und entsprechend des aufsummierten Aufwands (abgedeckte Fläche) gewichtet. Für jeden 25 km Bereich wurden die Flächenanteile von Eis und Wasser beispielhaft basierend auf der Eissituation vom 1. Januar 2007 berechnet. Dieser Tag wurde als repräsentativer Tag für beide Surveys ausgewählt. Die relative Abundanz in jedem 25-km Abschnitt wurde dann berechnet, indem die Fläche mit der durchschnittlichen Dichte multipliziert wurde. Die grafische Darstellung der Verteilung der Zwergwaldichten in Beziehung zur Distanz zur Eiskante (Abbildung 9) zeigt ein eindeutiges Bild. Die höchsten Zwergwaldichten finden sich unmittelbar im Bereich vor der Eiskante. In Richtung des offenen Meeres nehmen die Dichten dann zügig ab. Jenseits der Eiskante finden sich über einen breiteren Raum vergleichsweise hohe Dichten, jedoch nicht in der Höhe wie direkt vor der Eiskante. Zwergwale wurden bis zu 250 km vor der Eiskante und bis zu 425 km ins Packeis hinein



gesichtet.

Abbildung 9: Relative Abundanz von Zwergwalen in 25 km Abschnitten (negative Distanzen beziehen sich auf Bereiche jenseits der Eiskante (d.h. "im Eis")), für die Gebiete westlich (grün) und östlich (lila) von 30°. Westlich von 30° beginnt der Bereich des Weddellmeeres. Die gestrichelte und die durchgängige Linie gibt jeweils den Flächenanteil von Eis und Wasser in jedem Abschnitt an. Die Abbildung ist publiziert in Williams et al. (2014).

3.3.1.2 Dichteverteilung von Antarktischen Zwergwalen in Raum, Zeit und Beziehung zum Meereis

Basierend auf den Erkenntnissen der ersten Analyse, dass Zwergwale eine Präferenz für den Bereich um die Meereiskante aufweisen und zudem auch relativ weit in dichtes Packeis hinein vorkommen, wurde in einem weiteren Auswertungsansatz die raumzeitliche Verteilung von Zwergwalen unter Berücksichtigung verschiedener Eisparameter analysiert. Dazu wurden alle verfügbaren Daten aus den Helikoptersurveys in Betracht gezogen. Im weiteren Verlauf der Analysen wurden die Daten der Expeditionen ANT28-2 und ANT30-2 jedoch von der Analyse ausgeschlossen, da sie kaum Aufwand in eisbedeckten oder eiskantennahen Gebieten enthielten. Nur Aufwand südlich von 58°S wurde in die Analyse einbezogen, da keine Zwergwalsichtungen weiter nördlich erfolgt waren. Es wurde eine *right-truncation* bei 1300 m vorgenommen, d.h. Sichtungen die in einer größeren Distanz als dieser erfasst wurden, wurden als "Ausreißer" von der Analyse ausgeschlossen. Für die Detektionsfunktion wurden (wie oben beschrieben) nur Daten der linken Transektseite berücksichtigt. In Tabelle 6 ist aufgeschlüsselt, welche Daten für die Zwergwalanalysen letztendlich verwendet wurden.

Im Rahmen einer *Distance* Analyse wurde zunächst die Relevanz verschiedener Umweltparameter auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Zwergwalen getestet und somit über ihren Einschluss in die Detektionsfunktion entschieden. Getestet wurden die folgenden Parameter: allgemeine Sichtungsbedingung ('gut' oder 'moderat'; Aufwand aus 'schlechten' Sichtungsbedingungen wurde von der Analyse ausgeschlossen), Beaufort Seastate, Gruppengröße und lokale Eisbedeckung nach Einschätzung der Beobachter (0-10% = kein Eis, 10-100% = Eis).

Tabelle 6: Übersicht über alle verwendeten Daten für die Analysen zu Zwergwaldichten im Eis. Alle analysierten Zwergwaldaten gingen in die spätere Modellierung ein. Für die Detektionsfunktion wurde nur der Teil der Sichtungen verwendet, die von der linken, komplett beobachteten Seite des Helikopters aus aufgenommen wurden.

Expedition	Analysierter Aufwand [km]	Zahl analysierte Sichtungen / Individuen	Zahl Sichtungen / Individuen für Detektionsfunktion
ANT23-8	13.117	71 / 158	42 / 96
ANT25-2	6.321	24 / 28	11 / 13
ANT27-2	13.234	44 / 69	27 / 41
ANT28-2	-	-	-
ANT29-3	7.652	18 / 33	15 / 29
ANT30-2	-	-	-
Gesamt	41.100	157 / 288	95 / 199

Nach AIC Bewertung war das beste Detektionsfunktionsmodell eine *half-normal* Funktion unter Einbeziehung der subjektiven Sichtungsbedingungen. Die Detektionsfunktion ist in

Abbildung 10 dargestellt. Die einseitige effektive Streifenbreite lag bei 450 m für moderate Sichtungsbedingungen und bei 887 m für gute Sichtungsbedingungen.

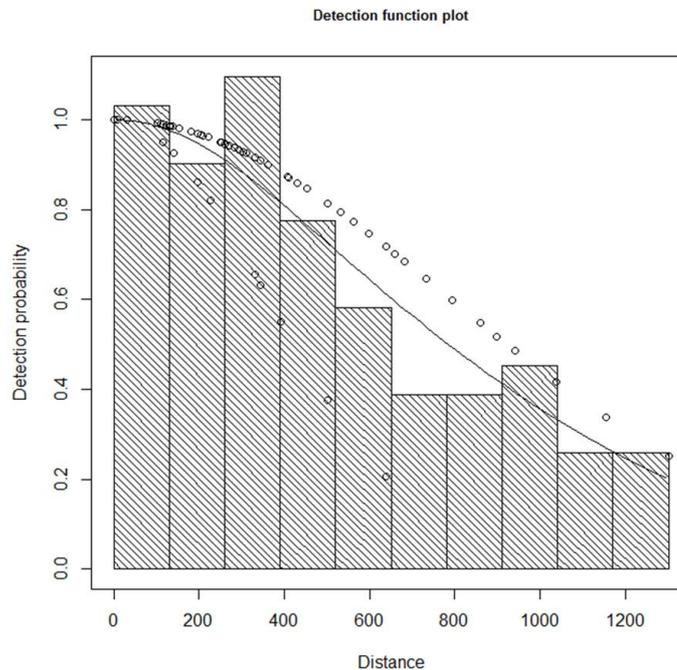


Abbildung 10: Verteilung der Zwergwalsichtungen in bestimmter Distanz zum Transekt (Balken). Die ausgewählte, dargestellte Detektionsfunktion entspricht einer half-normal Funktion, skaliert nach den zweistufigen Sichtungsbedingungen (moderat und gut). Die Kreise geben die Detektionswahrscheinlichkeit entsprechend der jeweiligen Distanz und des Einflusses der Sichtungsbedingungen an. Die Linie entspricht der mittleren, angepassten Detektionsfunktion.

Als Vorbereitung für die Modellierung wurde hiernach für jeden Surveytag die Eiskante, wie in Kapitel 3.3.1.1 beschrieben, bestimmt. Für jeden Datenpunkt wurde dann tagesgenau die Distanz zur Eiskante und die lokale Eiskonzentration (auf den gleichen Satellitendaten basierend) bestimmt, sowie die Distanz zur kontinentalen Schelfkante (vergl. auch Herr et al. 2016), die Tiefe und die Hangneigung. Länge und Breite eines jeden Datenpunktes wurden in einen projizierten (Lambert-Azimutal) x - bzw. y - Wert umgewandelt.

Ein *Density Surface Model* (DSM) Ansatz wurde gewählt, um die Dichte von Zwergwalen raumzeitlich unter Berücksichtigung der Kovariablen vorherzusagen. Es wurde die "count method" nach Hedley und Buckland (2004) verwendet, in Kombination mit einem Generalisierten Additiven Modell (GAM, Wood 2006). Der Surveyaufwand unter 'guten' und 'moderaten' Bedingungen wurde in 50 km Segmente unterteilt und für jedes Segment die Anzahl gesichteter Tiere bestimmt. Die Modellierung wurde in R (R Development Core Team, 2014) vorgenommen, unter Verwendung des mgcv Pakets (mgcv v1.7-28; Wood 2006, 2011). Folgende Variablen wurden für ihre Berücksichtigung im Modell getestet: x und y (projizierte Länge und Breite), Tiefe, Hangneigung, Distanz zur Schelfkante,

Meereiskonzentration, Distanz zur Eiskante und Surveyjahr. Es wurden zwei separate Modelle erstellt, eins für die Westseite der Antarktischen Halbinsel (im Folgenden das "westliche Modell" genannt) und eins für den gesamten Untersuchungsbereich östlich der Antarktischen Halbinsel ("östliches Modell"). Die Westseite der Antarktischen Halbinsel ist ein wesentlich weniger eisdominiertes Habitat, es liegt z.B. selten eine definierbare Eiskante vor. Zudem wurde angenommen, dass andere Habitatparameter eine bedeutendere Rolle als das Eis spielen könnten.

Das beste östliche Modell umfasste eine Kombination aus einer Ausgleichsfunktion (engl. *smooth*) von Distanz zur Schelfkante, einem Tensorprodukt von Eisbedeckung und Distanz zur Eiskante und den räumlichen Parametern x und y . Das Modell zeigte einen deutlichen Ost-West Gradienten auf, mit Zwergwaldichten, die nach Westen hin steigen und im Bereich der Antarktischen Halbinsel am höchsten sind. Des Weiteren zeigt sich auch in diesem Modell eine deutliche Beziehung zur Eiskante. In unmittelbarer Nähe der Eiskante werden die höchsten Zwergwaldichten vorhergesagt (vergl. Kapitel 3.3.1.1, Williams et al. 2014). Die Dichte nimmt Richtung offenem Wasser ab. Jenseits der Eiskante, also im Meereisbereich, sind die Dichten etwas geringer als vor der Kante, bleiben jedoch über eine größere Distanz relativ konstant. Allerdings sind die assoziierten Fehler für die Bereiche innerhalb des Eises höher als außerhalb. Dies ist auch auf den grafischen Darstellungen der Variationskoeffizienten der Dichtevorhersagen auf Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 zu sehen.

Das westliche Modell umfasste neben der räumlichen Komponente ausschließlich eine Ausgleichsfunktion der Distanz zur Schelfkante. Höhere Zwergwaldichten im Bereich der Westantarktischen Halbinsel wurden in Küstennähe vorhergesagt. Insgesamt ist dieses Modell aufgrund einer geringen Stichprobengröße (20 Sichtungen) aber weniger robust als das östliche Modell. Dies spiegelt sich auch in den Variationskoeffizienten der abgeschätzten Dichte (Tabelle 8) und Gridpunkt-basierten Vorhersagen (Abbildung 15) wider, welche deutlich höher als die der anderen Vorhersagen durch das östliche Modell ausfallen.

Die Modelle wurden genutzt, um für vier Strata die Zwergwaldichte vorherzusagen. Die Strata sind auf Abbildung 11 dargestellt und gliedern sich wie folgt: Neumayer (NM), Weddell Sea, East Antarctic Peninsula (EAP) und West Antarctic Peninsula (WAP). Diese Gebiete wurden nach geographischen Gesichtspunkten und typischem Eisvorkommen ausgewählt sowie nach Surveyabdeckung. Jedes der Gebiete wurde mindestens während zwei Surveys besucht und die Einteilung stellt eine gute Grundlage für räumliche und zeitliche Vergleiche dar.

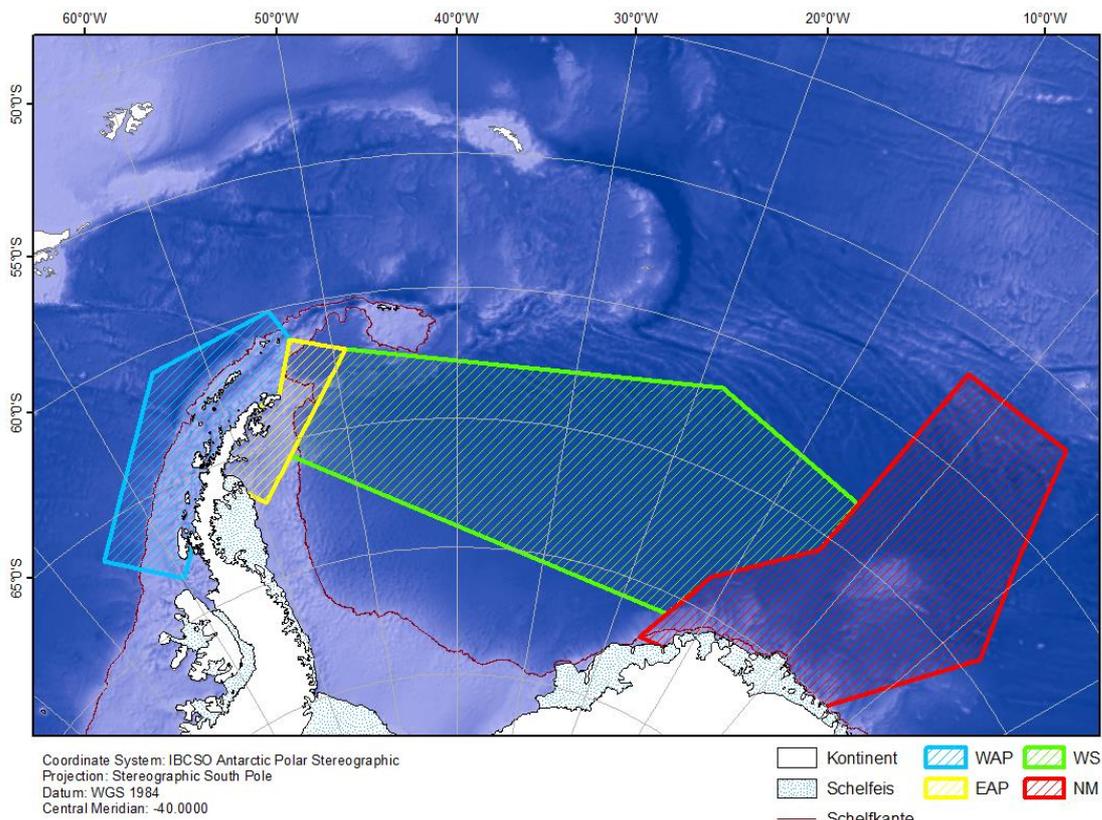


Abbildung 11: Aufteilung der Strata für die Zwergwaldichten für verschiedene Tage vorhergesagt wurden. WAP = West Antarctic Peninsula, EAP = East Antarctic Peninsula, WS = Weddell Sea und NM = Neumayer.

Für das Stratum WAP wurde das westliche Modell genutzt, für die anderen drei Strata das östliche. Da das östliche Modell variable Parameter umfasste (Eiskonzentration und Distanz zur Eiskante), sind alle Vorhersagen von der vorliegenden Eissituation abhängig. Deshalb wurden die Vorhersagen in den Strata EAP, WS und NM für spezifische Tage und deren Eissituation vorgenommen. Die ausgewählten Tage entsprachen etwa dem zeitlichen Mittelpunkt eines jeden Surveys in dem Gebiet und sind in Tabelle 7 gelistet. Für das Stratum WAP wurde nur eine allgemeingültige Vorhersage gemacht, da keine variablen Parameter in das Modell eingeflossen waren. Die so vorgenommenen acht Vorhersagen ermöglichten räumliche Vergleiche zwischen den Strata sowie zeitliche Vergleiche innerhalb der Strata.

Für jedes Gebiet wurde ein Punktraster als Vorhersagegrid erstellt, mit einem Punktabstand von 6,25 km. Der Abstand geht auf AMSR Meereisdaten zurück, die in genau dieser Auflösung vorliegen. Jedem Gridpunkt wurden die gleichen Parameter wie den anderen Datenpunkten zuvor zugeordnet: Tiefe, Hangneigung, Distanz zur Schelfkante, Distanz zur tagesspezifischen Eiskante und tagesspezifische Eiskonzentration. Die Ergebnisse der Vorhersagen sind in Abbildung 12 bis Abbildung 15 dargestellt, jeweils zusammen mit dem assoziierten Fehler für jeden Gridpunkt, um die Güte der Vorhersage besser einschätzen zu können. In Tabelle 8 sind die vorhergesagten Dichten für alle Strata und Tage dargestellt.

Tabelle 7: Übersicht über die Tage für welche eine gebietsspezifische Vorhersage der Zwergwaldichte erstellt wurde. Die Daten entsprechen den zeitlichen Mittelpunkten der einzelnen Surveys die das Gebiet besuchten. Bei dem Gebiet WAP flossen nur statische Prediktoren in das Modell ein, so dass eine tagesunabhängige Vorhersage vorgenommen werden konnte.

Stratum	Gebietsgröße [km ²]	Datum
NM	1.150.664	05. Dezember 2006 19. Dezember 2008 18. Dezember 2010
WS	1.579.102	15. Dezember 2006 30. Dezember 2010
EAP	118.203	14. Januar 2007 11. Februar 2013
WAP	425.938	tagesunabhängig

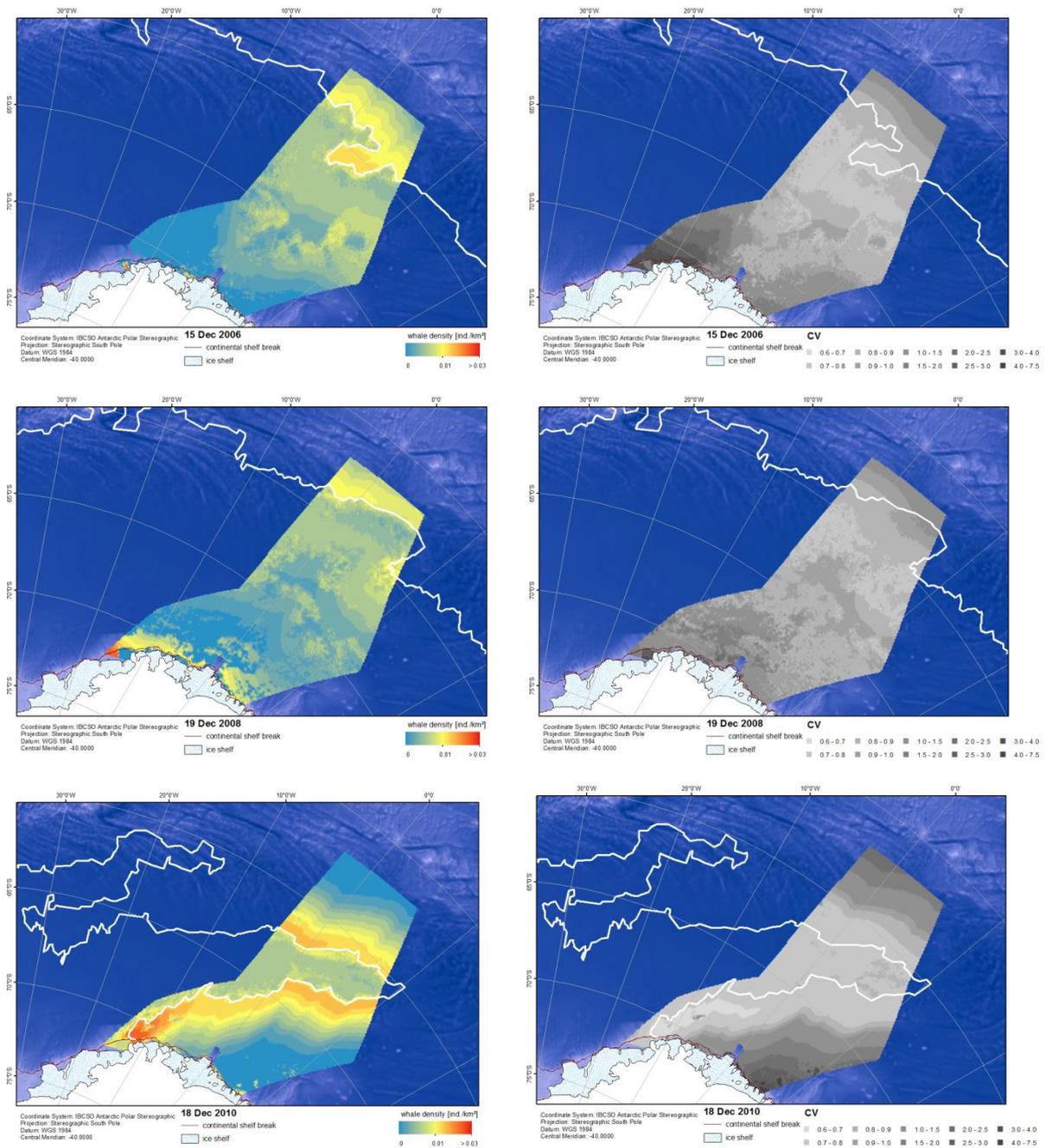


Abbildung 12: Die Grafiken auf der linken Seite zeigen die vorhergesagte Zwergwaldichte für drei verschiedene Tage im Stratum Neumayer (NM). Oben: 5.12.2006, Mitte: 19. Dezember 2008, Unten: 18. Dezember 2010. Die weiße Linie markiert die Position der ermittelten 15% Eiskante an dem spezifischen Tag. Die Abbildungen auf der rechten Seite stellen die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegitter wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Hohe Variationskoeffizienten deuten auf eine unsichere Schätzung als niedrige.

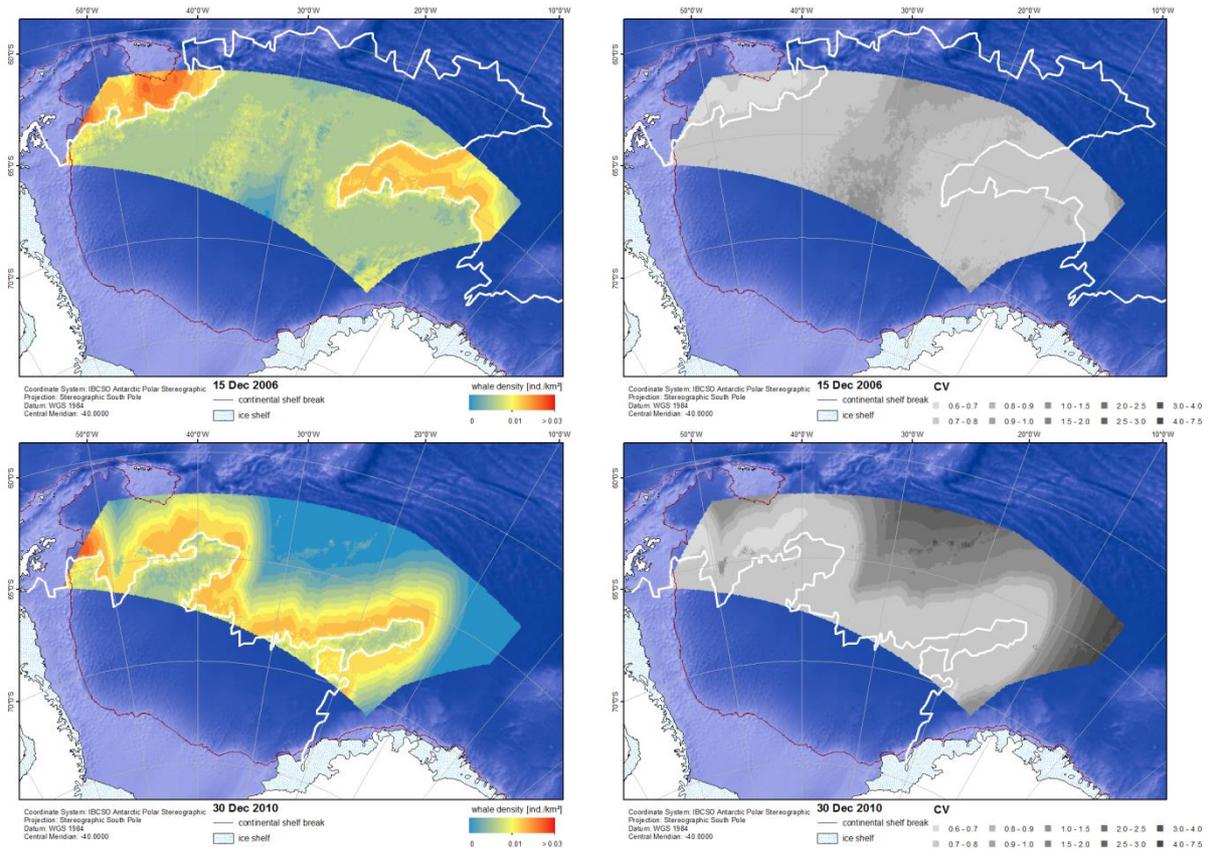


Abbildung 13: Die Grafiken auf der linken Seite zeigen die vorhergesagte Zwergwaldichte für zwei verschiedene Tage im Stratum Weddell Sea (WS). Oben: 15.12.2006, Unten: 30. Dezember 2010. Die weiße Linie markiert die Position der ermittelten 15% Eiskante an dem spezifischen Tag. Die Abbildungen auf der rechten Seite stellen die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegrid wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Hohe Variationskoeffizienten deuten auf eine unsicherere Schätzung als niedrige.

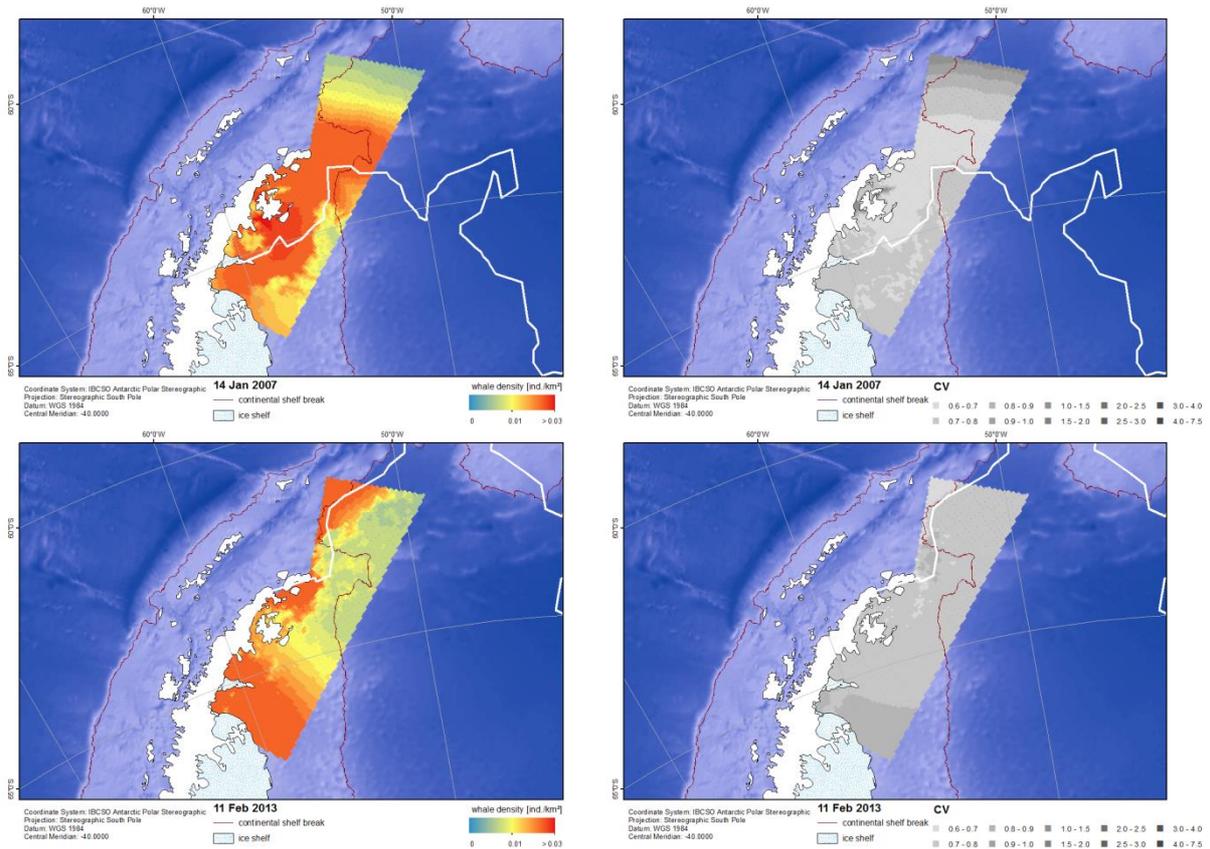


Abbildung 14: Die Grafiken auf der linken Seite zeigen die vorhergesagte Zwergwaldichte für zwei verschiedene Tage im Stratum East Antarctic Peninsula (EAP). Oben: 14.01.2007, Unten: 11. Februar 2013. Die weiße Linie markiert die Position der ermittelten 15% Eiskante an dem spezifischen Tag. Die Abbildungen auf der rechten Seite stellen die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegitter wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Hohe Variationskoeffizienten deuten auf eine unsichere Schätzung als niedrige.

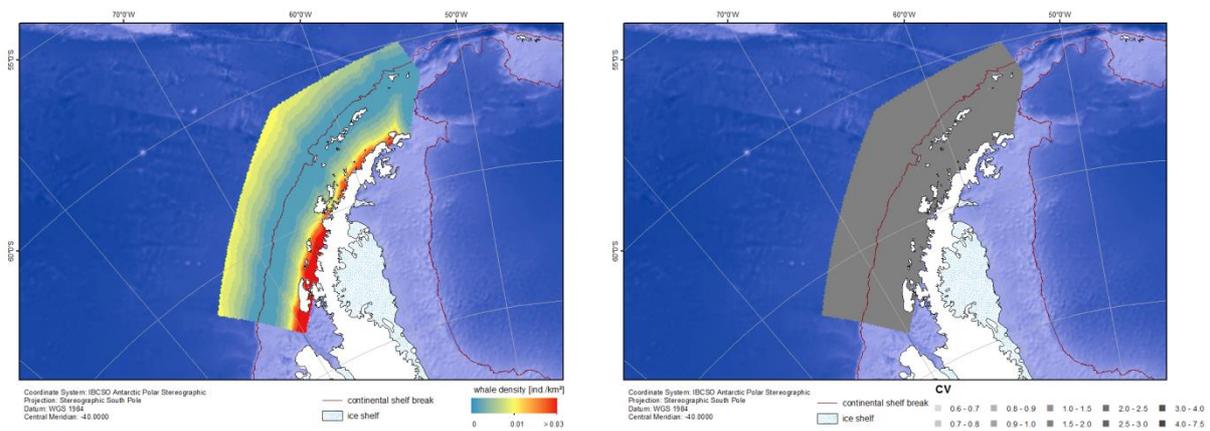


Abbildung 15: Die Grafik auf der linken Seite zeigt die vorhergesagte Zwergwaldichte für das Stratum West Antarctic Peninsula (WAP). Die Abbildung auf der rechten Seite stellt die assoziierten Variationskoeffizienten dar. Für jeden Punkt im Vorhersagegitter wurde der Variationskoeffizient ermittelt und die Gesamtheit als Raster dargestellt. Insgesamt zeichnet sich diese Vorhersage durch hohe Variationskoeffizienten aus, da sie auf einer sehr kleinen Stichprobe basiert. Diese Vorhersage ist somit als nicht sehr robust einzuschätzen.

Tabelle 8: Auf den Modellen basierend vorhergesagte Dichten und Abundanz von Zwergwalen für alle Strata und Tage.

Stratum	Fläche [km ²]	Datum	Dichte [Ind./km ²]	Abundanz	CV
NM	1.150.664	05.12.2006	0,0027	3.079	0,31
		19.12.2008	0,0024	2.770	0,33
		18.12.2010	0,0040	4.628	0,24
WS	1.579.102	15.12.2006	0,0045	7.170	0,21
		30.12.2010	0,0043	6.817	0,25
EAP	118.203	14.01.2007	0,0133	1.571	0,21
		11.02.2013	0,0098	1.158	0,29
WAP	425.938	unabhängig	0,0050	2.129	0,46

Insgesamt zeigt sich eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität. Betrachtet man die Vorhersagen innerhalb jedes Stratums für verschiedene Tage, so wird deutlich, dass in Abhängigkeit von der vorherrschenden Eissituation sehr unterschiedliche Zwergwaldichten vorhergesagt werden. Im Stratum NM stellt die unterste Abbildung die Vorhersage für den 19. Dezember 2010 dar. Im Vergleich zu den anderen beiden Vorhersagen, die ebenfalls jeweils aus dem Dezember anderer Jahre stammen, zeigt sich ein abweichendes Bild, welches vornehmlich auf eine gänzlich andere Eissituation zurückzuführen ist. In diesem Jahr hatte sich das Eis im Gebiet NM schon weiter zurückgezogen und nur eine Art Meereiszunge lag noch in dem Gebiet. Die vorhergesagte Dichte für Zwergwale im Gebiet liegt deutlich höher als in beiden anderen Jahren. Ein starker Einfluss geht hierbei von der verhältnismäßig längeren Eiskante als in den anderen Jahren aus, die auf beiden Seiten vergleichsweise mehr Habitat mit hohen vorhergesagten Zwergwaldichten bedeutet.

Ein ähnliches Bild zeigt sich für EAP. Hier ist auf der unteren Vorhersage zu erkennen, dass durch ein erhöhtes Eisvorkommen und einen kleineren Eiskantenbereich in diesem Jahr geringere Zwergwaldichten vorhergesagt wurden. Im Stratum WS werden im eisreicheren Jahr 2006 allerdings vergleichbar hohe Dichten wie in dem wesentlich weniger eisreichen Jahr 2010 vorhergesagt. Dies ist vor allem darin begründet, dass in 2006 ein größerer Bereich im Westen des Gebiets eisfrei liegt und dort, auf Grund der geografischen Lage, besonders hohe Dichten vorhergesagt werden.

Im räumlichen Vergleich wird deutlich, was schon anhand des östlichen Modells beschrieben wurde: Im Osten des Untersuchungsgebiets liegen vergleichsweise niedrige Zwergwaldichten vor, die Richtung Westen ansteigen. Das Gebiet NM erreicht nicht

annähernd so hohe Dichten wie das Gebiet EAP. Für das Gebiet EAP wurden die höchsten Dichten von allen Gebieten vorhergesagt. In diesem Gebiet wurden auch die meisten Zwergwalsichtungen aufgezeichnet (vergl. Abbildung 6).

Auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel werden hohe Dichten in Küstennähe durch das westliche Modell vorhergesagt. Eis wurde durch das Modell nicht als eine ausschlaggebende Variable identifiziert und spielt auf dieser Seite der Antarktischen Halbinsel wohl eher eine untergeordnete Rolle. Insgesamt ist diese Vorhersage aber mit Vorsicht zu betrachten, da sie aufgrund der geringen Stichprobengröße mit einem vergleichsweise großen Fehler assoziiert ist. Es ist nicht auszuschließen, dass weitere Faktoren hier eine verteilungsbestimmende Rolle spielen, die aufgrund der geringen Stichprobengröße aber nicht effektiv getestet werden konnten.

Tabelle 9: Dichten und Abundanzen von Zwergwalen innerhalb und außerhalb der 15% Meereiszone für alle Vorhersagetage.

Stratum	Datum	Fläche [km ²] außerhalb MIZ	Dichte [Ind./km ²] außerhalb MIZ	Abundanz außerhalb MIZ	CV _{außerhalb}	Fläche [km ²] innerhalb MIZ	Dichte [Ind./km ²] innerhalb MIZ	Abundanz innerhalb MIZ	CV _{in}
NM	05.12.2006	188.320	0,0057	1.076	0,56	962.344	0,0021	2.003	0,30
	19.12.2008	90.508	0,0055	498	0,71	1.060.156	0,0021	2.272	0,32
	18.12.2010	857.304	0,0039	3.358	0,28	293.359	0,0043	1.271	0,26
WS	15.12.2006	310.859	0,0088	2.725	0,23	1.268.242	0,0035	4.444	0,26
	30.12.2010	1.305.000	0,0042	5.413	0,28	274.102	0,0051	1.403	0,27
EAP	14.01.2007	79.180	0,0139	1.098	0,25	39.023	0,0121	473	0,21
	11.02.2013	11.523	0,0150	173	0,27	106.680	0,0092	985	0,33
WAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Betrachtet man in den östlichen Strata die Eissituation, so fällt zunächst die große Variation in der Eisbedeckung der Strata auf (Tabelle 8). Im Stratum Neumayer variiert der Anteil des Gebiets innerhalb der MIZ zwischen 92% im Dezember 2008 und nur 25% im Dezember 2010, im Stratum WS zwischen 80 % im Dezember 2006 und 17% im Dezember 2010. Im Stratum EAP zwischen 31% im Januar 2006 und 91% im Februar 2013. Ebenfalls variabel sind die Dichten, die für die Bereiche innerhalb und außerhalb des Eises vorhergesagt wurden. Aufgrund der starken Abhängigkeit der Zwergwaldichten von der Distanz zur Eiskante, spielt die Länge der innerhalb des Stratums vorliegenden Eiskante eine erhebliche Rolle für die Gesamtabundanz. Längere Eiskanten im Stratum führen zu einer insgesamt höheren Dichte, wie z.B. deutlich im Stratum NM für das Jahr 2010 erkennbar. Gleichzeitig

wirkt sich für die Dichten innerhalb und außerhalb des Eises die verfügbare Fläche in der Nähe der Eiskante auf der jeweiligen Seite der Eiskante aus. Im Stratum WS ist z.B. die Dichte innerhalb der MIZ im Jahr 2010 besonders hoch, da fast nur eiskantennahes Habitat jenseits der Eiskante im Stratum vorliegt. Die geringe korrespondierende Abundanz weist aber deutlich aus, dass sich die Dichte nur auf eine kleine Fläche bezieht. Bereiche jenseits der Eiskante in größerer Distanz werden in diesem Jahr im Stratum nicht erfasst.

Somit lässt sich feststellen, dass die Anzahl Tiere in einem Gebiet stark von der vorliegenden Eissituation abhängt. Während jeweils eine ähnlich hohe Dichte an Tieren in bestimmter Distanz zur Eiskante anzutreffen ist, so beeinflusst deren Position die absoluten Zahlen in einem bestimmten Gebiet und die lokalen Dichten in Abhängigkeit von ihrer Position zu Eiskante.

Insgesamt weisen die Ergebnisse eine relativ große Variabilität der Zwergwaldichten über Raum und Zeit aus. Zugrundeliegend ist ein Ost-West Gradient anzunehmen, der höhere Zwergwaldichten im Bereich der Antarktischen Halbinsel als in der Nähe des Nullmeridians vorhersagt. Darüber hinaus bedingt die vorherrschende Eissituation die Verteilung und Dichte der Zwergwale in den Gebieten. Der Bereich der Eiskante erzeugt die höchsten Vorhersagen. Die Position und Länge der Eiskante, zusammen mit der Verteilung eisbedeckter Habitats, in Abhängigkeit von der Nähe zur Eiskante ergeben einen komplexen Zusammenhang, der die Dichte und Verteilung von Zwergwalen bestimmt. Bei aller Variabilität lässt sich jedoch feststellen, dass sich ein nicht unerheblicher Anteil der Zwergwalpopulation auch im Meereisbereich aufhält.

3.3.2 Finn- und Buckelwalverteilung an der Westantarktische Halbinsel

Neben Zwergwalen wurden nur Buckelwale und Finnwale in ausreichender Zahl erfasst, um quantitative Analysen vorzunehmen. Beide Arten wurden in größter Zahl um die Antarktische Halbinsel gesichtet. Die Expedition ANT29-3 konzentrierte ihren gesamten Aufwand in dieser Gegend (Expeditionsroute siehe Abbildung 16) und bot damit eine ideale Grundlage für eine Modellierung der Verteilung und Dichte von Finn- und Buckelwalen für einen isolierten Zeitraum. Die hohe Sichtungszahl von Finn- und Buckelwalen auf dieser Expedition (Abbildung 17) bot die Möglichkeit sich für die Analysen und Modellierung der Detektionsfunktion nur auf Daten dieses Surveys zu stützen. Die Ergebnisse beziehen sich dementsprechend auf den Zeitraum der Beobachtung und erlaubten für diesen Zeitpunkt Abundanzschätzungen. Da auf der gleichen Expedition parallel ein Krillsurvey und ein ozeanografischer Survey durchgeführt wurden (siehe auch Dorschel et al. 2015), konnten diese zeitgleich aufgenommenen Daten genutzt werden um die beobachteten Walvorkommen in Beziehung zu Krillvorkommen (in Form einer Biomasseabschätzung) zu

setzen. Die Analyse und ihre Ergebnisse werden im Folgenden detailliert dargestellt und wurden bereits zur Publikation in Polar Biology angenommen (Herr et al. 2016).

Basierend auf den Daten der Expedition ANT29-3 (vergl. Kapitel 3.1.2) wurde eine Distance Analyse zur Ermittlung einer Detektionsfunktion für Finn- und Buckelwale während dieses Surveys vorgenommen. Um die Güte der Detektionsfunktion zu erhöhen, wurden alle Buckelwalsichtungen jenseits von 1 300 m von der Analyse ausgeschlossen, ebenso alle Finnwalsichtungen jenseits von 1 000 m (*right truncation*). Es wurden ausschließlich die Sichtungsdaten der linken Seite (zusammengesetzt aus der linken Beobachtungsseite des vorderen Beobachters und des linken hinteren Beobachters) in der Modellierung der Detektionsfunktion verwendet, da die rechte Seite keine durchgängige Abdeckung des Transekts ermöglichte. Zudem wurden nur Sichtungen berücksichtigt, die unter guten oder moderaten Bedingungen erfolgten. Die Auswahl des besten Modells erfolgte über das Akaike Information Criterion (AIC, Akaike 1974). Eine Darstellung der gewählten Detektionsfunktionen aus den Modellen findet sich in Abbildung 18.

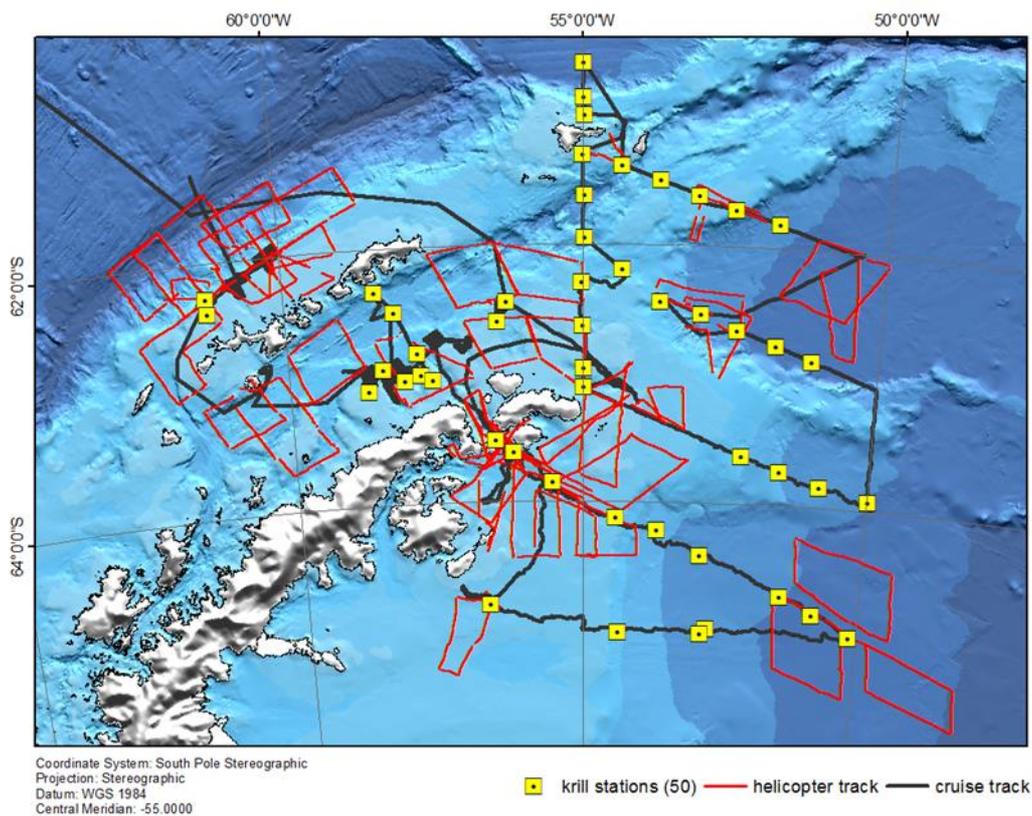


Abbildung 16: Darstellung des Helikopteraufwands (rote Linie) und der Krillstationen auf der Expedition ANT29-3. Schwarz hinterlegt ist der Schiffstrack.

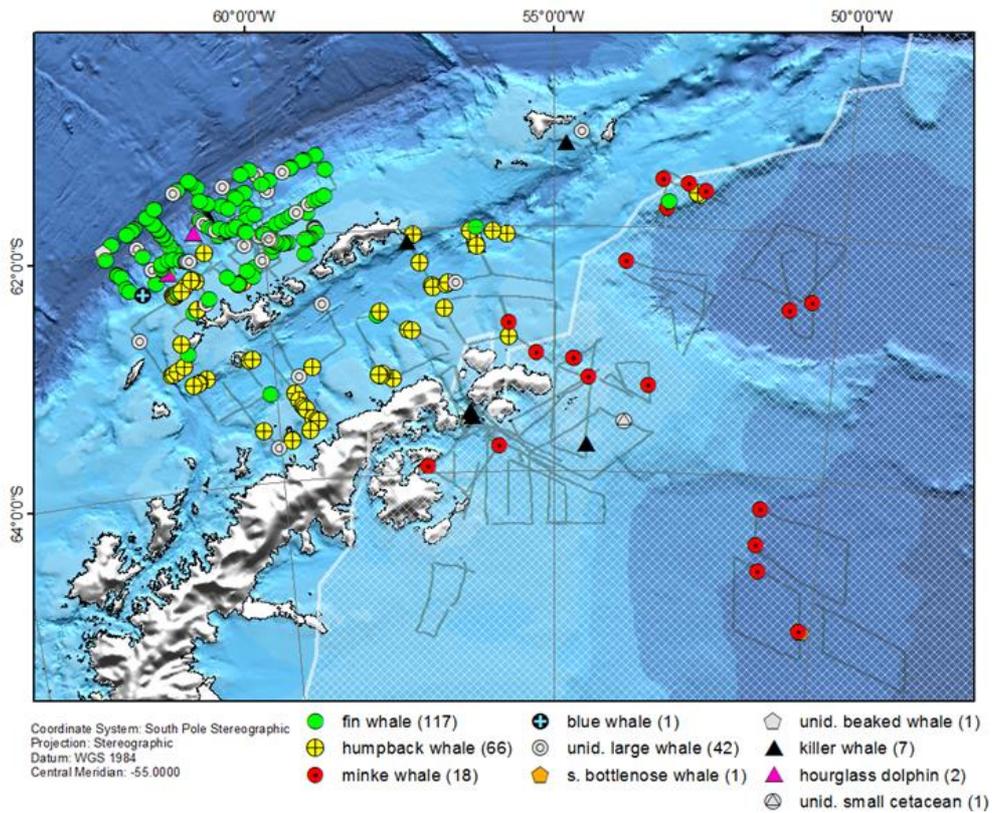


Abbildung 17: Position aller Walsichtungen während des Helikoptersurveys auf der Expedition ANT29-3. Die weiß schraffierte Fläche bezeichnet Bereiche mit mindestens 15 % Eisbedeckung. Die weiße Linie kennzeichnet die Eiskante. Grau hinterlegt sind die Tracks des Helikoptersurveys.

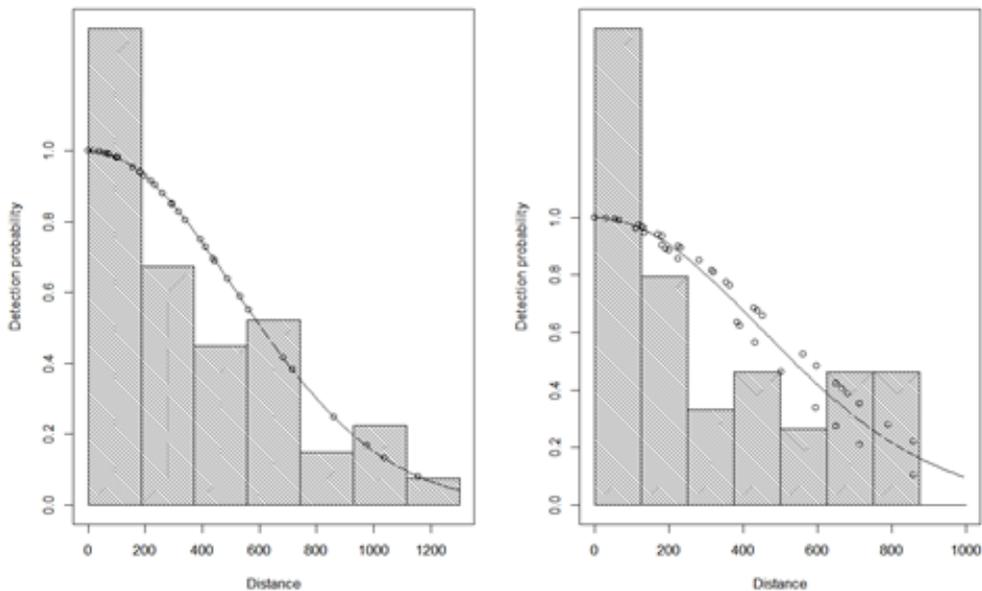


Abbildung 18: Detektionsfunktionen für Buckelwale (links) und Finnwale (rechts), basierend auf jeweils 47 bzw. 80 Sichtungen. Es wurde eine *right truncation* bei 1300 m für Buckelwale und 1000 m für Finnwale vorgenommen. Es wurden keine Kovariablen in die Funktionen für Buckelwale eingeschlossen, bei der Detektionsfunktion für Finnwale wurde die subjektiven Sichtungsbedingungen 'gut' und 'moderat' eingeschlossen.

Jedem Messpunkt entlang der Surveystrecke wurde für die räumliche Modellierung die Wassertiefe (IBCSO v1.0, Arndt et al. 2013) und die tagesgenaue Eiskonzentration in 6,25

km Genauigkeit zugewiesen (Daily AMSR2 Sea Ice Maps, <http://www.meereisportal.de>, Spreen et al. 2008). Die Helikoptersurveys wurden in 241 Segmente mit einer durchschnittlichen Länge von 31,75 km (Minimum: 14,9km, Maximum: 62,39km) unterteilt und mit den gleichen Umweltparametern verschnitten, um Mittelwerte entlang des Segmentes zu erhalten. In einem anschließenden Schritt wurden mit Hilfe des dsm Pakets (Miller et al. 2014) in R additive, negativ binomiale Modelle der räumlichen Glättungsfunktion ('smooth') von (x,y) sowie der Eisbedeckung (*AMSR_ice*) und der vorherrschenden Wassertiefe (*depth_m*) in verschiedenen Kombinationen für beide Walarten getestet. Die Güte der Modelle wurde zum Einen über den Un-Biased Risk Estimator score (*UBRE*, Craven & Wahba 1979), zum Anderen auch durch eine visuelle Inspektion der Modellparameter ermittelt (Abbildung 19 und Abbildung 20). Für beide Walarten ergab eine Kombination der räumlichen Parameter x,y und der Wassertiefe (*depth_m*) das beste Modell (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Getestete Modelle im Zusammenhang mit der Density Surface Modeling Auswertung. Die jeweils besten Modelle sind in Fett markiert und basieren auf einer Evaluierung des UBRE Scores sowie der erklärten Varianz (dev.exp). hw Modelle beziehen sich auf Buckelwale, fw Modelle auf Finnwale.

Modell	Parameter	UBRE	dev.exp
hw ₀	<i>Nullmodel</i>	1,6798	0
hw ₁	<i>x, y</i>	-0,2397	0,812
hw ₂	<i>x, y + AMSR_ice</i>	-0,3179	0,854
hw₃	<i>x, y + depth_m</i>	-0,2772	0,832
hw ₄	<i>x, y + AMSR_ice + depth_m</i>	-0,3417	0,873
hw ₅	<i>AMSR_ice</i>	0,5068	0,455
hw ₆	<i>depth_m</i>	0,8369	0,338
hw ₇	<i>AMSR_ice + depth_m</i>	0,1845	0,598
fw ₀	<i>Nullmodel</i>	1,8636	0,000
fw ₁	<i>x, y</i>	-0,4364	0,844
fw ₂	<i>x, y + AMSR_ice</i>	-0,4253	0,843
fw₃	<i>x, y + depth_m</i>	-0,4333	0,853
fw ₄	<i>x, y + AMSR_ice + depth_m</i>	-0,4227	0,852
fw ₅	<i>AMSR_ice</i>	0,3794	0,524
fw ₆	<i>depth_m</i>	1,5047	0,150
fw ₇	<i>AMSR_ice + depth_m</i>	0,1039	0,641

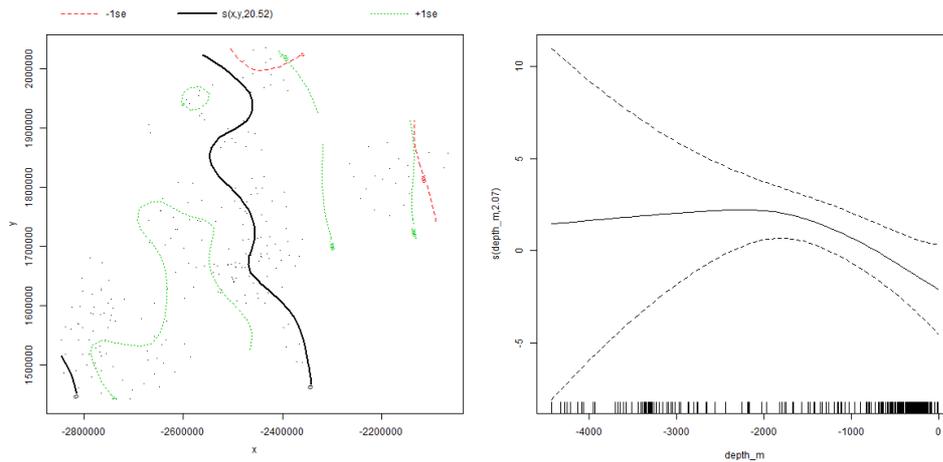


Abbildung 19: Darstellung der Parameterglättung des besten Buckelwalmodells hw_3 . Die linke Seite zeigt die Interaktion von x,y an; grüne Linien markieren Bereiche über, rote Linien zeigen Bereiche unterhalb des Mittelwerts des Parameters an (schwarze Linie); Die rechte Seite zeigt die Vorhersage des Parameters Wassertiefe (depth_m) an.

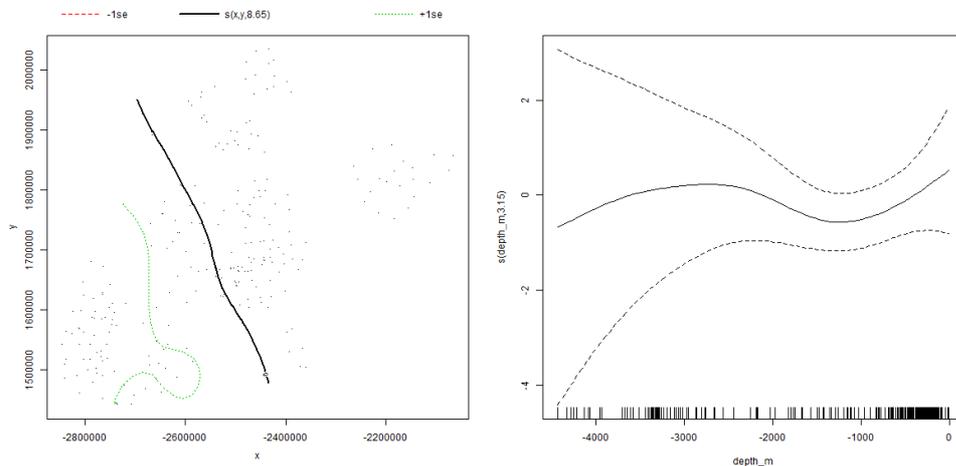


Abbildung 20: Darstellung der Parameterglättung des besten Finnwalmodells fw_3 . Die linke Seite zeigt die Interaktion von x,y an; grüne Linien markieren Bereiche über, rote Linien zeigen Bereiche unterhalb des Mittelwerts des Parameters an (schwarze Linie); Die rechte Seite zeigt die Vorhersage des Parameters Wassertiefe (depth_m) an.

Die Modelle wurden genutzt, um Vorhersagen der Finnwal- und Buckelwalldichte auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel zu erstellen. Dieser Teil des Untersuchungsgebiets wurde zu diesem Zweck in zwei Strata, Bransfield Strait (BS) und Drake Passage (DP) unterteilt. Auf der Ostseite der Antarktischen Halbinsel wurden im Rahmen des Surveys keine Finn- und Buckelwale gesichtet, dementsprechend wurde für diesen Bereich auch keine weitere Analyse für die beiden Arten unternommen. Finn- und Buckelwalddichten wurden innerhalb der Strata BS und DP entlang eines Vorhersagerasters mit $6,25 \times 6,25$ km Zellgröße vorhergesagt (siehe Tabelle 11). Dabei ergaben die Vorhersagen die höchste Dichte für Buckelwale im Stratum BS mit $0,056$ Tieren / km^2 ; 95% KI $0,017 - 0,094$) mit einer vorhergesagten Abundanz von 3.024 Tieren (95% KI $944 - 5.105$ Tiere). Die höchsten vorhergesagten Dichten für Finnwale fanden sich in Stratum DP mit durchschnittlich $0,114$ Tieren / km^2 (95% KI $0,053 - 0,181$) und einer Gesamtabundanz von 4.898 Tieren (95% KI 2

221 – 7.575). Die vorhergesagten Verteilungen der Tiere sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt.

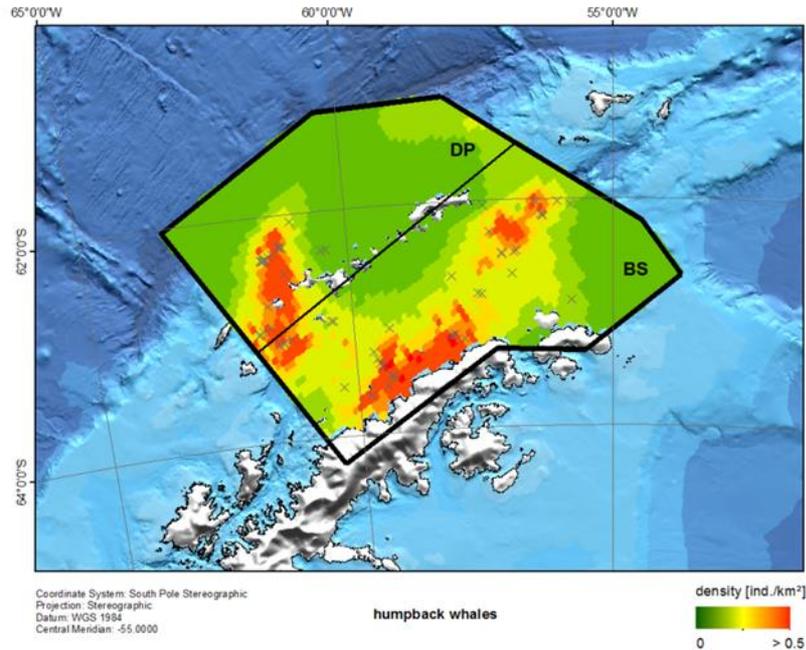


Abbildung 21: Vorhersage der Buckelwalverteilung im Surveyzeitraum (Januar – März 2013). Die grauen Kreuze markieren die tatsächlichen Sichtungspositionen von Buckelwalen während des Helikoptersurveys. Das Gebiet wurde in zwei Untergebiete (BS = Bransfield Strait und DP = Drake Passage) eingeteilt, für die separat die Abundanz abgeschätzt wurde.

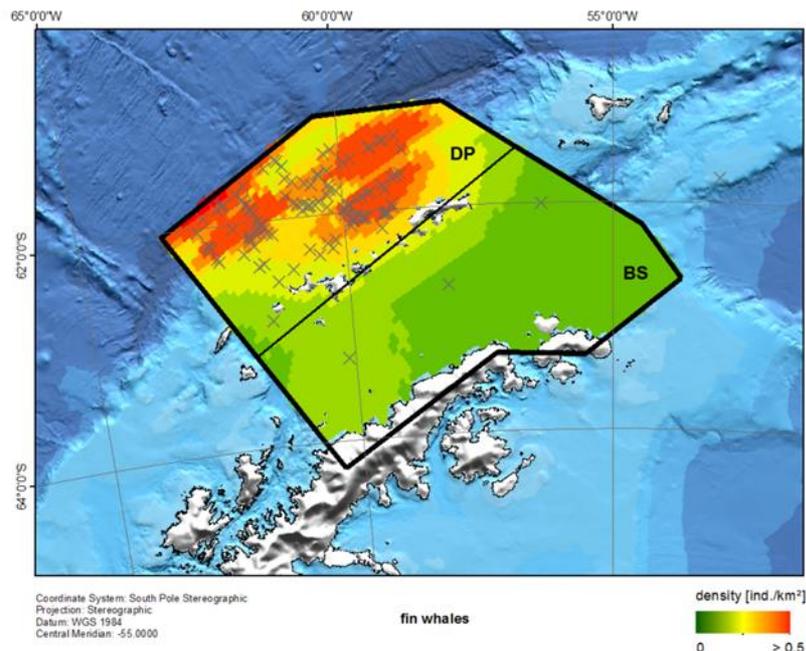


Abbildung 22: Vorhersage der Finnwalverteilung im Surveyzeitraum (Januar – März 2013). Die grauen Kreuze markieren die tatsächlichen Sichtungspositionen von Finnwalen während des Helikoptersurveys.

Das Gebiet wurde in zwei Untergebiete (BS = Bransfield Strait und DP = Drake Passage) eingeteilt, für die separat die Abundanz abgeschätzt wurde.

Tabelle 11: Abgeschätzte Dichte und Abundanz für Buckelwale und Finnwale in den Gebieten DP und BS. KI = Konfidenzintervall.

Art	Stratum	Dichte [ind./km ²]	95% KI _{Dichte}	Abundanz (N)	95% KI _{Abundanz}
Buckelwale	DP	0,022	0,006 – 0,038	934	263 – 1.605
	BS	0,056	0,017 – 0,094	3.024	944 – 5.105
Finnwale	DP	0,117	0,053 – 0,181	4.898	2.221 – 7.575
	BS	0,002	0,000 – 0,004	94	0 – 210

Zusätzlich zum Helikoptersurvey wurde auf der Expedition im Rahmen eines Krillsurveys mit Netzfängen entlang von 50 Messstationen (siehe Abbildung 16) die Biomasse von drei Krillarten (*Euphausia superba*, *Euphausia crystallorophias* und *Thysanoessa macrura*) in den obersten 200 Metern der Wassersäule bestimmt.

In einem generalisierten additiven Modell wurde die gemessene Biomasse der drei Krillarten pro Station gegen die Umweltvariablen Eisbedeckung, Wassertiefe und Chlorophyll-a Konzentration an der Wasseroberfläche (Datenquelle: OC-CCI Chl-a data; ESACCI-OC-L3S product, ~4 km, version-2, www.oceancolour.org; OC-CCI, 2015) getestet. Da nicht zu jedem Messpunkt einer Krillstation ein tagesgenauer Chlorophyll-a Wert verfügbar war, wurde ein 7 Tage Komposit der verfügbaren Chlorophyll-a Werte in einem 10 km Umkreis um jede Station gemittelt und in der Analyse verwendet. Um etwaige Fluktuationen in der Chlorophyll-a Konzentration in der Analyse zu berücksichtigen, wurde die Standardabweichung der Chlorophyll-a Konzentration sowie der Trend der Chlorophyll-a Konzentration (mittels eines linearen Modells) innerhalb der 7 Tage ebenfalls in der Modellierung getestet. Als weitere Variablen wurden die Mittelwerte verschiedener ozeanographische Parameter (Temperatur, Sauerstoffkonzentration und Salinität in jeweils 200 m Tiefe) innerhalb eines 10 km Radius um die Krillstationen getestet. Die benutzten Werte entstammten einem ebenfalls parallel durchgeführten ozeanografischen Survey.

Als bestes Modell zur Beschreibung der Verteilung von *E. superba* wurde s_1 identifiziert (Tabelle 12), welches anhand nichtparametrischer Glättungsfunktionen der räumlichen Komponente (x , y) und der Wassertemperatur in 200m Tiefe ($temp200$) 32,6% der beobachteten Varianz zwischen den Stationen erklärte. Für *E. crystallorophias* erklärte Modell c_1 basierend auf der Temperatur in 200 Meter Tiefe ($temp200$) und der Wassertiefe ($depth_m$) 85,1 % der Varianz zwischen den 48 Stationen, für die diese Parameter verfügbar waren.

Für *T. macrura* erklärte eine räumliche Glättungsfunktion von $s(x, y)$ (Modell t_1) 52,5% der Varianz zwischen den 50 Messpositionen (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Übersicht der getesteten Modelle; Modell referenziert das Kürzel des Modells; Formel gibt die getesteten Variablen innerhalb des Modells an; REML ist das *Maximum Likelihood* Maß für die Güte des Modells; Abweichung ist ein weiteres Maß für die Güte des Modells, welche die erklärte Abweichung zwischen den Stationen angibt; Stationen gibt die Anzahl der Stationen an, die auf Grund vollständiger Datensätze in die Modellierung eingingen.

Spezies	Modell	Formel	REML	Abweichung	Stationen
<i>Euphausia superba</i>	s_1	$s(x,y), s(temp200)$	110,09	32,61%	48
<i>Euphausia crystallophias</i>	c_1	$s(temp200), s(depth_m)$	4,79	85,14%	48
<i>Thysanoessa macrura</i>	t_1	$s(x,y)$	134,34	52,47%	50

Anhand der Modelle konnte für alle drei Krillarten eine flächendeckende Verteilung der Biomasse für den Surveyzeitraum vorhergesagt werden (Abbildung 23 - Abbildung 25). Die größte Biomasse von *E. superba* lag demnach in der Bransfield Strait vor, während *T. macrura* vor allem im Schelfkantenbereich nördlich von den South Shetland Islands in der Drake Passage vorkam. *E. crystallophias* wies insgesamt die geringste Biomasse auf und wurde mit den größten Dichten nahe der Küste der Antarktischen Halbinsel vorhergesagt.

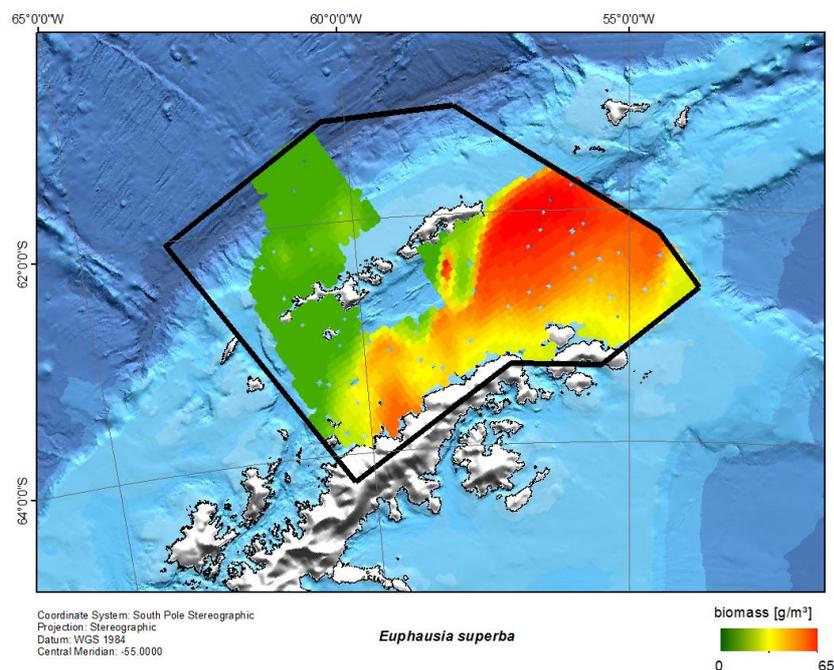


Abbildung 23: Darstellung der vorhergesagten Biomasse von *Euphausia superba*. Haupteffekte waren Temperatur in 200m Tiefe sowie eine räumliche Glättung von x und y . Lücken in der Vorhersage gehen auf fehlende Werte in den ozeanografischen Parametern (Temperatur in 200 m Tiefe) zurück.

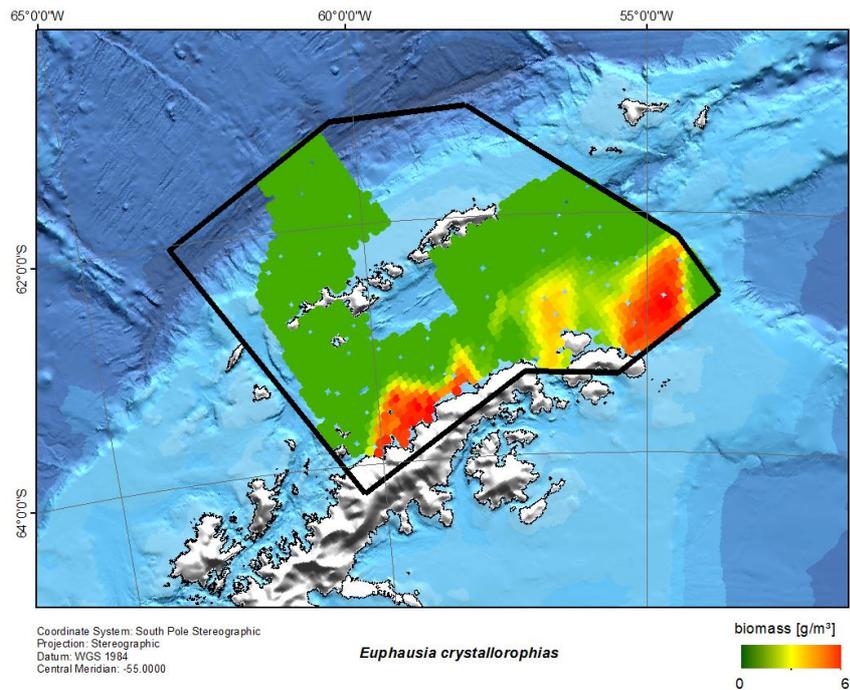


Abbildung 24: Darstellung der vorhergesagten Biomasse von *Euphausia crystallophias*. Haupteffekte waren Temperatur in 200m Tiefe sowie die Wassertiefe. Lücken in der Vorhersage gehen auf fehlende Werte in den ozeanografischen Parametern (Temperatur in 200 m Tiefe) zurück.

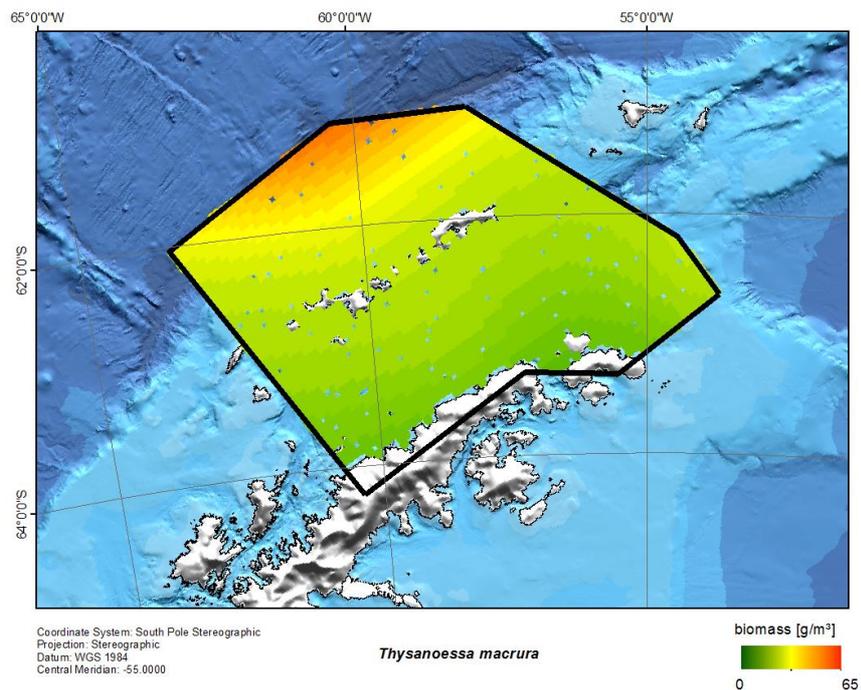


Abbildung 25: Darstellung der vorhergesagten Biomasse von *Thysanoessa macrura*. Haupteffekt war eine räumliche Glättung von x und y.

In einem weiteren Schritt wurde die zeitlich und räumlich deckungsgleichen Vorhersagen für Finn- und Buckelwale mit den Vorhersagen aus den Krillmodellen verglichen.

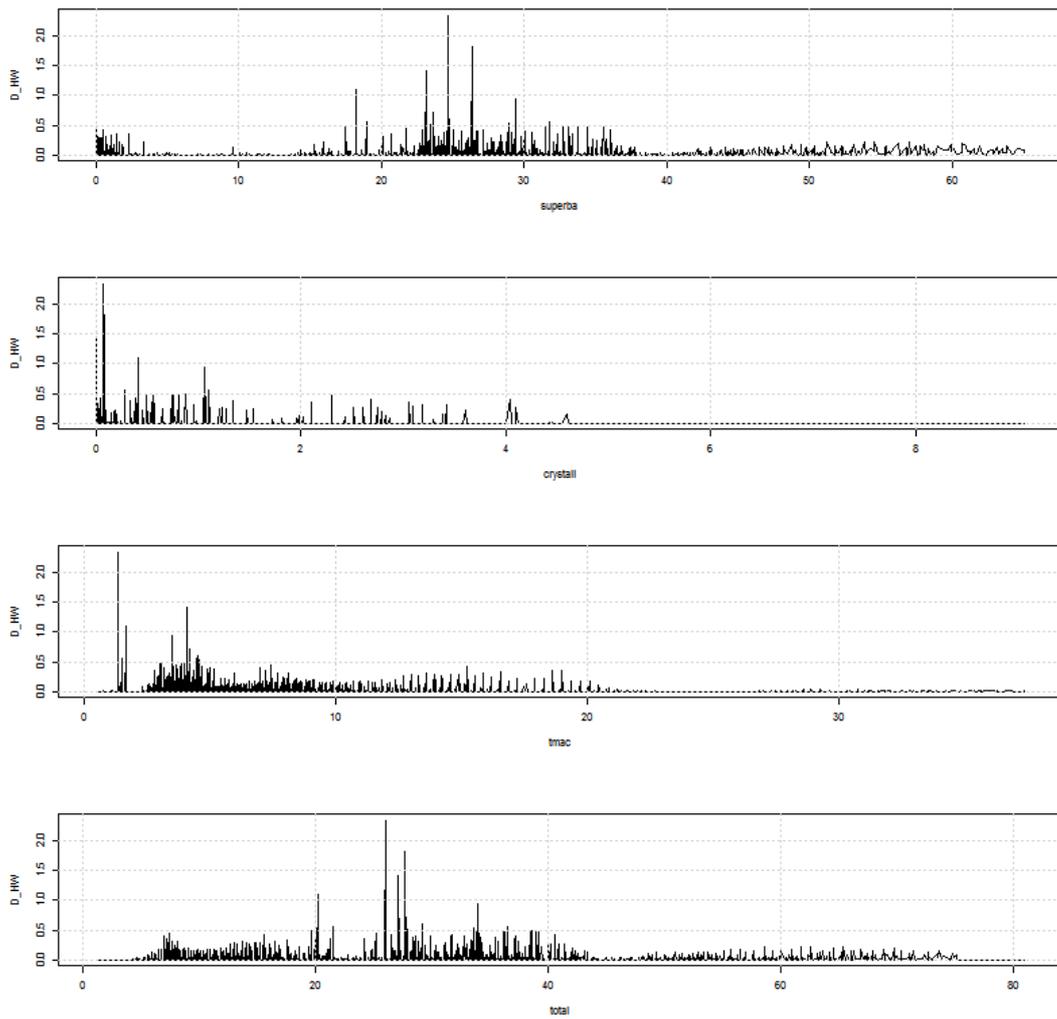


Abbildung 26: Vorhergesagte Buckelwaldichte gegen vorhergesagte Biomasse von *Euphausia. superba*, *Euphausia crystallorophias*, *Thysanoessa macrura* und der Gesamtbiomasse der drei Arten (von oben nach unten).

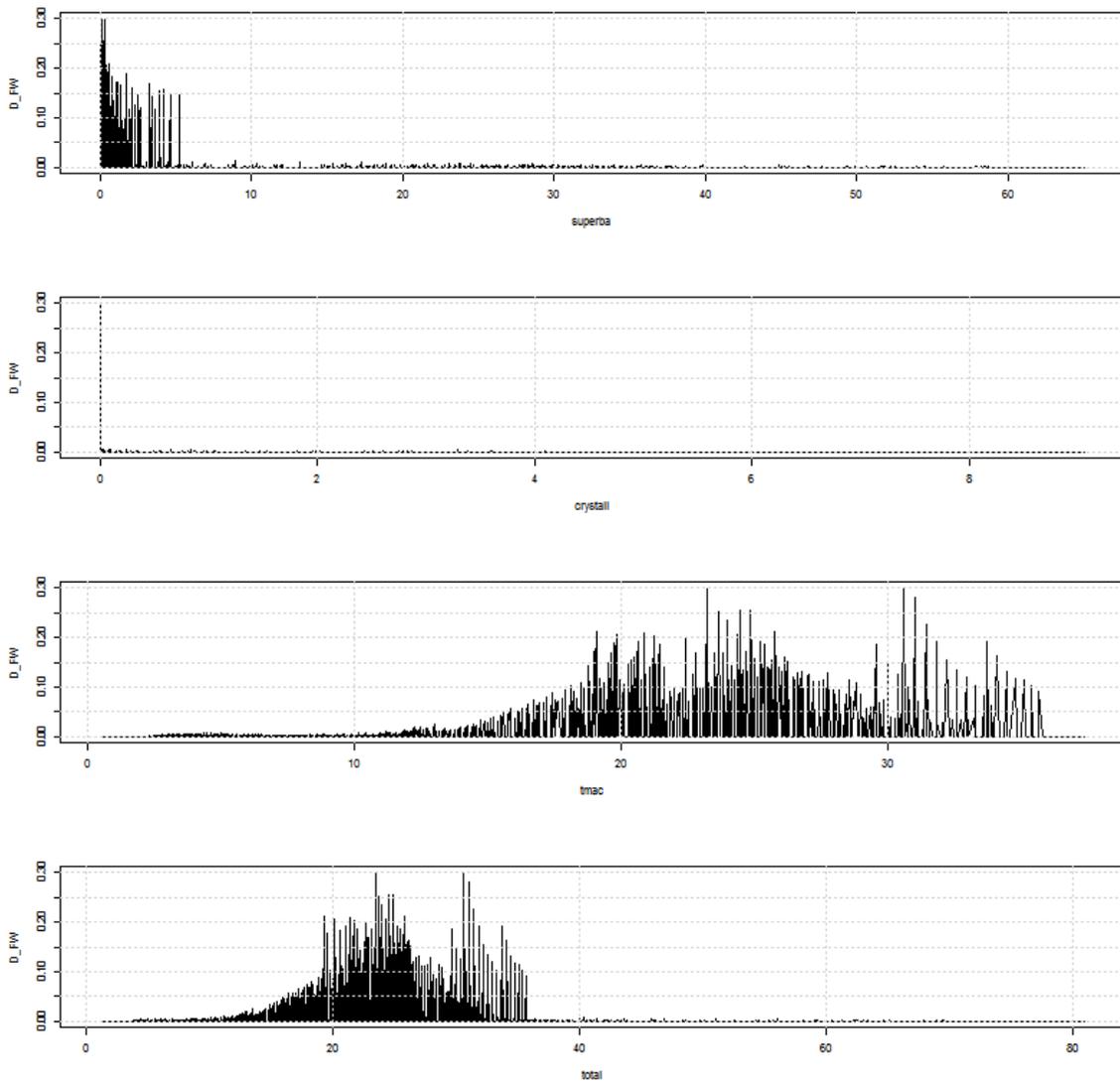


Abbildung 27: Vorhergesagte Finnwaldichte gegen vorhergesagte Biomasse von *Euphausia. superba*, *Euphausia crystallorophias*, *Thysanoessa macrura* und der Gesamtbiomasse der drei Arten (von oben nach unten).

Buckelwale schienen sich vorzugsweise in Gebieten mittlerer Biomasse von *E. superba* und damit in der Bransfield Strait aufzuhalten, während Finnwale eine positive Korrelation mit *T. macrura* aufwiesen (Abbildung 26 - Abbildung 27) und in höchster Zahl in der Drake Passage anzutreffen waren. Eine horizontale Einnischung der beiden Arten wird in Herr et al. (2016) ausführlich diskutiert. Beide Walarten wurden bei der Nahrungsaufnahme beobachtet. Trotz der Krillnachweise kann natürlich nicht abschließend beurteilt werden, was die Tiere jeweils fraßen. Doch die Ergebnisse dieser Untersuchung legen nahe, dass die Finnwale, die in großen Aggregationen beobachtet wurden, vornehmlich *T. macrura* aufnahmen. Diese Art ist zwar als Nahrungsorganismus für Bartenwale bekannt (Nemoto und Nasu 1958), wird jedoch gewöhnlich als wesentlich unbedeutender eingestuft. In Herr et al. (2016) werden diese Ergebnisse ausführlich diskutiert. Gerade in Hinblick auf die zunehmende Krillfischerei in dem Gebiet der beobachteten Finnwalaggregationen ist eine weitere Untersuchung des

Finnwalvorkommens wichtig. Finnwale wurden von allen Großwalen in der Antarktis zahlenmäßig am stärksten ausgebeutet und bis heute ist wenig über ihren Populationsstatus bekannt. Die hohen Sichtungszahlen von Finnwalen im Bereich der South Shetland Islands und Elephant Island sind ein neues Phänomen, welches erst seit wenigen Jahren beobachtet wird. Es wäre von hoher Wichtigkeit zu erörtern, ob der Hintergrund eine Populationszunahme ist oder eine Verteilungsveränderung. Zusätzlich wäre es von enormer Bedeutung genau zu ergründen auf welchen Nahrungsorganismus die Aggregationen zurückgehen oder ob bestimmte ozeanografische Faktoren eine Aggregation verschiedener Nahrungsorganismen verursachen und die Finnwale sie opportunistisch nutzen.

3.3.3 Modellierung von Begegnungswahrscheinlichkeiten für Groß- und Zwergwale entlang des Greenwich Meridians basierend auf schiffsgestützten Erfassungen

Im Vergleich zu den Helikoptersurveys erzielten die Schiffsurveys geringere Sichtungszahlen. Selbst das Zusammenführen aller Expeditionen ergab nicht genug Sichtungen, um artspezifische Detektionsfunktionen zu ermitteln und resultierte in einer unzureichenden Datengrundlage für räumliche Modellierungen. Allerdings deckten die Schiffssurveys wiederkehrend eine vergleichbare Strecke zwischen Kapstadt und der Neumayer III Station ab. Die Erfassungen erfolgten insgesamt vier Mal auf dem Hinweg und drei Mal auf dem Rückweg (eine Fahrt auf der ein Krähennestsurvey durchgeführt wurde (ANT27-2) kehrte nicht auf dieser Strecke zurück, sondern folgte einem westlichen Kurs ins Weddellmeer). Die Konzentration des Aufwands auf ein Gebiet zwischen 20° West und 20° Ost bot die Möglichkeit, aus den erfassten Sichtungen die Begegnungswahrscheinlichkeit für bestimmte Arten in diesem Gebiet zu ermitteln. Die entsprechende Analyse ist im Folgenden dargestellt und in dieser Form auch als Poster auf der *21st Biennial Conference of the Society of Marine Mammology* im Dezember 2015 vorgestellt worden (Viquerat et al. 2015). Ein entsprechendes Manuskript befindet sich in Vorbereitung (Viquerat et al. *in prep.*)

Für diese Analyse wurden aller Daten der Krähennestsurveys innerhalb eines 40° breiten Gebiets (von 20° West bis 20° Ost) entlang des Greenwich Meridians genutzt um Begegnungswahrscheinlichkeiten von Zwerg-, Finn- und Buckelwalen zu berechnen. Dazu wurden die Sichtungsdaten in 5 km Segmenten aggregiert und mit Umweltparametern assoziiert (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Übersicht der in der Modellierung getesteten Variablen mit Quellenangabe; Neigung und Neigungsrichtung des Meeresbodens entstammen den Daten zur Tiefe bis zum Grund.

Umweltparameter	Datenquelle
Tiefe [m]	Amante & Eakins 2009
Hangneigung und Neigungsrichtung des Meeresbodens	
geografische Position	https://dship.awi.de
Temperatur [°C]	
Distanz zu Inselgruppen [km]	www.biodiversity.aq
Distanz zu ozeanischen Canyons [km]	

Mittels eines logistischen, generalisierten additiven Modells wurde die Begegnungswahrscheinlichkeit für alle drei ausgewählten Walarten separat voneinander in Abhängigkeit der segmentbasierten Umweltparameter untersucht. Die Datengrundlage bildeten dabei die mit Umweltparametern assoziierten Segmente sowie die Information, ob in dem jeweiligen Segment eine Sichtung erfolgt war oder nicht. Die Modellierung beinhaltet zusätzlich eine Gewichtung nach tatsächlichem Aufwand (quantifiziert durch den Aufwand in dem einzelnen Segment), um Segmenten mit geringem Aufwand aber vielen Sichtungen eine entsprechende Relevanz in der Modellierung zuzuordnen. Während der Modellierung erfolgte eine „*backward-selection*“, d.h. ein schrittweiser Ausschluss von nicht signifikanten Parametern aus den Modellen, bis jenes Modell übrig bleibt, welches durch zusätzliche Parameter nicht mehr deutlich besser werden kann (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht der in den logistischen Modellen genutzten Umweltparameter. Die Anzahl der Sterne zeigt das Signifikanzniveau des Parameters im entsprechenden Modell an (* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,001$, - = $p > 0,05$).**

Umweltparameter	Finnwale	Zwergwale	Buckelwale
Tiefe [m]	-	-	-
Hangneigung des Meeresbodens	***	-	***
Neigungsrichtung des Meeresbodens	-	-	-
geografische Position	***	***	-
Temperatur [°C]	-	-	-
Distanz zu Inselgruppen [km]	-	-	***
Distanz zu ozeanischen Canyons [km]	-	-	-

In einem abschließenden Schritt wurde die Modelle auf ein erweitertes Untersuchungsgebiet angewandt, welches den tatsächlichen Verlauf aller Fahrten entlang des Greenwich Meridians in einem Kegel von 20°W bis 20°O umfasst. Die grafische Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten findet sich in Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 30.

Für Zwergwale (Abbildung 28) wurden vor allem in der Nähe der Eiskante hohe Begegnungswahrscheinlichkeiten vorhergesagt. Es wurde nur eine Zwergwalsichtung nördlich von 65°S aufgezeichnet. Die höchste Wahrscheinlichkeit für eine Zwergwalbegegnung findet sich unmittelbar nahe der Eiskante im Bereich von 68°S, wo die Begegnungswahrscheinlichkeit auf ihr Maximum (etwa 9%) steigt. Die insgesamt eher niedrigen Beobachtungswahrscheinlichkeiten erklären sich aus der zwischen den Surveys sehr variablen Sichtungsrate in südlichen Gebieten (Abbildung 28) und des anteilig unterrepräsentierten Hauptgebiets der Zwergwalverteilung nahe der Eiskante.

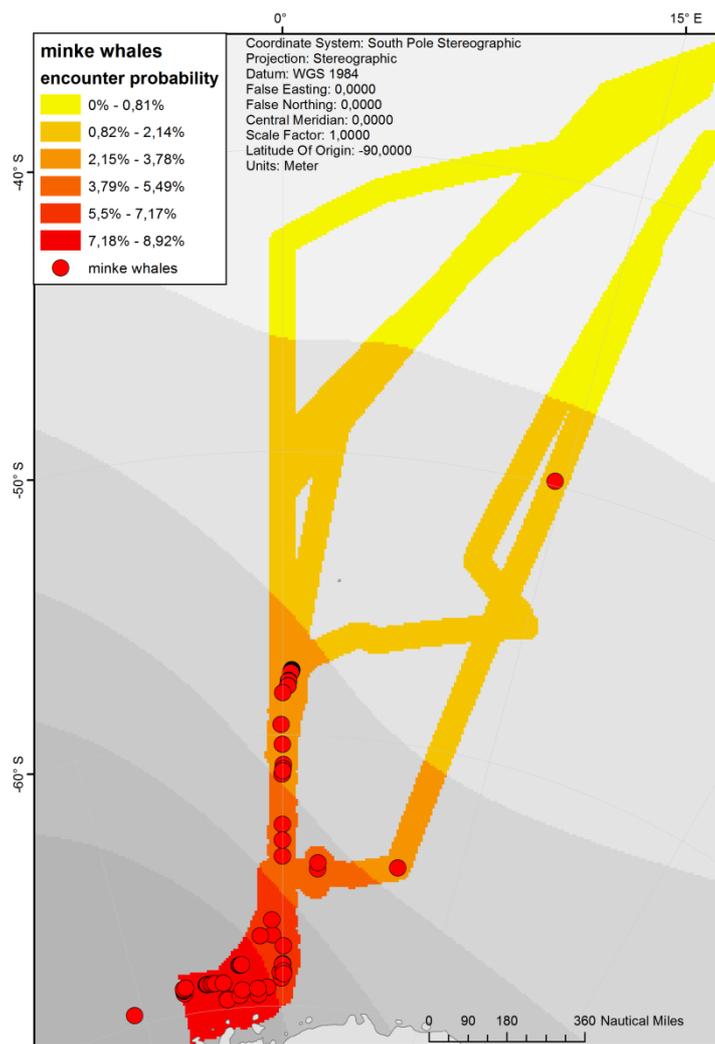


Abbildung 28: Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Zwergwalen entlang eines 40° breiten Korridors entlang des Greenwich Meridians; Zur besseren Darstellung wurde die Vorhersage auf den tatsächlich abgedeckten Schiffstrack um die Vorhersage des gesamten Gebietes zwischen 20° West und 20° Ost erweitert. Rote Punkte markieren tatsächlich erfolgte Zwergwalsichtungen während der Surveys.

Buckelwale sind laut Modell vor allem in Gebieten mit steiler Hangneigung des Meeresbodens und nahe von Inselgruppen zu erwarten, wobei die Begegnungswahrscheinlichkeit in solchen Gebieten auf bis zu 25% ansteigt. Diese Gebiete

sind häufig mit Auftriebsströmungen assoziiert, welche nährstoffreiches Tiefenwasser entlang großer Fronten in höhere Wasserschichten transportieren. Solche Fronten zeichnen sich oft durch eine hohe Produktivität aus, die sie für Topprädatoren attraktiv macht (Scales et al. 2014). Die Nähe zu Inselgruppen ist ein weiteres Indiz dafür, da sich durch die teilweise hohe Erhebung und den steilen Anstieg der Tiefe ein ähnlicher Effekt ergibt (Abbildung 29).

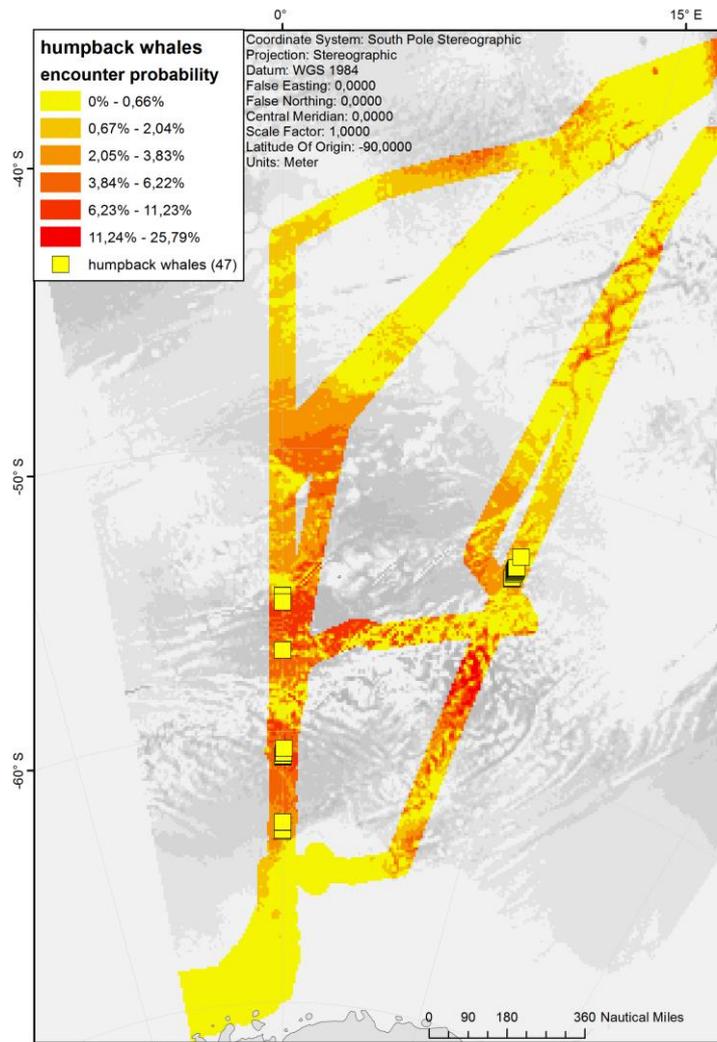


Abbildung 29: Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Buckelwalen entlang eines 40° breiten Korridors entlang des Greenwich Meridians; Zur besseren Darstellung wurde die Vorhersage auf den tatsächlich abgedeckten Schiffstrack um die Vorhersage des gesamten Gebietes zwischen 20° West und 20° Ost erweitert. Gelbe Quadrate markieren tatsächlich erfolgte Buckelwalsichtungen während der Surveys.

Finnwale sind ebenfalls vor allem in Gebieten mit starker Hangneigung des Meeresbodens zu erwarten, wobei die Begegnungswahrscheinlichkeit in solchen Gebieten auf bis zu 50% ansteigt. Des Weiteren steigt die Begegnungswahrscheinlichkeit für Finnwale in küstenfernen Gebieten (Abbildung 30).

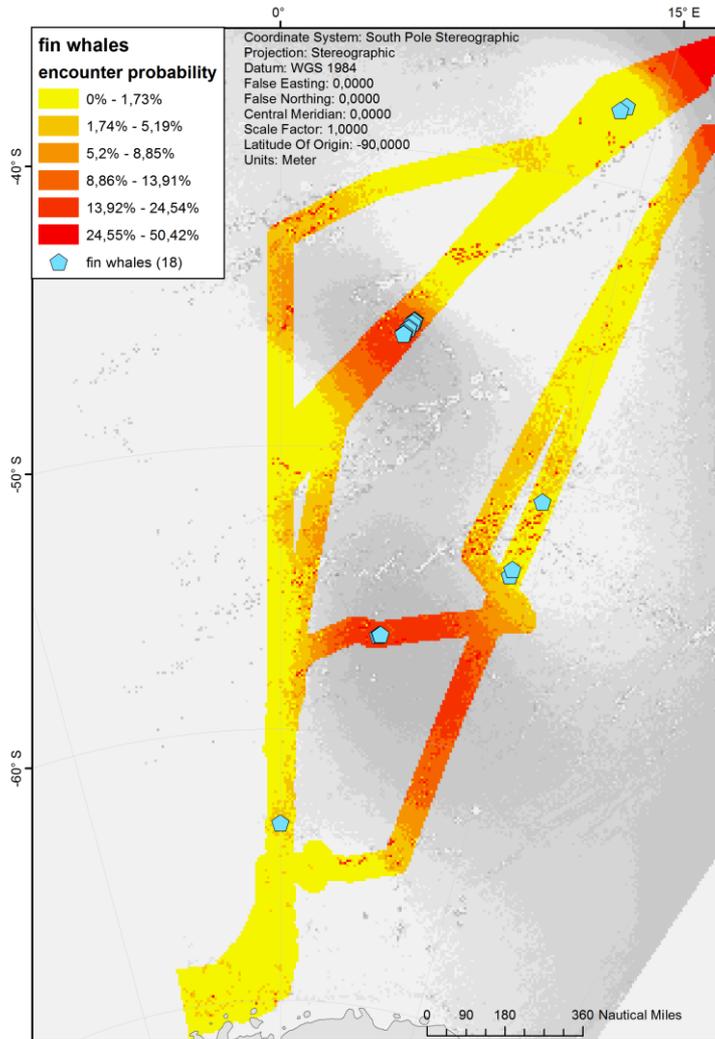


Abbildung 30: Darstellung der Begegnungswahrscheinlichkeiten von Finnwalen entlang eines 40° breiten Korridors entlang des Greenwich Meridians; Zur besseren Darstellung wurde die Vorhersage auf den tatsächlich abgedeckten Schiffstrack um die Vorhersage des gesamten Gebietes zwischen 20° West und 20° Ost erweitert. Türkise Fünfecke markieren tatsächlich erfolgte Finnwalsichtungen während der Surveys.

3.4 Methodenvergleich

Ein weiteres Ziel des Projekts war der Methodenvergleich zwischen schiffs- und luftgestützten Erfassungen. Hierfür wurden die Ergebnisse beider Erfassungsmethoden in zwei Ansätzen miteinander verglichen. Zunächst wurde basierend auf den schon für die Zwergwalanalysen erstellten Strata (vergl. Kapitel 3.3.1.2, Abbildung 11) die Begegnungsraten und Dichten für Zwergwale, Buckelwale und Finnwale zwischen den Methoden verglichen (Kapitel 3.4.1). In einem zweiten Ansatz wurden die Begegnungsraten und Dichten nur für parallel mit beiden Methoden beobachtete Gebiete miteinander verglichen (Kapitel 0)

3.4.1 Stratum-basierter Vergleich von Begegnungsraten und Dichten

Für jedes Stratum (WAP, EAP, WS und NM, siehe Abbildung 11 in Kapitel 3.3.1.2) wurden für beide Plattformen (Krähennest und Helikopter) die Begegnungsraten (*Encounter rate*; Anzahl Sichtungen pro beobachteter km) und die lokale Dichten (Tiere / beobachteter Fläche) für Zwerg-, Buckel-, und Finnwale berechnet. Der Suchaufwand und eine Zusammenfassung der während der Surveys aufgezeichneten Walsichtungen finden sich in Tabelle 15 (Schiffssurvey) und Tabelle 16 (Helikoptersurvey). Um die Begegnungsraten zwischen den Methoden vergleichen zu können, erfolgte eine Verdopplung aller Helikoptersichtungen der linken Seite, (außer jenen, die direkt auf der Transektlinie erfolgten), da sonst den Auswertungen nur die Beobachtungen einer Seite während des Helikoptersurveys und zweier Seiten während des Schiffssurveys zur Verfügung stünden (siehe Kapitel 2.3). Für den Vergleich der Dichten war diese Verdopplung nicht nötig, wurde jeweils die tatsächlich abgedeckte Fläche zu Grunde gelegt, die bei den Helikoptersurveys nur einem halben Streifen, bei den Schiffssurveys jedoch einem ganzen Streifen entsprach.

Tabelle 15: Darstellung des Suchaufwandes pro Stratum und Anzahl der Sichtungen für Zwerg-, Buckel- und Finnwale während der Schiffssurveys; G: Anzahl gesichteter Gruppen (bereits korrigiert); N: Anzahl Tiere; \hat{s} : mittlere Gruppengröße.

Stratum	Aufwand [km]	Zwergwale			Buckelwale			Finnwale		
		G	N	\hat{s}	G	N	\hat{s}	G	N	\hat{s}
EAP	33	1	2	2,00	5	11	2,20	0	0	0
NM	2 896	60	88	1,47	15	17	1,13	1	1	1
WAP	331	0	0	0	20	28	1,40	1	2	2
WS	173	3	5	1,67	0	0	0	0	0	0
Gesamt	3 433	64	95	1,71	40	56	1,58	2	3	1,5

Tabelle 16: Darstellung des Suchaufwandes pro Stratum und Anzahl der Sichtungen für Zwerg-, Buckel- und Finnwale während der Helikoptersurveys; G: Anzahl gesichteter Gruppen (bereits korrigiert); N: Anzahl Tiere; \hat{s} : mittlere Gruppengröße.

Stratum	Aufwand [km]	Zwergwale			Buckelwale			Finnwale		
		G	N	\hat{s}	G	N	\hat{s}	G	N	\hat{s}
EAP	7 572	74	161	2,18	2	4	2,00	1	3	3,00
NM	15 155	40	51	1,28	20	26	1,30	4	6	1,50
WAP	13 668	15	30	2	133	262	1,97	133	377	2,83
WS	7 220	34	48	1,41	0	0	0	0	0	0
Gesamt	43 615	163	290	1,72	155	292	1,76	138	386	2,44

Die Berechnung der Begegnungsraten erfolgt durch den Quotienten aus der Anzahl der beobachteten Gruppen und der abgeflogenen Strecke. Dabei wurde eine Begegnungsrate pro Transekt innerhalb jedes Stratums berechnet, um über die Varianz der Begegnungsraten zwischen den Transekten innerhalb eines Stratums einen Standardfehler der Begegnungsrate zu ermitteln. Daher sind die angegebenen Begegnungsraten nicht deckungsgleich mit den Werten, welche man aus einfacher Division der Gruppengrößen und Suchstrecke in Tabelle 15 und Tabelle 16 erhalten würde.

Zur statistischen Überprüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den Begegnungsraten von Schiffssurveys und Helikoptersurveys wurde ein z-Test durchgeführt. Der z-Test überprüft anhand der Konfidenzintervalle zweier Werte (in unserem Fall ausgedrückt durch den Standardfehler) die Hypothese, ob zwei Mittelwerte 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 Krähenneestsichtungen basierenden Dichten annähernd normalverteilt und die Stichprobenzahl ausreichend hoch war. Insgesamt liegen die Begegnungsraten der Krähenneesterfassungen höher als jene der Helikoptersurveys, sind jedoch auch mit höheren Standardfehlern assoziiert (Tabelle 17 - Tabelle 19).

Tabelle 17: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwal-Begegnungsraten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (***) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	Begegnungsrate [Sichtungen/km]	Begegnungsrate _{SE}	Begegnungsrate [Sichtungen/km]	Begegnungsrate _{SE}	z Score	p-Wert	Signifikanz
EAP	0,011	0,011	0,0245	0,0051	-1,1106	0,267	
NM	0,0352	0,0093	0,005	0,0009	3,2102	0,001	**
WAP	0	0	0,0018	0,0005	-3,4421	0,001	***
WS	0,01	0,0069	0,009	0,002	0,1454	0,884	

Tabelle 18: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Buckelwal-Begegnungsraten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (***) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	Begegnungsrate [Sichtungen/km]	Begegnungsrate _{SE}	Begegnungsrate [Sichtungen/km]	Begegnungsrate _{SE}	z Score	p-Wert	Signifikanz
EAP	0,0552	0,0552	0,0003	0,0003	0,994	0,32	
NM	0,0137	0,0061	0,0032	0,0011	1,6887	0,091	.
WAP	0,0370	0,0201	0,0241	0,0046	0,6225	0,534	
WS	0	0	0	0	-	-	

Tabelle 19: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Finnwal-Begegnungsraten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennestsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (*) $\leq 0,001$, ** $\leq 0,01$, * $\leq 0,05$, $\leq 0,1$).**

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	Begegnungsrate [Sichtungen/km]	Begegnungsrate _{SE}	Begegnungsrate [Sichtungen/km]	Begegnungsrate _{SE}	z Score	p-Wert	Sign.
EAP	0	0	0.0006	0.0006	-1	0.317	
NM	0.0007	0.0007	0.0006	0.0003	0.1700	0.865	
WAP	0.0029	0.0029	0.0222	0.0044	-3.6296	< 0,001	***
WS	0	0	0	0			

Signifikante Unterschiede in den durch die verschiedenen Methoden ermittelten Begegnungsraten konnten für Zwergwale nur in den Strata NM und WAP festgestellt werden, wobei die Begegnungsraten der Helikoptersurveys unter jenen der Schiffssurveys lagen.

Der Unterschied zwischen Schiffssurveys und Helikoptersurveys war bei Buckelwalen in Stratum NM marginal signifikant. Hier lagen die Begegnungsraten der Schiffssurveys ebenfalls leicht höher als jene der Helikoptersurveys.

Bei den Finnwalen zeigt sich ebenfalls ein hoch signifikanter Unterschied zwischen Schiffs-, und Helikoptersurveys in Stratum WAP. Hier war jedoch die Begegnungsrate der Helikoptersurveys signifikant höher als jene der Schiffssurveys. Die Unterschiede in Stratum WAP lassen sich zum Teil auf die geringe Abdeckung durch Schiffssurveys (331 km, Tabelle 15) erklären. Finnwale im Stratum WAP wurden vorrangig während der Expedition ANT29-3 erfasst, während derer sich besonders hohe Zahlen an Finnwalen im Untersuchungsgebiet aufhielten. Im Zuge dieser Expedition fand kein Schiffssurvey statt.

Im Allgemeinen sind höhere Begegnungsraten im Rahmen von Schiffssurveys im Vergleich zu Flugsurveys bekannt (Dawson et al. 2008). Durch die wesentlich geringere Fahrtgeschwindigkeit während Schiffssurveys im Vergleich zu 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 Begegnungsraten. Allerdings berücksichtigen Begegnungsraten nicht die abgeseuchte

Fläche, sondern beziehen sich nur auf die abgeseuchte Strecke (Kilometerzahl), unabhängig von der Streifenbreite. So wäre es theoretisch möglich, dass sich eine wesentlich höhere Sichtungszahl gleichzeitig auf einen wesentlich breiteren erfassten Streifen bezieht und die jeweils ermittelten Dichten beider Methoden tatsächlich näher beieinander lägen.

Um Dichten aus den beiden Surveydatensätzen zu ermitteln, wurden unter Verwendung aller verfügbaren Helikoptersurveydaten und aller Krähenneestsurveydaten für jede Walart und jeden Survey separate Detektionsfunktionen erstellt. Die Erstellung einer verlässlichen Detektionsfunktion erfordert ein Minimum von 40 Sichtungen (empfohlen werden 60-80) (Buckland et al. 2001). Diese Zahl erreichten nur Zwerg-, Finn- und Buckelwale. Da die Sichtungszahlen vom Schiff jedoch auch für diese Arten gering waren, mussten Finn- und Buckelwale für die Modellierung der Detektionsfunktion als eine Kategorie zusammengefasst werden. Hieraus ergibt sich für weitere Analyse die Annahme, dass Finn- und Buckelwale die gleiche Wahrscheinlichkeit haben, in einer bestimmten Distanz vom Transekt entdeckt zu werden. Da eine Modellierung von Kovariablen für Detektionsfunktionen zusätzliche Freiheitsgrade (in unserem Fall gleich zu setzen mit Sichtungen) voraussetzt (im Idealfall ebenfalls mindestens 40 Sichtungen pro Kovariablenstufe), konnten keine Kovariablen für die Modellierung der Detektionsfunktionen herangezogen werden. Die Detektionsfunktionen für Groß- sowie Zwergwale sind in Abbildung 31 und Abbildung 32 dargestellt. Die esw (effektive halbe Streifenbreite) der Helikoptersurveys lag für Großwale bei 849 m, die der Schiffssurveys bei 1952 m. Die esw der Helikoptersichtungen von Zwergwalen lag bei 742 m, jene der Schiffssichtungen bei 689 m (Tabelle 20).

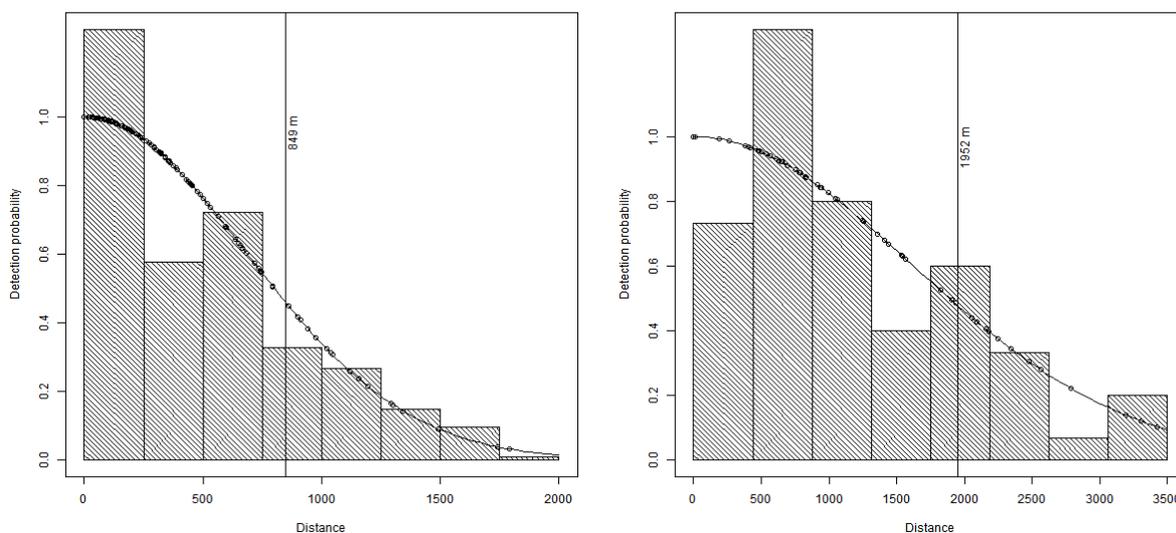


Abbildung 31: Detektionsfunktionen für Großwale. Die linke Grafik zeigt die Ergebnisse der Sichtungen während des Helikoptersurveys, die rechte Grafik die des Schiffssurveys. Die vertikale Linie gibt die Position der esw wieder, welche die Grundlage zur effektiv beobachteten Fläche bildet.

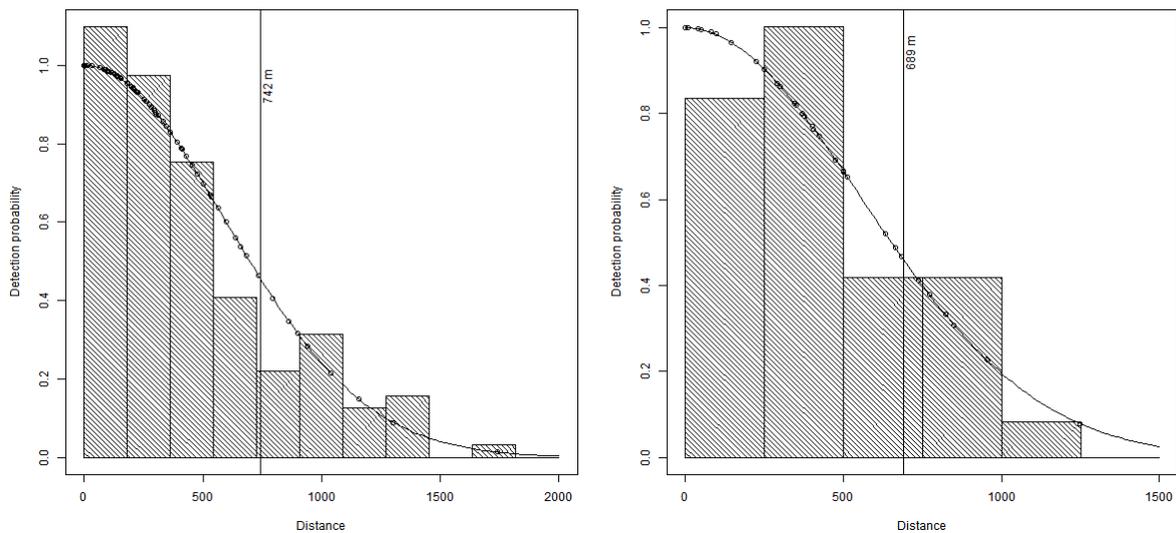


Abbildung 32: Detektionsfunktionen für Zwergwale. Die linke Grafik zeigt die Ergebnisse der Sichtungen während des Helikoptersurveys, die rechte Grafik die des Schiffsurveys. Die vertikale Linie gibt die Position der esw wieder, welche die Grundlage zur effektiv beobachteten Fläche bildet.

Tabelle 20: Übersicht über die ermittelten halben effektiven Streifenbreiten (esw) für Zwerg-, und Großwale. Die doppelte esw bildet die Grundlage für den Flächenbezug der darauf aufbauenden Dichteberechnungen.

	Krähenest	Helikopter
Zwergwale	689 m	742 m
Großwale	1.952 m	849 m

Vom Helikopter aus wurde also insgesamt ein schmalere Streifen erfasst als vom Schiff aus. Dies ist vorrangig darauf zurückzuführen, dass vom Helikopter aus die Beobachtungen nach unten auf das Transekt gerichtet werden, während beim Schiff die Erfassung des Transekts auch eine horizontale Komponente enthält und somit Distanzen bis zum Horizont erfasst werden.

Anhand der esw sowie der abgeflogenen Strecke konnte so eine lokale Dichte pro Stratum und Spezies abgeschätzt werden, welche sich anhand von Formel (2)

$$(2) \quad \hat{D}_{\text{Spezies,Stratum}} = \frac{G_{\text{Spezies,Stratum}}}{L_{\text{Stratum}} \times 2 \times \text{esw}_{\text{Spezies,Stratum}}} \times \hat{s}_{\text{Spezies,Stratum}}$$

aus der Anzahl Gruppen $G_{\text{Spezies, Stratum}}$ pro Spezies und Stratum, des Suchaufwands innerhalb des Stratums L_{Stratum} , der doppelten halben Streifenbreite $\text{esw}_{\text{Spezies, Stratum}}$ und der mittleren Gruppengröße $\hat{s}_{\text{Spezies, Stratum}}$ berechnen lässt. Aufgrund fehlender repräsentativer Abdeckung innerhalb der Gebiete ist diese Dichte jedoch nicht der Waldichte innerhalb eines Stratums gleichzusetzen, sondern ist als eine abstrakte „lokale Dichte“ entlang der gefahrenen / geflogenen Strecke zu verstehen.

Die ermittelten Dichten sowie die Ergebnisse des z-Tests für Zwerg-, - Finn- und Buckel dichten finden sich in Tabelle 21 bis Tabelle 23.

Tabelle 21: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Zwergwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennechtsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (<math> <= 0,001</math>, **<math> <= 0,01</math>, *<math> <= 0,05</math>, .<math> <= 0,1</math>).**

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	<i>Dichte</i> [Ind. / km ²]	<i>Dichte</i> _{SE}	<i>Dichte</i> [Ind. / km ²]	<i>Dichte</i> _{SE}	z Score	p-Wert	Sign.
EAP	0,0160	0,0160	0,0360	0,0075	-1,1327	0,257	
NM	0,0374	0,0099	0,0043	0,0008	3,3207	0,001	***
WAP	0,0000	0,0000	0,0024	0,0007	-3,4421	0,001	***
WS	0,0121	0,0083	0,0085	0,0019	0,4199	0,675	

Tabelle 22: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Buckelwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennechtsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (<math> <= 0,001</math>, **<math> <= 0,01</math>, *<math> <= 0,05</math>, .<math> <= 0,1</math>).**

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	<i>Dichte</i> [Ind. / km ²]	<i>Dichte</i> _{SE}	<i>Dichte</i> [Ind. / km ²]	<i>Dichte</i> _{SE}	z Score	p-Wert	Sign.
EAP	0,0311	0,0311	0,0004	0,0004	0,9874	0,323	
NM	0,0040	0,0018	0,0025	0,0009	0,7595	0,448	
WAP	0,0133	0,0072	0,0280	0,0054	-1,6361	0,102	
WS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-	

Tabelle 23: Darstellung der Ergebnisse des zweiseitigen z-Tests mit 5% Signifikanzniveau der Finnwaldichten pro Stratum basierend auf Helikoptersichtungen und Krähennechtsichtungen. Sterne kennzeichnen das Signifikanzniveau (<math> <= 0,001</math>, **<math> <= 0,01</math>, *<math> <= 0,05</math>, .<math> <= 0,1</math>).**

Stratum	Schiff		Helikopter		Teststatistik		
	<i>Dichte</i> [Ind. / km ²]	<i>Dichte</i> _{SE}	<i>Dichte</i> [Ind. / km ²]	<i>Dichte</i> _{SE}	z Score	p-Wert	Sign.
EAP	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	-1,0000	0,317	
NM	0,0002	0,0002	0,0005	0,0003	-1,0248	0,305	
WAP	0,0015	0,0015	0,0371	0,0074	-4,7213	< 0,001	***
WS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-	

Für Zwergwale wurden zwischen den Methoden signifikante Unterschiede zwischen den Methoden in den Strata NM und WAP ermittelt. Den im Stratum WAP führen wir jedoch vorrangig auf den relativ geringen Suchaufwand vom Schiff aus in diesem Gebiet zurück (331 km, keine Sichtungen, siehe Tabelle 15 In Stratum NM, lagen die Dichten aus den Helikoptersurveys signifikant niedriger als jene aus den Schiffssurveys (0,0374 Tiere / km² Schiff gegen 0,0043 Tiere / km² Helikopter, Signifikanzniveau des Unterschiedes p <=0,001;

Tabelle 21). In WS und EAP waren die mittels verschiedener Methoden abgeschätzten Dichten statistisch nicht voneinander zu unterscheiden.

Die Buckelwaldichten zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erhebungsmethoden, wobei die Dichten in den Strata EAP und WAP am höchsten waren (Tabelle 22), was sich im Falle von Stratum WAP in beiden Surveytypen zeigt, im Falle von Stratum EAP nur in den Daten der Schiffssurveys, was auf die geringe Anzahl Sichtungen vom Helikopter in Stratum EAP erklärt wird (Tabelle 16).

Finnwale wurden allgemein selten gesichtet, die Dichten sind in allen Strata sehr niedrig. Nur in WAP konnte eine deutlich höhere Dichte beobachtet werden. Hier ist die Signifikanz im Unterschied zwischen Schiffs-, und Helikoptersurvey ebenfalls durch den geringen Suchaufwand durch Schiffssurveys im Stratum zu erklären.

Die Dichten zwischen den Strata wurde anhand einer Varianzanalyse (ANOVA) und einem TukeyHSD post-hoc test auf signifikante Unterschiede geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 24 bis Tabelle 26 angegeben.

Tabelle 24: Vergleich von Zwergwaldichten zwischen den Strata; p gibt die Signifikanz des Unterschieds zwischen der Stratumkombination an; Sig gibt das Signifikanzniveau an: (<math> <= 0,001, <math> ** <= 0,01, * <= 0,05, . <= 0,1).**

Zwergwale	Helikopter		Schiff	
Stratum	p	Sig	p	Sig
NM-EAP	<math> <= 0,001</math>	***	0,9910	
WAP-EAP	<math> <= 0,001</math>	***	0,9980	
WS-EAP	<math> <= 0,001</math>	***	1,0000	
WAP-NM	0,977393		0,6360	
WS-NM	0,904150		0,9430	
WS-WAP	0,737939		0,9970	

Tabelle 25: Vergleich von Finnwaldichten zwischen den Strata; p gibt die Signifikanz des Unterschieds zwischen der Stratumkombination an; Sig gibt das Signifikanzniveau an: (<math> <= 0,001, <math> ** <= 0,01, * <= 0,05, . <= 0,1).**

Finnwale	Helikopter		Schiff	
Stratum	p	Sig	p	Sig
NM-EAP	0,99995		1,0000	
WAP-EAP	0,01076	*	0,8330	
WS-EAP	0,99983		1,0000	
WAP-NM	0,00289	**	0,2380	
WS-NM	0,99998		0,9980	
WS-WAP	0,02030	*	0,6020	

Tabelle 26: Vergleich von Buckelwaldichten zwischen den Strata; *p* gibt die Signifikanz des Unterschieds zwischen der Stratumkombination an; Sig gibt das Signifikanzniveau an: (**<= 0,001, *<= 0,01, * <= 0,05, .<= 0,1).

Buckelwale	Helikopter		Schiff	
	<i>p</i>	Sig	<i>p</i>	Sig
Stratum				
NM-EAP	0,99448		0,2130	
WAP-EAP	<=,001	***	0,6220	
WS-EAP	0,99998		0,2270	
WAP-NM	<=,001	***	0,3760	
WS-NM	0,99301		0,9700	
WS-WAP	0,00178	**	0,5570	

Signifikante Unterschiede in den durch die verschiedenen Methoden ermittelten Dichten zwischen den Strata gab es hauptsächlich zwischen den auf Helikoptersurveys basierenden Dichteabschätzungen. Vor allem EAP unterscheidet sich in den Zwergwaldichten deutlich von denen der anderen Strata (vgl. auch Tabelle 21), wie schon in den Analysen zur Zwergwalverteilung nachgewiesen (Kapitel 3.3.1.2)

Wie bereits aus Tabelle 22 und Tabelle 23 ersichtlich, waren die Dichten von Finn- und Buckelwalen vor allem im Stratum WAP (Westantarktische Halbinsel) signifikant von allen anderen Strata verschieden. Aufgrund der hohen Varianz in den Schiffssurveys konnten für keine Spezies und Strata signifikanten Unterschiede festgestellt werden, wobei die generellen Feststellungen zu Finn- und Buckelwalen sich auch in den Schiffsdaten andeuten.

3.4.2 Raumzeitlicher Vergleich von Begegnungsraten und Dichten

Als Ergänzung zu 3.4.1 ermöglichen uns die räumlichen und zeitlichen Komponenten der Untersuchungsstrecken raumzeitliche Einheiten des Suchaufwandes für Krähennest- und Helikoptersurveys zu bilden. Über die raumzeitliche Überschneidung dieser Einheiten konnten vom Helikopter- und Krähennestsurvey raum- und zeitgleich abgedeckte Gebiete identifiziert und isoliert werden. Für jedes dieser Gebiete wurde die Anzahl an Sichtungen der jeweiligen Spezies ermittelt und eine spezifische Begegnungsraten errechnet. Mit Hilfe der auf der Detektionsfunktionen (siehe 3.4.1) basierenden spezifischen *esw* wurde die effektiv abgedeckte Fläche innerhalb der raumzeitlichen Einheiten berechnet und darüber die artspezifische, durchschnittliche Tierdichte innerhalb dieser sehr fein aufgelösten, raumzeitlichen Einheit ermittelt. Hierrüber wurden die Ergebnisse aus den Helikoptersurveys und den Schiffssurveys miteinander verglichen.

Die reinen Begegnungsraten (Sichtungen pro Strecke) während der Helikoptersurveys lagen für Großwale bei etwa 50% im Vergleich zu den Schiffssurveys. Für Zwergwale war die Begegnungsraten während der Helikoptersurveys 95% geringer als während der Schiffssurveys (Abbildung 33). Diese Unterschiede in den Begegnungsraten führen wir Größtenteils auf die deutlich höheren Surveygeschwindigkeiten und der damit verbundenen

geringeren Wahrscheinlichkeit für ein Detektionsereignis während der Helikoptersurveys zurück.

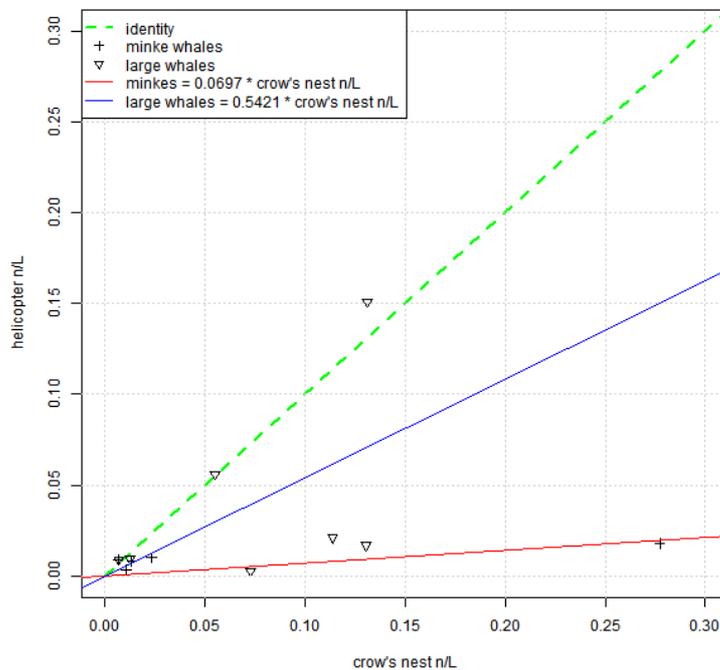


Abbildung 33: Begegnungsraten von Großwalen (blaue Linie, Dreiecke) und Zwergwalen (rote Linie, Kreuze) innerhalb der raum-zeitlichen Einheiten; Die gestrichelte, grüne Linie markiert Identität, also ein gleiches Verhältnis beider Begegnungsraten; Aufgetragen ist eine Regression der beiden Begegnungsraten und die Koeffizienten der jeweiligen Regression ist in der Legende angegeben.

Der Vergleich der Dichten hingegen, also der Begegnungsraten unter Einbeziehung der tatsächlich abgesuchten Flächen durch beide Methoden ergab, dass die durch Helikoptersurveys ermittelten Dichten von Großwalen bei etwa 150% der Dichten von Schiffssurveys lagen. Die ermittelten Dichten von Zwergwalen lagen bei den Helikoptersurveys bei etwa 3% der Dichten von Schiffssurveys. Die errechneten Dichten für Buckelwale lagen bei 157% jener aus dem Datensatz der Schiffssurveys.

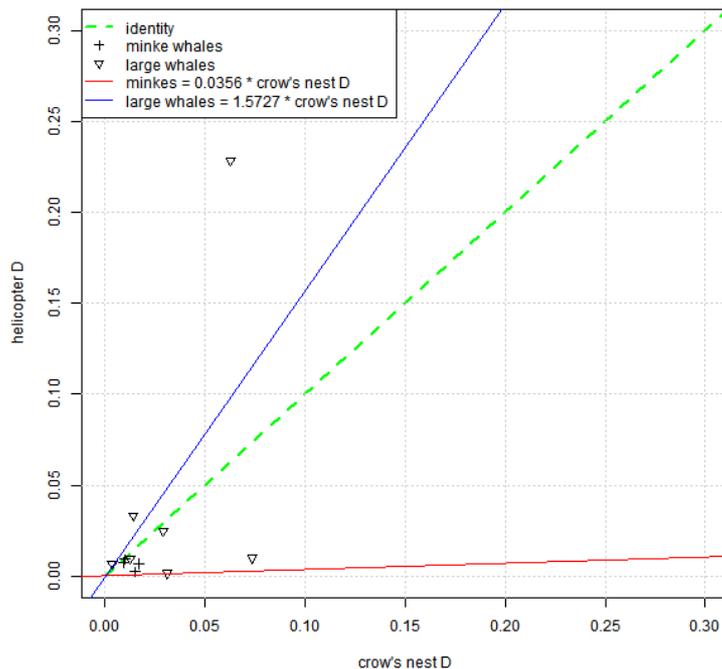


Abbildung 34: Dichten von Großwalen (blaue Linie, Dreiecke) und Zwergwalen (rote Linie, Kreuze) innerhalb der raum-zeitlichen Einheiten; Die gestrichelte, grüne Linie markiert Identität, also ein gleiches Verhältnis beider Dichten; Aufgetragen ist eine Regression der beiden Dichten und die Koeffizienten der jeweiligen Regression ist in der Legende angegeben.

Mit diesen Ergebnissen können die Informationen aus 3.4.1 weitergehend diskutiert werden. In der Theorie erwarten wir gleiche Dichten bei unterschiedlichen Begegnungsraten für beide Surveyarten. Während sich die niedrigere Begegnungsraten von Zwergwalen während Helikoptersurveys auch in den daraus resultierenden Dichten zeigt, ist das Verhältnis bei Großwalen umgekehrt. Hier liegen die vorhergesagten Dichten sogar über jenen der Schiffssurveys. Gerade bei Großwalen ist eine Detektion vom Schiff aus über große Distanzen möglich, sodass fast jeder Blas durch die geringe Surveygeschwindigkeit detektiert und auf Artebene identifiziert werden kann. Dies drückt sich durch die deutlich höhere esw der Großwalsichtungen während der Schiffssurveys aus, welche zu dem beschriebenen Verhältnis der Großwaldichten führt. Ohne ein Maß für die Verfügbarkeit von Groß und Zwergwalen zu bemessen, müssen wir davon ausgehen, dass ein nicht unwesentlicher Anteil an Sichtungereignissen nach einer vorhergehenden Störung von Walen durch die Anwesenheit des Schiffs gegeben ist. Da wir davon ausgehen, dass während Helikoptersurveys eine Störwirkung durch die Plattform auszuschließen ist, gehen wir bei den resultierenden Dichten für Großwale von einer recht realistischen und unverfälschten Dichte aus. Da die Dichte für Großwale basierend auf den Schiffssurveys so deutlich niedriger liegt, ist anzunehmen, dass ein gewisser negativer Einfluss durch das

Schiff auf die Begegnungsraten von Großwalen ausgeht. Da alle Studien aus dem Krähennest an Bord von FS Polarstern erfolgten, bleibt es unklar, ob dieser Effekt eine generelle Verhaltensreaktion von Groß-, und Zwergwalen abbildet oder die Nutzung bestimmter Geräte oder des Antriebs der Polarstern in einer bisher unerkannten Störung von Großwalen bzw. einer Anziehungswirkung auf Zwergwale resultiert. Insbesondere die Lauterzeugung durch aufbrechendes Eis wird in diesem Zusammenhang diskutiert. Es besteht die Möglichkeit, dass Zwergwale, die an ein eisreiches Habitat angepasst sind, deutlich positiv auf diese Laute reagieren und sich auf die Quelle zubewegen, da aufbrechendes Eis für sie lebensnotwendige Atemlöcher bedeuten kann. Unser Vergleich zeigt deutlich, dass Schiffssurveys durch eine mögliche, bisher nicht beschriebene, spezifische Beeinflussung von Großwalen (in diesem Sinne Finn- und Buckelwale) und Zwergwalen eine positive Verfälschung der Zwergwalbegegnungsraten erzeugen könnten, wenn der Einfluss der Schiffsanwesenheit nicht systematisch untersucht wird. Durch die hohe Surveygeschwindigkeit, die Nutzung des für die Tiere wahrscheinlich neutralen Mediums Luft im Gegensatz zum unmittelbaren Lebensraum Ozean und die effektive Abdeckung von großen Flächen während eines Surveys mit Helikoptern sind daher die vorhergesagten Dichten aus Helikoptersurveys wahrscheinlich nicht verfälscht und weisen, neben der Verfügbarkeit, wenige Fehlerquellen auf, welche sich negativ auf die Interpretation der Untersuchungsergebnisse auswirken können. Die Einbeziehung eines Korrekturfaktors um untergetauchten "nicht verfügbaren" Tieren Rechnung zu tragen ist allerdings notwendig, um absolute Dichten berechnen zu können.

Die im Rahmen des stratumsbasierten Vergleichs erzielten Ergebnisse zeigen, dass sich die ermittelten Begegnungsraten zwischen den Methoden statistisch nur in wenigen Fällen voneinander unterscheiden und die ermittelten Dichten statistisch nur in Ausnahmefällen voneinander trennbar sind. Leider ist selbst nach intensiver Arbeit über viele Jahre im Krähennest eine Aussage über die Dichte entlang des antarktischen Kontinents nur lückenhaft möglich, welches sich vor allem in dem wiederkehrenden Muster unterschiedlicher Dichten zwischen Helikopter-, und Schiffsdaten vor allem im Gebiet WAP und EAP ausdrückt. So kann auf Grund der geringen Streckenabdeckung im Rahmen der Krähennestsurveys in diesen Gebieten eigentlich keine verlässliche Aussage zu den Großwaldichten gemacht werden, da bei derart niedrigen Begegnungsraten die kurze Beobachtungsstrecke nicht ausreicht, um genügend Sichtungen für eine statistisch hochwertige Aussage zu treffen.

Helikoptererfassungen bieten daher gegenüber den Krähennesterfassungen den Vorteil, dass bei gleichem Zeitaufwand eine wesentlich größere Strecke abgedeckt, und trotz der geringeren Begegnungsraten schneller eine hohe Zahl an Sichtungen erzielt werden kann. Da

die Auswertung von *Distance Sampling* Daten eine Mindestzahl an Beobachtungen verlangt, ist es wichtig, die Anzahl der Sichtungen, insbesondere derer nahe an der Transektlinie, zu maximieren, die Begegnungsrate ist dabei zweitrangig.

3.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

3.5.1 Antarktische Zwergwale

Im Rahmen des Projekts wurde eine statistisch signifikante Beziehung der Zwergwaldichte zur Meereiskante ermittelt, ein Ost-West Gradient in der Dichte sowie eine große raumzeitliche Variabilität in Verteilung und Dichte von Zwergwalen. Diese Erkenntnisse tragen zum Verständnis der Ökologie der Antarktischen Zwergwale bei und stellen wertvolle, schwer zu erlangende Informationen dar. Neben den bislang unpublizierten Ergebnissen des australischen Programms stellen die Ergebnisse dieses Projekts bislang die einzige Datengrundlage zur Verteilung von Zwergwalen im Eis dar. Zwar gibt es Erkenntnisse aus schiffsbasierten Untersuchungen, jedoch unterliegen diese einer unabschätzbaren Beeinflussung durch die Surveyplattform, wie im Methodenvergleich gezeigt werden konnte. Deshalb haben die erlangten Erkenntnisse zur Beziehung von Zwergwalen zur Eiskante und Eisbedeckung einen hohen wissenschaftlichen Wert und wurden entsprechend mit großem Interesse vom Wissenschaftsausschuss der IWC aufgenommen, insbesondere der Arbeitsgruppe zum In-Depth Assessment der Antarktischen Zwergwale.

Grundsätzlich können die Ergebnisse bei der Einordnung der Abundanzschätzungen von Zwergwalen in der Antarktis helfen. Zur Beurteilung der beobachteten Unterschiede in der Abundanz zwischen CPII und CP III können diese Ergebnisse jedoch nur bedingt beitragen, da keine rückwirkenden Schlüsse gezogen werden dürfen. Die Ergebnisse dieses Projekts gelten grundsätzlich nur für den Erfassungszeitraum und das Erfassungsgebiet. Möglicherweise weisen Zwergwale in anderen Teilen der Antarktis abweichende Beziehungen auf. Auch wenn eine eindeutige Beziehung zum Eis in dieser Untersuchung nachgewiesen wurde, welche die Bevorzugung von bestimmter Eisdichte und Distanz zur Eiskante aufzeigt, so kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Beziehung sich zu irgendeinem Zeitpunkt verändert hat, wie in einigen Hypothesen vermutet wird. Für den vorliegenden Untersuchungszeitraum hingegen lässt sich diese Variabilität in der Nutzung des Eishabitats nicht nachweisen. Große Variabilität hingegen bestehen aufgrund der starken Beziehung zum Eis für die Verteilung von Zwergwaldichten in Raum und Zeit. Je nach vorliegender Eissituation können am gleichen Ort sehr unterschiedlich hohe Dichten angetroffen werden. Dies unterstützt Vermutungen, dass eine gänzlich andere Eissituation die Surveyergebnisse von CPII und CPIII stark beeinflussen kann.

Insgesamt sind die Erkenntnisse zur Beziehung von Zwergwaldichten und Eisparametern wichtiges Grundlagenwissen, welches in der Zukunft um ähnliche Arbeiten aus anderen Gebieten der Antarktis erweitert werden sollte, um ein umfassenderes, für die gesamte Antarktis gültiges Bild zu erzeugen. Im Wissenschaftsausschuss der IWC wird derzeit über ein "comprehensive assessment" der Antarktischen Zwergwale nachgedacht, für welches

alle verfügbaren Zwergwaldaten aus der Antarktis gemeinsam betrachtet würden. In diese Unternehmung würden die Daten dieses Projekts einbezogen werden und einen erheblichen Beitrag leisten.

Die Ergebnisse dieses Projekts können zur gezielten Planung zukünftiger Surveys und Erfassungen herangezogen werden. Basierend auf den Ergebnissen können Gebiete und Eissituationen identifiziert und die Surveyabdeckung sinnvoll geplant werden.

3.5.2 Finnwale und Buckelwale

Im Rahmen des Projekts konnten Hinweise auf eine horizontale Einnischung von Finn- und Buckelwalen an der Westantarktischen Halbinsel erbracht werden. In Bezug auf die Beurteilung von Auswirkungen zunehmender Krillfischerei in dem Gebiet sind diese Erkenntnisse von erhöhter Bedeutung. Während Buckelwale sich vergleichsweise gut von der massiven Ausbeutung zur Zeit des kommerziellen Walfangs erholt haben, so ist der Populationsstatus von Finnwalen in der Südhemisphäre weiter ungewiss. Die Ergebnisse des Projekts deuten auf die Ausbildung eines "Hotspots" von Finnwalen im Bereich der South Shetland Islands und Elephant Island hin. Die im Rahmen des Projekts abgeschätzte minimale Abundanz ist im Verhältnis zu aktuellen Abundanzschätzungen für die Gesamtpopulation sehr hoch, so dass die Möglichkeit besteht, dass sich ein Großteil der Finnwale in diesem Gebiet versammelt. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer bisher noch nicht nachgewiesenen Zunahme des Bestands. Unabhängig vom Hintergrund scheint das Gebiet in jedem Fall ausreichend Nahrung für eine große Zahl an Tieren zu bieten. Diese Ressource würde es in jedem Fall zu schützen gelten, um die Habitatqualität für die Wale zu erhalten. Es ist noch unklar, welcher Organismus die Nahrungsgrundlage darstellt. Normalerweise würde *E. superba* vermutet werden. Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts legen jedoch nahe, dass es sich um *T. macrura* handeln könnte. Dieser Beutebeziehung sollte in Zukunft weitere Aufmerksamkeit gewidmet und das gehäufte Vorkommen von Finnwalen näher untersucht werden. Die Ergebnisse des Projekts liefern hierfür solide Basisdaten und eine erste Abundanzschätzung für den Hotspot, welche als Grundlage und Vergleich für zukünftige Abschätzungen genutzt werden kann.

3.5.3 Methodenvergleich

Der Methodenvergleich zeigt die hohe Effektivität der Helikoptersurveys auf. Bei gleichem Zeitaufwand können mittels Flugsurveys mehr Daten erhoben und schneller eine Datengrundlage erlangt werden die eine Auswertung erlaubt. Dabei sind die Ergebnisse der Helikoptersurveys mit geringer Unsicherheit behaftet als die Krähenneestsurveys. Diese Erkenntnisse sollten bei der zukünftigen Planung von Surveys Berücksichtigung finden. Genauso muss bei Ergebnissen aus schiffsbasierten Erfassungen in Betracht gezogen

werden, dass möglicherweise eine Beeinflussung der Sichtungsraten zu einer Verfälschung der Abschätzung führt.

3.5.4 Wissenschaftliche Beiträge im Rahmen des Projekts

Im Rahmen dieses Projekts wurden neue Erkenntnisse und Ergebnisse regelmäßig relevanten Gruppen (IWC, SCAR, SORP, ECS, DSG) zugänglich gemacht, indem Arbeitspapiere und Konferenzbeiträge erstellt wurden. Außerdem wurden mehrere Manuskripte zur Veröffentlichung in Fachzeitschriften erstellt. Durch die Veröffentlichung und Bekanntmachung der Projektergebnisse stehen diese einem breiten Fachkollegium und Entscheidungsträgern zur Verfügung. Auf die Projektjahre verteilten sich die wissenschaftlichen Beiträge wie folgt (Namen Projektbeteiligter Personen sind fett markiert):

2012

IWC Arbeitspapiere

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

Konferenzbeiträge

Feindt-Herr, H., Lehnert, L.S., **Kock, K.-H.**, Scheidat, M., Boebel, O., **Siebert, U.** (2012) Cetacean Surveys from RV Polarstern. Poster at the Southern Ocean Research Partnership Symposium "Living Whales in the Southern Ocean: Advances in methods for non-lethal cetacean research", Puerto Varas, Chile, February 2012.

2013

IWC Arbeitspapiere

Feindt-Herr, H., **Kock, K.-H.**, **Siebert, U.** (2013) Preliminary results of an aerial survey for cetaceans in the western Weddell Sea, Bransfield Strait and Drake Passage, January – March 2013. Paper SC65a/SH20. International Whaling Commission, Cambridge, UK.

CCAMLR Arbeitspapiere

Teschke, K., Bornemann, H., Bombosch, A., Brey, T., Brtnik, P., Burkhardt, E., Dorschel, B., **Feindt-Herr, H.**, Gerdes, D., Gutt, J., Hain, S., Herata, H., Jerosch, K., Knust, R., **Kock, K. H.**, Pehlke, H., Schlüter, M., Schwarzbach, W., Siegel, V., Strass, V., van Opzeeland, I., von Nordheim, H. (2013) Progress report on the scientific data compilation and analyses in support of the development of a CCAMLR MPA in the Weddell Sea (Antarctica). SC-CAMLR-XXXII, (BG/07), pp. 29.

2014

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

Williams, R.; **Kelly, N.**; Boebel, O.; Friedlaender, A.S.; **Herr, H.**; **Kock, K.-H.**; Lehnert, L.S.; Maksym, T.; Roberts, J.; Scheidat, M.; Siebert, U.; Brierley, A.S. (2014) Counting whales in a

challenging, changing environment. Scientific Reports 4, Article number: 4170, doi:10.1038/srep04170

IWC Arbeitspapiere

Herr, H., Kelly, N., Viquerat, S., Kock, K-H., Williams, R., Scheidat, M., Lehnert, L.S., **Siebert, U.** (2014). Overview of five German helicopter surveys provide insight into spatio-temporal variability of minke whale densities in ice. Paper SC/65b/IA16, International Whaling Commission, Cambridge, UK.

Viquerat, S., Herr, H., Scheidat, M., **Siebert, U.,** (2014) First report of responsive movement towards observer vessel in Antarctic minke whales and humpback whales. Paper SC/65b/IA14. International Whaling Commission, Cambridge, UK

Konferenzbeiträge

Herr, H., Viquerat, S., Siebert, U., (2014) Aerial and ship-based distance sampling surveys for cetacean density estimation in selected areas of the Southern Ocean. Poster presented at the XXXIII SCAR Biennial Meetings and Open Science Conference, Auckland, New Zealand, August 2014.

2015

Veröffentlichungen in Fachzeitschrift

Dorschel, B., Gutt, J., Huhn, O., Bracher, A., Huntemann, M., Huneke, W., Gebhardt, C., Schröder, M., **Herr, H.** (2015) Environmental information for a marine ecosystem research approach for the northern Antarctic Peninsula (RV Polarstern Expedition PS81, ANT XXIX/3) Polar Biology, DOI 10.1007/s00300-015-1861-2

Herr, H., Viquerat, S., Siegel, V., **Kock, K.-H.,** Dorschel, B., Huneke, W.G.C., Bracher, A., Schröder, M., Gutt, J. (2016) Horizontal niche partitioning of humpback and fin whales around the West Antarctic Peninsula: evidence from a concurrent whale and krill survey. Polar Biology. doi: 10.1007/s00300-016-1927-9

Herr, H., Kelly, N., Dorschel, B., Huntemann, M., **Kock, K.-H.,** Lehnert, L.S., Scheidat, M., **Viquerat, S.,** Williams, R., **Siebert, U.** Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*) densities in relation to sea ice, space and time: ship-based helicopter surveys provide evidence for high variability. *Ecography* (in prep).

Viquerat, S. Herr, H. Comparison of aerial and ship-board surveys from platforms of opportunity in the Southern Ocean (in prep).

Viquerat, S., Herr, H., Siebert, U. Dedicated distance sampling surveys of large whales in the Southern Ocean along the Greenwich meridian (in prep).

IWC Arbeitspapiere

Geelhoed, S.C.V., Feij, B., van Franeker, J.-A., **Herr, H., Janinhoff, N., McKay, S., Müller, S.,** Thomisch, K., **Verdaat, H., Viquerat, S.** (2015) Blue whale sightings in Antarctica west of the Greenwich Meridian, January 2015. Paper SC/66a/SH/11 Rev 3. International Whaling Commission, Cambridge, UK.

Viquerat, S., Herr, H., Siebert, U. (2015) Report on the German cetacean distance sampling survey on board PS89 (ANT XXX-2), December 2014 – January 2015, between Capetown and Neumayer Station III. Paper SC/66a/SH/12. International Whaling Commission, Cambridge, UK

Konferenzbeiträge

Herr, H., Kelly, N., Williams, R., Dorschel, B., Scheidat, M., Viquerat, S., Kock, K.-H., Lehnert, L.S., Siebert, U. (2015) Helicopter surveys in the Southern Ocean provide insight into spatio-temporal variability of Antarctic minke whale densities in relation to sea ice. Oral Presentation at the 89th Meeting of the German Society for Mammalian Biology in Hannover, Germany.

Viquerat, S., Herr, H., Siebert, U. (2015) Dedicated distance sampling surveys of large whales in the Southern Ocean along the Greenwich meridian. Poster at the Biennial Conference of the Society for Marine Mammology, San Francisco, USA.

4 Zusammenfassung

Während drei Antarktisexpeditionen in den Südsommern 2011/12 (ANT28-2), 2012/13 (ANT29-3) und 2014/15 (ANT30-2) wurden vom Forschungsschiff Polarstern aus *Line Transect Distance Sampling* Daten zu antarktischen Großwalen erhoben. Diese Daten ergänzten eine bestehende Datenbank aus drei vorhergehenden Fahrten in den Jahren 2006/07 (ANT23-8), 2008/09 (ANT25-2), 2010/11 (ANT27-2). Dabei wurden die bordeigenen Helikopter für fluggestützte Erfassungen und das Krähenest als Plattform für schiffsgestützte Erfassungen in zwei getrennten Datenaufnahmen genutzt. Während dieser drei Expeditionen wurden per Helikopter 13.473 km abgedeckt und 299 Sichtungen von 711 Walen erfasst, im Rahmen des Krähenestsurveys 2.260 km beobachtet und 112 Sichtungen von 161 Walen neu erfasst

Der Gesamtaufwand der Helikoptersurveys aller betrachteten Expeditionen betrug 54.544 km und es wurden 679 Walsichtungen mit insgesamt 1.739 Individuen erfasst. Der Gesamtaufwand des Krähenestsurveys betrug 5145 km und es wurden 264 Sichtungen mit insgesamt 487 Individuen beobachtet.

Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*) stellten die von beiden Methoden am häufigsten beobachtete Walart dar (168 Sichtungen, 527 Individuen), gefolgt von Antarktischen Zwergwalen (*Balaenoptera bonaerensis*) mit 212 Sichtungen und 358 Individuen.

Basierend auf den ersten zwei Ausfahrten (ANT23-8 und ANT25-2) wurde in einer Analyse die relative Abundanz von Zwergwalen in Abhängigkeit zur Distanz zur Meereiskante beschrieben. Höchste Zwergwaldichten wurden unmittelbar vor 15% Meereiskante entdeckt. Mit zunehmender Distanz von der Meereiskante weg ins offene Meer nahm diese Dichte ab. Jenseits der Eiskante im Bereich des Meereises nahm die Dichte langsamer ab. Bis zu 125 km jenseits der Eiskante waren noch vergleichsweise hohe Zwergwaldichten zu verzeichnen. Die Ergebnisse dieser Analyse wurden in den *Scientific Reports* veröffentlicht (Williams et al. 2014).

Eine weitere Analyse der verfügbaren Zwergwalsichtungen konzentrierte sich auf die hochaufgelöste Verteilung von Zwergwalen in Abhängigkeit von Habitatparametern. Durch eine additive Modellierung konnte gezeigt werden, dass sowohl die Distanz zur Meereiskante, die Meereisbedeckung als auch ein Ost-West Gradient einen starken Einfluss auf die lokalen Dichten von Zwergwalen ausübt. So sind die höchsten Dichten nahe der Meereiskante zu erwarten, entlang derer sich hohe Dichten von antarktischen Zwergwalen ausprägen. Innerhalb des Meereises sinken die Dichten auf niedrigere Durchschnittswerte, im offenen Meer sind die Dichten jedoch noch geringer. Zusätzlich steigen die relativen Dichten vom Osten des Untersuchungsgebiets um den Nullmeridian in Richtung der

Westarktischen Halbinsel, wo die höchsten Sichtungszahlen an der Ostküste verzeichnet wurden. Das Untersuchungsgebiet zwischen Nullmeridian und Westantarktischer Halbinsel wurde in drei Strata aufgeteilt, für die für jeweils repräsentative Tage Verteilung und Dichte der Zwergwale mittels der Modellierung vorhergesagt wurden. Von Osten (Teiluntersuchungsgebiet Neumayer) nach Westen (Teiluntersuchungsgebiet Westantarktische Halbinsel) betragen diese 0,003 – 0,004 (Neumayer), 0,004 – 0,005 (Weddellsee) und 0,009 -0,01 (Ostantarktische Halbinsel) Tiere / km². Für den westlich der Antarktischen Halbinsel gelegenen Teil des Untersuchungsgebiets wurde eine eigene Modellierung vorgenommen, da hier gänzlich andere (Eis-)Bedingungen herrschen und der Lebensraum weniger von Meereis geprägt ist als auf der Ostseite der Halbinsel. Das Modell für die Westseite der Antarktischen Halbinsel identifizierte die Distanz zu Schelfkante als besten Prediktor. Allerdings stand für dieses Modell nur eine geringe Stichprobe zur Verfügung. Die Vorhersage für die Westliche Antarktische Halbinsel ermittelte Dichten um 0,005 Tiere / km². Diese Auswertungen werden in Kürze als Manuskript bei *Ecography* eingereicht (Herr et al. in prep.).

Für den Bereich der Westantarktischen Halbinsel wurde eine ausführliche Auswertung von Finn- und Buckelwalsichtungen aus Helikoptersurveys der Antarktisexpedition ANT29-3 vorgenommen. Es wurden modelbasierte Abundanzen für beide Arten in zwei auf der Westseite der Antarktischen Halbinsel gelegene Strata ermittelt, welche für Finnwale die ersten Schätzungen in diesem Bereich darstellen. Höchste Finnwalzahlen von 4.898 (95% KI 2.221 – 7.575) wurden in einem Bereich nördlich der South Shetland Islands vorhergesagt, wo während der Expedition Aggregationen von fressenden Finnwalen aufgenommen wurden. Ein parallel auf der Expedition durchgeführter Krillsurvey erlaubte eine Analyse der Waldichten in Zusammenhang mit ermittelten Krillbiomassen. Dazu wurde in einem räumlichen Modell die räumliche Überlappung der Dichte von beiden Walarten mit der ebenfalls räumlich modellierten Biomasseverteilung dreier Krillarten untersucht. Die Ergebnisse legen zum Einen eine horizontale Einnischung von Buckel- und Finnwalen nahe, wonach Buckelwale den küstennahen Bereich der Bransfieldstraße bevorzugen, während Finnwale ihren Verteilungsschwerpunkt am Schelfhang nördlich der South Shetland Islands haben. Während Buckelwale keine besondere Korrelation zu einer bestimmten Krillart zeigten, konnte ein positiver Zusammenhang zwischen Finnwalen und der vorhergesagten Biomasse von *Thysanoessa macrura* erkannt werden. Die Entdeckung dieser sehr aggregierten Verteilung von Finnwalen in Zusammenhang mit dieser Krillart fordert eine weiterführende Untersuchung, um die Nahrungsbeziehung weiter zu analysieren und die Bedeutung dieses Gebiets für die antarktische Finnwalpopulation besser beurteilen zu können. Es ist wenig über den Populationsstatus der Finnwale bekannt. Die hohen vorhergesagten Zahlen können darauf hinweisen, dass sich ein bedeutender Anteil der

Finnwale in einem begrenzten Bereich zur Nahrungsaufnahme versammelt. Da dieses Gebiet gleichzeitig von zunehmender Bedeutung für die Krillfischerei ist, ist es wichtig, die ökologischen Beziehungen in dieser Gegend näher zu untersuchen. Eine ausführlichere Darstellung und Diskussion der Ergebnisse dieser Teilstudie findet sich in Herr et al. (2016).

Basierend auf den vom Krähenest aus erhobenen Daten konnte eine Untersuchung der Begegnungswahrscheinlichkeiten für Zwerg-, Buckel-, und Finnwale entlang des Greenwich Meridians (definiert als Bereich zwischen 20° West und 20° Ost) durchgeführt werden. Dabei wurde die Wahrscheinlichkeit, einer Walart zu begegnen, anhand verschiedener Umweltfaktoren modelliert und auf die abgefahrene Strecke vorhergesagt. Dabei konnte gezeigt werden, dass Zwergwale hauptsächlich nahe der Eiskante anzutreffen sind. Die Begegnungswahrscheinlichkeit für Buckelwale stieg vor allem in Gebieten mit steiler Hangneigung des Meeresbodens auf bis zu 25% Sichtungswahrscheinlichkeit und in Gebieten in der Nähe von Inseln. Die Begegnungswahrscheinlichkeit von Finnwalen war positiv mit steilen Hangneigungen des Meeresbodens und küstenfernen Gebieten im offenen Ozean assoziiert, wo die maximale Begegnungswahrscheinlichkeit auf bis zu 50 % stieg. Ein Manuskript zur Publikation der Ergebnisse dieser Analyse in einem wissenschaftlichen Journal ist in Vorbereitung (Viquerat et al. *in prep.*).

Ein Vergleich von Helikopter- und Schiffssurveys erfolgte auf zwei räumlichen Skalen. Zum einen wurde ein stratum-basierter Vergleich von Begegnungsraten und Dichten durchgeführt, um einen Überblick über die Effizienz der beiden Plattformen zu erhalten. Um eine Dichte aus den Surveydaten zu ermitteln, musste in einem ersten Schritt für beide Methoden für Zwerg-, Buckel-, und Finnwale eine effektive halbe Streifenbreite für jede Surveyplattform ermittelt werden. Aufgrund einer geringen Anzahl von Sichtungen vom Krähenest aus wurden Buckel- und Finnwale zu Großwalen zusammengefasst und eine effektive halbe Streifenbreite (*esw*) für beide Spezies zusammen angenommen. Die *esw* für Zwergwale betrug im Helikopter 742 m und vom Krähenest 689 m. Die *esw* für Großwale betrug 849 m beziehungsweise 1.952 m. Aus der Analyse ging hervor, dass nur für bestimmte Spezies in bestimmten Teiluntersuchungsgebieten überhaupt ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der Surveyplattformen festzustellen war, der sich in der gleichen Größenordnung auch auf die lokalen Dichten im Teiluntersuchungsgebiet übertrug. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der Plattformen war signifikant für Zwergwale im Teiluntersuchungsgebieten Neumayer (NM) und für Finnwale im Teiluntersuchungsgebiet Westantarktische Halbinsel (WAP). Ein reiner Vergleich von Dichten zwischen den Teiluntersuchungsgebieten zeigte signifikante Unterschiede zwischen dem der Ostantarktischen Halbinsel (EAP) und allen anderen Gebieten bei Zwergwalen. Bei

Buckel-, und Finnwalen unterschied sich die Westantarktische Halbinsel signifikant von allen anderen Gebieten.

Um den Vergleich auch zeitlich und räumlich durchzuführen, wurde aus allen Datensätzen Teilmengen gesucht, in denen sowohl Schiffs- als auch Helikoptersurveys im gleichen Zeitraum durchgeführt wurden. Anhand dieser Teildatensätze wurden dann direkte Vergleiche zwischen Begegnungsraten und lokalen Dichten zwischen den beiden Erfassungsmethoden mittels einer linearen Regressionen gezogen. Dabei zeigte sich, dass die Begegnungsraten (Sichtungen pro Beobachtungskilometer) des Helikopters bei Zwerg- und Großwalen deutlich unter jenen des Schiffs lagen (7% bzw. 54% der Schiffsbegegnungsraten). Dieser Trend wurde von den Zwergwaldichten aufgegriffen, in denen die Helikopterichten bei etwa 4% der Schiffsichten lagen. Allerdings lagen die Dichten der Großwale für Helikoptersurveys bei 160% jener aus den Schiffssurveys. Aus diesem Verhältnis schließen wir, dass es wohlmöglich eine sehr artspezifische Reaktion auf die Anwesenheit des Schiffs zu geben scheint, welcher sich durch eine Annäherung von Zwergwalen und einer Vermeidung durch Buckelwale manifestiert. Dabei ist unklar, ob sich der Störeffekt auf Schiffe im Allgemeinen bezieht oder spezifisch durch einen bisher nicht bekannten Störeffekt durch FS Polarstern hervorgerufen wird. Diese Auswertung wird ausführlicher in Viquerat & Herr (in prep.) beschrieben.

Im Rahmen dieses Projekt konnte gezeigt werden, dass mit langjährigem Einsatz und standardisierten Methoden ein ganzheitlicher Informationsgewinn über Wale in der Antarktis und insbesondere ihre Beziehung zum Eis gewonnen werden kann. Beginnend mit den Erkenntnissen zur Bedeutung der Meereiskante für Zwergwale über Begegnungsraten und lokale Dichten von Zwerg-, Buckel-, und Finnwalen innerhalb antarktischer Teiluntersuchungsgebiete von Neumayer bis zur westantarktischen Halbinsel konnte entlang eines breiten Spektrums an biologischen Disziplinen ein wertvoller Erkenntnisgewinn produziert werden. Auch wurden erstmals methodologische Untersuchungen zur Güte von Beobachtungsplattformen im antarktischen Lebensraum durchgeführt, welche mögliche Fehlerquellen in beiden Methoden identifiziert und im Ansatz quantifiziert haben. Die Auswertung zeitgleich aufgenommener Daten zu Großwalen und Krill ermöglichte erstmals eine eingehende Beschreibung einer ökologischer Einnischung von Buckel- und Finnwalen in Bezug zu ihren möglichen Beuteorganismen. Die Entdeckung eines möglichen Hotspots für Finnwale und eine erste Abundanzschätzung aus diesem Gebiet zählen ebenfalls zu den hervorzuhebenden Ergebnissen dieses Projekts.

Der Abschluss dieses Projekts stellt eindeutig dar, wie wertvoll eine langjährige Erfassung von Sichtungsdaten anhand etablierter und standardisierter Methoden ist. Das internationale Interesse an den wissenschaftlichen Ergebnissen, welche nun in verstärktem Maß

veröffentlicht werden, zeugen von ihrer Relevanz und Einzigartigkeit innerhalb der internationalen antarktischen Großwalforschung.

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen

Die zu Projektbeginn aufgestellten Ziele wurden im Großen und Ganzen erreicht. Zwei von drei durchgeführten Expeditionen erbrachten allerdings weniger Daten als erhofft. Grund hierfür waren jeweils technische Fehler an Schiff und Helikopter, die die geplante Datenaufnahme verhinderten. Eine Erkenntnis des Projekts ist, dass trotz hohem zeitlichen Aufwand im Rahmen der Schiffssurveys die Begegnungsrate Walen nicht ausreicht, um weiterführende, elaborierte Auswertungen mit Schiffssurveydaten zu betreiben. Zu Beginn des Projekts wurde angenommen, dass mehr Auswertungen basieren auf Schiffssurveydaten möglich sein würden. Ein zusätzlich zu den ursprünglich geplanten Zielen erreichtes Ergebnis ist die analysierte Beziehung von Buckel- und Finnwalen zu Krill. Die Möglichkeit zu dieser Analyse war zu Projektbeginn nicht anzusehen und ergab sich zufällig durch den auf der gleichen Expedition durchgeführten Krillsurvey. Hierdurch zeigt sich, dass verschiedene Forschungsprojekte synergetisch genutzt werden können, wenn eine Abstimmung vorab stattfindet.

Verschiedene weiterführende Fragestellungen ergeben sich aus dem Projekt. Zum einen zwingt sich eine Fortführung der Analyse der Zwergwal-Eis-Beziehungen auf, um die Gültigkeit der Ergebnisse auch für andere Gebiete der Antarktis zu bestätigen oder zu widerlegen. Allem voran liegt eine gemeinsame Auswertung der Daten aus dem australischen und deutschen Programm nahe. Aber auch weitere, stichprobenartige Erfassungen von Walsichtungen mittels Flugsurveys in eisbedeckten Gebieten anderer Teile der Antarktis werden benötigt, um ein umfassendes Bild zu erlangen und ggf. im Rahmen eines "comprehensive assessments" zu einer neuen Abschätzung der Zwergwalzahlen in der Antarktis zu kommen. Besonders wichtig wäre für die Nutzung von Flugsurveys zur Abschätzung absoluter Abundanzen die Ermittlung eines Korrekturfaktors für verpasste Tiere. Der Anteil getauchter Tiere, die dem Beobachter nicht zur Verfügung stehen, steht in engem Zusammenhang mit Tauchraten. Erkenntnisse zu Tauchraten können zum einen über Verhaltensbeobachtungen erlangt werden, zum anderen über Besunderungen. Eine ideale, etablierte Methode zur Bemessung des Korrekturfaktors wäre die Durchführung eines "double-platform" Surveys mit zwei unabhängig voneinander erfassenden Plattformen die hintereinander die gleiche Strecke abdecken.

Dringender Forschungsbedarf wurde in Bezug auf das Finnwalvorkommen im Bereich der Westantarktischen Halbinsel identifiziert. Die Ergebnisse des Projekts deuten auf die Ausbildung eines "Hotspots" von Finnwalen im Bereich der South Shetland Islands und Elephant Island hin. Die im Rahmen des Projekts abgeschätzte minimale Abundanz ist im Verhältnis zu aktuellen Abundanzschätzungen für die Gesamtpopulation sehr hoch, so dass

die Möglichkeit besteht, dass sich ein Großteil der Finnwale in diesem Gebiet versammelt. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer bisher noch nicht nachgewiesenen Zunahme des Bestands. Unabhängig vom Hintergrund scheint das Gebiet in jedem Fall ausreichend Nahrung für eine große Zahl an Tieren zu bieten. Diese Ressource würde es in jedem Fall zu schützen gelten, um die Habitatqualität für die Wale zu erhalten. Es ist noch unklar, welcher Organismus die Nahrungsgrundlage darstellt. Normalerweise würde *E. superba* vermutet werden. Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts legen jedoch nahe, dass es sich um *T. macrura* handeln könnte. Dieser Beutebeziehung sollte in Zukunft weitere Aufmerksamkeit gewidmet und das gehäufte Vorkommen von Finnwalen näher untersucht werden. In Bezug auf die Beurteilung von Auswirkungen zunehmender Krillfischerei in dem Gebiet sind diese Informationen von großer Wichtigkeit.

6 Literaturverzeichnis

- Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19(6):716-723.
- Amante, C., Eakins, B.W. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, March 2009.
- Arndt, J. E., Schenke, H. W., Jakobsson, M., Nitsche, F. O., Buys, G., Goleby, B., Rebesco, M., Bohoyo, F., Hong, J., Black, J., Greku, R., Udintsev, G. B., Barrios, F., Reynoso-Peralta, W., Taisei, M. and Wigley, R. (2012): IBCSO v1 – The first release of the International Bathymetric Chart of the Southern Ocean, AGU Fall Meeting 2012, San Francisco, 3 December 2012 - 7 December 2012.
- 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, London.
- Branch, T.A., Butterworth, D.S. (2001) Southern Hemisphere minke whales: standardised abundance estimates from the 1978/79 to 1997/98 IDCR-SOWER surveys. *Journal of Cetacean Research and Management*. 3:143-174.
- Branch, T. A. (2006). Abundance estimates for Antarctic minke whales from three completed circumpolar sets of survey, 1978/79 to 2003/04. Paper SC/58/IA18, International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- 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.
- Craven, P. & Wahba, G. (1979) Smoothing Noisy Data with Spline Functions. *Numerische Mathematik* 31:377-403.
- Dawson, S., Wade, P., Slooten, E., Barlow, J. (2008) Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats. *Mammal Review* 38:19-49.
- Dorschel, B., Gutt, J., Huhn, O., Bracher, A., Huntemann, M., Huneke, W., Gebhardt, C., Schröder, M., Herr, H. (2015) Environmental information for a marine ecosystem research approach for the northern Antarctic Peninsula (RV Polarstern Expedition PS81, ANT XXIX/3) *Polar Biology*, DOI 10.1007/s00300-015-1861-2
- Ensor, P.H. (1989) Minke whales in the pack-ice zone, East Antarctica, during the period of maximum annual ice extent. *Reports of the International Whaling Commission* 39:219-225.
- 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. 58pp.
- Evans, P.G.H., Hammond, P.S. (2004) Monitoring cetaceans in European waters. *Mammal Review* 34:131-156.
- Feindt-Herr, H. Siebert, U. (2013) Modellierungen zu Populationsgrößen und räumlicher Verteilung von Zwergwalen im antarktischen Packeis auf der Grundlage von See- und luftgestützten Tiersichtungen (Förderkennzeichen 2811HS015). Zweiter Zwischenbericht für die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 12pp.

Geelhoed, S.C.V., Feij, B., van Franeker, J.-A., Herr, H., Janinhoff, N., McKay, S., Müller, S., Thomisch, K., Verdaat, H., Viquerat, S. (2015) Blue whale sightings in Antarctica west of the Greenwich Meridian, January 2015. Paper SC/66a/SH/11 Rev 3. International Whaling Commission, Cambridge, UK.

Hedley, S. L., Buckland, S.T. (2004) Spatial models for line transect sampling. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics* 9(2):181-199.

Herr, H., Viquerat, S., Siebert, U. (2014) Modellierungen zu Populationsgrößen und räumlicher Verteilung von Zwergwalen im antarktischen Packeis auf der Grundlage von See- und luftgestützten Tiersichtungen (Förderkennzeichen 2811HS015). Dritter Zwischenbericht für die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 16pp.

Herr, H., Kelly, N., Viquerat, S., Kock, K.-H., Williams, R., Scheidat, M., Lehnert, L.S., Siebert, U. (2014). Overview of five German helicopter surveys provide insight into spatio-temporal variability of minke whale densities in ice. Paper SC/65b/IA16, International Whaling Commission, Cambridge, UK.

Herr, H., Viquerat, S., Siebert, U., (2015) Modellierungen zu Populationsgrößen und räumlicher Verteilung von Zwergwalen im antarktischen Packeis auf der Grundlage von See- und luftgestützten Tiersichtungen (Förderkennzeichen 2811HS015). Vierter Zwischenbericht für die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 16pp.

Herr, H., Viquerat, S., Siegel, V., Kock, K.-H., Dorschel, B., Huneke, W.G.C., Bracher, A., Schröder, M., Gutt, J. (2016) Horizontal niche partitioning of humpback and fin whales around the West Antarctic Peninsula: evidence from a concurrent whale and krill survey. *Polar Biology*, doi: 10.1007/s00300-016-1927-9.

Herr, H., Kelly, N., Dorschel, B., Huntemann, M., Kock, K.-H., Lehnert, L.S., Scheidat, M., Viquerat, S., Williams, R., Siebert, U. Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*) densities in relation to sea ice, space and time: ship-based helicopter surveys provide evidence for high variability (in Vorbereitung).

Hiby, A.R., Lovell, P. (1998) Using aircraft in tandem formation to estimate abundance of harbour porpoise. *Biometrics* 54:1280-1289.

International Whaling Commission (2013) Report of the Scientific Committee. *Journal of Cetacean Research and Management* 14 (Supplement):1-86.

Kelly, N., Peel, D., Bravington, M.V. (2014) Distribution and abundance of Antarctic minke whales in sea ice regions of East Antarctica: a summary of results. Paper SC/65b/IA15, 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.

Miller, D.L., Rexstad, E., Burt, L., Bravington, M.V., Hedley, S. (2014) dsm: Density surface modelling of distance sampling data. R package version 2.2.5. <http://CRAN.R-project.org/package=dsm>

Murase, H., Bravington M. (2012) Potential lines of enquiry when considering changes in abundance estimates from CPII and CPIII. *Journal of Cetacean Research and Management* 13 (Suppl.):187-188.

Nemoto T, Nasu K (1958) *Thysanoessa macrura* as food of baleen whales in the Antarctic. *Scientific Reports of the Whales Research Institute* 13:193-199.

Nicol, S., Worby, A., Leaper, R. (2008) Changes in the Antarctic sea ice ecosystem: potential effects on krill and baleen whales. *Marine and Freshwater Research* 59:361-382.

R Core Team (2014) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Scales, K.L., Miller, P.I., Hawkes, L.A., Ingram, S.N., Sims, D.W., Votier, S.C. (2014) On the Front Line: frontal zones as priority at-sea conservation areas for mobile marine vertebrates. *Journal of Applied Ecology* 51:1575-1583.

Scheidat, M., Friedlaender, A., Kock, K.-H., Lehnert, L., Boebel, O., Roberts, J., Williams, R. (2011) Cetacean surveys in the Southern Ocean using icebreaker-supported helicopters. *Polar Biology* 34:1513-1522.

Siebert, U., Lehnert, L.S., Feindt-Herr, H. (2012) Modellierungen zu Populationsgrößen und räumlicher Verteilung von Zwergwalen im antarktischen Packeis auf der Grundlage von See- und luftgestützten Tiersichtungen (Förderkennzeichen 281HS015). Erster Zwischenbericht für die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 12 pp.

Sprien, G., Kaleschke, L., Heygster, G. (2008) Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels. *Journal of Geophysical Research* 113:C02S03. doi:10.1029/2005JC003384.

Teschke, K., Bornemann, H., Bombosch, A., Brey, T., Brtnik, P., Burkhardt, E., Dorschel, B., Feindt-Herr, H., Gerdes, D., Gutt, J., Hain, S., Herata, H., Jerosch, K., Knust, R., Kock, K. H., Pehlke, H., Schlüter, M., Schwarzbach, W., Siegel, V., Strass, V., van Opzeeland, I., von Nordheim, H. (2013) Progress report on the scientific data compilation and analyses in support of the development of a CCAMLR MPA in the Weddell Sea (Antarctica). SC-CAMLR-XXXII, (BG/07), pp. 29.

Thomas, L., Buckland, S.T., Rexstad, E.A., Laake, J.L., Strindberg, S., Hedley, S.L., Bishop, J.R.B., Marques, T.A., Burnham, K.P. (2010) Distance software: design and analysis of Distance Sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47:5-14.

Viquerat, S., Herr, H. Comparison of aerial and ship-board surveys from platforms of opportunity in the Southern Ocean (in Vorbereitung).

Viquerat, S., Herr, H., Siebert, U. (2015) Dedicated distance sampling surveys of large whales in the Southern Ocean along the Greenwich meridian. Poster at the Biennial Conference of the Society for Marine Mammology, San Francisco, USA.

Viquerat, S., Herr, H., Siebert, U. Dedicated distance sampling surveys of large whales in the Southern Ocean along the Greenwich meridian (in Vorbereitung).

Williams, R., Kelly, N., Boebel, O., Friedlaender, A.S., Herr, H., Kock, K.-H., Lehnert, L.S., Maksym, T., Roberts, J., Scheidat, M., Siebert, U., Brierley, A.S. (2014) Counting whales in a challenging, changing environment. *Sci. Rep.* 4, 4170; DOI:10.1038/srep04170

Wood, S. N. (2006) *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman and Hall, USA.

Wood, S.N. (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73(1):3-36.

Worby, A.P., Comiso J.C. (2004) Studies of the Antarctic sea ice edge and ice extent from satellite and ship observations. *Remote Sensing of Environment* 92(1): 98-111.