

Abschlussbericht

zum

Forschungsvorhaben: 2817HS004

Modellierung ganzjähriger Habitatpräferenzen von Blau-, Finn-, Zwerg- und Buckelwalen im zirkumpolaren Südozean (MoHaBa)

Zuwendungsempfänger:

Ilse van Opzeeland, Elke Burkhardt und Olaf Boebel

Project Team:

Ahmed El-Gabbas, Andy Traumüller

ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG
AM HANDELSHAFEN 12, 27570 BREMERHAVEN

Projektlaufzeit

Projektbeginn: 1. Januar 2018; Projektende: 31. Mai 2022

Berichtszeitraum:

1. Januar 2018 - 31. Mai 2022

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2817HS004.

Aktenzeichen 314-06.01-2817HS004

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens	1
1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens	2
Fachliche Arbeiten	2
Gremienarbeiten	3
Konferenzen und Workshops	4
Publikationen	4
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	5
2. Material und Methoden	8
Umweltvariablen	8
Auswahl der Umweltvariablen	10
Visuelle Sichtungsdaten	13
Saisonaler Sichtungsaufwand (<i>seasonal effort</i>) im südlichen Ozean an Hand von Forschungsschiffkursverläufen.....	14
Passiv-akustisches Monitoring (PAM).....	15
Schallausbreitungsmodellierung für die Nutzung akustischer Detektionen	15
3. Ergebnisse	21
Das statisch-visuelle Modell	21
Das dynamisch-visuelle Modell	22
Die dynamisch-akustischen & dynamisch-gemischten Modelle.....	24
4. Interpretation	27
Modellgüte	27
Antarktischer Zwergwal (Antarctic Minke whale, AMW).....	29
Finnwal (Fin whale, FW).....	31
Buckelwal (Humpback whale, HW)	34
Antarktischer Blauwal (Antarctic blue whale, ABW)	38
Ökologische Vielfalt	42
5. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	44
6. Zusammenfassung	48
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen	49
8. . Literaturverzeichnis	52

9. Glossar	56
10. Liste der Abkürzungen	59
11. Appendizes	1
Appendix 1: Perennial humpback whale acoustic presence in relation to sea ice concentration	1
Appendix 2: Mittel und Variabilität der Meereiskante	4
Appendix 3: Ursprüngliche Liste der 32 Umweltvariablen.....	6
Appendix 4 In PANGAEA veröffentlichte Daten	7
Appendix 5: Qualitätskontrolle der Sichtungsdaten am Beispiel von Finnwalen	10
Appendix 6: Zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten nach Arten gruppiert.....	14

1. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Kenntnisse der räumlichen Strukturen und funktionellen Ökologie der Habitate antarktischer Walarten (*true Antarctic species* gemäß Definition (in Boyd 2002)) sind für die Internationale Walfangkommission (IWC) von entscheidender Bedeutung. Festlegungen hinsichtlich des Schutzstatus der einzelnen Arten, die Deklaration von Schutzgebieten (MPAs) sowie die Bewertung der direkten und indirekten Auswirkungen anthropogener Aktivitäten (wie z.B. von Fischerei und Klimawandel) erfordern detaillierte, quantitative Kenntnisse der raum-zeitlichen Lokation und Nutzung der Walhabitate im Südozean (siehe z.B. Dahood et al. 2020; Hindell et al. 2020). Mittels der Methodik der Habitatmodellierung lassen sich auf der Basis von Präsenzdaten (gemeinhin visuelle Sichtungsdaten) und Umweltvariablen solche artspezifischen Habitatpräferenzen quantitativ ermitteln. Insbesondere erlauben zu den Präsenzdaten konkordante satellitengestützte Datensätze der Meereisbedeckung, Wassertemperatur und Strömungsverteilungen eine Extrapolation der Habitatpräferenzen auf den gesamten Südozean und somit ein zirkumpolares Verständnis des Vorkommens und der Nutzung geeigneter Habitate (Bombosch et al. 2014). Das ‚Scientific Committee‘ der Internationalen Walfangkommission (IWC) nennt dementsprechend Artverbreitungsmodelle (*inter alia* Habitatmodelle) als vielseitiges Modellierungswerkzeuge, um Fragen hinsichtlich der Veränderungen in der räumlichen Verbreitung von Bartenwalen sowie zu Zusammenhängen zwischen dem Vorkommen von Arten und ihrer Umwelt zu adressieren, um hierauf konkrete Managementinitiativen zu stützen (International Whaling Commission 2017, 2018).

Die grundlegende Hypothese von Habitatmodellen ist, dass die Verteilung mariner Säuger nicht zufällig ist, sondern dass jede Art – vor allem in den Nahrungsregionen des Südlichen Ozeans - ihre individuelle ökologische Nische besetzt, welche durch artspezifische Präferenzen und Anpassungen an das Ökosystem geprägt ist. Bislang werden vornehmlich visuelle Sichtsungsdaten und meist statische Umweltdaten als Eingangsdaten für Habitatmodelle genutzt. Die meisten Artverbreitungsmodelle (engl. *Species Distribution Models*, SDMs) nutzen inhärent statische (z.B. Wassertiefe) oder langfristige Durchschnittswerte (z.B. Jahresmittelwert der Wassertemperatur) von Umweltvariablen und nicht die transienten Werte, die zeitgleich mit dem Vorkommen (i.e. Sichtung) der Art auftreten, was in Unstimmigkeiten zwischen den real bei einer Sichtung vorliegenden und den in das Modell einfließenden (z.T. fiktiven da statistische Werte) Umweltbedingungen resultiert. Desweiteren wird auch unser Verständnis der das raum-zeitliche Vorkommen mariner Säuger im Südozean bestimmenden ökologischen Faktoren durch die flüchtigen Beobachtungsmöglichkeiten (kurze Auftauchzeiten) und hohe Mobilität dieser Tiere, sowie die seltenen und schwierigen Beobachtungsmöglichkeiten auf hoher See stark beeinträchtigt. Insbesondere polare Lebensräume haben dabei den gravierenden Nachteil, dass sie fast ausschließlich in den Sommermonaten und in weitestgehend eisfreien Gebieten beprobt werden, da die Sichtungsbedingungen in den Wintermonaten schlecht, und eisbedeckte Gebiete für nur sehr wenige Schiffe, zugänglich sind. Schlussfolgerungen, die auf diesen Datensätzen basieren, haben somit eine stark dem Südsommer und auf eisfreie Regionen hin zugeneigtes Ungleichgewicht (z.B. IDCR-SOWER, 1978-2009) und sind somit nur von begrenzter Aussagekraft. In neueren Studien hingegen häufen sich jedoch Belege, dass viele Bartenwalarten auch während des Südwinters in den

höheren Breiten und in eisbedeckten Gebieten vorkommen (Van Opzeeland et al. 2013, Williams et al. 2014, Thomisch et al. 2016). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Daten ganzjährig und unabhängig von der Eisbedeckung zu gewinnen und diese in die Analysen einzubeziehen, um ein vollständiges Bild zu erhalten.

In diesem Projekt haben wir uns daher darauf konzentriert, alternative Modellansätze zu entwickeln und zu untersuchen, die die Validität von SDMs verbessern könnten. Zuerst haben wir die Leistungsfähigkeit statischer SDMs systematisch verglichen, um zu untersuchen, wie deren Konfiguration die Ergebnisse beeinflusst, wobei wir visuelle Sichtungsdaten für vier Bartenwalarten als reine Präsenzdaten (*presence-only*) verwendeten. In der hochdynamischen Meeresumwelt, insbesondere in Polargebieten die durch das saisonale Vorkommen von Meereis geprägt sind, können statische Modelle jedoch nur eine fiktive Darstellung der Habitateignung für den Zeitraum über den das Modell jeweils kalibriert wurde, liefern. Daher implementierten wir zusätzlich dynamische Modelle für die vier Bartenwalarten. Schließlich untersuchten wir inwieweit passiv-akustische Daten die visuellen Sichtungsdaten ergänzen können, um so einen ganzjährigen Datensatz für die SDM Kalibrierung zu erhalten, der auch Daten zur Anwesenheit der Arten im Südwinter enthält.

Als finales Produkt stellt das Projekt zeitlich hochaufgelöste zirkumpolare und regionale Habitateignungskarten für die vier häufigsten Bartenwalarten des Südozean bereit.

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Fachliche Arbeiten

Die Arbeit im Rahmen des MoHaBa-Projekts hat sich an den folgenden drei Modellierungskonzepten orientiert:

- 1) **Statisches Modell** unter Nutzung visueller, opportunistische Sichtungsdaten mit saisonal/jährlich gemittelten Umweltdaten.
- 2) **Dynamisches Modell** unter Nutzung visueller opportunistischer Sichtungsdaten mit täglichen/wöchentlichen Umweltdaten.
- 3) **Dynamisch-gemischtes Modell** unter Nutzung visueller opportunistischer und passiv-akustischer Sichtungsdaten mit täglichen/wöchentlichen Umweltdaten.

Alle konzeptionellen Modellierungsansätze im Rahmen des MoHaBa-Projektes waren in hohem Maße auf die Verfügbarkeit einer mehrjährigen Datenbasis mit art-relevanten Umweltparametern aus dem gesamten des Untersuchungsgebiet angewiesen. Eines der ersten Ziele war es daher, diese Daten aufzubereiten, und weiter zu verarbeiten, um sie auf dem Projektserver zur Verfügung zu stellen. Die Bereitstellung der Daten auf dem AWI Datenserver ozasrv1 war ein erster Meilenstein des Projektes (ca. 217 Tausend Dateien mit einem Gesamtvolumen von ca. 1 TByte). Mit Hilfe von automatischen Download Skripten wird der Umweltdatensatz täglich aktualisiert.

Um passiv-akustische Daten in die SDMs einzubeziehen, haben wir auf einen PAM-Datensatz (engl. Passive Acoustic Monitoring) zurückgegriffen, der aus früheren Arbeiten bereits verfügbar war und

keine weitere Verarbeitung durch Hiwis erforderte. Letzteres war aufgrund der COVID-19 Pandemie nicht möglich, da die notwendige Präsenz von Betreuer und Hiwis am AWI aus Risikoerwägungen nicht vertretbar war. Dieser Datensatz umfasst antarktische Blauwalrufe, die über einen Zeitraum von 7 Jahren an fünf Orten im Weddellmeer aufgezeichnet wurden (siehe auch Thomisch et al. 2016). Um die akustischen Detektionen der Antarktische Blauwalrufe (*Antarctic blue whales, Balaenoptera musculus intermedia*) in SDMs einzubeziehen, sind Informationen über die räumliche Entfernung des Tieres zum Rekorder eine Voraussetzung, so dass nur Rufe aus einem bestimmten Umkreis berücksichtigt werden. Dies gewährleistet, dass die der Sichtung (i.e. die der akustischen Detektion) zugeordneten Umweltparameter mit den Umweltbedingungen denen das rufende Tier zu diesem Zeitpunkt ausgesetzt war, übereinstimmen. Empfangspegel wurden aus den erfassten Rufen abgeleitet und es wurde ein Schwellenwert definiert, um nur Rufe von Tieren zu berücksichtigen, die sich innerhalb eines bestimmten Radius um den Rekorder befanden. Umfangreiche Unterwasserschallmodellierungen zeigten dazu, dass die Forderung nach einem Minimalpegel das geeignetste Mittel ist, um eine geeignete räumliche Korrelation zwischen detektiertem Walruf und den Umweltparametern am Rekorderort sicherzustellen. Die Nutzung einer ursprünglich angedachten entfernungsabhängigen Wichtung der Detektionen erscheint aufgrund der hohen Variabilität der Schallausbreitung als ungeeignet.

Durch die verzögerte Einstellung des Projektwissenschaftlers und die COVID-19 Pandemie, konnten die geplanten Arbeitsaufenthalte bei der Arbeitsgruppe Baumgartner (Woods Hole, USA) in 2018/19, bzw. nach der Verschiebung 2019/20, nicht stattfinden, was zu Verzögerungen in der Entwicklung des dynamischen Modells führte. Dieses konnte jedoch durch die kostenneutrale Verlängerung des Projektes kompensiert werden, sodass alle bisherigen Projektergebnisse publiziert werden konnten, bzw. das Manuskripte zum dritten Modell in fortgeschrittener Vorbereitung zur Einreichung steht.

Gremienarbeiten

Abgesehen von der inhaltlichen Arbeit wurden über das Projekt finanziert intensive Gremienarbeiten im Rahmen der IWC geleistet:

Elke Burkhardt (Co-PI) hat als deutsches Delegationsmitglied vom 23.4.2017 bis 6.5.2017 an der Jahrestagung des wissenschaftlichen Komitees der IWC in Bled, Slowenien, teilgenommen.

Aufgrund der angespannten Sicherheitslage in Kenia wurde von einer Teilnahme an der Tagung des wissenschaftlichen Komitees der IWC in 2019 Abstand genommen. An der jährlichen Sitzung des scientific steering committees IWC-SORP (Southern Ocean Research Partnership) wurde stattdessen mittels Videokonferenz teilgenommen.

Am 25. Februar 2019 hat Frau Burkhardt zur Vorbereitung der kommenden Kommissionstagung der IWC in 2020, an einem Treffen am BMEL in Bonn teilgenommen und daraufhin als nationale Delegierte an der Tagung des wissenschaftlichen Komitees der IWC (SC/68B) in 2020 teilgenommen, die wegen der weltweiten der COVID-19 Pandemie als virtuelles Treffen per Videokonferenz vom 11.-24. Mai 2020 stattgefunden hat.

Außerdem war Frau Burkhardt im Zeitraum zwischen den Tagungen in 2019 und 2020 an der Vorbereitung eines Workshops zur Thematik Unterwasserlärm durch die Schifffahrt (*Advancing efforts to address underwater noise from shipping*) beteiligt und hat an diesem am 11. Mai 2020 teilgenommen.

In 2021 und 2022 wurden die Tagungen des IWC Wissenschaftsausschusses (SC/68C und SC/68D) aufgrund der anhaltenden COVID-19 Pandemie erneut als virtuelle Tagungen per Videokonferenz vom 27. 04. – 14.05. 2021 und 25. 04. – 13.05. 2022 abgehalten. Von AWI Seite haben Frau Burkhardt als nationale Delegierte und Dr. El-Gabbas in 2021 als eingeladener Teilnehmer (2021) bzw. als Mitglied der deutschen Delegation (2022) partizipiert.

Konferenzen und Workshops

In 2019, hat AWI mit insgesamt 6 Teilnehmern (5 Poster, 1 Vortrag) an der internationalen Meeressäuger Konferenz (WMMC 2019, organisiert von der Society for Marine Mammalogy, Biennial Conference und European Cetacean Society) in Barcelona teilgenommen. Zwei der Poster behandelten die Thematik Habitatmodellierung, eines davon direkt zu diesem Projekt (*Ahmed El-Gabbas, Ilse van Opzeeland, Elke Burkhardt und Olaf Boebel (2019). Modelling habitat suitability of whales in the Southern Ocean*), und ein weiteres mit gleicher Methodik jedoch boreale Finnwale betrachtend (*Diandra Duengen, Ahmed El-Gabbas and Elke Burkhardt (2019). Fin whale (*Balaenoptera physalus*) distribution modelling in the Nordic Seas & adjacent waters*).

Der geplante Expertenworkshop fand zeitlich direkt vor der WMMC19 in Barcelona am Sonntag den 8. Dezember 2019, 9:00 bis 18:00 statt. Die Teilnahme erfolgte ausschließlich auf Einladung und war mit 7 internationalen Experten unterschiedlicher Institute aus den USA und Australien sowie 4 Teilnehmern vom AWI kompetent besetzt. Das Format einer kleinen ausgewählten Gruppe zielte darauf ab, eine offene und zielgerichtete Diskussion von kontroversen methodischen Aspekten zu erlauben, was erfreulicherweise auch in Erfüllung ging. Ein Bericht zum Workshop befand sich im Appendix des zweiten Zwischenberichts.

Eine Teilnahme an einer weiteren Konferenz (Global edition of the International Conference on Ecological Modelling) war durch Herrn Ahmed El-Gabbas (Projektwissenschaftler) im Oktober 2021 vorgesehen (Tagungstermin 12. – 16. Oktober in Toronto, Kanada). Durch die weiterhin vorherrschende COVID-19 Pandemie wurde die Konferenz jedoch auf Mai 2023 verlegt. Da dieser Termin ein Jahr nach Abschluss des Projektes liegt und Herr Ahmed El-Gabbas dann nicht mehr am AWI sein wird, ist eine Teilnahme nicht vorgesehen.

Publikationen

Das MoHaBa-Projekt führte zu zwei wissenschaftlichen, von Experten begutachteten Projektveröffentlichungen:

El-Gabbas A, Van Opzeeland I, Burkhardt E, Boebel O (2021a) Static species distribution models in the marine realm: the case of baleen whales in the Southern Ocean. *Diversity and Distributions*; 27: 27:8 (1536-1552). <https://doi.org/10.1111/ddi.13300>

El-Gabbas A, Van Opzeeland I, Burkhardt E, Boebel O (2021b). Dynamic Species Distribution Models in the Marine Realm: Predicting Year-Round Habitat Suitability of Baleen Whales in the Southern Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 8 (802276). <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.802276>

Eine dritte Publikation zum dynamisch-akustischen und dynamisch-gemischtem Modell befindet sich in Vorbereitung und soll im Laufe des Jahres 2022 eingereicht werden.

Darüber hinaus führten die Arbeiten zur Mitautorenschaft an zwei weiteren Publikationen:

Schall E, Thomisch K, Boebel O, Gerlach G, Wood SM, El-Gabbas A, van Opzeeland (2021) Multi-year presence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Atlantic sector of the Southern Ocean but not during El Niño. *Communications Biology* 4, 790 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02332-6>, Appendix 1.

Duengen, D., Burkhardt, E., & El-Gabbas, A. (2022). Fin whale (*Balaenoptera physalus*) distribution modeling on their Nordic and Barents Seas feeding grounds. *Marine Mammal Science*, 1– 26. <https://doi.org/10.1111/mms.12943>.

Obwohl ursprünglich nicht als Teil der Projektergebnisse vorgesehen, entwickelte der Projektwissenschaftler Dr. El-Gabbas eine Anwendung zur Visualisierung von Sichtungsdaten der vier untersuchten Arten für die breite Öffentlichkeit. Beide projektrelevanten Publikationen (El-Gabbas et al. 2021a und El-Gabbas et al. 2021b) enthalten sehr ausführliche Anhänge und Zusammenstellungen von Modelldaten und -ergebnissen. Um die Verbreitung der Sichtungsdaten der einzelnen Arten zu visualisieren und zu untersuchen sowie die wichtigsten Ergebnisse der statischen und dynamischen Artverbreitungsmodelle zu zeigen, haben wir eine öffentliche zugängliche Anwendung (sogenannte ‚shiny app‘) entwickelt (<https://awi-oza.shinyapps.io/BaleenWhales/>). Nutzer können den verfügbaren Datensatz nach bestimmten Kriterien filtern (z.B., Arten, Beobachtungsjahr bzw. -monat, definierter Zeitraum, Koordinatenbereichen oder Datenquellen) und die gefilterten Datensätze können dann als statische oder interaktive Karte graphisch dargestellt werden.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Hauptziel dieses Projektes war es, die ökologischen Treiber der Verteilung, der im Südozean auftretenden Walarten mittels Habitatmodellierung (*Species Distribution Modelling*, SDM) zu identifizieren und zu verstehen und darüber hinaus Vorhersagen der räumlichen Habitateignung zu erstellen. SDMs sind statistische Werkzeuge mit deren Hilfe versucht wird, die verfügbaren Informationen zur Artverteilung (die entweder als reine Präsenz- oder als Präsenz-Absenz Information vorliegen) zu denjenigen Umweltvariablen in Verbindung zu setzen, die als für die Verteilung relevant angesehen werden können.

Insbesondere im marinen Bereich ist es, nicht zuletzt durch logistische und finanzielle Beschränkungen, schwierig Präsenz- Absenz Daten über große Seegebiete hinweg adäquat zu erheben. Die Mehrzahl der SDM Studien nutzen deshalb reine Präsenzdaten (*presence-only data*), die häufiger erhoben wurden als Präsenz-Absenz Daten. Auf Präsenzdaten basierende SDMs verwenden dabei hinreichend,

zufällig gewählte Hintergrundpositionen innerhalb des Untersuchungsgebietes um die vorherrschenden Umweltbedingungen zu charakterisieren, nicht jedoch um hieraus eine Pseudo-Absenz abzuleiten.

Die Mehrzahl der SDMs sind statisch. Sie nutzen Präsenzdaten zusammen mit einem Satz von Umweltvariablen, die die langfristigen Umweltbedingungen des Untersuchungsgebietes beschreiben. Auf Basis dieser Modelle ist es nicht möglich, saisonale oder monatliche Verteilungen¹ einer Art zu ermitteln, sondern lediglich eine zeitlich unspezifische, mittlere räumliche Verteilung. Um die (potentielle) Verteilung einer Art während einer bestimmten Jahreszeit/Saison (oder Monat) zu bestimmen, können Modelle entwickelt werden, die Präsenzdaten und Umweltdaten ausschließlich aus der besagten Jahreszeit/Saison nutzen. Saisonale Modelle können jedoch nicht die dynamischen Prozesse (wie z.B. eine fluktuierende Eisbedeckung) der marinen Umwelt und ihre Wechselwirkung mit der Verteilung der Arten wiedergeben. Darüber hinaus benötigen diese Modelle für jede einzelne Jahreszeit/Saison hinreichend viele Sichtungsdaten, was oftmals (vor allem im Winter) nicht gegeben ist. Geeignet kalibrierte dynamische Modelle hingegen können unter bestimmten Annahmen genutzt werden, um die Artverteilung für jegliche (plausible) Kombination von Umweltbedingungen in Raum und Zeit vorherzusagen (d.h. für eine beliebige Woche oder Monat).

Im ersten Teil dieses Projektes wurden opportunistisch erhobene, reine Präsenzdaten verschiedener Quellen genutzt, um ein statisches SDM zu entwickeln. Das statische Modell ermittelt dabei die fiktiven ganzjährigen Habitatpräferenzen von Blau-, Finn-, Buckel- und Zwergwalen (Antarctic minke whales, *Balaenoptera bonaerensis*) im zirkumpolaren Südozean auf Basis statischer oder langfristiger gemittelter Umweltvariablen, ungeachtet der dort eigentlich herrschenden dynamischen Prozesse, die im Laufe des Jahres starke Veränderungen bei einigen dieser Umweltparametern hervorrufen (z.B. bei der Meereisbedeckung).

Marine Ökosysteme sind allerdings äußerst dynamisch und unterliegen substantiellen Umweltveränderungen in kurzen Zeiträumen. Viele Walarten reagieren auf diese kurzlebigen Veränderungen durch Verschiebungen in ihrer Verbreitung. Dynamische Artverbreitungsmodelle sind dabei anerkanntermaßen besonders geeignet, um die Präferenzen hochmobiler mariner Arten wie Bartenwale für bestimmte Nischen zu untersuchen. Im zweiten Teil des Projektes haben wir ein dynamisches Artverbreitungsmodell für Bartenwale des Südlichen Ozeans implementiert wobei wir drei statische und sechs dynamische Umweltdeskriptoren benutzen.

Wie bereits erläutert, haben insbesondere Daten über polare Lebensräume den gravierenden Nachteil, dass sie fast ausschließlich in den Sommermonaten und weitestgehend in eisfreien Gebieten beprobt werden, da die Sichtsbedingungen in den Wintermonaten schlecht und eisbedeckte Gebiete für nur sehr wenige Schiffe zugänglich sind. Schlussfolgerungen, die auf diesen Datensätzen basieren, haben somit eine stark dem Südsommer und auf eisfreie Regionen hin zugeneigtes Ungleichgewicht. Passiv-

¹Der hier verwendete Begriff „Verteilung“ ist in diesem Dokument als „potentielle Verteilung“ bzw. „räumliche Habitateignungsverteilung“ zu verstehen, die nicht notwendigerweise mit der wahren Verteilung der Art übereinstimmt, da eine Art nicht notwendigerweise jedes geeignete Gebiet besiedelt oder auch ungeeignete Gebiete z.B. als Transitregion nutzt.

akustische Daten haben dieses Ungleichgewicht nicht und liefern unabhängig von der Saison Informationen über die akustische Präsenz vokaler Arten. Im dritten Teil dieses Projektes entwickelten wir deshalb ein dynamisches Modell unter Nutzung visueller opportunistischer Sichtungsdaten und passiv-akustischer Detektionen mit täglichen/wöchentlichen Umweltdaten.

2. Material und Methoden

Hauptziel dieses Projektes ist es, die ökologischen Treiber der Verteilung der im Südozean auftretenden unterschiedlichen Walarten mittels Habitatmodellierung (eigentlich species distribution modelling, SDM) zu identifizieren und zu verstehen. SDMs sind statistische Werkzeuge mit deren Hilfe versucht wird, die verfügbaren Informationen zur Artverteilung (vorliegend entweder als reine Präsenz- oder als Präsenz- und Abwesenheits Information) zu denjenigen Umweltvariablen in Verbindung setzen, die als für die Verteilung relevant angesehen werden können. Da es sich sowohl bei den visuellen Daten als auch bei den passiv-akustischen Daten, die als Information zur Artverbreitung in den unterschiedlichen Modellkonzepten (siehe 1.1) genutzt wurden, um reine Präsenzdaten (*presence-only*) handelt, wurden alle Modellkalibrierungen mit der Software Maxent (Phillips et al. 2006) durchgeführt welche explizit für die Nutzung dieses Datentyps entwickelt wurde (v3.4.1 Phillips 2017). Im Folgenden beschreiben wir die Auswahl und Aufbereitung

- 1) der Umweltparameter,
- 2) der visuellen Datensätze und Kursverläufe,
- 3) der passiv-akustischen Datensätze und unterstützenden Schallausbreitungsmodellierung
- 4) die drei angewandten Modellkonzepte.

Umweltvariablen

Wir akquirierten zahlreiche, meist satellitengestützte, Umweltdatensätze und arbeiteten diese so auf, dass sie von den Maxent verarbeitet werden konnten. Die Umweltdaten wurden mit der jeweiligen höchsten verfügbaren räumlichen und zeitlichen Auflösung akquiriert. Alle Umweltvariablen wurden von ihrem ursprünglichen Datenformat in NetCDF (*.nc) unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Auflösung und Projektion konvertiert. Für dynamische Variablen die in täglicher oder 8-tages Auflösung verfügbar sind, wurden Algorithmen implementiert, die täglich automatisch neue Datenfiles von den jeweiligen Quellen abrufen und gemäß o.g. Beschreibung umformatieren. Die so erstellten Datensätze waren sowohl für die statische als auch die dynamische Modellierung einsetzbar.

Um die zeitlich aufgelösten Felder der Umweltvariablen für die Nutzung durch die statischen Modelle vorzubereiten, waren statisch abgeleitete Größen, wie Jahres- oder saisonale Mittelwerte und deren Varianzen, zu berechnen, um die möglichst wenigen bedeutsamsten (*most parsimonious*) ökologisch relevanten Variablen zu erhalten, die geeignet erscheinen, die langfristigen Umweltbedingungen und ihren Einfluss auf die Verteilung der Arten zu beschreiben. Wir begrenzten die Berechnung dieser zusammenfassenden Karten auf vollständige Jahre um saisonale Ungleichgewichtigungen zu vermeiden. Für jede Variable berechneten wir die monatlichen und jährlichen Mittelwerte (Karten und Boxplots) um einen initialen Satz an Variablen zu bestimmen. Des Weiteren berechneten wir saisonale Mittelwerte und Standardabweichungen um die saisonale Entwicklung und intra-saisonale Varianz zu untersuchen. Generell wurden Jahreszeiten als 3-Monats-Intervalle definiert (siehe jedoch unten hinsichtlich spezieller Handhabung der Meereiskonzentration). Die Prozessierung der Umweltdaten erfolgte in C++, Python, R und Matlab, je nach Anforderung. Im Folgenden beschreiben wir kurz die

Umweltvariablen und die daraus abgeleiteten Variablen, gefolgt von der Beschreibung der Bestimmung des Satzes der „most parsimonious“ Variablen.

Bathymetrie

Wir nutzten die General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO, Weatherall et al. 2015) Daten mit einer Auflösung von 30 Bogensekunden geladen. Hieraus berechneten wir abgeleitete Variablen, wie Gefälle (*slope*), Orientierung (*aspect*) und Geländeindizes (*terrain indices*) gemäß Wilson et al. 2007, Rauigkeit (TRI, Terrain Ruggedness Index), topographischer Positionsindex (TPI, Topographic Position Index) und Geländeunebenheit (*terrain roughness*). Desweiteren berechneten wir für jeden Gitterpunkt die kürzeste Entfernung zu den 500m und 1000m Isobathen.

Chlorophyll-a Konzentration

Wir akquirierten 8-tägige OCCCI Kompositdaten (Ocean Colour Climate Change Initiative, Sathyendranath et al. 2018) von Januar 2002 bis Juni 2018 mit einer Auflösung von 4km (WGS84). Um zusammenfassende Umweltvariablen abzuleiten und Tendenzen (*biases*) zu vermeiden, nutzten wir ausschließlich vollständige Jahre (2002 – 2017). Wir errechneten monatliche, jährliche und saisonale Mittel und Standardabweichungen der Chlorophyll-a Konzentration. Ebenfalls berechnet wurde die Chlorophyll-a Konzentration für die gesamte Analyseperiode. Leider existieren in den Daten große räumliche Lücken mit Ausnahme der südlichen Sommermonate, weshalb nur diese Periode in die Analyse aufgenommen wurden, was wiederum die statische ganzjährige Analyse tendenziell beeinflussen (*bias*) kann.

Meeresoberflächenhöhe (Sea Surface Height) und Strömungen

Wir akquirierten globale, multi-Mission, gerasterte Meeresoberflächenhöhen (SSH, Sea Surface Height) und davon abgeleitete Variablen von AVISO über die Copernicus Webseite (<https://marine.copernicus.eu/>). Jede der täglichen originalen Dateien enthält mehrere Variablen, einschließlich Meeresspiegelanomalie (Sea Level Anomaly, SLA), Absolute Dynamische Topographie (ADT) und geostrophische Geschwindigkeiten. Tägliche Daten sind von Januar 1993 bis Juni 2018 mit einer Auflösung von $\frac{1}{4}^{\circ}$ (WGS84) verfügbar. Wir begrenzten unsere Analyse auf vollständige Jahre von 1993 bis 2017 und errechneten zusätzlich die absolute Strömungsgeschwindigkeit (*speed*) aus den zonalen und meridionalen Geschwindigkeitskomponenten. Analog zu den Berechnungen bei den Chlorophyll-a Konzentrationen berechneten wir monatliche, jährliche und saisonale Mittelwerte und Standardabweichungen der ADT und Geschwindigkeit, ebenso wie die entsprechenden Mittelwerte über den gesamten Zeitraum von 1993 – 2017.

Temperatur und Salzgehalt

Temperatur- und Salzgehaltsfelder wurden dem World Ocean Atlas 2018 (WOA18 Vorveröffentlichung, Locarnini et al 2018, Zweng et al. 2019) mit einer Auflösung von $\frac{1}{4}^{\circ}$ (WGS84) entnommen. WOA stellt objektiv analysierte Klimatologien bereit, die wir verwendeten, um Felder der Mittelwerte der ozeanographischen Variablen auf Standardtiefen zu erhalten. WOA ist in 8 dekadische Zeiträume (von jeweils ca. 10 Jahren Dauer) aufgeteilt, von denen wir den decav81B0 Zeitraum auswählten, um das

dekadische Mittel über den Zeitraum 1981 bis 2010 zu erhalten (siehe Garcia et al. 2018 hinsichtlich weiterer Informationen über die statistischen Felder und Zeiträume des WOA). Wir nutzten jährliche, saisonale und monatliche Daten der Temperatur und des Salzgehalts auf 5 Standard Tiefen (Oberfläche, 100m, 200m, 500m und 1000m). Es sei jedoch bemerkt, dass die Datenabdeckung dieses Datensatzes im Südozean einige Lücken aufweist, mit größeren Lücken in größerer Tiefe.

Meereiskonzentration

Tägliche Meereiskonzentrationen der Antarktis wurden von der Sea Ice Remote Sensing Webseite der Universität Bremen mit einer Auflösung von 6.25 km (stereographische Projektion EOSG:3412; Spreen et al. 2008) heruntergeladen. Meereisdaten wurden im Untersuchungszeitraum von drei verschiedenen Sensoren erfasst: Dem Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E; vom 1 Juni 2002 bis 4 Oktober 2011) und dem Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2; von 3 Juli 2012 bis 17 Nov, 2018). Für den Zeitraum zwischen diesen beiden Missionen, vom 5 Oktober 2011 bis 2 Juli 2012, sind als Notlösung Daten vom Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS) mit geringerer Auflösung verfügbar, diese beeinflussten jedoch erheblich die abgeleiteten Muster der zusammenfassenden Kartierung, sodass wir uns entschieden haben, diese nicht in die Analysen einfließen zu lassen und nur vollständige Jahre der AMSR-E und AMSR2 Missionen zu verwenden.

Um die saisonale Entwicklung der Meereiskonzentration zu beschreiben, verwendeten wir nicht, wie bei den anderen Variablen, saisonale 3-Monatscheiben (beginnend mit dem 1. Januar). Stattdessen nutzen wir eine variable Saisonlänge, die auf der Entwicklung der Meereisausdehnung basiert, wozu wir die monatliche Entwicklung als Karten und Boxplots visualisierten (Appendix 2). Saison 1, Sommer, Januar bis März, mit der geringsten Meereiskonzentration; Saison 2, Herbst, April, dem Zeitraum der Bildung von neuem Meereis; Saison 3, Mai bis November, Winter, dem Zeitraum hoher Meereiskonzentration; und Saison 4, Frühjahr, Dezember, während der ein schneller Rückgang des Meereises erfolgt. Für jede dieser Saisons berechneten wir eine weitere abgeleitete Variable, die Entfernung zur Meereiskante. Wir definierten die Meereiskante als das Polygon welches Regionen mit Meereiskonzentrationen $> 15\%$ umfasst und berechneten die kürzeste Entfernung von jedem Gitterpunkt zur Meereiskante.

Auswahl der Umweltvariablen

Alle abgeleiteten Parameter wurden auf eine flächenkonstante, zirkumpolare Lambert Azimuthal Equal Area Projektion mit einer Auflösung von 10x10 km projiziert. Das Untersuchungsgebiet begrenzten wir nach Norden anhand des klimatologischen Mittels der Antarktischen Polarfront (Orsi et al. 1995, Abb. 1 und verwarfen alle Daten nördlich dieser Grenze. Der ursprüngliche Satz abgeleiteter Variablen wurde anhand von 1) Datenvisualisierungen der räumlichen und zeitlichen Variabilität und unsere Kenntnis des Untersuchungsgebietes und der Datenabdeckung, sowie 2) unter Berücksichtigung der Ökologie der ausgewählten Arten zusammengestellt. Dieser Datensatz umfasste anfangs 32 Variablen (siehe Appendix 3). Viele dieser Variablen mussten interpoliert werden, um sie in den Modellen verwertbar zu machen (z.B. Salzgehalt und Temperatur) wofür gewöhnliches (*ordinary*) Kriging verwendet wurde.

- Polar Front
- southern boundary of the Antarctic Circumpolar Current (sbACC)
- southern Antarctic Circumpolar Current Front (sACCF)
- Continental Shelf Break (1000 m isobath)

1. Bouvet Island
2. Maud Rise
3. Prince Edward Islands
4. Crozet Islands
5. Kerguelen Islands
6. Heard Island & McDonald Islands
7. Kerguelen Plateau
8. Amery Ice Shelf
9. Balleny Islands
10. Scott Island
11. Ross Sea
12. Amundsen Sea
13. Peter I Island
14. Bellingshausen Sea
15. Western Antarctic Peninsula (WAP)
16. Antarctic Peninsula
17. South Shetland Islands
18. Elephant Island
19. South Orkney Islands
20. South Georgia Island
21. South Sandwich Islands
22. Weddell Sea
23. Brunt Ice Shelf
24. PALAOA

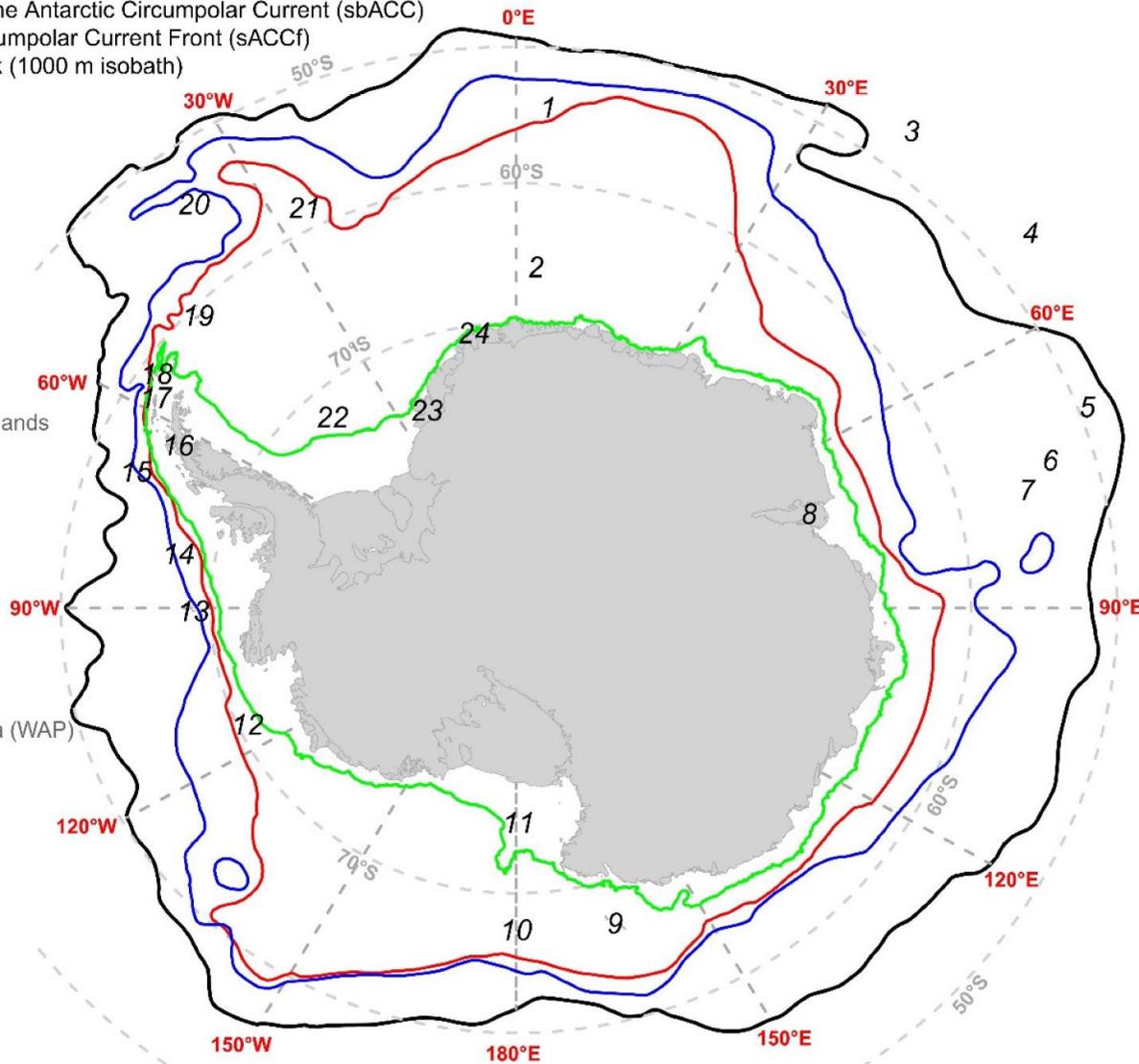


Abb. 1
Karte der Antarktis mit den Orten der im Projekt Erwähnung findenden geographischen Begriffen. Quelle der Fronten: Orsi et al. (1995). Im Text werden zur Vereinfachung des Bezugs die hier genannten englischen Namen verwendet

Um ein Überfitten des Trainingsdatensatzes sowie die möglichen Auswirkungen der Nutzung hoch-korrelierter Variablen auf die Modellperformanz und die zu ermittelnde Beziehung zwischen Artverteilung und Umweltparametern zu vermeiden (Dormann et al. 2012), musste die ursprüngliche Liste der ausgewählten Umweltvariablen gekürzt werden.

Tab. 1 Liste der Umweltvariablen, die in den drei Studien (statisch-visuell, dynamisch-visuell und dynamisch-gemischt) verwendet wurden. Das Symbol kennzeichnet, in welcher der Studien die Variable jeweils verwendet wurde. In den statischen Modellen (basierend auf visuellen Sichtungen) wurden die Variablen für den Zeitraum zwischen 1980 und 2019 zusammengefasst (zusammenfassende Statistiken und die verwendete Saison sind angezeigt); bei den dynamischen Modellen wurden hingegen tägliche Variablen direkt in den Modellen genutzt. Bei statischen Modellen sind die implementierten Transformationen der Variablen in Klammern angegeben, während bei den dynamischen Modellen keine Transformationen zu Anwendung kamen.

Predictor	Predictor type	static models (visual sightings)		dynamic models (visual sightings)	dynamic models (PAM / combined)
Depth	Static	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
Slope		<input checked="" type="checkbox"/>	(Natural log)		
Distance to coast		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
Distance to 1,000 m isobath		<input checked="" type="checkbox"/>	(Square root)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Chlorophyll-a	Dynamic	<input checked="" type="checkbox"/>	Mean – summer (Natural log)		
Sea ice concentration		<input checked="" type="checkbox"/> 4 variables	Mean – summer SD – April / May- November / December	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Distance to the ice edge		<input checked="" type="checkbox"/>	Summer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sea temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	Mean – Annual - at 200m	<input checked="" type="checkbox"/> surface	<input checked="" type="checkbox"/> surface
Sea surface salinity		<input checked="" type="checkbox"/>	Mean – Annual		
Sea surface height		<input checked="" type="checkbox"/> 2 variables	Mean & SD – Annual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Current speed		<input checked="" type="checkbox"/>	Mean – Annual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Zur Identifikation hoch-korrelierter Variablen wurden zunächst die Verteilungen jeder Variable und ihrer Transformationen mittels box-cox Analyse inspiziert. Falls die vorgeschlagene box-cox Transformation die Einheitlichkeit einer der Variablen verbesserte, wurde diese Transformation auf diese Variable

angewendet bevor eine Prüfung der Ko-Linearität erfolgte. Danach wurde der spärlichste, aussagekräftigste (most-parsimonious) Datensatz unter Annahme eines Maximalen Generalized Variance Inflation Faktor (GVIF) von 3, entsprechend der Empfehlung von Zuur *et al.* 2009, ermittelt. Tab. 1 listet alle Umweltvariablen, die in den drei Studien verwendet wurden.

Visuelle Sichtungsdaten

Verfügbare reine Präsenzdaten südlich 45°S wurden aus unterschiedlichen Quellen extrahiert, dabei wurden nur Daten nach 1980 berücksichtigt, um eine angemessene zeitliche Übereinstimmung zwischen Sichtungen und Umweltprädiktoren aufrecht zu erhalten. Daten dreier globaler Biodiversitätsdatenportale mit freiem Zugriff (*open access*) wurden heruntergeladen, prozessiert und bereinigt:

- 1) Von der Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <https://www.gbif.org/>),
- 2) vom Ocean Biogeographic Information System (iOBIS/OBIS², 2018) und
- 3) vom Ocean Biogeographic Information System Spatial Ecological Analysis of Megavertebrate Populations (OBIS-SEAMAP; Halpin *et al.*, 2009)

Weitere Datenquellen umfassen:

- 4) Das Southern Ocean Global Ocean Ecosystem dynamics program (SO-GLOBEC, 2001-2002: http://www.ccpo.odu.edu/Research/globec_menu.html)
- 5) Das Southern Ocean Whale and Ecosystem Research Programme (SOWER) - Expeditionen 2009/10 (<https://iwf.int/sower>)
- 6) die Walog Daten der RV Polarstern Expeditionen (<https://www.pangaea.de/>; Details in Appendix 4)
- 7) weitere in PANGAEA veröffentlichte Daten (<https://www.pangaea.de/>; Details in Appendix 4).

Wir bewerteten die Qualität der Sichtungsdaten, um Daten mit offensichtlichen Fehlern oder hoher Unsicherheit auszuschließen (siehe z.B. Appendix 5). Häufige Fehler der Datenquellen 1-3 sind z.B. fehlende oder unvollständige Positionsangaben, identische Werte in Breite und Länge, und Situationen in denen eine der Angaben identisch Null ist. Bei den GBIF Daten schlossen wir mit „known geospatial issues“ (bekannte geographisch Probleme) markierte Sichtungsdaten aus. Da Biodiversitätsdatenportale Daten von unterschiedlichsten Quellen und Organisationen sammeln, kann die gleiche Sichtung mehrfach auf unterschiedlichen Portalen vorkommen. Diese Duplikate wurden entfernt (Appendix 5 Abb. 1B) und C)). Außerdem schlossen wir Telemetriedaten (von an den Tieren befestigten Loggern) aus, um räumliche und zeitliche Autokorrelationen und damit fehlende Unabhängigkeit der Sichtungsdaten auszuschließen. Bei den RV Polarstern Walog Daten schlossen

² Detaillierte Informationen zur Historie und der Namengebung von iOBIS/OBIS finden sich unter https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_Biodiversity_Information_System.

wir die Bestimmungssicherheits-Ebene (*certainty level*) möglicherweise (*possible*) aus, um die Anzahl falsch positiver Artbestimmungen zu minimieren (Bombosch et al. 2014). Die bereinigten reinen Präsenzdaten der verschiedenen Quellen wurden daraufhin in einem Datensatz zusammengeführt und ihre geographischen Koordinaten auf die Koordinaten des „Lambert Azimuthal Equal Area“ Gitter entsprechend der Projektion der Umweltvariablen umgerechnet.

Der endgültig nutzbare Datensatz umfasst ca. 32 Tausend Sichtungen. Die zeitliche Verteilung der artspezifischen Sichtungen sind im Anhang nach Arten gruppiert, dargestellt (Appendix 6). Während für das statische Habitatmodell alle diese Sichtungen eingingen, wurden für das dynamische Artverbreitungsmodell nur die Sichtungen berücksichtigt, die zeitlich mit der Verfügbarkeit der dynamischen Umweltprädiktoren, i.e., 2002-2019, übereinstimmten. Insgesamt ergaben sich daraus 9.495 in den dynamischen Modellen verwendbare Sichtungen: 3.597 für AMWs (engl. Antarctic Minke whale), 192 für ABWs (engl. Antarctic blue whale, ABW), 730 für FWs (engl. Fin whale) und 4.976 für HWs (engl. Humpback whale).

Saisonaler Sichtungsaufwand (*seasonal effort*) im südlichen Ozean an Hand von Forschungsschiffkursverläufen

Zur Korrektur der räumlichen Verzerrung in den Sichtungsdaten im Rahmen der dynamischen Modelle verwendeten wir den saisonalen Sichtungsaufwand im Südlichen Ozean an Hand von Schiffskursverläufen (*ship tracks*). Die Hauptdatenquelle dafür war sailwx³ (Hal Mueller, persönliche Mitteilung). Sailwx bietet einen globalen, öffentlich zugänglichen Datensatz über Schiffspositionen und Wetterbedingungen (1980 bis heute). Weitere Datenquellen, die zusätzlich verwendet wurden, sind das Marine Geoscience Data System⁴, das UK Polar Data Centre⁵, die Australian Antarctic Division (AAD)⁶ und RV Polarstern⁷.

Wir verwendeten nur Daten südlich der Polarfront, die konkrete Angaben zu CallSIGN (eindeutigen maritime Kennung (Rufzeichen) für Schiffe und Boote), TIMESTAMP (Zeitangabe in Anzahl der seit dem 1. Januar 1970 (Unix-Epoche) verstrichenen Sekunden) und Breiten- und Längengrad enthielten. Jedem Punkt wurde durch Verknüpfung von Rufzeichen und Zeitstempel eine eindeutige ID zugewiesen, um später räumliche Ausreißer herauszufiltern und auszuschließen. Auf der Basis der Rufzeichen wurden sechs unterschiedlichen Schiffstypen (Tourismus, Großsegler, Fischerei, Militär, Bojen und Forschungsschiffe) in Anlehnung an die Klassifizierung des Antarctic Observing Network (AntON)⁸ von SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) zugewiesen. Nach ausgiebiger

³ <https://www.sailwx.info/shiptrack/> (Mobile Geographics LLC)

⁴ <http://www.marine-geo.org/>

⁵ <https://www.bas.ac.uk/data/uk-pdc/>

⁶ <https://www.antarctica.gov.au/>

⁷ <https://www.awi.de/en/expedition/ships/polarstern.html>

⁸ IP034: The Antarctic Observing Network (AntON) to Facilitate Weather and Climate Information (joint paper with WMO). Available at: <https://www.scar.org/library/policy/antarctic-treaty/atcm-xxxix-and-cep-xix-2016/2749-atcm39-ip034/>

Prüfung haben wir letztendlich nur Daten von Forschungsschiffen berücksichtigt, da diese den Hauptanteil der Daten im südlichen Ozean repräsentieren und für unsere Anwendung relevanter sind.

Passiv-akustisches Monitoring (PAM)

Passiv-akustische Aufnahmen wurden zwischen März 2008 und November 2013 von 10 Unterwasserrekorden an fünf unterschiedlichen Positionen im Weddellmeer und entlang des Greenwich Meridians aufgezeichnet (von 59° bis 69° S und 0° bis 27°W; Tab. 2). Die Rekorder waren Teil des ozeanografischen Beobachtungssystems Hybrid Antarctic Float Observation System (HAFOS; Rettig et al., 2013; Thomisch et al., 2016).

Tab. 2 Orte und Aufnahmeparameter der passiv-akustischen Rekorder des HAFOS (Hybrides Antarktisches Float ObservationsSystem) Arrays im Weddellmeer. Aufnahmepositionen sind durch einen regionalen Kennbuchstaben (G = Greenwich Meridian, W = inneres Weddellmeer) und zwei die ungefähre geographische Breite repräsentierende Ziffern gekennzeichnet. Römische Ziffern bezeichnen die Auslageperioden 2008-2010 (I), 2010-2012 (II) und 2012-2014 (III). Die Aufnahmezyklen sind als Aufnahmedauer [min] per Aufnahmeintervall [min] angegeben.

Recording site ID	Latitude	Longitude	Recorder ID	Deployment period	Depl. depth [m]	Sampl. freq. [kHz]	Sampl. scheme ((min)/[min])	Operational period [months]	
G59	I	59 10.03 S	000 00.17 E	MARU01	12/2008-12/2009	4838	2.00	6/60	12
	II	59 03.02 S	000 06.63 E	AWI227-11 SV0002	12/2010-12/2012	1007	5.33	continuous	8
	III	59 02.63 S	000 04.92 E	AWI227-12 SV1025	12/2012-12/2014	1020	5.33	continuous	7
G64	II	63 59.56 S	000 02.65 W	AWI229-09 SV1000	12/2010-12/2012	969	5.33	continuous	6
	III	63 59.66 S	000 02.65 W	AWI229-10 SV1010	12/2012-12/2014	969	5.33	continuous	8
G66	I	66 01.13 S	000 04.77 E	AWI230-06 AU0085	03/2008-12/2010	189	32.77	5/240	34
	II	66 01.90 S	000 03.25 E	AWI230-07 SV1001	12/2010-12/2012	934	5.33	continuous	21
	III	66 02.12 S	000 02.98 E	AWI230-08 SV1009	12/2012-12/2014	949	5.33	continuous	9
G69	I	68 59.74 S	000 00.18 E	AWI232-09 AU0086	03/2008-12/2010	206	32.77	5/240	34
	III	68 59.86 S	000 06.51 W	AWI232-11 SV1011	12/2012-12/2014	958	5.33	continuous	11
W66	II	66 36.70 S	027 07.31 W	AWI209-06 AU0086	12/2010-01/2013	207	32.77	4.5/180	24

Insgesamt reichte die Betriebsdauer der Rekorder mit auswertbaren Daten von 6 bis 34 Monaten (Siehe Tab. 2).

Schallausbreitungsmodellierung für die Nutzung akustischer Detektionen

Die korrekte Zuordnung von (satellitengestützten) Umweltparametern zu einer akustischen Detektion unter Wasser erfordert die Kenntnis von Zeit und Ort der Vokalisation. Aus den Daten einzelner Rekorder kann nicht direkt auf Richtung und Entfernung der Quelle des aufgenommenen Signals geschlossen werden. Annehmend, dass der jeweilige Ruftyp in annähernd gleichbleibender, bekannter Lautstärke produziert wird ist jedoch eine Abschätzung der Entfernung Wal-Rekorder auf Basis der Lautstärke des empfangenen Signals möglich. Zusätzlich ist hierzu die Kenntnis der natürlichen Ausbreitungsverluste des Schallsignals vonnöten, die durch die lokale ozeanische Dichteschichtung sowie die Beschaffenheit des Meeresbodens (insbesondere der Sedimenttyp) und der Meeresoberfläche (vor allem die aktuelle Eisbedeckung) bestimmt wird, notwendig. Während eine

grobe Abschätzung der Ausbreitungsverluste durch das bekannte $20 \cdot \log_{10}(r)$ Gesetz gegeben ist, lassen Unterwasserschallmodelle oftmals präzisere Abschätzungen zu.

Im Rahmen dieses Projektes wurden für alle 5 verwendeten Rekorderpositionen jeweils 4 jahreszeitspezifische Schallausbreitungsmodelle mit Hilfe des kommerziell erhältlichen Softwarepaketes dBSea gerechnet und anschließend visualisiert. Die gewählte Jahreszeit spiegelt sich dabei in unterschiedlichen, dem World Ocean Atlas entnommenen, mittleren saisonalen Schallgeschwindigkeitsprofilen wider (Mittelwert 2005-2017, $\frac{1}{4}^\circ$ Auflösung). Die Sedimenttypen wurden gemäß Fig. 3 in Diekmann & Kuhn, 1999 gewählt, die dazugehörigen physikalischen Parameter entnahm dBSea automatisch seiner integrierten Datenbank. Als Bathymetrie wurde GEBCO 2019 verwendet.

Die Schallausbreitungsverluste wurden in einem Umkreis von 100 km um die Verankerungsposition in Winkelschritten von 3° (entsprechend 100 vertikalen Schnitten) bei einer Gitterauflösung von ca. 100 m horizontal und ca. 10 m vertikal gerechnet, wobei die Quelle an die Rekorderposition und auf 20 m Tiefe gesetzt wurde und die Schallausbreitungsverluste für alle 3D-Gitterpunkte des Modells errechnet wurde. Hieraus wurden, unter der Annahme eines Quellschallpegels von 189 dB re. $1 \mu\text{Pa}$, bei 25 Hz (entsprechend dem dBSea Modellfrequenzband 22,4-28,2 Hz) die Empfangsschallpegel in der Ebene der Rekordertiefe berechnet und anschließend visualisiert.

Leider zeigten die Ergebnisse sehr starke Fluktuationen der Empfangspegel mit der Entfernung, aus der sich keine konsistenten Funktionalitäten bezüglich der Beziehung zwischen Entfernung und Empfangsschallpegel (wie z.B. ein modifiziertes $x \cdot 20 \cdot \log_{10}(r)$ Verhalten, wobei der Faktor x eine mögliche Modifikation des bekannten $20 \cdot \log_{10}(r)$ Gesetzes darstellen würde) herleiten ließen. Des Weiteren stellte sich heraus, dass dBSea nicht die Beschaffenheit der Meeresoberfläche (insb. Eisbedeckung) berücksichtigt, sondern grundsätzlich von offenem Wasser ausgeht.

Statt zu versuchen möglichst viele akustische Detektionen mittels eines durch Schallausbreitungsmodellierung gewonnenem Gewichtungsmass in das Modell einfließen zu lassen, wählten wir deshalb den Weg einer möglichst engen Beziehung zwischen akustischer Detektion und Umweltvariablen, d.h. nur die lautesten Detektionen wurden zur Analyse zugelassen. Da unser Umweltgitter eine Auflösung von 10×10 km hat, boten 10km sich hier als sinnhafte typische maximale Entfernung an. Gemäß der Relation Empfangspegel $RL = SL - 20 \cdot \log_{10}(r)$ ergibt sich mit $r = 10,000\text{m}$ und Quellschallpegel $SL = 189 \text{ dB re. } 1 \mu\text{Pa}$ hier ein Grenzwert von 109 dB re. $1 \mu\text{Pa}$ für Vokalisationen die aus einem Umfeld $< 10\text{km}$ vom Rekorder stammen.

Habitatmodelle/Artverbreitungsmodelle (SDMs)

a) Das statisch-visuelle Modell

Das statische Modell stellt geeignete Habitate auf Basis statistischer, langfristiger Mittelwerte der Umweltvariablen dar, ungeachtet eventueller Fluktuationen denen diese unterworfen sein können. Alle Umweltvariablen wurden auf flächengleiche Gitterzellen von 10×10 km kartiert und auf eine Liste von 32 Variablen anhand ihrer Aussagekraft in den Modellen reduziert (Appendix 3).

Zur Modellierung der Habitateignung für Bartenwale im Südozean wurden zwei Sätze von Modellen trainiert:

- 1) unter Verwendung aller Sichtungen innerhalb einer Gitterzelle, um die erwartete relative Häufigkeit von Sichtungen (ModelAll) zu erhalten; und
- 2) unter Verwendung von nur einer Sichtung pro 10x10km Gitterzelle (ModelUnique).

Das letztere Modell stellt einen Spezialfall des Ausdünnens (*thinning* oder *rarefaction*) dar, eine übliche Methode, um Tendenzen in der Probennahme (sampling bias) zu korrigieren. Der Ausschluss multipler Sichtungen innerhalb einer Zelle kann, zusätzlich zur Vermeidung von Tendenzen, dabei auch den Einfluss einer räumlichen Autokorrelation verringern. Zur Bewertung der Modell-Performanz wurde eine 5-fache, räumliche Block-Kreuzvalidierung benutzt, um eine räumliche Unabhängigkeit zwischen Trainings- und Testdatensatz zu gewährleisten, damit der Einfluss einer räumlichen Autokorrelation auf das Modell minimiert wird. Diese Routine wurde für jede Walart und jeden Modelltyp implementiert. Für jeden Maxent Modellauf bestimmten wir die für das Modell bedeutsamsten Umweltvariablen mittels der Maxent Funktionen „*permutation importance*“ und „*jackknifing*“.

b) Das dynamisch-visuelle Modell

Dynamische Artverbreitungsmodelle sind besonders geeignet um die Präferenzen hochmobiler mariner Arten wie Bartenwale für bestimmte Nischen zu untersuchen. In unserer Konfiguration eines dynamischen Artverbreitungsmodells für die Bartenwale des südlichen Ozeans benutzten wir drei statische und sechs dynamische Umweltdeskriptoren im Zeitraum 2002 bis 2019 (Tab. 1). Die Parameterauswahl wurde auf Basis der vorangegangenen statischen Modellierung getroffen.

Sichtungsdaten wurden mit den entsprechenden tagesaktuellen Werten dieser Umweltdeskriptoren verknüpft und als reine Präsenzdaten kategorisiert. Die Nutzung von Maxent als Modelltyp erfordert, dass eine große Menge an sogenannten Hintergrundinformationen vorliegt, welche die gesamte Bandbreite der Werte der raum-zeitlich veränderlichen Umweltdeskriptoren widerspiegelt. Die Modellperformanz wurde mittels zweier unabhängiger Kreuzvalidierungsstrategien ermittelt, nämlich durch Segmentierung in räumliche (5-fach) bzw. zeitliche (3-fach) Datenblöcke (Roberts et al. 2017).

Darüber hinaus untersuchten wir eine mögliche räumliche Trennung zwischen den geeigneten Lebensräumen der Arten, insbesondere im Sommer, indem wir ihre monatliche räumliche Überlappung kartierten. Zu diesem Zweck wandelten wir die kontinuierliche vorhergesagte Lebensraumeignung in binäre Karten um, die die täglich geeigneten bzw. ungeeigneten Lebensräume der Arten darstellen. Hierzu wurden tägliche binäre Karten unter Verwendung eines modell- und artspezifischen Schwellenwerts (TSSMaxSS) in Anlehnung an Liu et al., 2013 erstellt. Dies führte zu acht täglichen binären Karten (5 bzw. 3 für räumlich und zeitlich kreuzvalidierten Modellen). Die endgültigen täglich geeigneten Gebiete wurden über die Zellen definiert, die in mehr als vier kreuzvalidierten Modellen als geeignet vorhergesagt wurden. Anschließend wurden alle täglichen binären Karten summiert, um die Anzahl der Tage zu ermitteln, an denen jede Zelle im jeweiligen Monat als geeignet vorhergesagt wurde (2002-2019; siehe Ergebnisse des dynamisch-visuellen Modells). Für jede Art wurden damit monatliche

binäre Karten erstellt, wobei nur die Zellen berücksichtigt wurden, die an mindestens 50 % der Tage als geeignet vorhergesagt wurden.

c) Das dynamisch-akustische und das dynamisch-gemischte Modell

Finales Ziel dieses Projektes war es, passiv-akustische Monitoring (PAM) Daten in dynamische Artverbreitungsmodelle zu integrieren. Wir betrachten PAM Daten als reine Präsenzdaten (*presence-only*) und verwenden deshalb ebenfalls die Maxent-Software für die Modellkalibrierung. Für die Modellierung des Habitats antarktischer Blauwale (ABW) wurden die sehr stereotypischen, niederfrequenten Z- Rufe dieser Art verwendet. Sie bestehen typischerweise aus drei Einheiten, im Frequenzbereich von 18 bis 28 Hz (Abb. 2). Für das dynamisch-gemischte und dynamisch-akustische Modell wurde die tägliche akustische Präsenz von antarktischen Blauwalen auf Grundlage einer vorherigen automatischen Erfassung von Z-Rufen verwendet, wie in Thomisch et al (2016) beschrieben.

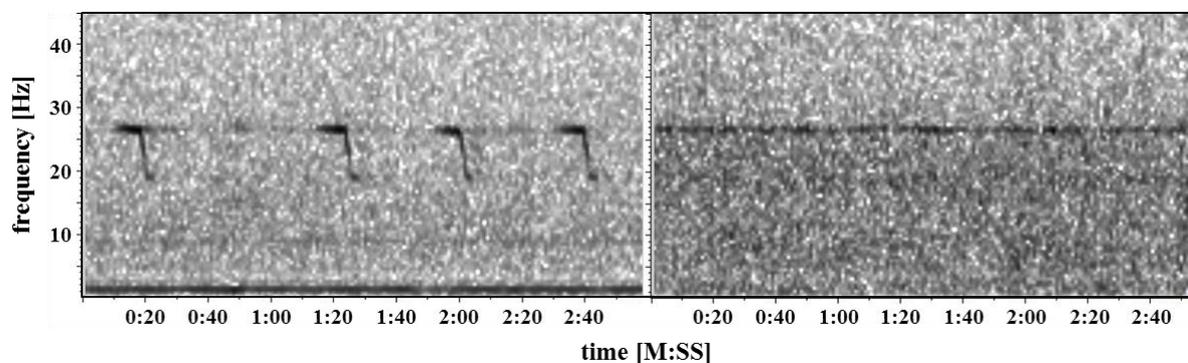


Abb. 2 Spektrogramm einer Sequenz von Z-Rufen eines Antarktischen Blauwals (links) und eines entsprechenden Chorusses. Aufgenommen am 12 Dez. 2010 auf 59°03' S, 0°07' E und am 10. März 2011 auf 66°37' S, 27°08' W. Datenrate 250 Hz nach Dezimierung, Spektrogramm Parameter FFT 512 Punkte, Hanning Fenster, 50% Überlappung.

Um den Effekt einer möglichen räumlichen Diskrepanz zwischen der Position des akustischen Rekorders und der tatsächlichen Position des vokalisierenden Tieres zu minimieren, haben wir eine täglich akustische Präsenz nur dann berücksichtigt, wenn ein Ruf an dem betreffenden Tag einem Empfangspegel (*received level*, RL) von ≥ 109 dB aufweist (Miller et al 2021; Širović et al., 2007). Damit soll sichergestellt werden, dass sich das beobachtete Tier in unmittelbarer Nähe (innerhalb eines Radius von ca. 10-20 km) zum Rekorder befindet. In Abb. 3 sind die täglichen akustischen ABW-Detektionen dargestellt. Wir bewerteten die Güte der Modelle anhand eines räumlich unabhängigen Datensatzes (räumliches Kreuzvalidierungsverfahren) wobei für jeden durchgeführten Modelltyp eine unterschiedliche räumliche Trennungsstrategie angewandt wurde.

Wir haben alle drei Modellkonzepte für antarktische Blauwale im Weddellmeer getestet:

- 1) nur visuelle Beobachtungen,
- 2) nur PAM Daten und
- 3) kombinierter Datensatz aus visuellen und PAM Daten.

Abb. 4 zeigt eine Karte des Untersuchungsgebietes (Weddellmeer) mit den Positionen der akustischen Rekorder und den visuellen Sichtungen. Für jeden Modelltyp verglichen wir: A) die Modellgüte; B) die monatlichen Muster der vorhergesagten Habitategnung; C) die Responskurven aller Umweltvariablen sowie D) die Muster der monatlichen mittleren Habitategnung aller Paarungen von Umweltvariablen.

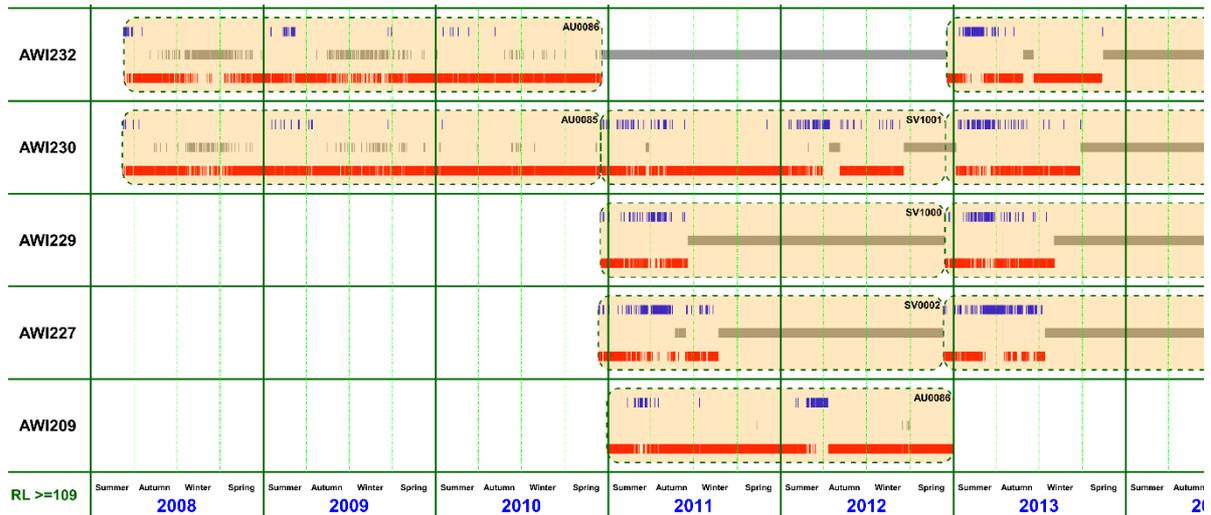


Abb. 3 Schematische Darstellung der akustischen Daten für ABW. Zur Ermittlung der täglichen Präsenz von ABWs haben wir einen Schwellenwert von $RL \geq 109$ dB benutzt. Blaue Balken repräsentieren tägliche akustische Detektionen, graue Balken kennzeichnen Tage ohne akustische Daten und rote Balken zeigen Tage ohne akustische Detektionen.

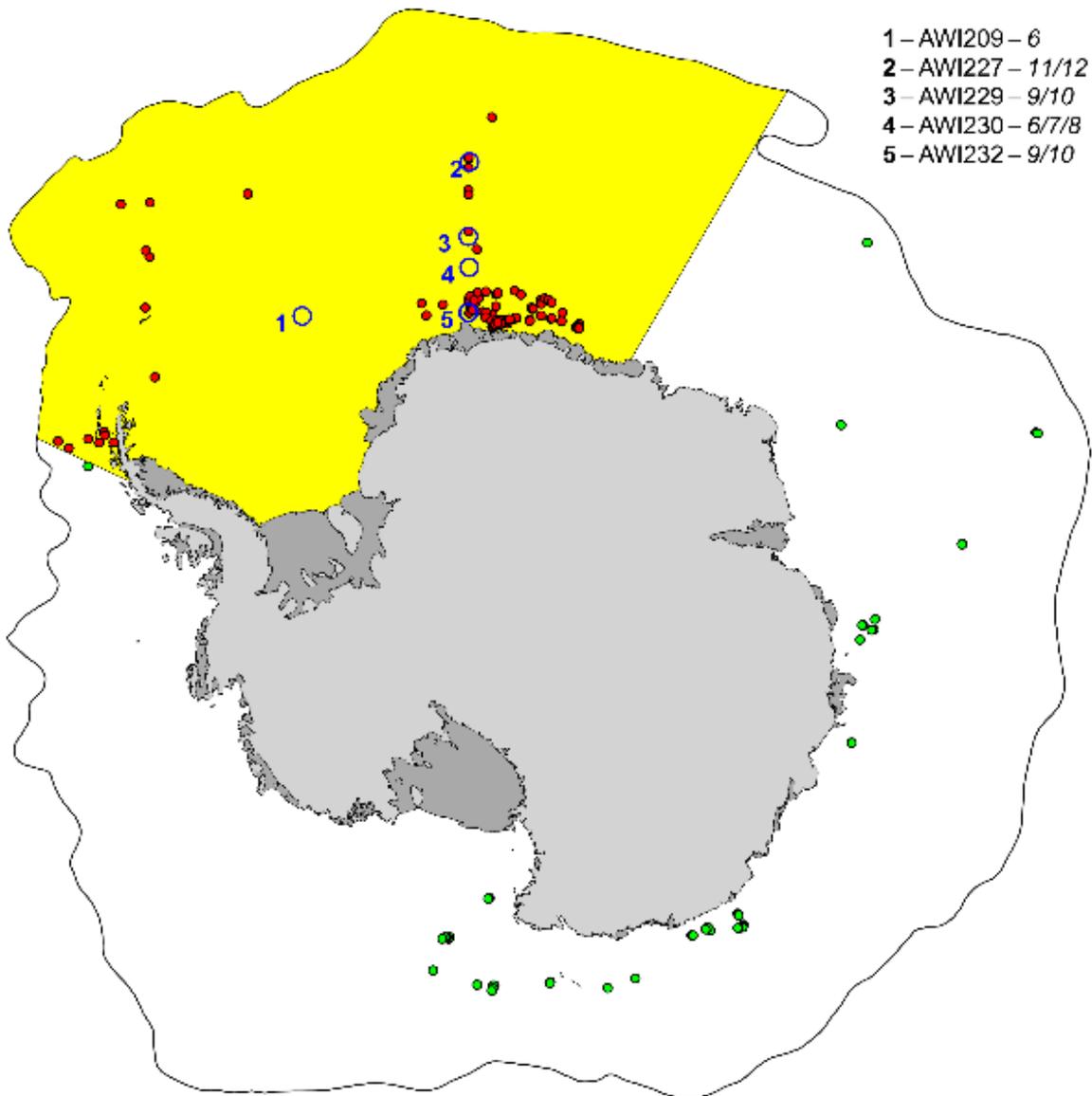


Abb. 4 Die Karte zeigt die Lage des Weddellmeeres (gelbe Fläche). Rote und grüne Punkte stellen die visuellen Beobachtungsdaten innerhalb bzw. außerhalb des Weddellmeeres dar. Alle rot markierten Sichtungen sind in die Modellierung eingeflossen. Die großen blauen Kreise zeigen die Positionen und den Aufnahmebereich der akustischen Rekorder.

Im Gegensatz zu den vorherigen Modellansätzen (statisches und dynamisches Verbreitungsmodell) wurden hier nur dynamische Prädiktoren (Meereiskonzentration (engl. sea ice concentration, SIC), Entfernung zur SIE (engl. sea ice edge), lagged sea ice concentration, SST, SSH, Strömungsgeschwindigkeit) eingesetzt, da PAM Daten lediglich in 5 Gitterzellen erhoben wurden, was die Verwendung statischer Prädiktoren zwangsläufig überflüssig macht.

3. Ergebnisse

Das statisch-visuelle Modell

Die Ergebnisse des statisch-visuellen Modells wurden beim Journal Diversity and Distributions in 2020 eingereicht und am 30. Mai 2021 veröffentlicht (El-Gabbas et al. 2021a).

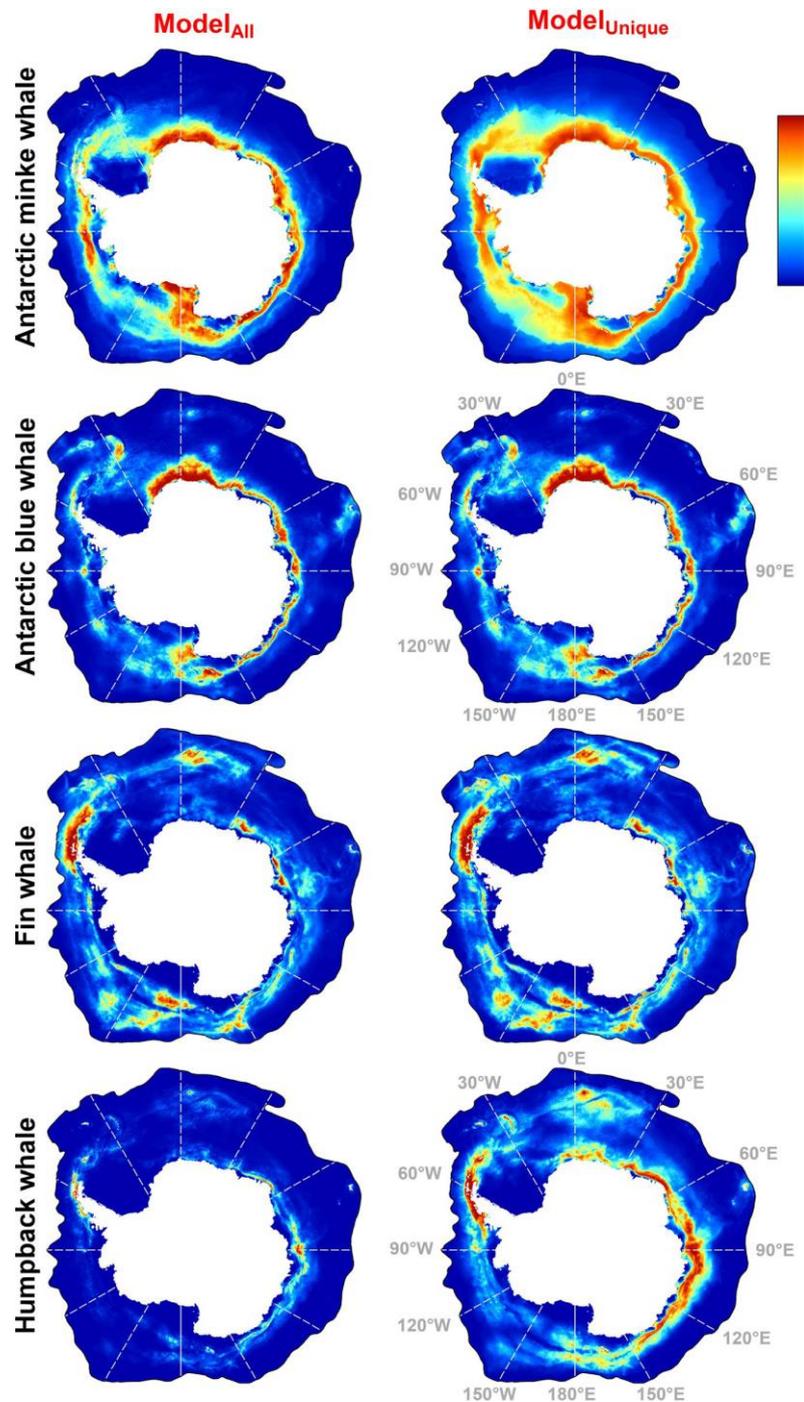


Abb. 5 Karten der zirkumpolaren, statischen Habitateignung für die 4 großen Bartenwale des Südozeans, links unter Verwendung aller Sichtungdaten, rechts unter Verwendung raum-zeitlich gefilterter Daten.

Das statisch-visuelle Modell wurde zirkumpolar für die vier Arten mit hinreichender Datenfülle (Antarktischer Zwergwal, Antarktischer Blauwal, Finnwal und Buckelwal) gerechnet. Dieser Modelltyp profitiert von einer großen, saisonal jedoch stark verzerrten Verfügbarkeit an Sichtungsdaten. Die zeitliche Zusammenfassung der Umweltdaten nach Jahreszeiten führt zu einer starken Mittelung der dynamischen Umweltdaten. Für jede Art prognostizierten wir die wahrscheinliche Verteilung, identifizierten die wichtigsten Umweltvariablen und die Reaktion der Habitateignung auf Veränderungen in diesen Variablen (Abb. 5). Das Manuskript vergleicht unsere Ergebnisse mit denen früherer Studien, die andere und unterschiedliche Modellansätze nutzen und in Raum oder Zeit beschränkte Datensätze verwendeten, um anhand der Widersprüche in den Ergebnissen die Einschränkungen statischer Modelle zu beleuchten.

Das Manuskript behandelt darüber hinaus die Grenzen statischer Verteilungsmodelle in Regionen mit sehr dynamischen (primär saisonalen) Umweltveränderungen, wie z.B. dem südlichen Ozean. Statische Modelle korrelieren Sichtungen mit Variablen, die den Umweltzustand über lange Zeiträume hinweg mitteln (saisonale oder jährliche Mittel über einen Zeitraum von > 10-30 Jahren), ungeachtet des wirklichen Umweltzustandes zum Zeitpunkt einer Sichtung. Solche SDMs korrelieren Sichtungen mit gemittelten, fiktiven Umweltbedingungen, die zum Zeitpunkt der Sichtung möglicherweise (um nicht zu sagen mit hoher Wahrscheinlichkeit) so nicht vorlagen. Statische Modelle geben somit lediglich eine fiktive Wirklichkeit wieder und nicht die Dynamik der Umwelt und der darauf reagierenden Verteilung der jeweiligen Art, welches jedoch eines der Hauptziele dieses Projektes darstellt. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Nutzung dynamischer Modelle für Wale im Südozean zwingend notwendig ist. Die vorhandenen Sichtsungsdaten werden dabei jedoch über einen größeren Umweltparameterraum gestreut, was sich negativ auf die Aussagekraft der Modelle auswirken könnte.

Das dynamisch-visuelle Modell

Die Ergebnisse des dynamisch-visuellen Modells wurden beim Journal *Frontiers in Marine Science* am 23. Dezember 2021 veröffentlicht (El-Gabbas et al. 2021b). Das Manuskript beschreibt ganzjährige dynamische Artverbreitungsmodelle für die vier Bartenwalarten (Antarktischer Zwergwal (*Balaenoptera bonaerensis*); Antarktischer Blauwal (*B. musculus intermedia*); Finnwal (*B. physalus*); und Buckelwal (*Megaptera novaeangliae*). Die Ergebnisse der raum-zeitlichen Verteilung von geeigneten Habitaten standen im Einklang mit den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen. Für jede Art wurde die tägliche und mittlere wöchentliche Habitateignung vorhergesagt (in Form von Abbildungen und animierten Videos) und die wichtigsten Umweltfaktoren ermittelt. Die Karten der täglichen Habitateignung (2002-2019) wurden dann zu einer langfristigen mittleren monatlichen Habitateignung (Abb. 6) zusammengefasst. Darüber hinaus haben wir die räumliche und zeitliche Überschneidung zwischen den geeigneten Lebensräumen der Bartenwalarten untersucht und paarweise die räumliche Überschneidung zwischen den monatlichen Habitateignungen ermittelt und graphisch dargestellt.

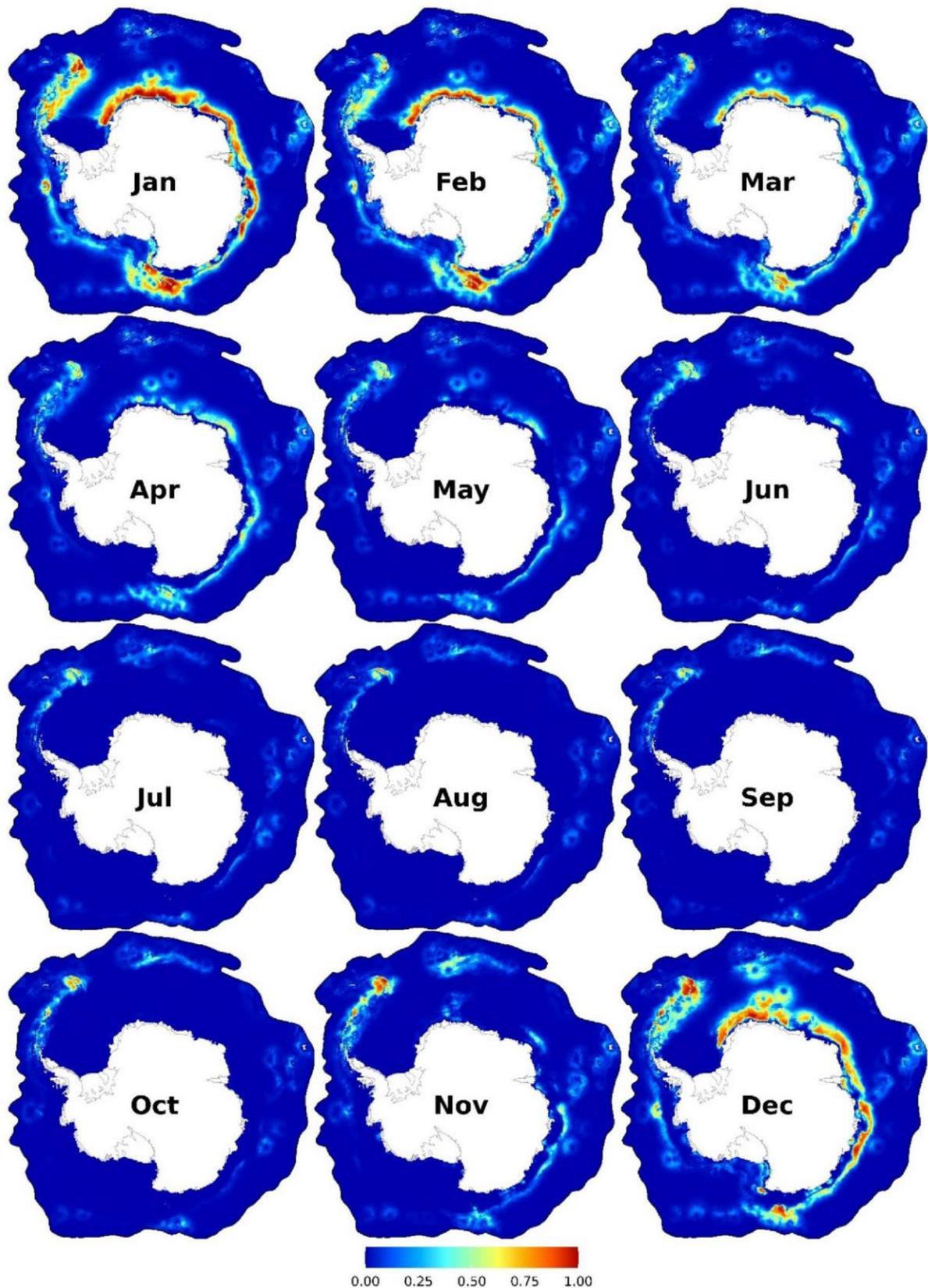


Abb. 6 Monatliche Habitateignung für Antarktische Blauwale. Die Karten repräsentieren die 90% Quartile der täglichen Habitateignung im jeweiligen Monat zwischen 2002 und 2019. Weitere Karten finden sich im Anhang zur Publikation El-Gabbas et al. 2021b.

Die überwiegende Mehrheit der visuellen Beobachtungen stammte aus dem Zeitraum von Ende Dezember bis Ende Februar. Diese offensichtliche Verzerrung der Daten zugunsten der Sommermonate ist unvermeidlich, wenn lediglich visuelle Beobachtungsdaten verwendet werden. Datenlücken durch die raum-zeitliche Verzerrung in den Sichtungsdaten machen deutlich, dass mehr Daten notwendig sind, um auch Umweltkombinationen abzudecken, die durch die derzeit verfügbaren Daten nicht dargestellt werden können, besonders im Südwinter und südlich der Meereiskante. Es ist jedoch sehr schwierig, genügend Sichtungen mit großer räumlicher Ausdehnung und feiner zeitlicher Auflösung in einem so riesigen Gebiet wie dem Südozean zu erheben.

Die dynamisch-akustischen & dynamisch-gemischten Modelle

Die Ergebnisse der dynamisch akustischen und dynamisch-gemischten Modelle sollen in der zweiten Jahreshälfte zur Publikation eingereicht werden. Da diese Arbeit noch nicht publiziert ist, stellen wir die Ergebnisse hier etwas ausführlicher vor. Vorläufiger Titel und Autoren sind:

El-Gabbas A, Van Opzeeland I, Burkhardt E, Boebel O. Year-round habitat suitability of Antarctic blue whales in the Weddell Sea: a comparison between visual and PAM species distribution models (in preparation)

Aus rechenzeittechnischen Gründen wurde hier die Weiterentwicklung der Habitatmodelle auf den Bereich des Weddellwirbels begrenzt, welcher jedoch ohnehin den räumlichen Schwerpunkt der deutschen Antarktischforschung darstellt mit der Neumayer Station bei 8°W auf dem Antarktischen Eisschelf als quasi-jährlich von RV Polarstern angelaufenem Zielpunkt. Darüber hinaus befindet sich das ozeanographische Verankerungsarray HAFOS (Hybrid Antarctic Float Observing System), mit ca. einem Dutzend über den Weddellwirbel verteilten Verankerungen, ebenfalls hier. Diese Verankerungen beherbergen auch die autonomen Unterwasserrekorder, deren Daten die Grundlage für die akustischen Detektionen und damit der akustischen täglichen Präsenz sind.

Zunächst stellte sich die Frage aus welchem Raumbereich um die Verankerung herum eine akustische Detektion stammen kann, bzw. welches die entsprechenden räumlichen Gitterpunkte der Umweltdatensätze sind. Hierzu wurde die Unterwasserschallausbreitung an den Verankerungsorten mittels der Software dBSEA (v. 2.2.5, entwickelt von Marshall Day Acoustics and Irwin Carr Consulting, UK) für den 20-Hz Komponente des Blau Z-Calls modelliert. Die Modellergebnisse zeigten jedoch die im Methodenteil beschriebenen starken Fluktuationen, sodass dieser Ansatz verworfen werden musste, und stattdessen ein unterer Grenzwert für den Empfangsschallpegel $RL = 109 \text{ dB re. } 1\mu\text{Pa}$, einen maximalen Abstand von 10 km vom Rekorder repräsentierend, gewählt wurde. Leisere Signale wurden verworfen, da der Ort ihres Entstehens als zu unbestimmt angesehen werden musste.

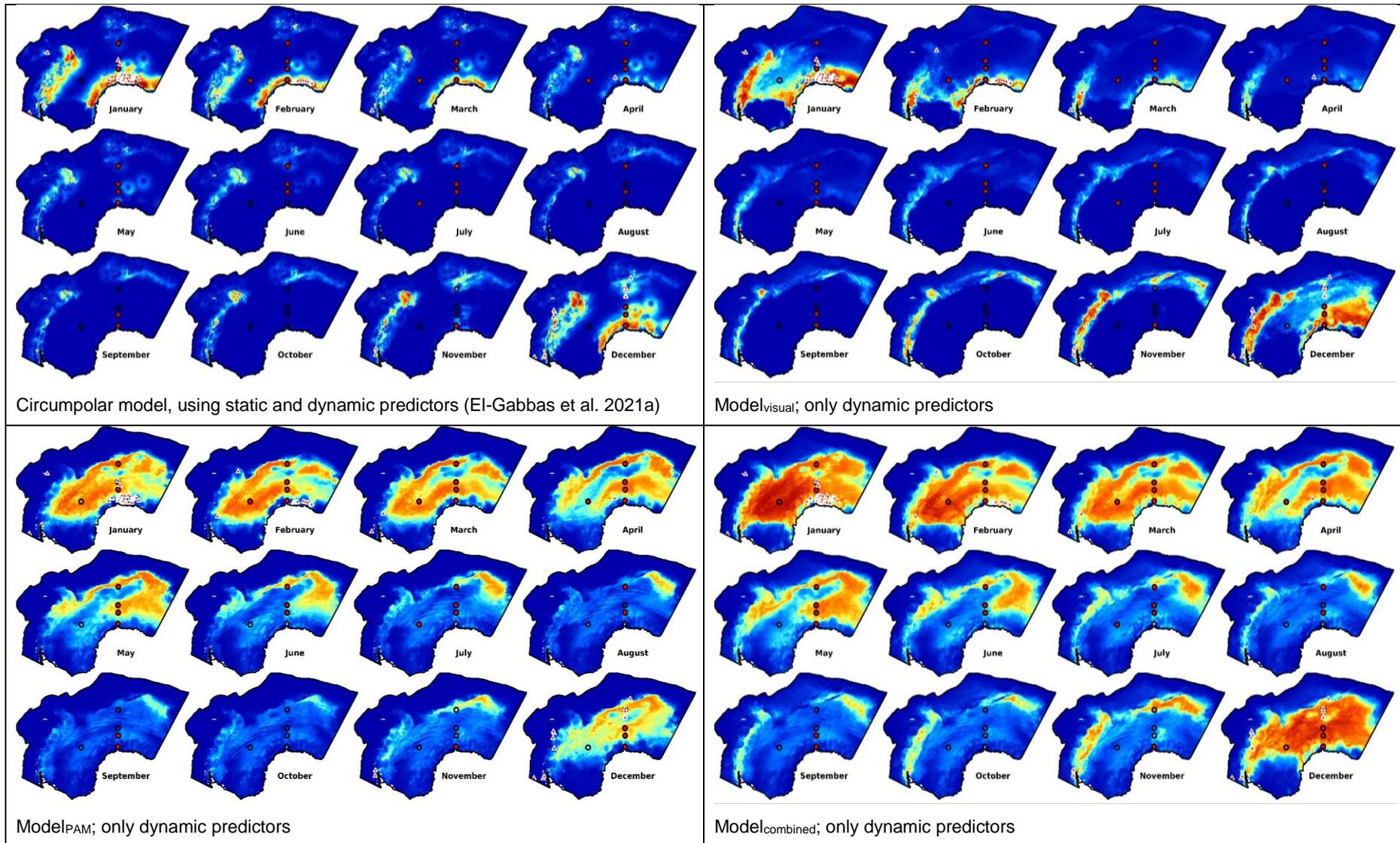


Abb. 7 Monatliche Habitateignung für ABW der vier Modelle. Die Karten repräsentieren die 90% Quartile der täglichen Habitateignung im jeweiligen Monat zwischen 2003 und 2019. Schwarze Kreise zeigen die Lokationen von PAM Rekorder, rot gefüllt falls im jew. Monat eine Detektion auftrat.

Die akustische Präsenz wurde anhand von PAM Daten von 10 Rekorder Auslagen ermittelt. Die Rekorder waren, da sie an das ozeanographische Verankerungsfeld HAFOS gebunden sind, auf lediglich 5 Positionen verteilt, von denen einige mehrmals hintereinander bestückt wurden, um mehrjährige Zeitreihen zu erheben. Die Limitierung auf wenige Positionen hatte die vorab nicht bedachte Konsequenz, dass die akustischen Präsenzdaten bezüglich ihrer statischen Umweltvariablen (z.B. Tiefe, Entfernung zur Küste, Gefälle des Meeresbodens, Entfernung zur 1,000m Isobathe) nur jeweils 5 Werte annehmen. Zum Beispiel befanden sich alle Verankerungen in Wassertiefen zwischen 3,344 m und 5,197 m, d.h. der Tiefsee und dem Fuß des Kontinentalschelfs, jedoch nicht auf dem Schelf oder über Seebergen. Würde man diese fünf Realisierungen der statischen Prädiktoren im Habitatmodell verwenden, würde dies zu einer massiven Überrepräsentation dieser Werte führen, und das Modell den Response Kurven dieser Variablen an den Verankerungspositionen höchste Habitateignungswerte zuschreiben, während der restliche Ozean als ungeeignet beschrieben würde.

Um dieses Problem zu umgehen, wurden für das dynamisch-akustische Habitatmodell ausschließlich dynamische Prädiktoren zugelassen, was sicherlich aber auch von Nachteil ist, sollte ein statischer Prädiktor wie z.B. die Wassertiefe von prägender Bedeutung sein.

Ein Schwerpunkt, der auf Basis dieser Arbeiten geplanten Publikation, ist der Vergleich der Ergebnisse der nun vorliegenden verschiedenen dynamischen Modelle:

- mit 3 statischen und 6 dynamischen Prädiktoren auf Basis visueller, zirkumpolarer Sichtungsdaten;
- mit 6 dynamischen Prädiktoren auf Basis visueller Sichtungsdaten innerhalb des Weddellwirbels;
- mit 6 dynamischen Prädiktoren auf Basis akustischer Detektionen innerhalb des Weddellwirbels;
- mit 6 dynamischen Prädiktoren auf Basis akustischer Detektionen und visueller Sichtungsdaten innerhalb des Weddellwirbels.

4. Interpretation

Modellgüte

Methodisch stellt sich die Frage, welches der entwickelten Modelle zukünftig das Mittel der Wahl sein sollte. Die Modellbewertung erfolgte anhand zweier Metriken („area under the curve, AUC“ und „true skill statistics, TSS“) anhand räumlicher Blockvalidierung. Diese Metriken können ausschließlich für Modelle angewandt werden, die das gleiche Gebiet abdecken sowie die gleichen Sichtungen Prädikatoren verwenden. Insofern sollten in Tab. 3 nur Werte innerhalb einer Zeile miteinander verglichen werden da z.B. die statischen Modelle mehr Sichtungen und andere Prädikatoren verwenden als die dynamischen.

Die Übersicht der Modellperformanz zeigt, dass die Modelle eine ähnliche Qualität zwischen den vier Walarten (Tab. 3, Zeilen 1 und 2) aufweisen. Sie legt auch nahe, dass die rein visuellen Modelle (Blauwal, Zeilen 1-3) besser abschneiden als die, in denen akustische Daten mitverwendet wurden. Dieser Vergleich ist jedoch wie oben dargelegt, nicht zulässig, dass Unterschiede der Tatsache geschuldet sein können, dass durch die zusätzlichen akustischen Daten eine umfänglichere (wahre) Komplexität (z.B. Vorkommen unter dem Meereis) in die Modellierung einbezogen wird, die von den rein visuellen Modellen ausgeblendet wird.

Tab. 3 Vergleich der Modellperformance anhand der AUC (Area under the curve)

	Antarktischer Zwergwal	Antarktischer Blauwal	Finnwal	Buckelwal
Statisch-visuelles Modell, zirkumpolar („All“)	0.85±0.07	0.86±0.13	0.80 ± 0.17	0.89 ± 0.07
Dynamisch-visuelles Modell, zirkumpolar	0.86±0.06	0.85±0.14	0.82 ± 0.09	0.90 ± 0.03
Dynamisch visuelles Modell, Weddell Wirbel		0.92±0.02		
Dynamisch akustisches Modell, Weddell Wirbel		0.78±0.15		
Dynamisch kombiniertes Modell, Weddell Wirbel		0.77±0.11		

Die relative Bedeutung der Prädikatoren untereinander wird in Habitatmodellen anhand der „Permutation Importance“ Grafiken dargestellt. Die entsprechenden Grafiken sind in den Publikationen El Gabbas et al. 2021a und b für die beiden (statisch und dynamischen) zirkumpolare Modelle gezeigt sowie in Abb. 8 für die Blauwal Modelle im Weddellmeer.

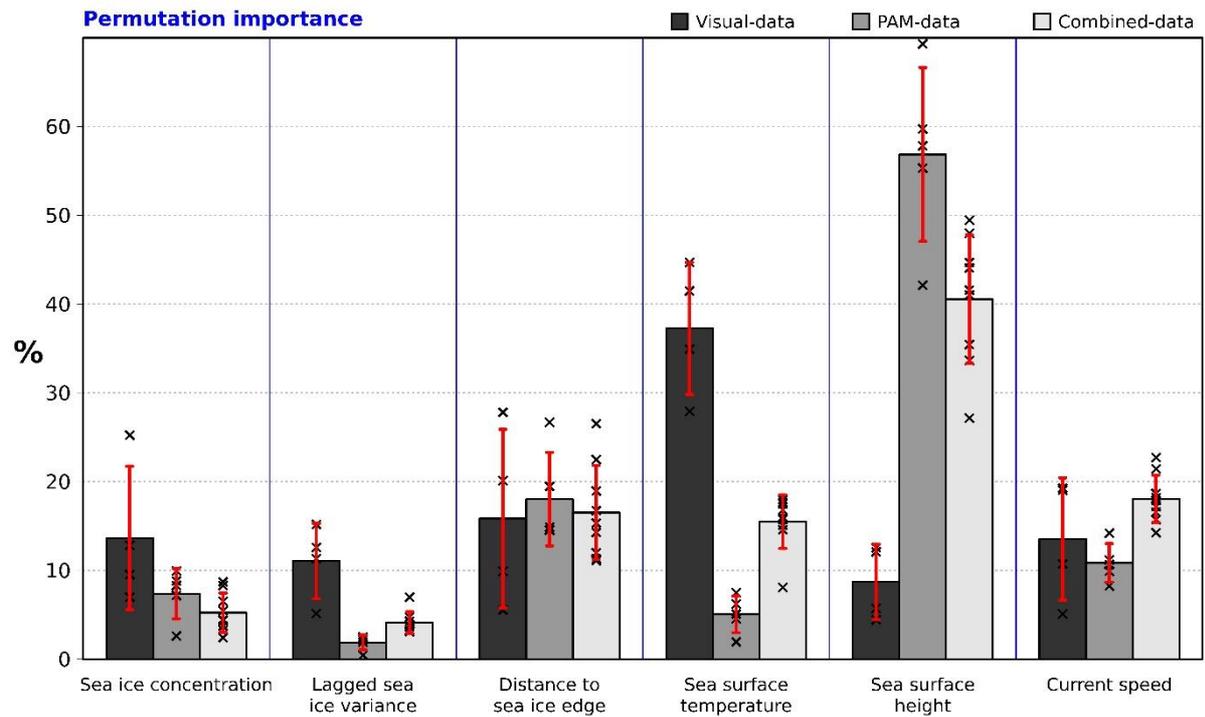


Abb. 8 "Permutation importance" der Prädiktoren der Antarktischen Blauwalmodelle im Weddellmeer gemäß Kreuzvalidierung. Unterschiedliche Grautöne repräsentieren die verschiedenen Modelltypen. Rote Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung der „permutation importance“ eines jeden Modelltyps, die x Symbole die zugrundeliegende Datenverteilung.

Antarktischer Zwergwal (Antarctic Minke whale, AMW)

Antarktische Zwergwale haben eine zirkumpolare Verteilung und sind ganzjährig im SO präsent. Das dynamische Modell sagt eine ganzjährige Habitateignung entlang der Antarktischen Inselkette und in der Ostantarktis voraus, insbesondere von Oktober bis Juni (El Gabbas 2021b, Figure 1). In dieser Region ist die Meereiskante (SIE) insbesondere im Sommer direkt in Nachbarschaft zu zwei bedeutenden ozeanographischen Merkmalen, der südlichen Grenze des ACC (sbACC) und dem kontinentalen Schelfabbruch. AMW ernähren sich hauptsächlich von Antarktischem Krill (*Euphausia superba*), für dessen zirkumpolar hohe Abundanzen dieser bekannt ist.

Zwischen Dezember und April formen weitere gut (Abb. 9, hellgrün bis gelb) geeignete Gebiete einen Bogen ostwärts von der Weddell Sea (30°W) bis zur Ross Sea (160°W) sowie nahe der Balleny Islands (Abb. 1). Diese Küstenregionen überlappen mit dem kontinentalen Schelfabhang und der tagesaktuellen Meereiskante. Küstenregionen von ca. 30°E bis 170°E überlappen mit häufigen Antarktischen Zwergwalsichtungen unabhängiger Surveys im indopazifischen Sektor des Südozeans sowie mit der Lage der sbACC. (Abb. 1).

Von November bis Februar sagen unsere Modelle hohe Eignungen an einigen Lokationen weit südlich der Meereiskante voraus, vor allem in Küstenpolynjen, z.B. am Amery und Brunt Ice Shelf, den Balleny Islands und in der Ross- und Bellingshausen Sea. Küstenpolynjen sind vermutlich biologische Hotspots innerhalb des Packeises, da sie erhöhte Primär- und Sekundärproduktion – einschließlich Krill – aufweisen sowie einerseits marinen Säugern Zugang zur Oberfläche und andererseits Seevögeln Zugang zum Wasser bieten. Präsenz von antarktischen Zwergwalen in Polynjen wurden von anderen Studien anhand von Sichtungen bestätigt. Vermutlich ist das vom Zwergwal genutzte Habitat also nicht auf die Meereiskante begrenzt, sondern erstreckt sich auch auf Polynjen und Freiwasserkanäle die das dichte Meereis durchziehen, während die geringen Sichtungszahlen innerhalb des Meereises vermutlich ein Artefakt der eingeschränkten Survey Möglichkeiten sind.

AMW sind gut an ein Vorkommen in Packeis Gebieten angepasst. Zahlreiche AMW Sichtungen existieren in dichtem gealtertem Meereis, in Pfannkucheneis und entlang der Meereiskante. Dabei nutzen sie zum Atmen häufig Wasserrinnen im ansonsten dichten Meereis oder brechen sich Löcher in Neueisregionen. Möglicherweise ist die Präferenz für meereisbedeckte Gebiete ein passiver Schutz gegen Schwertwale, die hauptsächlich in offenem Wasser vorkommen.

Die hohe Habitateignung in einigen Polynjen und die oben erwähnten Sichtungen weit südlich der Meereiskante sprechen dafür, dass AMW nicht auf Gebiete nahe der Meereiskante beschränkt sind, sondern auch Polynjen und stark vom Meereis bedeckte Gebiete innerhalb des Packeises nutzen.

Dennoch weisen die Ergebnisse eine negative Beziehung zwischen Habitateignung und der Meereiskonzentration auf, was empirischen PAM Daten widerspricht, die ein Maximum der Präsenz antarktischer Zwergwale im Winter bei hohen Meereiskonzentration zeigen. Diese Diskrepanz könnte durch die geringe Anzahl antarktischer Zwergwal-Sichtungen weit südlich der Meereiskante und bei

hohen Meereiskonzentrationen, sowie der Tatsache, dass antarktische Zwergwale hauptsächlich im Winter bei hoher Eisbedeckung rufen, erklärt werden.

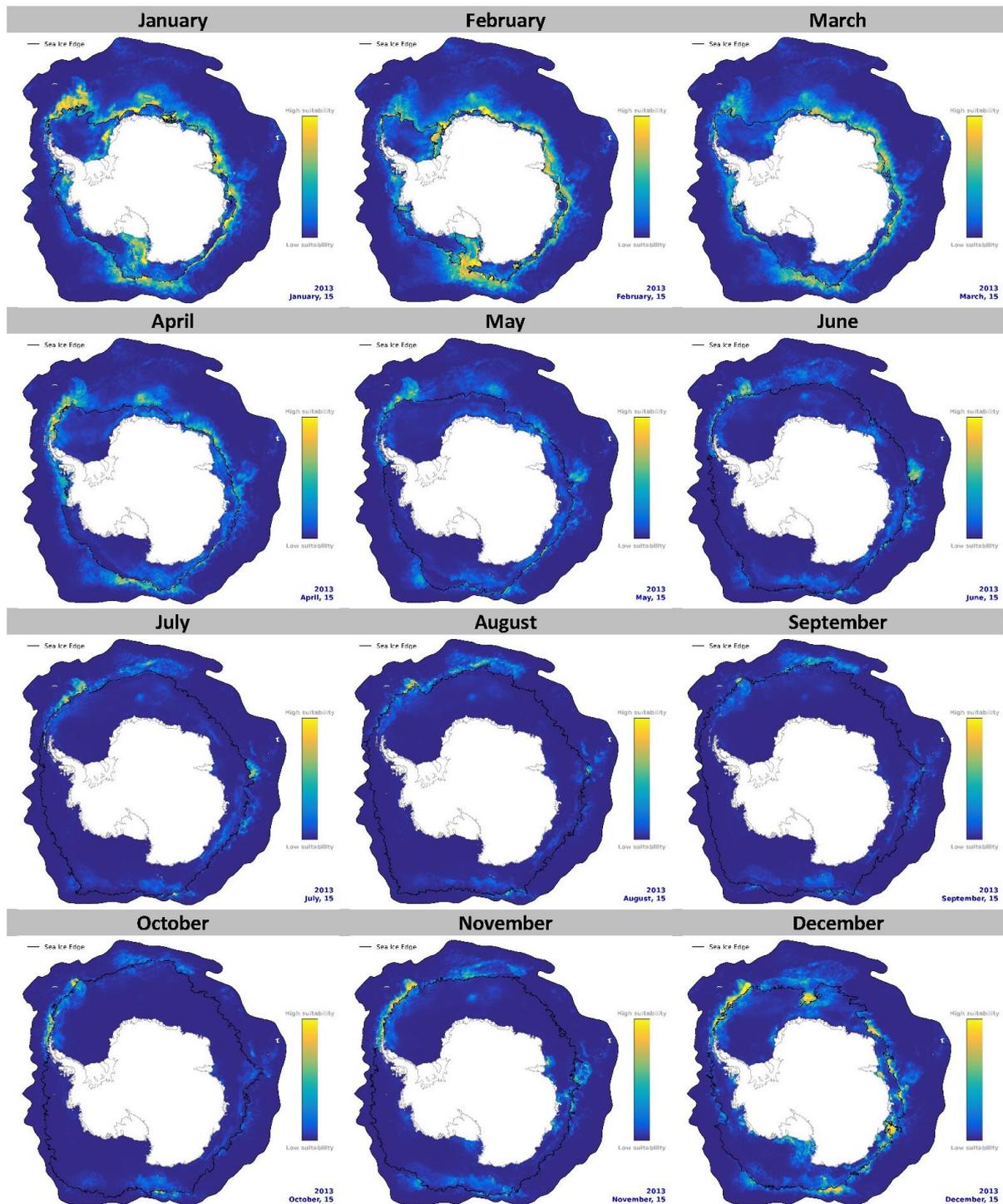


Abb. 9 Tagesspezifische Habitateignung für antarktische Zwergwale zum 15. jedes Monats im Jahr 2013. Schwarze Linie: Lage der Meereiskante.

Im statischen Modell dominieren meereisbezogene Prädiktoren (Tab. 4) das Modellverhalten, während das dynamische Modell sowohl von der tagesaktuellen Entfernung zur Meereiskante, als auch der lokalen Meerestemperatur (SST) und dynamischen Höhe (SSH) bestimmt wird.

Tab. 4 Liste der wichtigsten Prädiktoren für Antarktische Zwergwale. Statische Prädiktoren: gerade Schrift; dynamische Prädiktoren: kursive Schrift. Rangfolge gemäß räumlicher Permutationen.

	Wichtigster Prädikator	Zweitwichtigster Prädikator	Drittwichtigster Prädikator
Statisch-visuelles Modell, zirkumpolar	Entfernung zur mittleren Sommer Meereiskante	mittlere Sommer Meereiskonzentration	Varianz der Herbst Meereiskonzentration
Dynamisch-visuelles Modell, zirkumpolar	<i>SSH (Meeresoberflächenhöhe)</i>	<i>Entfernung zur Meereiskante</i>	<i>(Meeresoberflächen-temperatur)</i>

Unser AMW Modell sagt im Einklang mit anderen Studien hohe Eignungen nahe der Meereiskante voraus, unabhängig von der Meereiskonzentration. Hohe Primärproduktion und Krill Abundanzen existieren entlang und direkt südlich der Meereiskante, wovon die AMW bei ihrer Nahrungsaufnahme profitieren.

Auch wenn unser dynamisches Modell den Prädikator „distance to continental shelf break“ nicht als einen der Wichtigsten identifiziert, so wurden doch hohe Habitateignungen in dessen Nähe prognostiziert. Auftrieb, hohe Primärproduktivität und maximale Krill-Häufigkeiten werden nahe und südlich der sbACC beobachtet, was – indirekt, da diese nicht in der Liste der verwendeten Prädiktoren enthalten sind – die erhöhten Habitateignungen in dieser Region erklären könnte. Andere Modellstudien berichten ebenfalls von hohen Habitateignungen nahe der sbACC, was auch durch Satellitentracks von drei besenderten antarktischen Zwergwalen gestützt wird, die sich während des Südsommers südlich der sbACC aufhielten.

Antarktische Zwergwale werden derzeit von der International Union for Conservation of Nature (IUCN) als 'Near Threatened' eingestuft. Während die Bestandszahlen sich im 20. Jahrhundert deutlich erholt haben, legt ihr enges Verhältnis zum Meereis nahe, dass der Klimawandel – und damit das Zurückgehen des Meereises – eine signifikante Bedrohung für diese Art darstellen könnte. Es ist anzunehmen, dass ihr Habitat und ihre Nahrungsgrundlage Krill in den kommenden Jahrzehnten erheblich abnehmen werden.

Finnwal (Fin whale, FW)

Unser dynamisches Modell sagt zirkumpolar hohe Habitateignungen, hauptsächlich zwischen Dezember und Mai mit einem Maximum im Februar, voraus (Abb. 10). In Herbst und Winter treten nur in niederen Breiten niedrige bis moderate Habitateignung auf. Diese Ergebnisse stimmen weitestgehend mit dem Stand des Wissens zur Verbreitung auf Basis von Finnwal Sichtungen und historischen Walfang Daten im Südozean überein. Neuere PAM Daten zeigen jedoch, dass akustische Präsenz von Finnwalen nahe Elephant Island (Abb. 1) wesentlich später einsetzt und länger anhält als die visuellen Sichtungen (Burkhardt et al. 2021) es erkennen lassen. Finnwal 20-Hz Pulse zeigen ein

ausgeprägtes saisonales Muster und treten hauptsächlich zwischen Mitte-Februar und Juli auf, mit einem Peak in Mai und nur gelegentlichen Pulsen in den restlichen Monaten des Jahres. Die Ergebnisse des dynamisch-visuellen Modells, zusammen mit diesen Erkenntnissen aus den PAM Daten legen nahe, dass Finnwale im Südozean mindestens von Dezember bis August präsent sind.

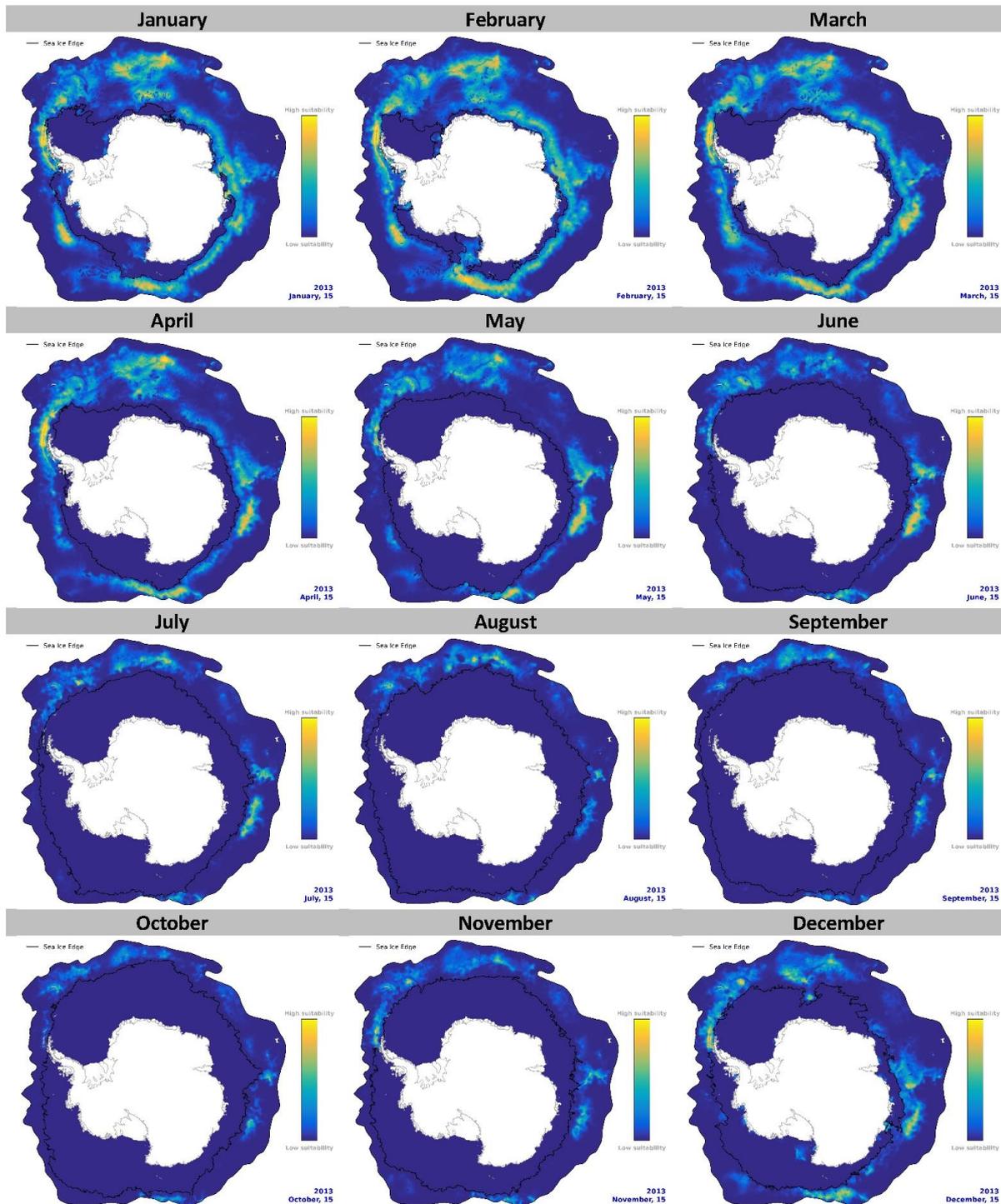


Abb. 10 Tagesspezifische Habitateignung für Finnwale zum 15. jedes Monats im Jahr 2013. Schwarze Linie: Lage der Meereisante.

Gebiete hoher Habitateignung (Abb. 10) überlappen mit bekannten Hotspots anderer Analysen wie z.B. die WAP, Elephant Island, South Orkneys, Scotia Sea, Maud Rise, der Ostantarktis and Bouvet Island. Geeignete Habitate finden sich zwischen der Southern Antarctic Circumpolar Current Front (sACCf) bis zu einer Linie südlich der sbACC (Abb. 1, rot), insbesondere westwärts entlang der WAP, nahe Bouvet Island, nördlich der Balleny Islands und in der Ostantarktis. Beide Fronten sind Gebiete hoher Produktivität mit hoher Nahrungsverfügbarkeit.

Der Einfluss der Meereisbedingungen auf Finnwal Habitat und Verhalten im SO entzieht sich bislang einer vollständigen Klärung. Unsere Modelle zeigen ein negatives Verhältnis zwischen Meereis und FW Habitateignung, i.e. eine hohe Eignung bei niedriger Meereiskonzentration, ca. 100 bis 200km nördlich der Meereiskante. Nahe der Meereiskante wird - im Gegensatz zu anderen Studien - nur geringe Eignung prognostiziert mit sehr geringen Werten südlich davon. Dies stimmt mit dem aktuellen Wissen überein, dass der Finnwal eine pelagische Art ist.

Die aktuelle Studie von Burkhardt et al. (2021) zeigt, dass FW-Vokalisationen nahe Elephant Island klar vor dem Beginn der Meereisbildung abnehmen, was nahelegt, dass die Abwanderung der Finnwale in den Norden durch andere Faktoren als dem Meereiswachstum gesteuert wird, wie z.B. einer Abnahme der Nahrungsquelle.

Abgesehen hiervon beschreibt das Modell die Küstenpolynjen der Ross Sea, nahe des Amery Ice Shelf und in der Weddell- und Bellingshausen Sea (Abb. 1) als geeignetes Habitat im Januar (Abb. 10, hellblau). Allerdings ist unbestätigt, ob diese potentiellen Habitate auch wirklich von Finnwalen genutzt werden, da ihnen der Weg dorthin bzw. von dort Richtung Norden faktisch durch dickes Meereis versperrt ist. Dies könnte durch dedizierte PAM Verankerungen in den einschlägigen Polynjen untersucht werden.

Beide visuellen Modelle benennen die Entfernung zur Meereiskante als eine der jeweils drei wichtigsten Prädiktoren: zur jeweils tagesaktuellen Lage beim dynamischen Modell und zur mittleren Sommer-Meereiskante beim statischen Modell (Tab. 5). Ein jeweils weiterer wichtiger Prädikator ist für beide Modelle von statischer Natur mit Bezug zur Bathymetrie: die Entfernung zur Küste bzw. die Entfernung zur 1000m Isobathen, mit jeweils erhöhter Habitateignung nahebei bzw. weit entfernt in den nördlichen Grenzbereichen des Untersuchungsgebiets.

Tab. 5 Liste der wichtigsten Prädiktoren für Finnwale. Statische Prädiktoren: gerade Schrift; dynamische Prädiktoren: kursive Schrift. Rangfolge gemäß räumlichen Permutationen.

	Wichtigster Prädikator	Zweitwichtigster Prädikator	Drittwichtigster Prädikator
Statisch-visuelles Modell, zirkumpolar	Entfernung zur mittleren Sommer <i>Meereiskante</i>	mittlere Sommer Meereiskonzentration	Entfernung zur Küste
Dynamisch-visuelles Modell, zirkumpolar	<i>SST (Meeresoberflächen-temperatur)</i>	<i>Entfernung zur Meereiskante</i>	<i>Entfernung zur 1000m Isobathe</i>

Ein dritter Prädiktor (mittlere Sommer-Meereiskonzentration (statisch) und Meeresoberflächentemperatur (SST)) ist im jeweils andern Modell nicht inkludiert. Dass die Entfernung zur Küste / 1000m Isobathe bzw. Entfernung zur (Sommer/tagesaktuellen) Meereiskante bei beiden Modellen hohe Signifikanz hat, kann zum einen der Tatsache geschuldet sein, dass die Sichtungen primär im Sommer und in den nördlichen Regionen gemacht wurden, wo die beiden Parameterpaare sich sehr nahekomen, oder auch, dass diese als Proxy nullter Ordnung für die Finnwal Verteilung geeignet sind.

FW werden derzeit von der IUCN als 'Vulnerable' eingestuft, wobei die Abundanz Daten für den SO sehr lückenhaft sind. Neuere Studien zeigen eine mögliche Erholung der FW Zahlen im Süden, allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hier um einen möglichen „Range shift“ handelt, der sich dadurch definiert, dass Tiere aus anderen Regionen sich räumlich verlagern und summa summarum keine Populationszunahme vorliegt. Ob es sich um eine Populationserholung oder „Range shift“ handelt, müsste anhand dedizierter genetischer Untersuchungen geklärt werden.

Buckelwal (Humpback whale, HW)

Buckelwale scheinen eisfreie Gewässer zu bevorzugen, und sie folgen südwärts wandernd den produktiven Gebieten, die zeitverzögert nach der Eisschmelze entstehen. Unser dynamisch-visuelles Modell sagt eine hohe Habitategnung entlang der WAP von Oktober bis Mai, und weniger ausgeprägt im Juni, voraus (Abb. 11). Die WAP Region ist ein bekannter HW Hotspot im Sommer und Herbst. Krill ist die primäre Nahrungsquelle der HW, und ihre Verbreitung und Wanderung ist mit dessen Verteilung assoziiert. Die an der WAP vorkommenden großen Krill Schwärme werden durch die nährstoff- und phytoplanktonreichen Gewässer ermöglicht, die nahe der Oberfläche mit dem ACC in die Region eingetragen werden und durch, in tiefen Canyons auftreibendes, nährstoffreiches Wasser verstärkt werden.

Weitere moderat bis hoch geeignete Habitats werden zwischen Dezember und März nahe Bouvet Island sowie in einem Band 200km nördlich der antarktischen Küste zwischen dem Greenwich Meridian und den Balleny Islands prognostiziert (Abb. 11). Diese Regionen passen gut zu unabhängigen Daten historischer Walfänge, PAM Aufnahmen, und weitere visueller Sichtungen.

Küstennahe Habitats (insbesondere zwischen 50° und 170°E) überlappen mit der südlichen Grenze des ACC (sbACC), einschließlich der Region direkt südlich davon, die ein bedeutendes ozeanographisches Charakteristikum für die Buckelwale darzustellen scheint. Darüber hinaus liegt diese Region nahe der Sommer-Meereiskante, die durch hohe Produktivität und Krill Abundanzen gekennzeichnet ist.

Die hohe Eignung der Bouvet Island Region stimmt mit Sommer PAM Daten sowie häufigen visuellen Detektionen und Telemetriedaten besonderer Wale überein. Diese Region weist große Vorkommen an Krill auf und stellt einen bedeutenden Nahrungsgrund für die westafrikanischen Buckelwale dar. Die Region hoher Produktivität überlappt dabei mit der südlichen Grenze des ACC sowie der südlichen

Front des ACC (sACCf, Abb. 1). Von Mai bis November hingegen wurden geringe Habitateignungen vorhergesagt.

Unsere Modelle sagen geringe Habitateignungen für das Weddell- und Rossmeer voraus. Die Absenz der Buckelwale im Rossmeer, besonders südlich von 72.5°S, ist dabei in umfangreichen Surveys besonders gut belegt. Buckelwalsichtungen vom Rossmeer sind auf den Bereich nördlich des Zugangs zum Rossmeer beschränkt, d.h. entlang des Kontinentalschelf Abhangs der Küste des Adélieland (136°E bis 142°E). Möglicherweise ist diese Absenz auf eine Vermeidung von Gebieten mit hoher Eiskonzentration durch die Buckelwale sowie ihrer Aversion gegenüber Regionen in denen Eiskrill (*Euphausia crystallophias*) als dominierende Art auftritt, zurückzuführen.

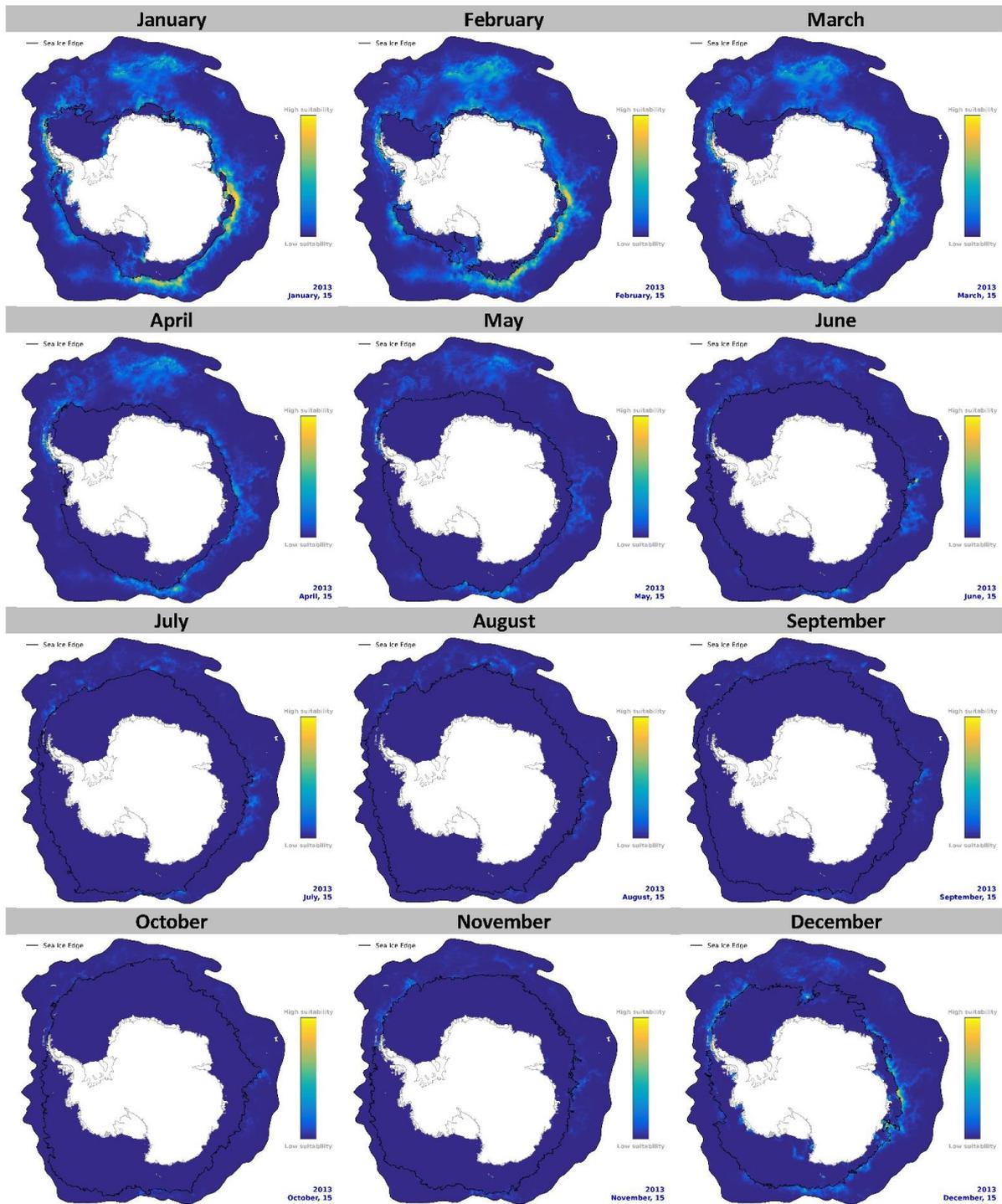


Abb. 11 Tagesspezifische Habitategnung für Buckelwale zum 15. jedes Monats im Jahr 2013 mit Lage der Meereiskante (schwarze Linie).

Die für das Weddellmeer prognostizierte geringe Eignung stimmt mit den berichteten geringen Buckelwaldichten in dieser Region überein. Sichtungen sind, mit Ausnahme entlang des Greenwich Meridians und nahe der Antarktischen Halbinsel, nicht erfasst. Nahe des Kerguelen Plateaus nordwärts weist unser Modell, mit Ausnahme der Region direkt südlich davon nahe der sbACC und SIE, geringe Habitategnungen auf, obwohl historische Fangdaten sowie neuere Sichtungs- und Satellitentag Daten diese Region als wichtigen Winternahrungsgrund ausweisen.

Die zeitliche Verteilung geeigneter Habitats (Abb. 11) passt, im Großen Ganzen, zum Stand des Wissens auf Basis visueller Sichtungen und historischer Fangdaten. Historische Fangdaten vor South Georgia und den South Shetland Islands zeigen ein Maximum im Januar, mit einem Nebenmaximum im Mai, welche gemeinhin mit der Ankunft der HW im Südozean aus den, bzw. ihrer Rückkehr in die, Fortpflanzungsgebiete assoziiert wird.

Neuere PAM Daten zeigen jedoch eine fast ganzjährige Präsenz von Buckelwalen im nördlichen Weddellmeer und an der WAP. Interessanterweise wurden geringe (Januar - Februar) bzw. keine (Dezember) akustische Buckelwalaktivität bei Elephant Island ermittelt, obwohl im Sommer eine hohe Habitateignung festgestellt wurde, verbunden mit zahlreichen Sichtungen. Ganzjährige akustische Präsenz und zufällige Sichtungen von Buckelwalen im Winter unterstützen die Annahme, dass ein Teil der Population im Winter in den Nahrungsgründen des SO verbleibt.

Unsere Modelle zeigen, dass geeignete HW Habitats, entlang und nördlich der SIE zu finden sind, wobei sie deren jährlichem Rückzug im Südfrühling und Sommer folgen. Frühere Studien legten bereits nahe, dass Buckelwale eisfreie Regionen präferieren und sich bevorzugt entlang der SIE aufhalten, vermutlich weil dort erhöhte Krill Konzentrationen zu finden sind.

Passiv-akustische Daten widersprechen jedoch der allgemein vorherrschenden Meinung, dass HW eisbedeckte Gebiete gänzlich vermeiden. Akustische HW Präsenzen wurden ganzjährig auch an Positionen mit hohen Meereiskonzentrationen ermittelt., z.B. bei PALAOA (Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic ocean). Die täglichen Habitateignungskarten zeigen dieses konkrete Beispiel jedoch nicht, vermutlich weil zu diesem Zeitpunkt keine das Modell formende visuellen Sichtungsdaten aus dieser Region vorlagen. Andere Polynjen werden jedoch vom Modell als geeignetes Habitat ausgewiesen, ein interessanter Aspekt, der weiter untersucht werden sollte.

Tab. 6 Liste der wichtigsten Prädiktoren für Buckelwale. Statische Prädiktoren: gerade Schrift; dynamische Prädiktoren: kursive Schrift. Rangfolge gemäß räumlichen Permutationen.

	Wichtigster Prädikator	Zweitwichtigster Prädikator	Drittwichtigster Prädikator
Statisch-visuelles Modell, zirkumpolar	Entfernung zur mittleren Sommer Meereiskante	Varianz der Winter Meereiskonzentration	mittlere Sommer Meereiskonzentration
Dynamisch-visuelles Modell, zirkumpolar	<i>SST (Meeresoberflächentemperatur)</i>	<i>Entfernung zur Meereiskante</i>	<i>SSH (Meeresoberflächenhöhe)</i>

Beide visuellen Modelle benennen die Entfernung zur Meereiskante als eine der jeweils drei wichtigsten Prädiktoren: zur tagesaktuellen Lage beim dynamischen Modell und zur mittleren Sommer-Meereiskante beim statischen Modell (Tab. 6) mit präferierten Habitats nördlich davon. Die weiteren wichtigsten Prädiktoren unterscheiden sich zwischen den Modellen, wobei sie im jeweils anderen Modell nicht in die Modellierung einbezogen waren: mittlere Sommer-Meereiskonzentration und Varianz der

Winter-Meereiskonzentration im statischen Modell und SSH (Meeresoberflächenhöhe) sowie SST (Meeresoberflächentemperatur) im dynamischen Modell.

Aktuelle Studien belegen wie empfindlich HW im SO auf El Nino und damit auch auf langfristige klimatologische Änderungen reagieren können, die u. A. mittels Änderungen in der zirkumpolaren Strömung die Verteilung von Krill beeinflussen. Falls auf Grund des Klimawandels zukünftig positive El Nino Phasen gehäuft auftreten sollten, ist nicht auszuschließen, dass dieses die Struktur und Eignung der HW Nahrungsgebiete und damit das gesamte SO Ökosystem beeinflusst.

Antarktischer Blauwal (Antarctic blue whale, ABW)

ABW zeigen im Zeitraum von Juni bis September eine geringe bis mittlere Habitateignung (Abb. 6 und Abb. 7) im nördlichen Untersuchungsgebiet. Von November bis März, nach Rückzug des Meereises, entwickeln sich einige Gebiete mit hoher Habitateignung weiter südlich. Zwischen April und Juli wiederum ziehen sich die geeigneten Habitate als Folge der erneuten starken Ausdehnung des Meereises nach Norden zurück.

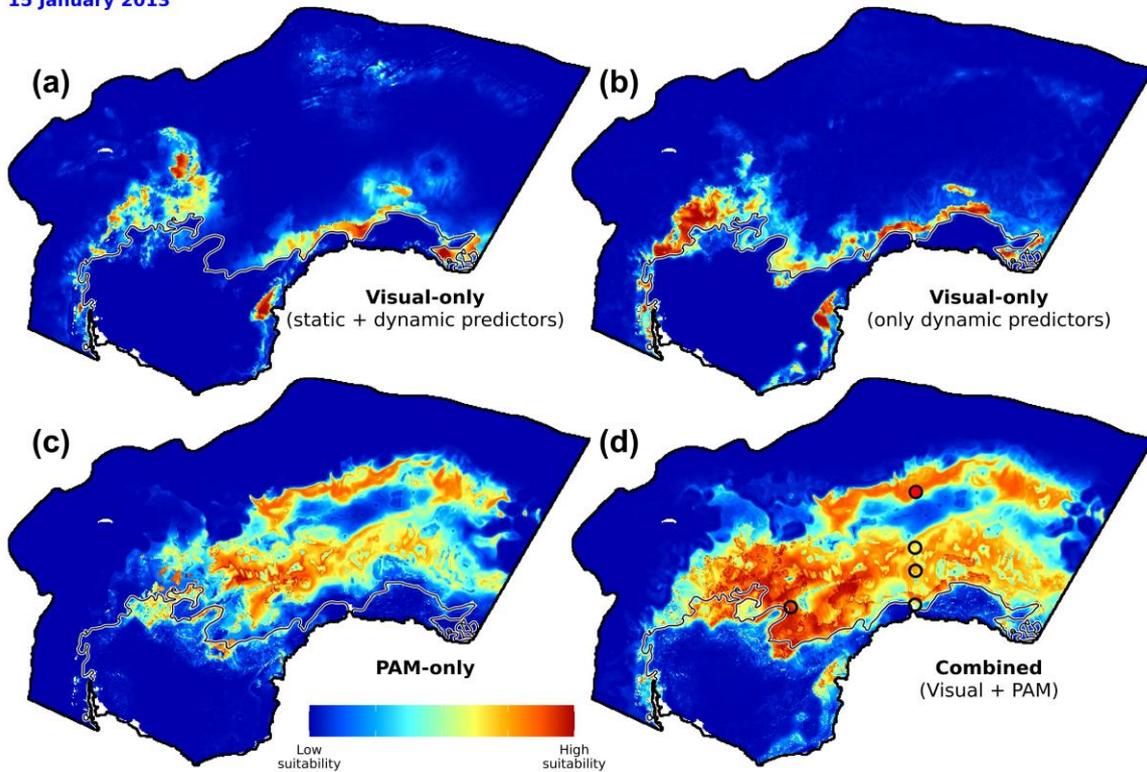
Abb. 12 zeigt Schnappschüsse der Blauwal Habitateignungen für den 15. Januar (Sommer) und den 15. Juli 2013 (Winter) einschließlich der Lage der Meereiskante (schwarz-graue Linie) für die Weddellmeer spezifischen Modelle sowie das zirkumpolare dynamisch visuelle Modell. Alle Modelltypen ergeben im Winter eine ähnliche Verteilung der Habitateignung für ABWs, zeigen jedoch deutliche Unterschiede im Sommer: Visuelle Modelle sagen geeignete Habitate hauptsächlich nahe der SIE bei niedriger bis mittlerer SIC vorher. Akustische Modelle identifizierten geeignete Habitate auch in weiterer Entfernung zur SIE und bei erhöhten Werten der SIC, sowie eine hohe Habitateignung von August bis Oktober mitten im Indischen Ozean (57°S, 30°E), ungefähr auf halber Entfernung zwischen antarktischen Kontinent und Südafrika. Das kombinierte VIS+PAM Modell ergab im Vergleich mit der Habitateignung der beiden unabhängigen rein visuellen und akustischen Modelle ein ausgedehntes Gebiet hochgeeigneter Habitate, welches die Bereiche hoher Habitateignung der beiden letztgenannten Modelle überdeckte (Abb. 12 d, Januar).

Gebiete nahe der Meereiskante wurde in allen Modellen eine hohe Habitateignung zugewiesen, wobei $\text{Modell}_{\text{visual}}$ und $\text{Modell}_{\text{combined}}$ hohe Habitateignung näher an der SIE angeben als das $\text{Modell}_{\text{PAM}}$. Die Verwendung von PAM Daten ergab zusätzlich hohe Habitateignungen in größerer Entfernungen zur Meereiskante; bei ca. 1000 km nördlich und südlich der Meereiskante sowie in Regionen mit höherer Meereiskonzentrationen (Abb. 12 c+d, Januar).

Während die beiden visuellen Modelle (Abb. 12 jeweils obere Zeile) zu beiden Jahreszeiten geeignete Habitate nur nördlich der Eiskante verorten, weisen die akustischen Daten (mit-)verwendenden Modelle (jeweils untere Zeile) auch die Regionen südlich der Meereiskante als geeignete Gebiete aus. Darüber hinaus wird auch der östliche Weddellwirbel als geeignetes Sommerhabitat beschrieben, wohingegen diese Region in den visuellen Modellen als eher ungeeignet erscheint.

Modell_{PAM} sagt deutlich ausgedehntere geeignete Habitats als Modell_{visual} voraus. Diese überlappen mit einer wichtigen ozeanografischen Region, dem Weddellwirbel, in dem große Krill Populationen in wesentlich höheren Konzentrationen als in anderen Bereichen des SO auftreten.

15 January 2013



15 July 2013

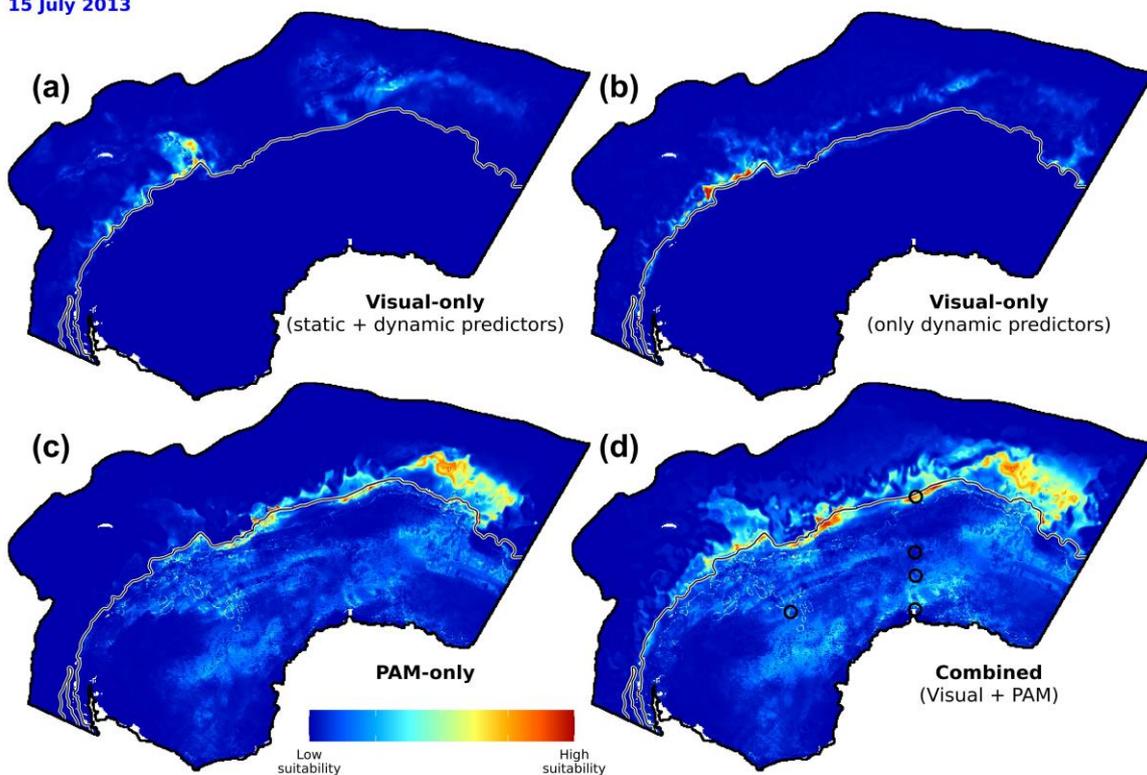


Abb. 12 Tagesspezifische Habitateignung des Antarktischen Blauwal am 15. Januar (obere 4 Panels) und 15. Juli 2013 (untere 4 Panels) unter Verwendung von: a) zirkumpolaren Sichtungsdaten mit statischen und dynamischen Prädiktoren; b) Sichtungsdaten aus dem Weddellwirbel mit dynamischen Prädiktoren; c) akustischen Detektionen aus dem Weddellwirbel mit ausschließlich dynamischen Prädiktoren; und d) Sichtungsdaten und akustischen Detektionen aus dem Weddellwirbel mit dynamischen Prädiktoren. Die schwarz-graue Linie repräsentiert die Meereiskante (15% Eisbedeckung), die schwarzen Kreise in (d) die Positionen der Verankerungen.

Im Modell_{visual} hat das Gebiet von der Western Antarctic Peninsula (WAP) ostwärts bis zu den South Sandwich Islands ganzjährig eine moderate bis hohe Habitateignung. Diese Region überlappt mit der Lage der sbACC, dem Jahresmittelwert der Lage der Meereiskante sowie teilweise dem Kontinentalabbruch. Diese ozeanographischen und bathymetrischen Charakteristika sind durch hohe saisonale Primärproduktivität und Antarktischem Krill (*Euphausia superba*, der Hauptnahrungsquelle von ABW) Abundanzen gekennzeichnet. Der Kontinentalabhang ist dabei, zumindest in den beiden, statische Prädiktoren zulassenden, Modelle, ein wichtiger Prädiktor für den ABW (Tab. 7). Diese hochgeeignete Region, bis hin zu Südgeorgien, wird als bedeutendes ABW Nahrungsgebiet angesehen und war die primäre Lokation des kommerziellen Walfangs.

Historische Fangdaten zeigen eine ganzjährige Präsenz von Blauwalen in dieser Region, was in ihrer nahezu vollständigen lokalen Ausrottung mündete. Jüngere Studien zeigen jedoch, dass Blauwale in dieses Gebiet zurückkehren. Auch wenn unsere Modelle dort, vermutlich aufgrund fehlender Sichtungsdaten, keine hohe Habitateignung zeigen, so weist das Band hoher Habitateignung von der WAP bis zu den South Sandwich Islands, dass diese Region wichtig für die Blauwale ist.

Die visuellen Modelle prognostizieren zwischen Dezember und März ein schmales Band hoher Habitateignung nahe der antarktischen Küste (Abb. 12 a+b, Januar), den Kontinentalabbruch, Küstenpolynjen im Dezember, und die Meereiskante während dieser Monate überlappend. Das akustische Modell_{PAM} hingegen prognostiziert ein breiteres Muster an geeignetem Habitat im gesamten Weddellwirbel (Abb. 12 c, Januar). Der Weddellwirbel beherbergt große Krillpopulationen in, im Vergleich mit anderen Regionen des Südozeans, deutlich erhöhten Dichten, ein möglicher Treiber der Eignung dieser Region.

Hervorstechend ist, dass im atlantischen Sektor des Südozeans die nördliche Grenze der hochgeeigneten Gebiete in allen Modellen mit der Lage der sbACC zusammenfällt, was von visuellen Sichtungs- und Fangdaten sowie unabhängigen passiv-akustischen Studien bestätigt wird. Die sbACC scheint somit ökologisch relevant zu sein, möglicherweise weil nahegelegene Gebiete saisonal hohe Primärproduktion und Krill Abundanzen aufweisen. Allerdings sind visuelle und akustische ABW Detektionen auf die Region südlich der sbACC begrenzt, was sich in der modellierten geringen Habitateignung nördlich davon widerspiegelt. Da die Region nördlich der sbACC nahezu immer eisfrei ist und auch sonst Umwelteigenschaften aufweist, die sich von denen an den Lokationen der akustischen Rekorder unterscheiden, ist es naheliegend, dass die Modelle dieser Region keine hohe Eignung zuschreiben.

Die wichtigsten Prädiktoren in allen ABW Modelltypen bezogen sich auf meereisbezogene Parameter (Meereiskonzentration, Entfernung zur Meereiskante und Varianz der Frühjahrs Meereiskonzentration,

insges. 7 Vorkommnisse) sowie zu gleichen Teilen (je 2 Vorkommnisse) auf SSH , SST, Entfernung zur 1000m Isobathe sowie Stärke der Strömung.

In hohen Breiten halten sich ABW hauptsächlich nahe der Meereiskante auf. Gebiete nahe der Meereiskante sind bekanntermaßen hoch produktiv und häufig reich an Krill. Das Modell_{visual} prognostizierte hohe Habitateignungen nahe der Meereiskante, ihrem Rückzug oder Vorstoß dynamisch folgend. Sichtungen sind dabei auf Grund Einschränkungen in der Befahrbarkeit eisbedeckter Gebiete größtenteils auf die Region außerhalb des Meereises begrenzt. Diese räumliche Bevorzugung beschränkt die Fähigkeit des Modell_{visual} hohe Habitateignungen südlich der SIE zu modellieren. PAM Daten von Lokationen südlich der SIE hingegen erfassen ein breiteres Spektrum an Umweltdaten, insbesondere hinsichtlich der genannten beiden Parameter, einschließlich Werte hoher SIC. Neben einer hohen Habitateignung nahe der SIE weist dabei das Modell_{PAM} hohe Habitateignungen auch in großer Entfernung zur und auf beiden Seiten von der Meereiskante aus.

Tab. 7 Die wichtigsten Prädiktoren des Antarktischen Blauwal. Statische Prädiktoren: gerade Schrift; dynamische Prädiktoren: kursive Schrift. Rangfolge gemäß räumlichen Permutationen.

	Wichtigster Prädiktor	Zweitwichtigster Prädiktor	Drittwichtigster Prädiktor
Statisch-visuelles Modell, zirkumpolar	Varianz der Frühjahrs Meereiskonzentration	mittlere Sommer Meereis-konzentration	Entfernung zur 1000m Isobathe
Dynamisch-visuelles Modell, zirkumpolar	Meereiskonzentration	SST (Meeresoberflächen-temperatur)	Entfernung zur 1000m Isobathe
Dynamisch visuelles Modell, Weddell Wirbel	<i>SST (Meeresoberflächen-temperatur)</i>	<i>Entfernung zur Meereiskante</i>	<i>Meereiskonzentration</i>
Dynamisch akustisches Modell, Weddell Wirbel	<i>SSH (Meeresoberflächenhöhe)</i>	<i>Entfernung zur Meereiskante</i>	<i>Stärke der Strömung</i>
Dynamisch kombiniertes Modell, Weddell Wirbel	<i>SSH (Meeresoberflächenhöhe)</i>	<i>Stärke der Strömung</i>	<i>Entfernung zur Meereiskante</i>

Habitateignungen des Modell_{visual} and des Modell_{PAM} korrelieren negativ mit der Meereiskonzentration. Dennoch wurden ABW akustisch bei hoher SIC detektiert, nahelegend, dass ABW gelegentlich auch in dichtes Meereis wandern. Lokale Küstenpolynjen südlich der Meereiskante dienen eventuell dem ABW als Möglichkeit zur Nahrungsaufnahme und zum Atmen, mit der Möglichkeit dort auch zu überwintern. Unsere Berechnungen der Meereiskante zeigen persistente Polynjen am Brunt -, Filchner und Rönne Ice Shelf von November bis März, ganzjährig entlang der WAP und von September bis Dezember sowie

im Mai und Juni bei Maud Rise. Bezüglich letzterer Region sagt das Modell_{PAM} hohe Habitategnung von Dezember bis Juni voraus, möglicherweise befördert durch lokalen Auftrieb und große Krill Schwärme auch im Winter. Allerdings steht ein direkter Beweis der ABW Präsenz bei Maud Rise im Winter noch aus.

Ungeachtet des offensichtlichen direkten Einflusses der SIE und der SIC auf die vorhergesagten Habitate des ABW, wiesen die Modelle die Prädikatoren SST und SSH als wichtig aus. Die Habitategnung hat ein Maximum im Bereich von -1.5°C bis $+1.5^{\circ}\text{C}$, was im Wesentlichen mit dem Jahresgang der im Weddellwirbel auftretenden Wassertemperaturen übereinstimmt. Hohe Habitategnungen wurden im SSH Bereich zwischen -1.4 m bis -1.2 m ermittelt, was ebenfalls mit den im Weddellwirbel auftretenden Werten übereinstimmt.

Auch wenn ein Prädikator „Produktivität“ für die Modellierung nicht direkt zur Verfügung steht, so weisen die modellierten Vorhersagekarten dennoch darauf hin, dass hohe Habitategnungen auf Regionen mit hoher Produktivität hinweisen: Modell_{visual} sagte im Weddellmeer eine ganzjährige, mittlere bis hohe Habitategnung in Bereichen vorher, die mit der Lage des sbACC (südliche Grenze des ACC), der jährlichen Lage der SIE und teilweise mit dem Kontinentalschelfabhang überlappen, allesamt Regionen, die auch in anderen Studien als wichtige Gebiete für ABWs beschrieben wurden und häufig durch hohe saisonale Primärproduktivität und große Mengen an Antarktischem Krill gekennzeichnet sind und damit wichtige Lebensräume für viele Meeressäuger- und Seevogelarten beschreiben.

Die Habitategnungsmuster unserer Modelle stützen das allgemeine Migrationsparadigma, nach dem ABW zwischen hochproduktiven Nahrungsgebieten in hohen Breiten und Fortpflanzungsgebieten in niederen Breiten hin und her pendeln. Allerdings weist die nahezu ganzjährige akustische Präsenz und die für manche Gebiete vorhergesagte Habitategnung darauf hin, dass diese Migration nicht zwingend ist. AWB Verhaltensweisen schließen vermutlich sowohl eine teilweise als auch zeitliche versetzte Migration ein.

Es wird erwartet, dass zum Ende des 21. Jahrhunderts die AWB einem weiteren substantiellen Rückgang in ihren Bestandszahlen unterliegen werden, bedingt u. A. durch den erwarteten Rückgang des Krills durch Überfischung und Verlusts des Meereises durch den Klimawandel.

Ökologische Vielfalt

Bei der Bewertung der Habitat-Überschneidungen, zeigt die dynamisch visuelle Modellierung zwischen Greenwich (0°) ostwärts bis zur Datumsgrenze (180°) ein Kernhabitat (**Abb. 13** unten, schwarzer Bereich), welches für alle vier Arten als geeignet prognostiziert wird. Nördlich davon erstrecken sich Buckel- und Finnwal Habitate (**Abb. 13** oben blauer und grüner Bereich) weiter gen Norden. Zwergwale hingegen weisen weiter südlich gelegene Erweiterungen auf (**Abb. 13** oben rote Bereiche).

Anders gestaltet sich die Situation in der Westantarktis. Der Kernbereich ist dort weniger ausgeprägt und stark segmentiert. Antarktische Blau und Zwergwale dominieren die Amundsensee, während entlang der Antarktischen Inselkette Zwergwalhabitate in das größere Finnwal Habitat eingebettet sind.

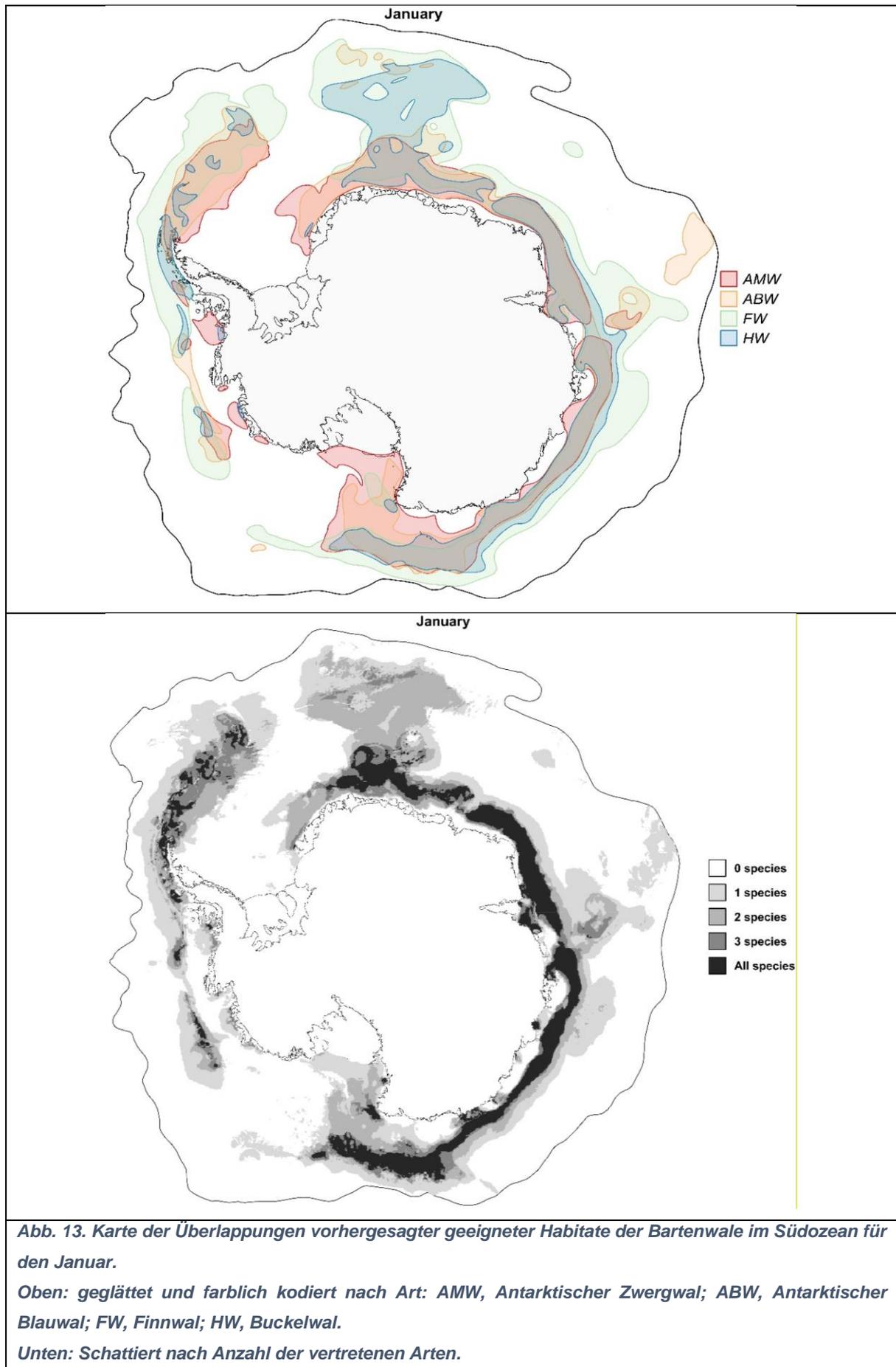


Abb. 13. Karte der Überlappungen vorhergesagter geeigneter Habitate der Bartenwale im Südozean für den Januar.

Oben: geglättet und farblich kodiert nach Art: AMW, Antarktischer Zergwal; ABW, Antarktischer Blauwal; FW, Finnwal; HW, Buckelwal.

Unten: Schattiert nach Anzahl der vertretenen Arten.

5. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Direkter Nutzen

Habitatmodelle dienen zwei Zielen:

- 1) Der Identifikation und quantitativen Verknüpfung des Einflusses von Umweltparametern (Prädiktoren) auf die Habitateignung.
- 2) Die raum-zeitliche Identifikation besonders geeigneter Gebiete (ohne notwendigerweise die unter (1) fallenden Mechanismen wirklich verstanden zu haben).

Im Rahmen des Walschutzes als Aufgabe der IWC kommt insbesondere der zweite Aspekt zum Tragen. Während das erstellte statisch-visuelle Habitatmodell lediglich eine ganzjährige statische Festlegung von Schutzgebieten erlaubt, lassen die zwei dynamischen Modelltypen hingegen eine maximal tagesaufgelöste Festlegung zu, die im Extremfall auf den Prädiktorwerten des Vortages basieren könnte. Dies mag für viele Anwendungen (z.B. Fischereimanagement und Lenkung des Tourismus) zu dynamisch sein, jedoch lassen sich problemlos (bi-)wöchentlich gemittelte Karten, die den nautischen Gepflogenheiten angepasst sind, erstellen.

Beide Publikationen des Projektes (El-Gabbas et al. 2021a und El-Gabbas et al. 2021b) wurden unter Open Access Policy publiziert. Dies stellt die weitestmögliche Verbreitung dieser Publikationen, ohne eventuelle Beeinträchtigungen durch Kosten für den Leser, sicher.

Beide Publikationen des Projektes (El-Gabbas et al. 2021a und El-Gabbas et al. 2021b) enthalten ausführliche Anhänge und Zusammenstellungen von Modelldaten und -ergebnissen. Um deren Inhalte für Interessierte leichter nutzbar zu machen, wurde die Verbreitung der Sichtungsdaten der einzelnen Arten sowie die wichtigsten Ergebnisse der statischen und dynamischen Artverbreitungsmodelle in öffentlich zugänglichen Web Anwendungen zur Verfügung gestellt:

Shiny App

<https://awi-oza.shinyapps.io/BaleenWhales>

Ein interaktives Portal, auf dem Nutzer den verfügbaren Datensatz nach bestimmten Kriterien (z.B. Art, Beobachtungsjahr bzw. -monat, definierter Zeitraum, Koordinaten oder Datenquellen) filtern können und die gefilterte Datensätze dann als statische oder interaktive Karte graphisch dargestellt lassen können.

- Interaktive Karte der visuellen Walsichtungen
- Vorhersagen der statisch-visuellen Habitatmodelle
- Vorhersagen der dynamisch-visuellen Habitatmodelle

Figshare Repository

(https://figshare.com/articles/media/Yearround_habitat_suitability_of_baleen_whales_in_the_Southern_Ocean/16611556)

Acht Videos täglicher und wöchentlicher dynamisch modellierter Habitatsignung für AMW, ABW, FW, HW im zirkumpolaren Südozean.

- Daily predicted habitat suitability (2003-2019) for the Antarctic minke whales in the Southern Ocean
- Mean weekly habitat suitability (2003-2019) for the Antarctic minke whales in the Southern Ocean
- Daily predicted habitat suitability (2003-2019) for the Antarctic blue whales in the Southern Ocean
- Mean weekly habitat suitability (2003-2019) for the Antarctic blue whales in the Southern Ocean
- Daily predicted habitat suitability (2003-2019) for the fin whales in the Southern Ocean
- Mean weekly habitat suitability (2003-2019) for the fin whales in the Southern Ocean
- Daily predicted habitat suitability (2003-2019) for the humpback whales in the Southern Ocean
- Mean weekly habitat suitability (2003-2019) for the humpback whales in the Southern Ocean

Youtube:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLdpRuazqmy6Es97xn0TbWi91XtLd8Wf5i>.

Inhalt analog zu den Figshare Videos

Um die langfristige wissenschaftliche Verfügbarkeit der Ergebnisse der dynamisch-visuellen Modelle sicherzustellen, wurden diese beim Welt Daten Zentrum PANGAEA zusammen mit einer Datenbeschreibung zur Archivierung eingereicht. Die Datensätze befinden sich zurzeit in der Kuration, mit einer Veröffentlichung rechnen wir im Laufe des Jahres 2022. Die Daten werden unter CC-BY 4.0 zur freien Verwendung unter Nennung der Quelle lizenziert.

- El-Gabbas A; van Opzeeland I; Burkhardt E; Boebel O (2022) Year-round habitat suitability of Antarctic minke whales (*Balaenoptera bonaerensis*) in the Southern Ocean. PANGAEA (awaiting for DOI).
- El-Gabbas A; van Opzeeland I; Burkhardt E; Boebel O (2022) Year-round habitat suitability of Antarctic blue whales (*Balaenoptera musculus intermedia*) in the Southern Ocean. PANGAEA (awaiting for DOI).
- El-Gabbas A; van Opzeeland I; Burkhardt E; Boebel O (2022) Year-round habitat suitability of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Southern Ocean. PANGAEA (awaiting for DOI).
- El-Gabbas A; van Opzeeland I; Burkhardt E; Boebel O (2022) Year-round habitat suitability of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Southern Ocean. PANGAEA (awaiting for DOI).

Dass ein konkretes Interesse an diesen Daten vorhanden ist, zeigt sich an einer kürzlich eingegangenen Anfrage unserer Kollegen aus den USA (Namensnennungen wurden zum Zwecke des Datenschutzes entfernt):

“Dr. El Gabbas,

I was really impressed by your 2021 papers in Diversity and Distributions and Frontiers in Marine Science on baleen whale distribution modeling in the Southern Ocean. I am getting in touch to ask about the availability of the data layers that inform [your Shiny app](#).

Specifically, 1) could you pass along the rasters from the predictions for use in some scenario planning exercises we are hoping to undertake? 2) is the underlying database of sightings available for use as well? The predictive rasters would be critical but the raw data would also be helpful.

Happy to chat more if you are interested!

Thank you in advance for your help,

YYY“

Wir sind derzeit in Kontakt mit den anfragenden Kollegen, um zu eruieren, welche Daten genau benötigt werden und wie wir sie bereitstellen können.

Es ist geplant, die Ergebnisse der dynamisch-akustischen und dynamisch-gemischten Modellierung auf ebendiesen Kanälen öffentlich zugänglich zu machen, sobald die entsprechende Publikation zur Veröffentlichung angenommen ist. Wie bei der Publikation zuvor nutzen wir hier den Review Prozess der Publikation dazu, die Qualität der veröffentlichten Daten sicherzustellen.

Summa summarum wurden, wie oben dargelegt, unsere Ergebnisse sowohl dem Fachpublikum als auch weiteren Interessenten auf einer Vielzahl von Kanälen zugänglich gemacht und ihre Verfügbarkeit auch nach Projektende sichergestellt. Ihr Nutzen – abgesehen vom inhärenten Wissenszuwachs, liegt z.B. in der Möglichkeit hiermit Vorschläge für ein Schutzgebiet (z.B. im Weddellmeer) im Rahmen von CCAMLR (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources) oder der IWC wissenschaftlich zu begründen. Darüber hinaus lassen sich die Daten für eine strategische Planung lauter schallproduzierender Aktivitäten, wie z.B. der marinen Seismik, einsetzen, um den anthropogenen Einfluss auf marine Säuger zu minimieren.

Sich auf die in El Gabbas et al., 2021b publizierten Ergebnisse beziehend, weist der Bericht des wissenschaftlichen Komitees der IWC (IWC SC68D 8.2.3.6., 2022) darauf hin, dass der dynamische Modellierungsansatz Unstimmigkeiten zwischen Sichtungen und Umweltbedingungen minimieren könnte und möglicherweise für die laufenden Arbeiten zu Auswirkungen von Umweltveränderungen auf die Erholung der Population von Südlichen Gattwalen von Relevanz ist (siehe *item* 9.2.4.5; IWC, 2020).

Das wissenschaftliche Komitee der IWC empfiehlt desweiteren die Fortführung der Intersessional Correspondence Group unter Mitwirkung der projektbezogenen AWI Mitarbeiter El-Gabbas und Burkhardt und die Möglichkeiten dynamischer Modellierung weiter zu verfolgen, um

- (1) die Empfehlungen für Habitatmodelle einzelner Arten zu finalisieren;
- (2) Empfehlung für Habitatmodellierungen multipler Arten zu entwerfen;
- (3) Eine Literaturrecherche zu (1) und (2) durchzuführen;
- (4) Simulationsplattformen zur Bewertung von Habitatmodellen zu entwickeln.

Ausblick

Für die Schätzung von Tierdichten sind visuelle Sichtungsdaten, die mit Hilfe von Linientransekten (line transects) oder anderen Formen der distance sampling Methode gesammelt werden, das primäre Mittel der Wahl. Passiv-akustische (PAM) Daten können ebenfalls für eine solche Dichtebestimmung herangezogen werden, sofern ein geeignetes Erhebungsdesign verwendet wird und das akustische Verhalten der Zielarten hinreichend gut bekannt ist (Marquez et al. 2013). Darüber hinaus gibt es jedoch eine Reihe von Anwendungen für unsere Daten und Modelle, die Studien zu Habitaten und Abundanzschätzungen auf verschiedene Weise unterstützen können.

- 1) Anhand von Ruf-Indizes lässt sich die relative Häufigkeit akustisch aktiver Arten ermitteln. Ruf-Indizes lassen sich nicht in absolute Tierzahlen umrechnen, aber sie können Zeiträume mit Spitzenwerten an Rufen und der Anwesenheit von Tieren in Gebieten von Interesse ermitteln, die für Managementangelegenheiten von Bedeutung sein können. Des Weiteren können die Ruf-Detektionen auf den Erfassungsbereich normalisiert werden (d.h. unter der Berücksichtigung der Reichweite, in der Rufe auf Grundlänge ihres Schallpegels und der lokalen Schallausbreitung detektiert werden können), was jedoch eine Reihe von Annahmen erfordert. Dieser Ansatz kann Vergleiche der Ruhhäufigkeit zwischen verschiedenen Standorten unter besonderer Berücksichtigung standortspezifischer Habitatmerkmale ermöglichen und auf diese Weise Einblicke in die Habitatnutzung geben oder als Grundlage für die Konzeption visueller Surveys dienen.
- 2) Durch die Kombination der Habitateignungskarten, die unsere Modelle erstellt haben, mit Daten zur tatsächlichen Tierdichte aus speziellen visuellen Erhebungen (z.B. Linientransekten) ist es möglich, Tierdichten auch für nicht erfasste Gebiete zu extrapolieren (Mannocci et al., 2015). Für den Südlichen Ozean sind solche Daten zur Tierdichte nur spärlich vorhanden und konzentrieren sich auf bestimmte Regionen, z. B. die Antarktische Halbinsel (z. B. Viquerat & Herr 2017). Ob die verfügbaren Daten den Raum der Umweltparameter (oder den Umweltbereich) ausreichend abdecken, um derartige Extrapolationen zuverlässig zu ermöglichen, bedarf weitere Untersuchungen.
- 3) Ein weiterer Ansatz, bei dem unsere Modelle Abundanzschätzungen verbessern könnten, besteht darin, dass sich die Datenerhebung auf Gebiete konzentrieren könnten, die für die Schwerpunktsarten als geeignet gelten (Williams et al. 2011). Vor allem bei seltener gesichteten Arten wie dem Antarktischen Blauwal kann dieser Ansatz die Zahl der Begegnungen erhöhen, was angesichts der finanziellen und logistischen Kosten visueller Surveys, vor allem in Gewässern hoher Breitengrade, sehr nützlich sein kann. Für viele Arten können bereits grobe Abundanzschätzungen, die als Erkundungs- oder Pilotabschätzungen dienen, äußerst informativ sein oder dazu beitragen, strukturierte Datenerhebungen effizienter zu gestalten.

Allein auf der Grundlage der im Rahmen dieses Projekts entwickelten Modelle ist es jedoch nicht möglich, Schlussfolgerungen zu ziehen oder robuste Schätzungen über die Abundanz der vier Bartenwalarten im Südlichen Ozean abzugeben.

6. Zusammenfassung

Im Projekt wurden die statischen und dynamischen Habitatmodelle und ihre verbreitungsökologischen Ergebnisse für vier Bartenwalarten publiziert bzw. zur Publikation vorbereitet und bei der IWC vorgestellt. Die Ergebnisse der raum-zeitlichen Verteilung von geeignetem Habitat entsprachen dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand. Für antarktische Zwergwale zeigten die Ergebnisse der dynamischen Artverbreitungsmodelle eine negative Beziehung zwischen Habitateignung und Meereiskonzentration. Die hohe Habitateignung in einigen Polynjen sowie Sichtungen südlich der Meereiskante sprechen jedoch dafür, dass antarktische Zwergwale nicht auf Regionen nahe der Meereiskante beschränkt sind, sondern auch Polynjen und stark vom Meereis bedeckte Gebiete innerhalb des Packeises nutzen, und dass die geringe Zahl der Sichtungen weit südlich der Meereiskante oder bei hohen Meereisbedeckungswerten ein Artefakt durch die eingeschränkte visuelle Datenerhebung in diesen Regionen sein kann.

Dies verdeutlicht, wie unvermeidliche raum-zeitliche Verzerrungen in den Sichtungsdaten aus dem Südozean die Vorhersagen beeinträchtigen können und für zukünftige Artverbreitungsmodelle verbesserte bzw. alternative Probenahme-Strategien erforderlich machen. Im Rahmen des Projektes haben wir deshalb auch die Verwendung von passiv-akustischen Daten untersucht, um diese Verzerrungen zu überwinden und ganzjährige Daten für die Artverbreitungsmodelle nutzen zu können. Die Modelle wurden für antarktische Blauwale kalibriert, für die vorverarbeitete mehrjährige und standortübergreifende Daten verfügbar waren. Wir haben drei Modellsätze für antarktische Blauwale im Weddellmeer kalibriert: 1) nur mit visuellen Beobachtungen (= Sichtungen), 2) nur mit passiv-akustischen Daten und 3) mit einem kombinierten Datensatz aus visuellen und passiv-akustischen Daten. Für jeden Modelltyp vergleichen wir: A) die Modellgüte; B) das monatliche Muster der vorhergesagten Habitateignung; C) Responsskurven jeder Umweltvariablen sowie; D) die Muster der monatlichen mittleren Habitateignung aller Paarungen von Umweltvariablen. Die Kalibrierung der oben beschriebenen Modelle wurden im letzten Monat des Projektes abgeschlossen, und wir planen bis Ende 2022 ein Manuskript mit den Ergebnissen dieser Arbeit zu verfassen, das dann bei einem begutachteten Fachjournal (voraussichtlich *Ecography*⁹) eingereicht werden soll.

⁹ <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/16000587>

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

Das Hauptziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung zirkumpolarer und ganzjährig gültiger Habitateignungsmodelle für die bedeutendsten Bartenwalarten des Südozeans als deutscher Beitrag zur Arbeit der Internationalen Walfang Kommission, IWC. Dafür sollten im Rahmen dieses Vorhabens Habitatmodelle entwickelt werden, die insbesondere auf passiv-akustischen Präsenzdaten und satellitengestützten Umweltdaten basieren. Im Fokus standen die vier Bartenwalarten: Buckelwal, antarktischer Zwergwal, Finnwal und antarktischer Blauwal. Um dieses Ziel zu erreichen, sollten mehrjährige passiv-akustische Aufnahmen von mehr als 15 verschiedenen Standorten im Südozean mit ökologisch relevanten Umweltparametern (z.B. Eisbedeckung, Bathymetrie, Strömungen, ozeanische Region und Meeresoberflächentemperatur) verknüpft werden, um tagesaufgelöst, artspezifisch, ganzjährig und zirkumpolar valide Habitat-Eignungs-Modelle für die o.g. Arten im Südozean zu entwickeln. Außerdem sollten die Bestandsabschätzungen für die vier genannten Bartenwalarten optimiert werden.

Um diese Ziele zu erreichen, sollte Folgendes erarbeitet werden:

- Methodenentwicklung zur Habitatmodellierung auf der Basis eines bereits etablierten mehr-jährigen PAM-Monitorings,
- Entwicklung von artspezifischen Habitatmodellen für Blau-, Finn-, Zwerg- und Buckelwale, die auf der Verknüpfung von passivakustischen Präsenz-, Sichtung- und Satellitendaten zur Beschreibung von Umweltvariablen beruhen, Erstellung von Karten zur ganzjährigen Habitateignung von Blau-, Finn-, Buckel- und Zwergwalen im zirkumpolaren Südpolarmeer,

Auf der Basis dieser Arbeiten sollten in diesem EH-Forschungsvorhaben folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Habitate werden von den vier genannten Bartenwalen im Südozean im Jahresverlauf bevorzugt?
- Welche Umweltvariablen sind für die Festlegung einer Habitateignung für die jeweilige Art entscheidend?
- Unterliegen die Habitatpräferenzen jahreszeitlichen Schwankungen?
- Wie werden sich geeignete Habitate durch den Klimawandel verändern?
- Wie sind geeignete Habitate zwischen den Arten verteilt - überlappen sich die Habitate in Raum und Zeit?
- Welche Auskunft geben die Modelle bzgl. der Beziehungen der Arten untereinander?

Generell basieren Habitatmodelle darauf, dass die Präsenz eines Individuums einer Art mit den zum Beobachtungszeitpunkt vorherrschenden Umweltbedingungen statistisch verknüpft wird. Dies erfordert, dass der Ort der Sichtung bzw. Detektion entsprechend der Auflösung der satellitengestützten Umweltdaten (typischerweise wenige Kilometer) bekannt ist. Für einzelne passiv-akustische Rekorder

ist dies zunächst nicht der Fall, da die detektierten Rufe durchaus aus Entfernungen bis zu 100 km stammen können ohne dass ihre wahre Entfernung genau bestimmt werden könnte – zumindest ohne weitere Informationen. Ein wichtiges Teilziel des Vorhabens war daher, eine die mögliche Entfernung der Detektion berücksichtigende Wichtungsmetrik zu entwickeln, z.B. unter Verwendung des Empfangspegels (*received level*, RL) der detektierten Vokalisationen. In der einfachsten Implementation kann hierzu ein vordefinierter Schwellwert dienen, bei dem sichergestellt ist, dass sich das vokalisierende Tier im direkten (d.h. näher als die Auflösung der Satellitendaten) Umfeld des Rekorders aufhielt. Um die akustischen Präsenzdaten jedoch optimal nutzen zu können, könnten komplexere Verfahren den möglichen Vokalisationsorten Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zuweisen, die dann mit einer entsprechenden Gewichtung in die Habitatmodellierung eingehen.

Die Entwicklung akustisch basierter Habitatmodelle erforderte darüber hinaus, dass artspezifische, akustische Präsenzdaten aus umfangreichen passiv-akustischen Datensätzen extrahiert werden, wozu die Entwicklung von Ruf-spezifischen, automatisierten Detektionsalgorithmen vonnöten ist.

Zunächst wurden statisch-visuelle Modelle entwickelt, publiziert, und bei der IWC als „*Working Paper*“ eingereicht. Diese Modelle sind von zirkumpolarer Ausdehnung und beschreiben die artspezifische saisonale Habitateignung. Im Rahmen der Validierung zeigte sich jedoch, dass die saisonale Mittelung der z.T. hochdynamischen Umweltparameter (wie die Meereisbedeckung) erhebliche Unsicherheiten (und damit letztendlich Falschvorhersagen) in den Habitateignungskarten und Prädiktor-spezifischen Antwortkurven.

Um dieser Problematik zu begegnen wurden in den dynamisch-visuellen Modellen - soweit zutreffend - tagesaufgelöste Prädiktoren verwendet (z.B. für die Meereiskonzentration, aber nicht für die Tiefe). Die hieraus resultierenden Modelle zeigen tagesaufgelöst die sich im Jahresverlauf verändernden Habitateignungen. Allerdings zeigt sich – wie zuvor auch bei den statisch-visuellen Modellen, dass die Verfügbarkeit visueller Sichtungsdaten im Wesentlichen auf die Sommermonate beschränkt ist, was zu eher spekulativen Modellergebnissen für die übrigen Monate führt.

Mit dem zuletzt erstellten dynamisch-akustischen bzw. dynamisch/gemischtem Modell wurde auch dieses Problem angegangen und das im Projektantrag gesteckte Projektziel erreicht, wenn auch nur für Blauwale und nicht mit zirkumpolarer Ausdehnung, sondern auf den Weddellwirbel (60°W – 30°E) begrenzt. Dies lag daran, dass nur ein Teil der geplanten Rekorder hinsichtlich Tagespräsenz ausgewertet werden konnte, da – bedingt durch die durch COVID-19 verursachten Einschränkungen – keine Hilfswissenschaftler betreut werden konnten, die diese Analysen hätten vornehmen sollen. Nichts destotrotz zeigen die dynamisch-akustischen Modelle geeignete Habitate im Bereich der verwendeten Rekorder, die in den dynamisch-visuellen Modellen nicht in Erscheinung treten. Dies belegt klar den diesem Projekt unterliegenden Ansatz, dass PAM Daten einen wichtigen Beitrag zu einer insbesondere ganzjährigen Habitatbeschreibung bieten.

Perspektivisch wäre es wissenschaftlich und aus Sicht des Artenschutzes sinnvoll und erfolgsversprechend, den dynamisch-akustischen Modellansatz zu verwenden, um zirkumpolare Modelle für den Blauwal als auch für die übrigen drei Bartenwalarten zu erstellen. Hierzu ließen sich

akustische Aufnahmen von mittlerweile über 84 Datenjahren und von 22 Positionen einsetzen, die jedoch zunächst auf akustische Präsenz der jeweiligen Art hin zu analysieren wären (die notwendigen Umweltdaten der Prädiktoren sind ja bereits in aufgearbeiteter Form verfügbar). Die dynamischen Modelle ließen sich dann verwenden um dynamisch wandernde Schutzgebiete festzulegen, um so Konflikte zwischen Wal und anthropogener Nutzung wie Fischerei, Tourismus oder mariner Seismik zu reduzieren.

Im Jahr 2021 waren Ahmed El-Gabbas, Olaf Boebel und Ilse van Opzeeland an einer Studie beteiligt, die in *Communication Biology* veröffentlicht wurde. In der Studie wird berichtet, dass Buckelwale zwar beständig im atlantischen Sektor des Südozeans vorkommen, dass sie aber in den El Niño Jahren 2015 und 2016 praktisch nicht anwesend waren. Zeitgleiche Beobachtungen von ungewöhnlichen Buckelwalansammlungen in niedrigeren Breitengraden lassen vermuten, dass Buckelwale in dieser Zeit andere Lebensräume und Nahrungsorganismen nutzen können. Dies zeigt, dass Buckelwale möglicherweise besonders empfindlich auf Klimaschwankungen reagieren. In Anbetracht der aktuellen klimatischen Entwicklungen ist ein vorrangiges Verständnis dieser Entwicklung notwendig, um frühzeitig effektive Management- und Schutzmaßnahmen zu entwickeln, was eine Weiterentwicklung von geeigneten Habitatmodellen und die Erhebung entsprechender Präsenzdaten bedingt.

8. Literaturverzeichnis

Bombosch, A., Zitterbart, D. P., Van Opzeeland, I., Frickenhaus, S., Burkhardt, E., Wisz, M. S., & Boebel, O. (2014). Predictive habitat modelling of humpback (*Megaptera novaeangliae*) and Antarctic minke (*Balaenoptera bonaerensis*) whales in the Southern Ocean as a planning tool for seismic surveys. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 91, 101-114. DOI: 10.1016/j.dsr.2014.05.017

Boyd, I. L. (2002), Antarctic Marine Mammals, in *Encyclopedia of Marine Mammals*, edited by W. F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen, pp. 30-36, Academic Press, San Diego, California, USA.

Burkhardt E., Van Opzeeland I., Cisewski B., Mattmüller R., Meister M., Schall E., Spiesecke S., Thomisch K., Zwicker S. and Boebel O. (2021). Seasonal and diel cycles of fin whale acoustic occurrence near Elephant Island, Antarctica. *R. Soc. open sci.* 8201142201142. <http://doi.org/10.1098/rsos.201142>

Dahood, A., de Mutsert, K., & Watters, G. M. (2020). Evaluating Antarctic marine protected area scenarios using a dynamic food web model. *Biological Conservation*, 251, 108766.

Diekmann, B., & Kuhn, G. (1999). Provenance and dispersal of glacial–marine surface sediments in the Weddell Sea and adjoining areas, Antarctica: ice-rafting versus current transport. *Marine Geology*, 158(1-4), 209-231. Dormann C (2011) Modelling species' distributions. In Jopp et al. (Eds.) *Modelling Complex Ecological Dynamics*, MCED, Springer Verlag. ISBN: 978-3-642-05028-2.

Dormann C (2011) Modelling species' distributions. In Jopp et al. (Eds.) *Modelling Complex Ecological Dynamics*, MCED, Springer Verlag. ISBN: 978-3-642-05028-2.

Dormann C F, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, *et al.* (2012) Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36(1):27-46. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x

El-Gabbas A, Van Opzeeland I, Burkhardt E, Boebel O (2021a) Static species distribution models in the marine realm: the case of baleen whales in the Southern Ocean. *Diversity and Distributions*; 27: 27:8 (1536-1552). <https://doi.org/10.1111/ddi.13300>

El-Gabbas A, Van Opzeeland I, Burkhardt E, Boebel O (2021b). Dynamic Species Distribution Models in the Marine Realm: Predicting Year-Round Habitat Suitability of Baleen Whales in the Southern Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 8 (802276). doi: 10.3389/fmars.2021.802276

Garcia H E, Boyer T, Baranova O K, Locarnini R A, Mishonov A V, *et al.* (2018) World Ocean Atlas 2018 (pre-release): Product Documentation. A. Mishonov, Technical Editor.

Halpin, P., Read, A., Fujioka, E. I., Best, B., Donnelly, B., Hazen, L., Kot, C., Urian, K., LaBrecque, E., Dimatteo, A., Cleary, J., Good, C., Crowder, L., & Hyrenbach, K. D. (2009). OBIS-SEAMAP: The world data center for marine mammal, sea bird, and sea turtle distributions. *Oceanography*, 22(2), 104–115. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.42>

Hindell, M. A., Reisinger, R. R., Ropert-Coudert, Y., Hüeckstädt, L. A., Trathan, P. N., Bornemann, H., ... & Raymond, B. (2020). Tracking of marine predators to protect Southern Ocean ecosystems. *Nature*, 580(7801), 87-92.

International Whaling Commission (2017). Report of the Scientific Committee Meeting SC66B (2016), *Journal of Cetacean Research and Management* 18, Supplement.

International Whaling Commission (2018). Report of the Scientific Committee meeting SC67A (2017), *Journal of Cetacean Research and Management* 19, Supplement.

International Whaling Commission (2020), Report of the Scientific Committee Meeting SC68A (2019), *Journal of Cetacean Research and Management*, 21, Supplement.

International Whaling Commission (2022), Report of the Scientific Committee Meeting SC/68D, currently only available at www.iwc.int.

Locarnini R A, Mishonov A V, Baranova O K, Boyer, T P, Zweng M M (2018) World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature. A. Mishonov Technical Ed.; in preparation.

Liu, C., White, M., Newell, G., & Pearson, R. (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40(4), 778-789. DOI: 10.1111/jbi.12058

Mannocci, L., Monestiez, P., Spitz, J. and Ridoux, V. (2015), Extrapolating cetacean densities beyond surveyed regions: habitat-based predictions in the circumtropical belt. *J. Biogeogr.*, 42: 1267-1280. <https://doi.org/10.1111/jbi.12530>

Marques, T. A., Thomas, L., Martin, S. W., Mellinger, D. K., Ward, J. A., Moretti, D. J., ... & Tyack, P. L. (2013). Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews*, 88(2), 287-309.

Miller, B.S., Calderan, S., Leaper, R., Miller, E.J., Sirovic, A., Stafford, K.M., et al. (2021). Source Level of Antarctic Blue and Fin Whale Sounds Recorded on Sonobuoys Deployed in the Deep-Ocean Off Antarctica. *Frontiers in Marine Science* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.792651>

Orsi A H, Whitworth T, Nowlin W D (1995) On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 42(5):641-673. DOI: 10.1016/0967-0637(95)00021-W

Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190:231-259. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Phillips, S. J. (2017). A Brief Tutorial on Maxent. Retrieved from: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on August 2020.

Rettig, S., O. Boebel, S. Menze, L. Kindermann, K. Thomisch, and I. Van Opzeeland (2013), Local to basin scale arrays for passive acoustic monitoring in the Atlantic sector of the Southern Ocean, in *International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics*, edited by J. Papadakis and L. Bjorno, Corfu Island, Greece, doi:hdl:10013/epic.42204.d001.

Roberts, D. R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M. S., Elith, J., Guillera-Aroita, G., . . . Dormann, C. F. (2017). Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*, 40(8), 913-929. DOI: 10.1111/ecog.02881

Sathyendranath S, Grant M, Brewin R J W, Brockmann C, Brotas V, Chuprin A, Doerffer R, Dowell M, et al. (2018) ESA Ocean Colour Climate Change Initiative (Ocean_Colour_cci): Version 3.1 Data. Centre for Environmental Data Analysis. DOI: 10.5285/9c334fbe6d424a708cf3c4cf0c6a53f5

Sirovic, A., J. A. Hildebrand, and S. M. Wiggins (2007), Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(2), 1208-1215, doi:<https://doi.org/10.1121/1.2749452>.

Spreen G, Kaleschke L, and Heygster G (2008) Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels *Journal of Geophysical Research*, 13:C02S03, DOI:10.1029/2005JC003384

Thomisch, K., O. Boebel, C. W. Clark, W. Hagen, S. Spiesecke, D. P. Zitterbart, and I. Van Opzeeland (2016), Spatio-temporal patterns in acoustic presence and distribution of Antarctic blue whales *Balaenoptera musculus intermedia* in the Weddell Sea, *Endangered Species Research*, 30, 239-253, doi:<https://doi.org/10.3354/esr00739>

Van Opzeeland, I., Van Parijs, S., Kindermann, L., Burkhardt, E., & Boebel, O. (2013). Calling in the cold: pervasive acoustic presence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Antarctic coastal waters. *PLoS One*, 8(9), e73007. DOI: 10.1371/journal.pone.0073007

Viquerat, S., & Herr, H. (2017). Mid-summer abundance estimates of fin whales *Balaenoptera physalus* around the South Orkney Islands and Elephant Island. *Endangered Species Research*, 32, 515-524.

Weatherall P, Marks K M, Jakobsson M, Schmitt T, Tani S, Arndt, J E, *et al.* (2015) A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science* 2(8): 331-345. DOI: 10.1002/2015EA000107

Williams, R., et al. (2014), Counting whales in a challenging, changing environment, *Scientific Reports*, 4:4170, doi:10.1038/srep04170.

Williams, R., Hedley, S.L., Branch, T.A., Bravington, M.V., Zerbini, A.N. and Findlay, K.P. (2011), Chilean Blue Whales as a Case Study to Illustrate Methods to Estimate Abundance and Evaluate Conservation Status of Rare Species. *Conservation Biology*, 25: 526-535. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01656.x>

Wilson M F J, O'Connell B, Brown C, Guinan J C, and Grehan A J (2007) Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope. *Marine Geodesy* 30: 3-35. DOI: 10.1080/01490410701295962

Zuur A F, Ieno E N, Walker N J, Saveliev A A, Smith G M (2009): *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. New York, NY: Springer New York.

Zweng, M.M, J.R. Reagan, D. Seidov, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, H.E. Garcia, A.V. Mishonov, O.K. Baranova, K.W. Weathers, C.R. Paver, and I.V. Smolyar (2019). *World Ocean Atlas 2018, Volume 2: Salinity*. A. Mishonov, Technical Editor, NOAA Atlas NESDIS 82, 50pp.

9. Glossar

a priori Beprobungsdesign/ a priori survey design	Eine anhand des Stands des Wissens orientierte Planung der Umsetzung (insbes. der Kurslinien) dedizierter Sichtungserhebungen.
Artverteilungsmodell Species Distribution Model	Synonym zu Habitatmodell
Bartenwale / baleen whales	Eine Unterordnung der Wale, deren besonderes Kennzeichen die sogenannten Barten im Oberkiefer sind.
Besetzungsmodelle / Occupancy models	Erweiterung bzw. Variante der Habitatmodelle die eine zeitliche Veränderung der Nutzung eines ansonsten unveränderten Habitats erlaubt.
bijektiv / bijective	Mathematischer Begriff aus der Mengenlehre der aussagt, dass jedem Wert aus der Ursprungsmenge genau ein Wert aus der Zielmenge, sowie jedem Wert aus der Zielmenge genau ein Wert aus der Ursprungsmenge zugeordnet ist.
FFT / FFT	Fast Fourier Transform / Fast Fourier Transformierte, ein mathematisches Verfahren um Spektrogramme zu errechnen.
generalisiertes additives gemischtes Modell/ generalized additive mixed model	Ein generalisiertes additives Modell ist eine Regressionstechnik mit der sich komplexe Beziehungen hoch dimensionaler Daten mit nicht linearen Anteilen modellieren lassen.
Habitatmodell / habitat model	Statistisches Verfahren bei dem Sichtungen (meist von Tieren) mit Umweltdeskriptoren verknüpft werden, um auf Basis letzterer vorhersagen zu können wie geeignet ein Ort mit bestimmten Umweltbedingungen für eine Art ist.
--- Dynamische Habitatmodelle / --- dynamic habitat model	Obiges unter Berücksichtigung zeitlich veränderlicher Umweltbedingungen.
--- Statische Habitatmodelle / --- Static habitat model	Obiges unter Berücksichtigung ausschließlich zeitlich konstanter Umweltparameter.
Habitateneignung / habitat suitability	Numerischer Wert zwischen 0 und 1 der angibt, wie gut ein Habitat für eine bestimmte Art geeignet ist.
Hintergrundinformationen / background information	Werte der Umweltdeskriptoren an Orten an denen keine Tiere gesichtet wurden.
Kreuzvalidierung / cross validation	Statistisches Verfahren zur Bestimmung der Güte eines statistischen Modelles indem Teildatensätze dem analytischen Algorithmus vorenthalten werden, um diese dann im Nachgang zur Überprüfung des Ergebnisses zu verwenden.
Meereiskante / sea-ice edge	Die großräumige Grenze zwischen offenem und mit Meereis bedecktem Ozean.
Modell Algorithmen / modelling algorithm	Das gewählte mathematisch-statistische Verfahren mit dem die Umweltdeskriptoren mit den Sichtungsdaten verknüpft werden.
Opportunistische Sichtungsdaten / opportunistic sighting data	Sichtungsdaten die nicht auf dedizierten Sichtungsbemühungen basieren.

Passiv-akustische Daten / passive acoustic data	Audioaufnahmen der Umgebung.
Passiv-akustisches Monitoring / passive acoustic monitoring	Systematische Erhebung von passiv-akustischen Daten.
Polynja / Polynya	Große offene Wasserfläche in sonst vom Meereis bedeckten Gebieten, oft nahe der Schelfeiskante.
Antwortkurve/ Response curve	Abhängigkeit der Habitateignung von einem einzelnen Prädiktor unter Fixierung der übrigen Prädiktoren (i.d.R. auf ihren Mittelwert)
Sichtungsdaten / sighting data	Protokollierte Beobachtung der Präsenz (ggf. auch Absenz) eines Tieres; im Allgemeine visuell per „Sichtung“, verallgemeinert aber auch auditorisch durch Erfassung der Vokalisation eines Tieres.
--- Präsenz-Absence Daten / --- Presence-absence data	Obiges, wobei im Rahmen eines dezidierten Surveys auch die Absenz der Zielspezies dokumentiert wurde.
--- alleinige Präsenzdaten / --- presence-only data	Obiges, wobei ausschließlich die Präsenz einer Art, nicht aber deren Absenz, protokolliert wurde.
Projektion / projections	Projektion der Habitateignung aus dem Raum der Umweltdeskriptoren auf den geographischen Raum anhand der jeweiligen Werte der Umweltdeskriptoren.
Prädiktor / predictor	Eine Umweltvariable, die als möglicher Einfluss auf ein Habitat gilt
Schallpegel oder Schalldruckpegel / sound pressure level	Logarithmisches Maß der Lautstärke eines Schallereignisses. Angaben erfolgen in der Hilfsmaßeinheit Dezibel.
Schallpegelverluste / propagation loss	Abnahme des Schallpegels mit Entfernung von der Schallquelle.
Schallpropagationsmodelle / sound propagation model	Mathematische Verfahren zur Berechnung der Schallpegelverluste.
Sichtungsbemühungen / sighting effort	Beschreibt den Umfang dezidierte Erhebungen von Präsenz-Absenz Daten.
geeignetes Habitat / suitable habitat	Ein Habitat mit einer relativ hohen (jedoch nicht näher spezifizierten) Habitateignung.
Umweltvariablen / environmental data	Eine messbare, die Umwelt beschreibende Größe, statischer (z.B. Wassertiefe) oder dynamischer (z.B. Meereiskonzentration) Natur, definiert in Zeit und geographischem Raum.
Umweltdeskriptoren environmental descriptors	Menge der Umweltvariablen und zusätzlich davon abgeleiteter statistischer Größen wie z.B. monatliche oder jährliche Durchschnittstemperatur.
Umweltdatensatz / environmental data set	Räumliche Verteilung (Karte) der Werte eines Umweltdeskriptors, ggf. zeitlich aufgelöst.

Unterwasserlärm underwater noise	Teil des Umgebungsschalls der nicht das interessierende Signal darstellt.
Verbreitung / distribution	Diejenigen Regionen in denen eine Art bislang beobachtet wurde.
durch das Beprobungsdesign bedingte Ergebnisverzerrung / sampling bias	Auswirkung einer räumlich ungleichmäßigen Erhebung von Daten.
Vorhersagen / prediction, prognosis	Als Synonyme für Projektion verwendet.
Vokalisationen / vocalization	Laute die von Tieren produziert werden, wie z.B. Klicks oder Rufe.
Walvokalisationen / whale vocalization	Laute die von Walen produziert werden, wie z.B. Klicks oder Rufe.

10. Liste der Abkürzungen

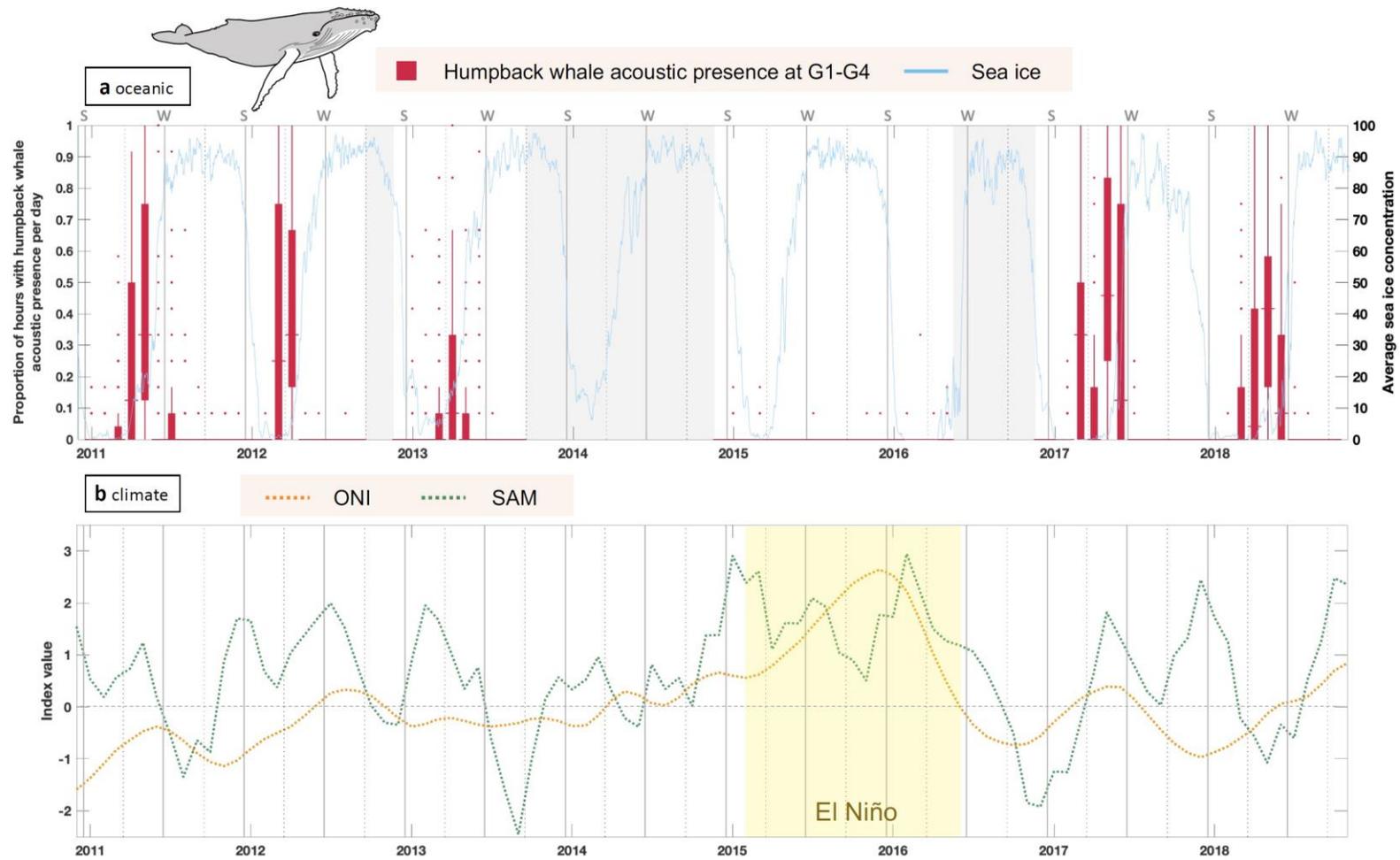
	English	Deutsch
AAD	Australian Antarctic Division	
ABW	Antarctic blue whale	Antarktischer Blauwal
ACC	Antarctic Circumpolar current	Antarktischer Zirkumpolarstrom
ADT	absolute dynamic topography	Absolute Dynamische Topographie
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS	
AMSR2	<i>Advanced Microwave Scanning Radiometer 2</i>	
AMW	Antarctic minke whale	Antarktischer Zwergwal
AUC	Area under the ROC Curve	
AVISO	Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data	
AWI		Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
BMEL	Federal Ministry of Food and Agriculture	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BLE	Federal Office for Agriculture and Food	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
CCAMLR	Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources	
COVID-19	COVID-19 Virus Disease 2019	
dB	Decibel	Dezibel
DOI	Digital Object Identifier	digitaler Objektbezeichner
EOS	Earth Observing System	Erdbeobachtungssystem
EOSG	10	
FFT	Fast Fourier transform	schnelle Fouriertransformation
FW	Fin whale	Finnwal
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans	
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>	
GVIF	Maximal Generalized Variance Inflation Factor	Maximaler Generalisierter Variance Inflationsfaktor
HAFOS	Hybrid Antarctic Float Observation System	
Hiwi		Hilfswissenschaftler
HW	Humpback whale	Buckelwal
IDCR-SOWER	International Decade of Cetacean Research- Southern Ocean Whale and Ecosystem Research Programme	
iOBIS/OBIS	<i>Ocean Biodiversity Information System</i>	
IUCN	International Union for Conservation of Nature	
IWC	International Whaling Commission	Internationale Walfangkommission
Maxent, eigentlich MaxEnt	Maximum entropy	Statistisches Verfahren und Software zur Vorhersage der potentiellen Verbreitung von Tier- und Pflanzenarten

MoHaBa	Modelling Habitat Suitability of Baleen Whales of the Southern Ocean	i.e. dieses Projekt
OBIS-SEAMAP	Ocean Biodiversity Information System Spatial Ecological Analysis of Megavertebrate Populations	
OCCCI	Ocean Colour Climate Change Initiative	9
ONI	Oceanic Niño Index	
ozasrv1		Name des projektspezifischen Datenservers
PAM	Passive Acoustic Monitoring	Passiv-akustisches Monitoring
PANGAEA	World Data Center hosted at AWI	
PI	Principal Investigator	
PS	Polarstern	Polarstern
RL	received level	Empfangsschallpegel
SAM	Southern Annular Mode	
sbACC	southern boundary of the Antarctic Circumpolar current	südliche Grenze des Antarktischen Zirkumpolarstroms
SC	Scientific Committee	Wissenschaftskomitee
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research	
SD	standard deviation	Standardabweichung
SDM(s)	Species Distribution Model(s)	Artverbreitungsmodell(e)
SIC	Sea ice concentration in percent	Meereisbedeckung in Prozent
SIE	Sea ice edge	Meereiskante
SL	source level	Quellschallpegel
SLA	Sea Level Anomaly	Meeresspiegelanomalie
SO	Southern Ocean	informell „Südozean“
SO-GLOBEC	13 Southern Ocean Global Ocean Ecosystems Dynamics	
SORP	Southern Ocean Research Partnership	
SSH	Sea Surface Height	Meeresoberflächenhöhen
SSMIS	<i>Special Sensor Microwave Imager / Sounder</i>	
SST	sea surface temperature	Meeresoberflächentemperatur
TSS	true skill statistics	
TRI	Terrain Ruggedness Index	
TPI	Topographic Position Index	
VIS	visual	visuell
WAP	Western Antarctic Peninsula	
WOA	World Ocean Atlas	
WMMC	World Marine Mammal Conference	

11. Appendizes

Appendix 1: Perennial humpback whale acoustic presence in relation to sea ice concentration

Schall E, Thomisch K, Boebel O, Gerlach G, Wood SM, El-Gabbas A, van Opzeeland (2021) Multi-year presence of humpback whales in the Atlantic sector of the Southern Ocean but not during El Niño. *Communications Biology* 4, 790 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02332-6>



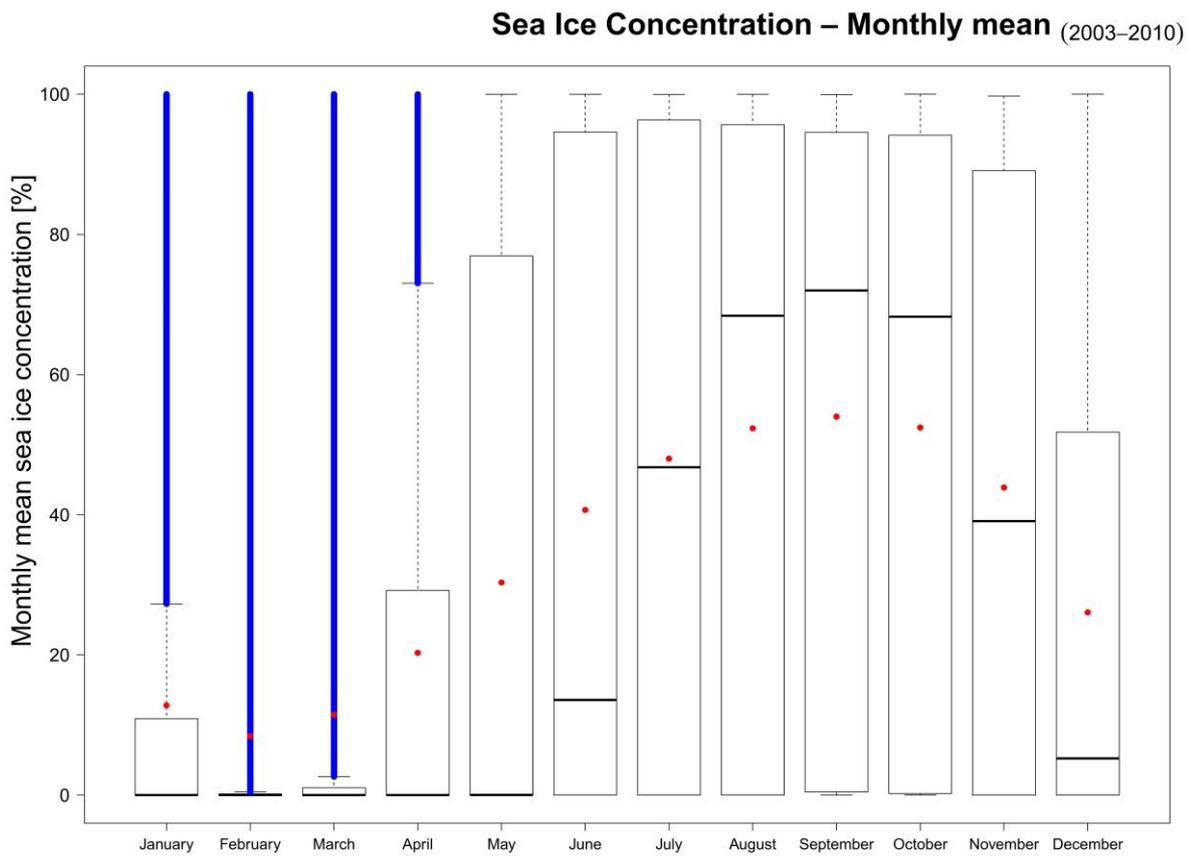
Schall et al. 2021

Appendix 1 - Abbildung 1: Mehrjährige Buckelwal-Präsenz in Abhängigkeit von Meereiskonzentration, Southern Annular Mode und Oceanic Niño Index. **a** Boxplot des Anteils von Stunden pro Tag mit akustischer Buckelwal-Präsenz an vier ozeanischen Aufnahmepositionen (G1-G4) entlang des Greenwich Meridians von Dezember 2010 bis September 2018 (rote Balken; n=4614 Tage mit akustischen Aufnahmen). Rote Punkte repräsentieren Ausreißer-Werte

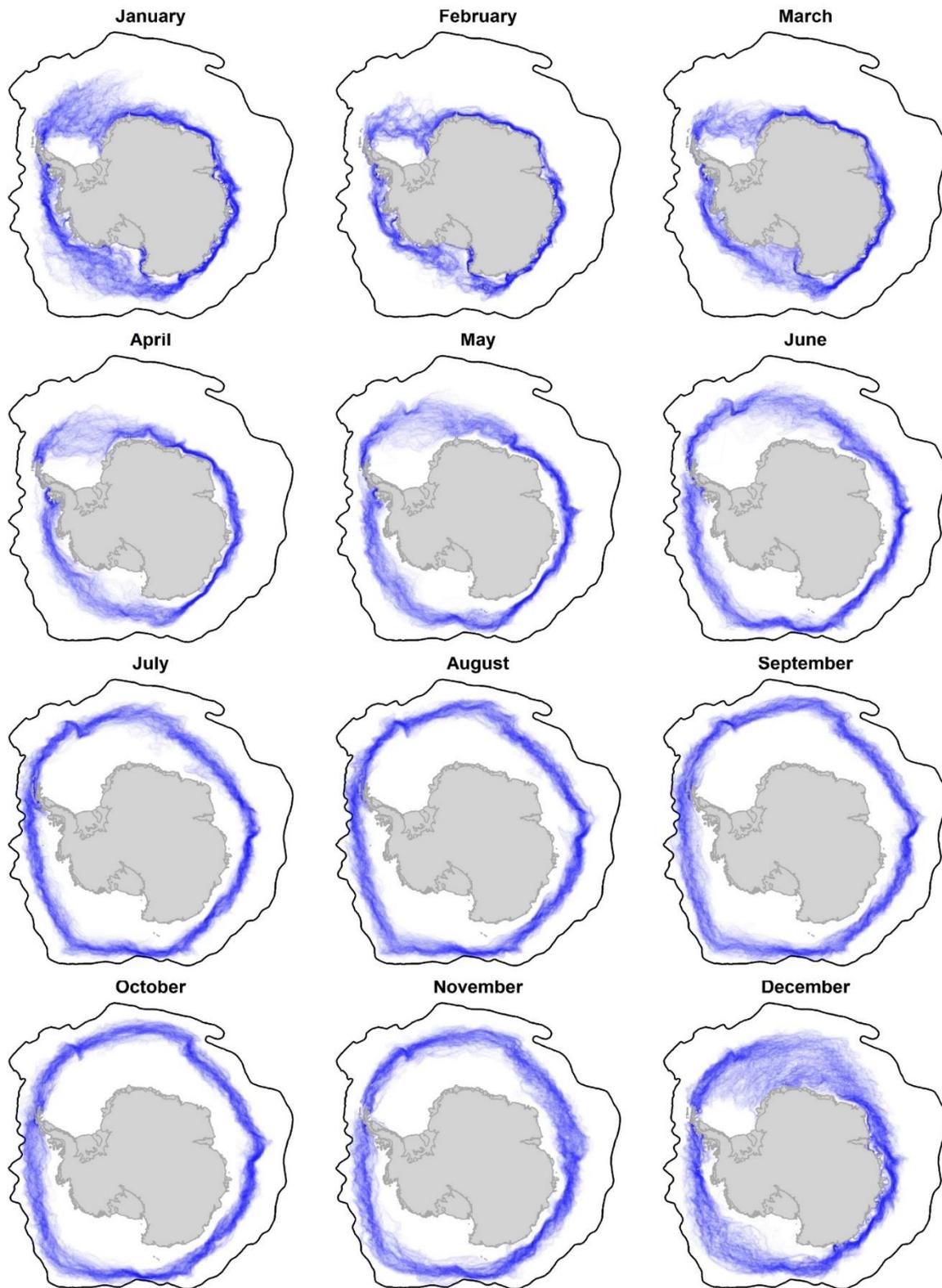
(auf einer diskreten Skala als Anteil der Stunden pro Tag), grauschattierte Bereiche repräsentieren Monate ohne akustische Daten. Die blaue durchgezogene Linie und die rechte x-Achse stellen die tägliche gemittelte Meereiskonzentration in einem Radius vom 50 km um die Rekorderpositionen dar.

b Klimavariationen von 2011 bis 2018, angegeben durch den gleitenden dreimonatigen Mittelwert des SAM (Southern Annular Mode), einem vorherrschenden Muster natürlicher Klimaschwankungen in polaren und subpolaren Regionen der südlichen Hemisphäre und des ONI (Oceanic Niño Index), der die periodischen Schwankungen der Meeresoberflächen-Temperatur und des Luftdrucks im tropischen Pazifik darstellt. Das gelbe Rechteck markiert die Zeitspanne des starken El Niño-Phänomens in 2015/16. Die vertikalen grauen Linien zeigen den Beginn von Sommer (S) und Winter (W), und die vertikalen gepunkteten Linien zeigen den Beginn von Frühjahr und Herbst an (basierend auf Tag-und-Nacht-Gleichen und Sonnenwenden). Die horizontale gestrichelte Linie stellt die Null-Orientierungslinie dar.

Appendix 2: Mittel und Variabilität der Meereiskante



Appendix 2 - Abbildung 1: Boxplots der Monatsmittelwerte der Meereiskonzentration anhand derer die Jahreszeiten für die Mittelungsintervalle festgelegt wurden. Die Darstellung der Ausreißerwerte als blaue Punkte verschmilzt in den Sommermonaten zu einer kontinuierlich erscheinenden Linie.



Appendix 2 - Abbildung 2: Monatliche Verteilung der täglichen Meereiskanten von 2002 bis 2019. Schwarze Linien: Grenze des Untersuchungsgebietes/Polarfront, c.f. Abb. 1; blaue Linien: tägliche Lage der Meereiskante.

Appendix 3: Ursprüngliche Liste der 32 Umweltvariablen

Appendix 3 - Tabelle 1 der 32 initial anhand von Datenvisualisierungen und persönlicher Erfahrung ausgewählten Prädiktoren (inter alia Umweltparameter oder Umweltvariablen), bevor ein Ausschluss von hoch korrelierten Prädiktoren erfolgte. Die sich daraus ergebende finale Liste der für die Modellierung genutzten Prädiktoren ist in Tabelle 1 des Abschlussberichtshauptteils gegeben. Die verwendeten Abkürzungen sind im Abschnitt Material und Methoden im Detail beschrieben.

SIC-S1 = Saison 1: Januar bis März, Zeitraum mit geringster Meereiskonzentration,

SIC-S2 = Saison 2: April, Zeitraum neuer Meereisbildung,

SIC-S3 = Saison 3: Mai bis November, Zeitraum hoher Meereiskonzentration

SIC-S4 = Saison 4: Dezember, Zeitraum schnellen Meereisrückgangs.

Variable (#)	Derived predictor		
Bathymetry (5)	• Depth	• Slope	• Distance to coast
	• Distance to 500m isobath	• Distance to 1000m isobath	
chlorophyll-a (2)	• Summer mean	• Summer SD	
sea surface height (SSH) (2)	• Overall mean	• Overall SD	
Speed (2)	• Overall mean	• Overall SD	
Temperature (6)	• Surface – Summer	• 100m – Fall	• 200m – Annual
	• Surface – Winter	• 100m – Spring	• 500m – Annual
Annual mean salinity (3)	• Surface	• 100m	• 200m
Sea Ice Concentration (12)	• Mean SIC – S1	• SD SIC – S1	• Distance to ice edge – S1
	• Mean SIC – S2	• SD SIC – S2	• Distance to ice edge – S2
	• Mean SIC – S3	• SD SIC – S3	• Distance to ice edge – S3
	• Mean SIC – S4	• SD SIC – S4	• Distance to ice edge – S4

Appendix 4 In PANGAEA veröffentlichte Daten

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXV/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.728270>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXII/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729027>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXII/4. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729028>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729030>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729031>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/4. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729032>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/5. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729033>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/6. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729034>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/7. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729035>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/8. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729036>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIII/9. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729037>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIV/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729040>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIV/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729041>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIV/4. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729042>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXV/3 (LOHAFEX). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729044>

Burkhardt, E. (2009): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXV/4. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.729045>

Burkhardt, E. (2011): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVI/1. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.760335>

Burkhardt, E. (2011): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVI/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.760336>

Burkhardt, E. (2011): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVI/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.760337>

Burkhardt, E. (2011): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVII/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.760340>

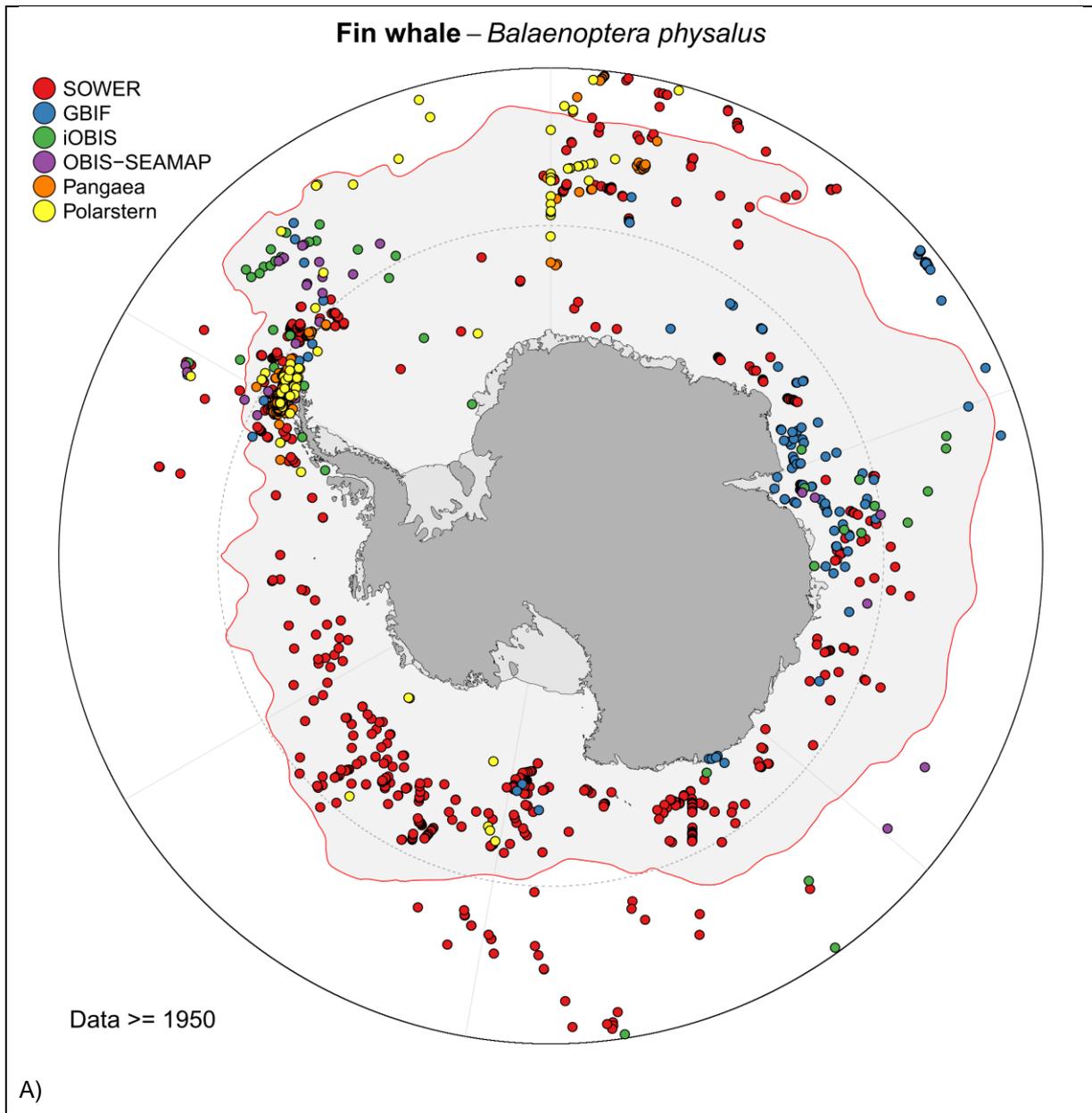
Burkhardt, E. (2012): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVII/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.783806>

Burkhardt, E. (2013): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVIII/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.819861>

Burkhardt, E. (2013): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVIII/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.819862>

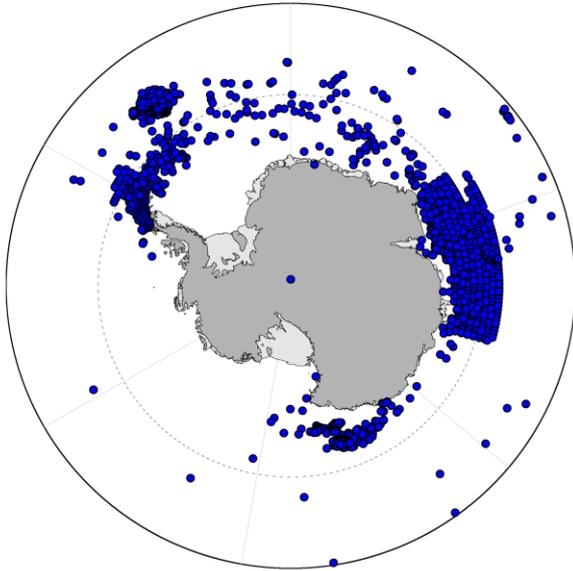
- Burkhardt, E. (2013): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVIII/4. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.819863>
- Burkhardt, E. (2013): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXVIII/5. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.819864>
- Burkhardt, E. (2013): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIX/2. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.819866>
- Burkhardt, E. (2014): Whale sightings during POLARSTERN cruise ANT-XXIX/3. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.840382>
- Burkhardt, E. (2018): Whale sightings during POLARSTERN cruise PS103. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.895984>
- Herr, H.; Lehnert, L. S.; Siebert, U. (2018): **Aerial cetacean survey Southern Ocean 2010/2011**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894934>
- Herr, H.; Lehnert, L. S.; Siebert, U. (2018): **Ship based cetacean survey Southern Ocean 2010/2011**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894910>
- Herr, H.; Lehnert, L. S.; Siebert, U. (2018): **Ship based cetacean survey Southern Ocean 2011/2012**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894909>
- Herr, H.; Siebert, U. (2018): **Aerial cetacean survey Southern Ocean 2012/2013**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894914>
- Herr, H.; Viquerat, S.; Siebert, U. (2018): **Aerial cetacean survey Southern Ocean 2014/2015**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894938>
- Herr, H.; Viquerat, S.; Siebert, U. (2018): **Ship based cetacean survey Southern Ocean 2014/2015**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894873>
- Herr, H.; Viquerat, S.; Siebert, U. (2018): **Ship based cetacean survey Southern Ocean 2016**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894912>
- Scheidat, M.; Herr, H. (2018): **Aerial cetacean survey Southern Ocean 2006/2007**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894937>
- Scheidat, M.; Herr, H.; Siebert, U. (2018): **Aerial cetacean survey Southern Ocean 2008/2009**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894936>
- Scheidat, M.; Herr, H.; Siebert, U. (2018): **Ship based cetacean survey Southern Ocean 2008/2009**. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894911>

Appendix 5: Qualitätskontrolle der Sichtungsdaten am Beispiel von Finnwalen

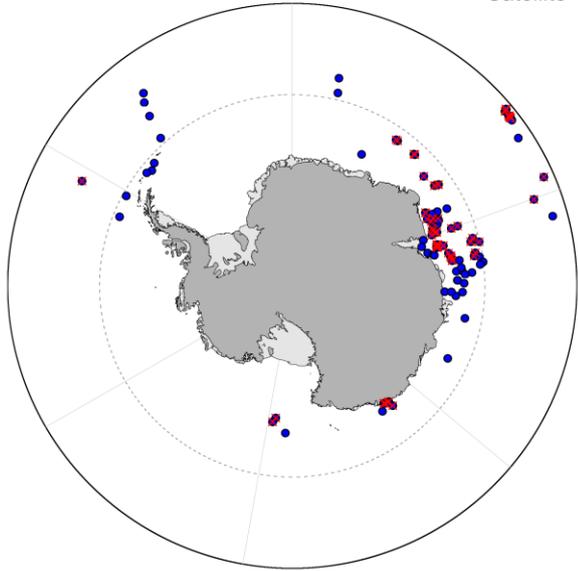


Fin whale – *Balaenoptera physalus*

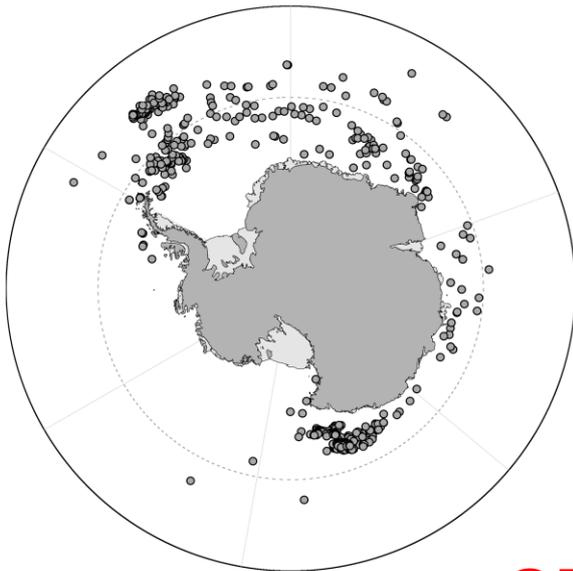
All records



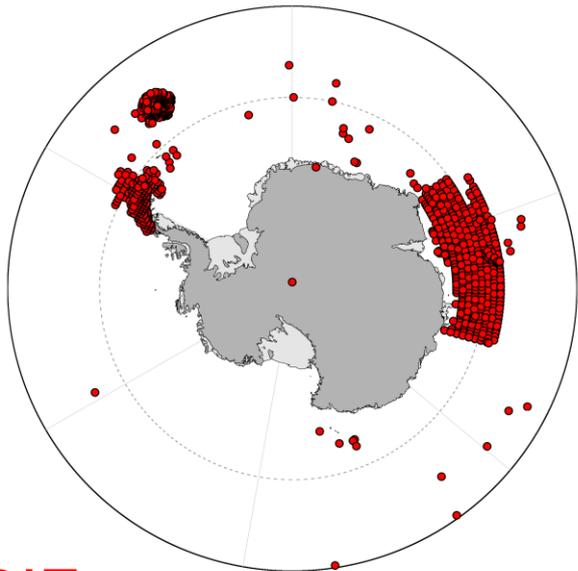
Recent (> 1950)



Old (< 1950)
or without date information



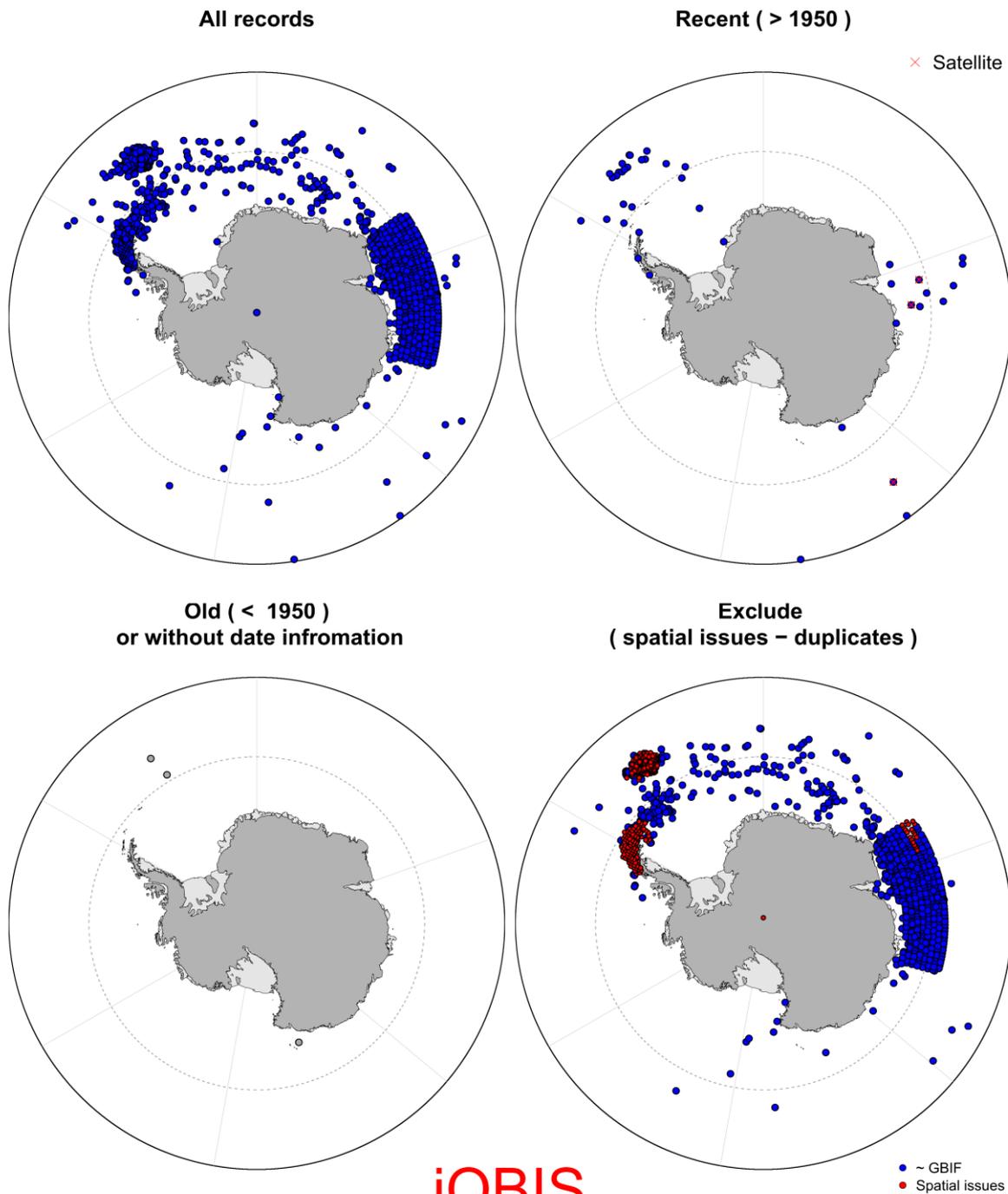
Exclude
(spatial issues – duplicates)



GBIF

B)

Fin whale – *Balaenoptera physalus*

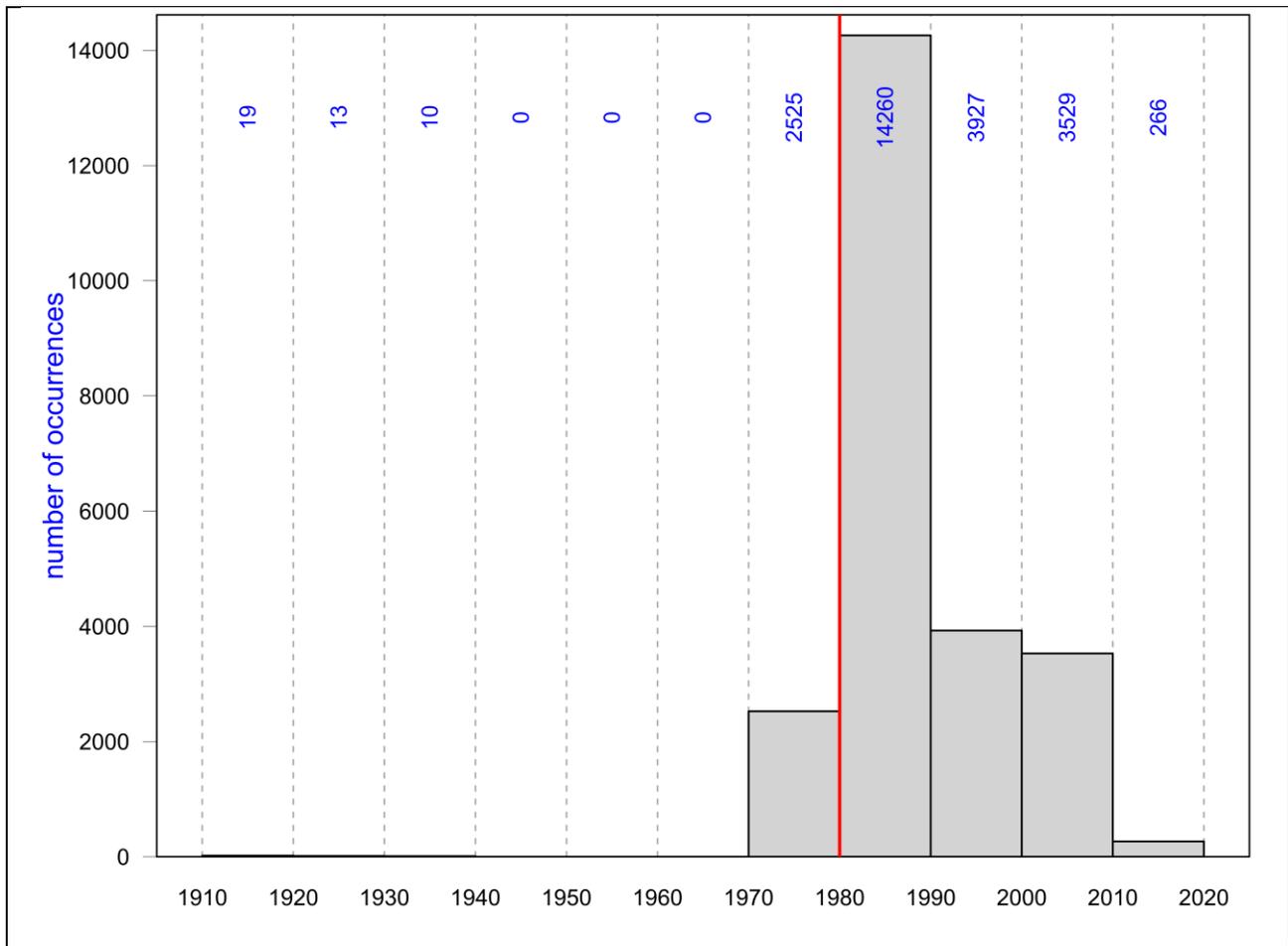


C)

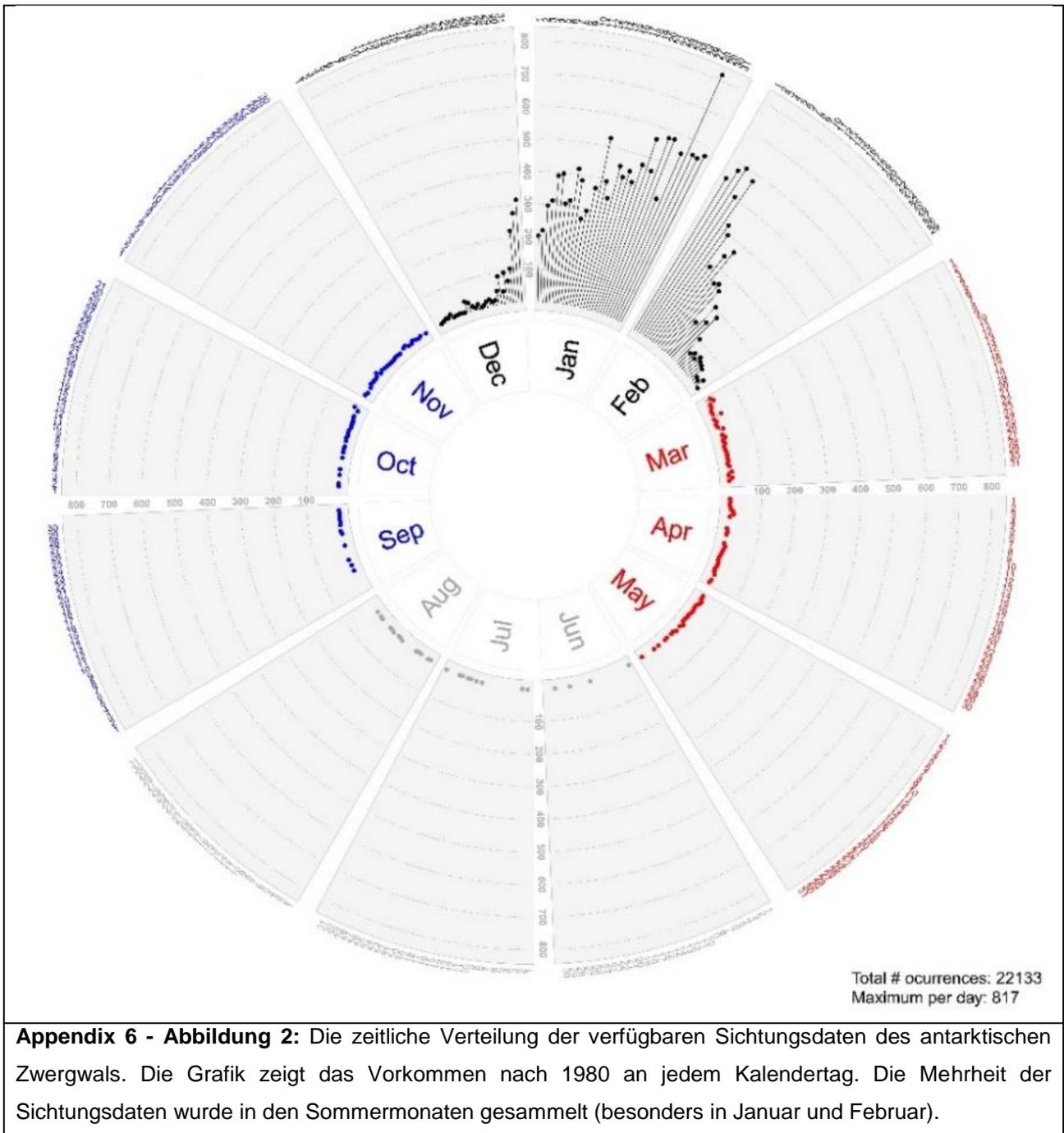
Appendix 5 - Abbildung 1: Die Qualitätskontrolle der Sichtungsdaten am Beispiel von Finnwalen (*Balaenoptera physalus*). Abbildung A zeigt die Gesamtverteilung des Finnwals aus allen Datenquellen nach 1950; Abbildung B und C zeigen die Qualitätskontrollen, die für die Daten aus GBIF bzw. iOBIS durchgeführt wurden. In Abbildungen B und C werden in der Karte oben links alle vorhandenen Sichtungen dargestellt; die Karten oben rechts zeigen Einzelsichtungsdaten, die nach 1950 erhoben wurden, die zum Trainieren der statistischen Modelle verwendet werden sollten. In dieser Karte stellen rot markierte Sichtungen solche dar, die nach 2002 (dem Beginn der Verfügbarkeit

täglicher Meereiskonzentrationsdaten) erfasst wurden und sich daher für die Anwendung dynamischer Artenverteilungsmodelle eignen. Die Karten unten links zeigen ältere Sichtungen vor 1950, die aufgrund der zu erwartenden hohen Unsicherheit und um eine Diskrepanz zwischen den zu verwendenden Umweltvariablen und den Artenvorkommen zu vermeiden, von der Nutzung durch die Modelle ausgeschlossen werden. Die Karten unten rechts zeigen die Daten, die ausgeschlossen werden sollen, weil sie entweder räumlich problematisch sind, Duplikate darstellen oder aus Fangdaten stammen. In der Karte der Abbildung C unten rechts wird deutlich, dass ein Großteil der in GBIF (Abb. B rechts) vorhandenen Sichtungsdaten in iOBIS als Duplikate vorliegen, weshalb diese Einträge markiert und von den Modellierungen ausgeschlossen wurden.

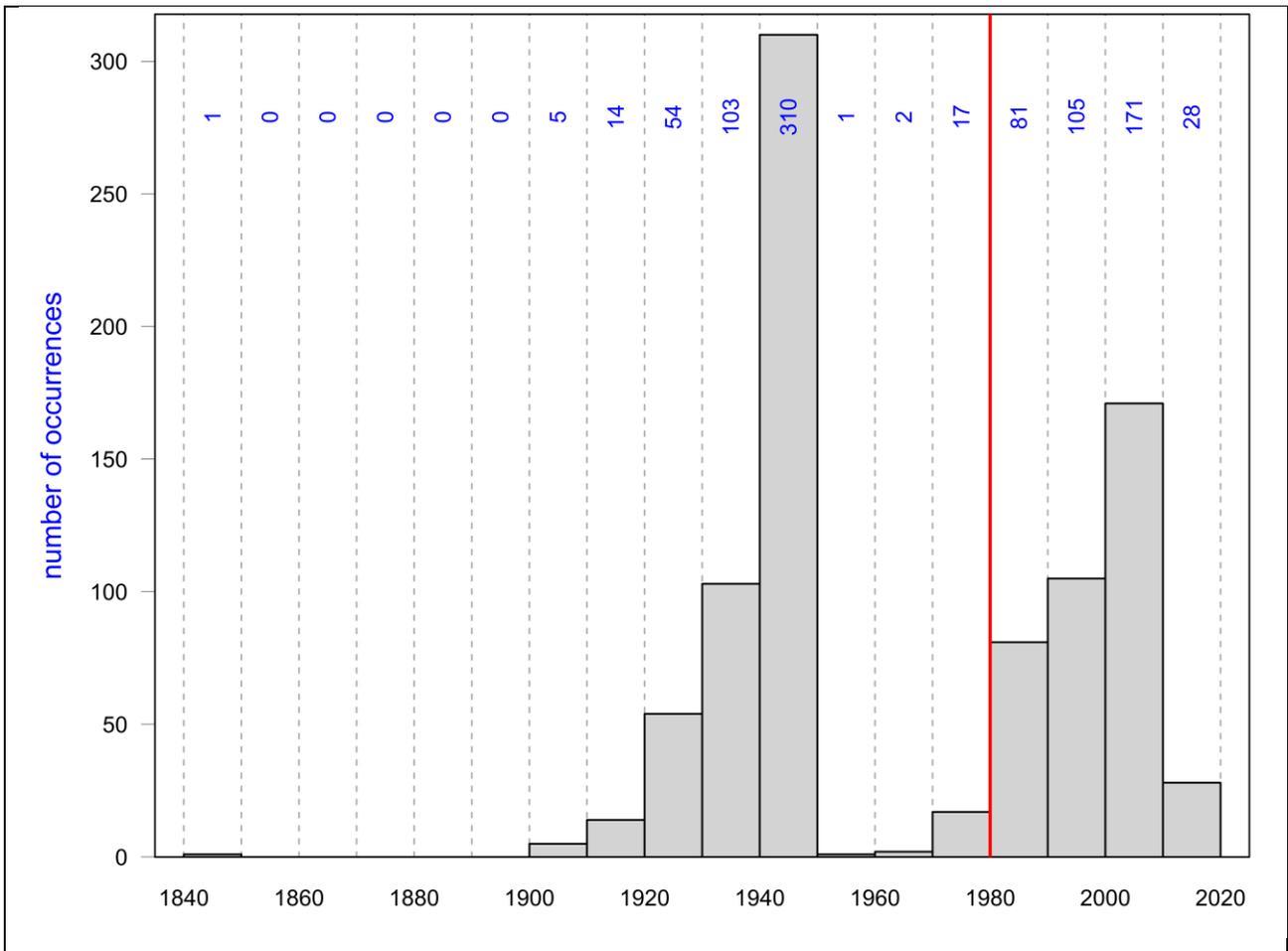
Appendix 6: Zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten nach Arten gruppiert



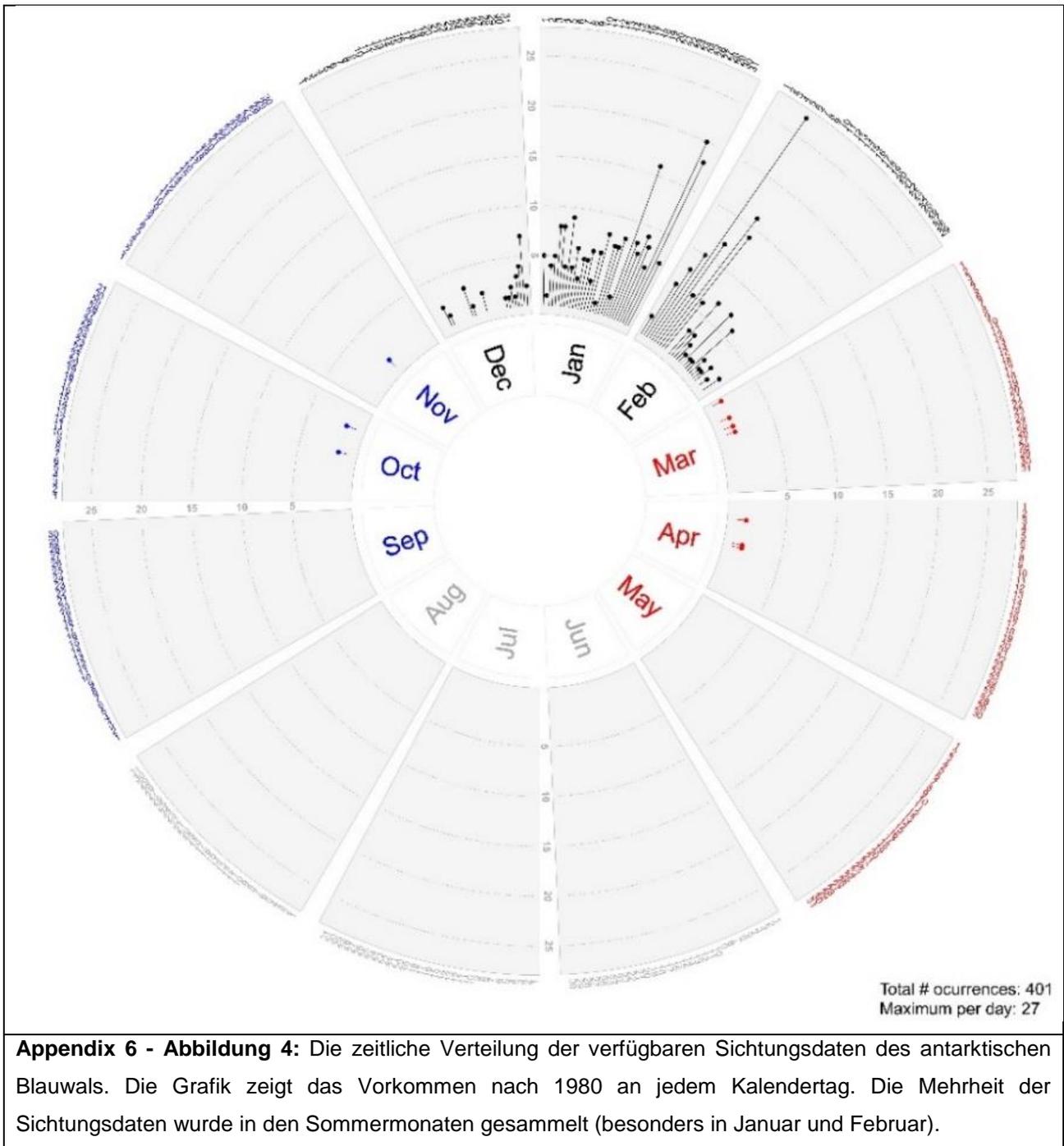
Appendix 6 - Abbildung 1: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des antarktischen Zwergwals. Das Histogramm zeigt das Vorkommen in Zehnjahres-Zeiträumen an. Die rote vertikale Linie differenziert zwischen Daten, die in der Analyse ausgeschlossen (vor 1980) oder einbezogen (nach 1980) wurden.



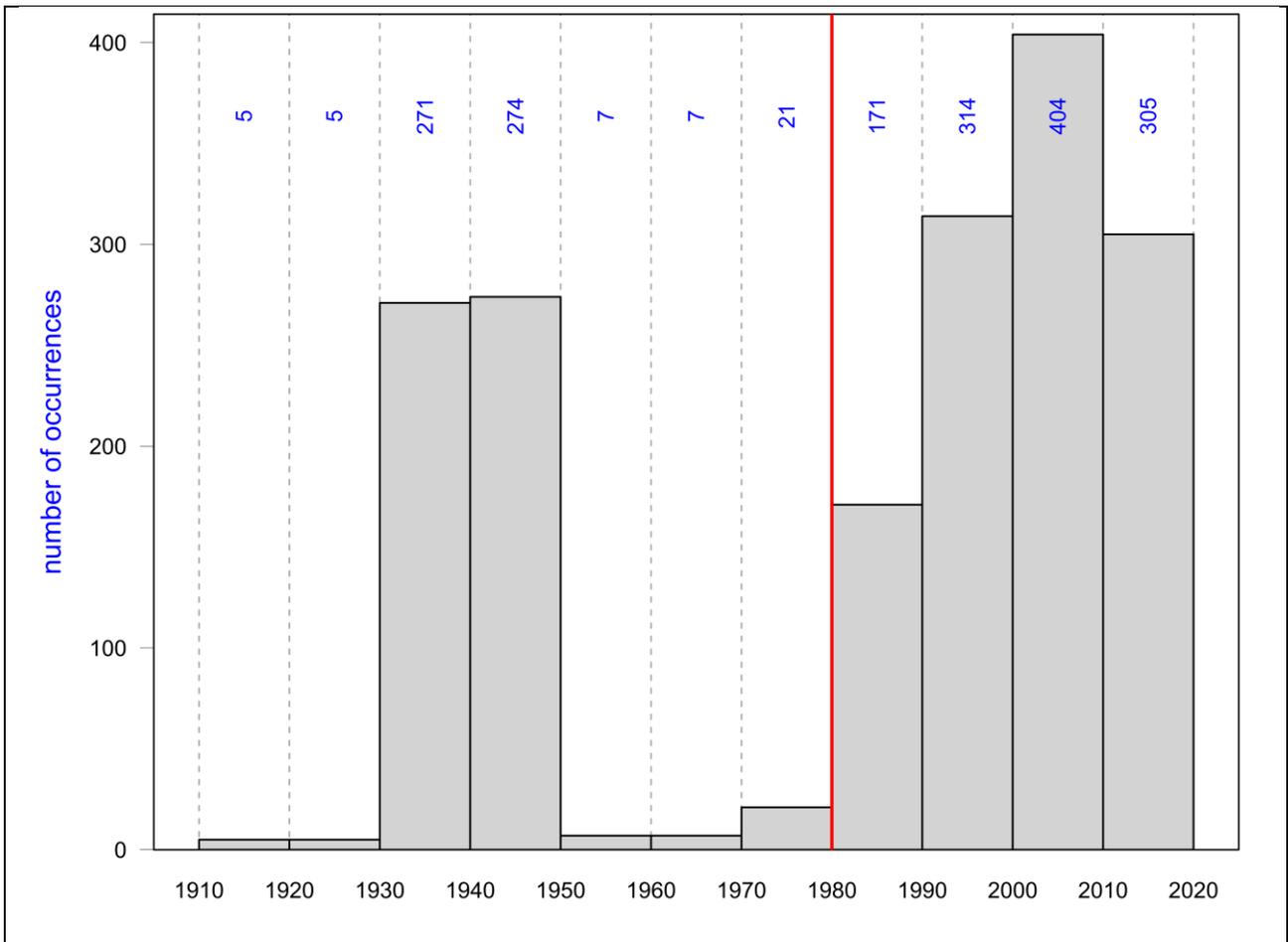
Appendix 6 - Abbildung 2: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des antarktischen Zwergwals. Die Grafik zeigt das Vorkommen nach 1980 an jedem Kalendertag. Die Mehrheit der Sichtungsdaten wurde in den Sommermonaten gesammelt (besonders in Januar und Februar).



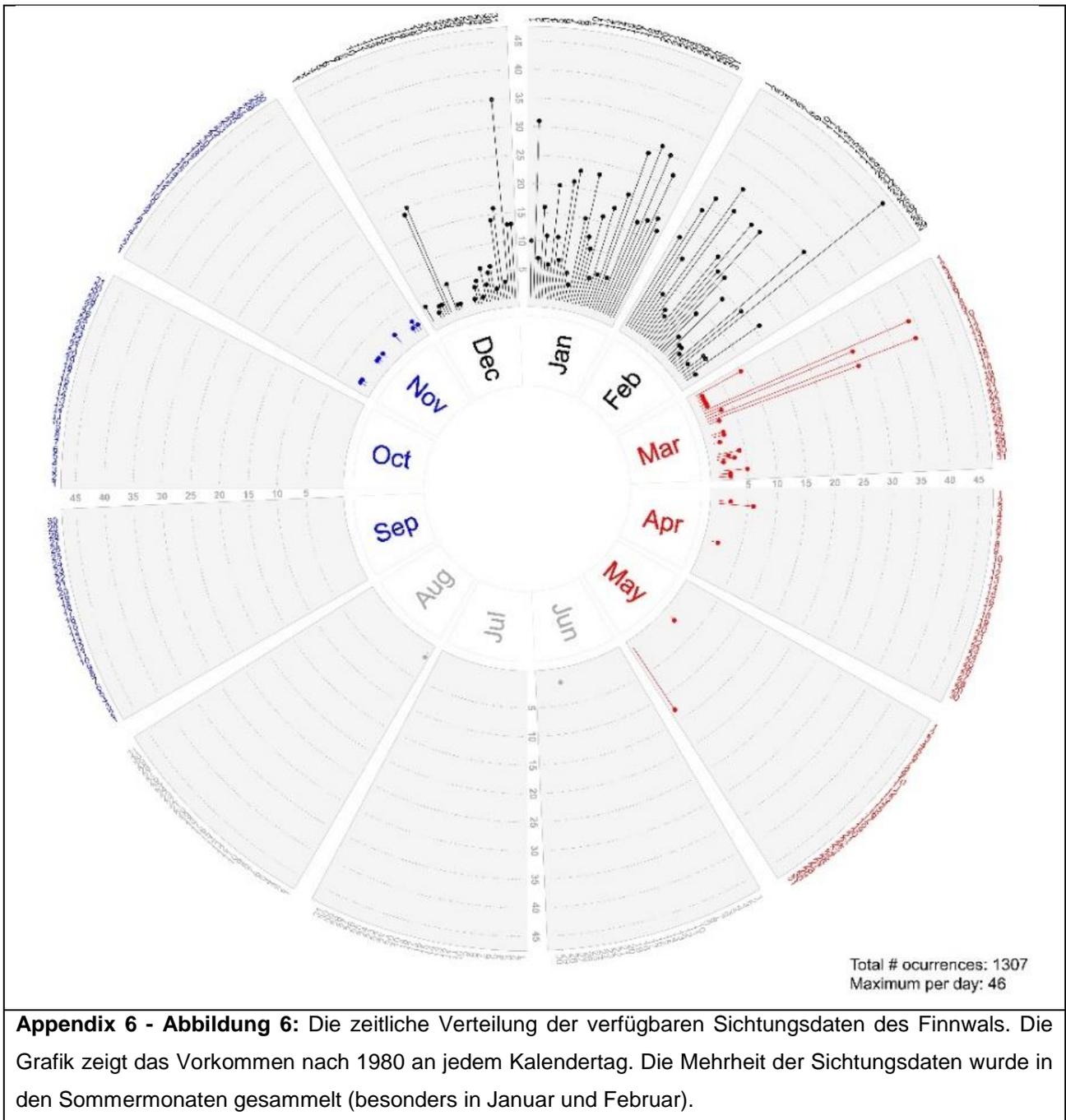
Appendix 6 - Abbildung 3: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des antarktischen Blauwals. Das Histogramm zeigt das Vorkommen in Zehnjahreszeitäumen an. Die rote vertikale Linie differenziert zwischen Daten, die in der Analyse ausgeschlossen (vor 1980) oder einbezogen (nach 1980) wurden.



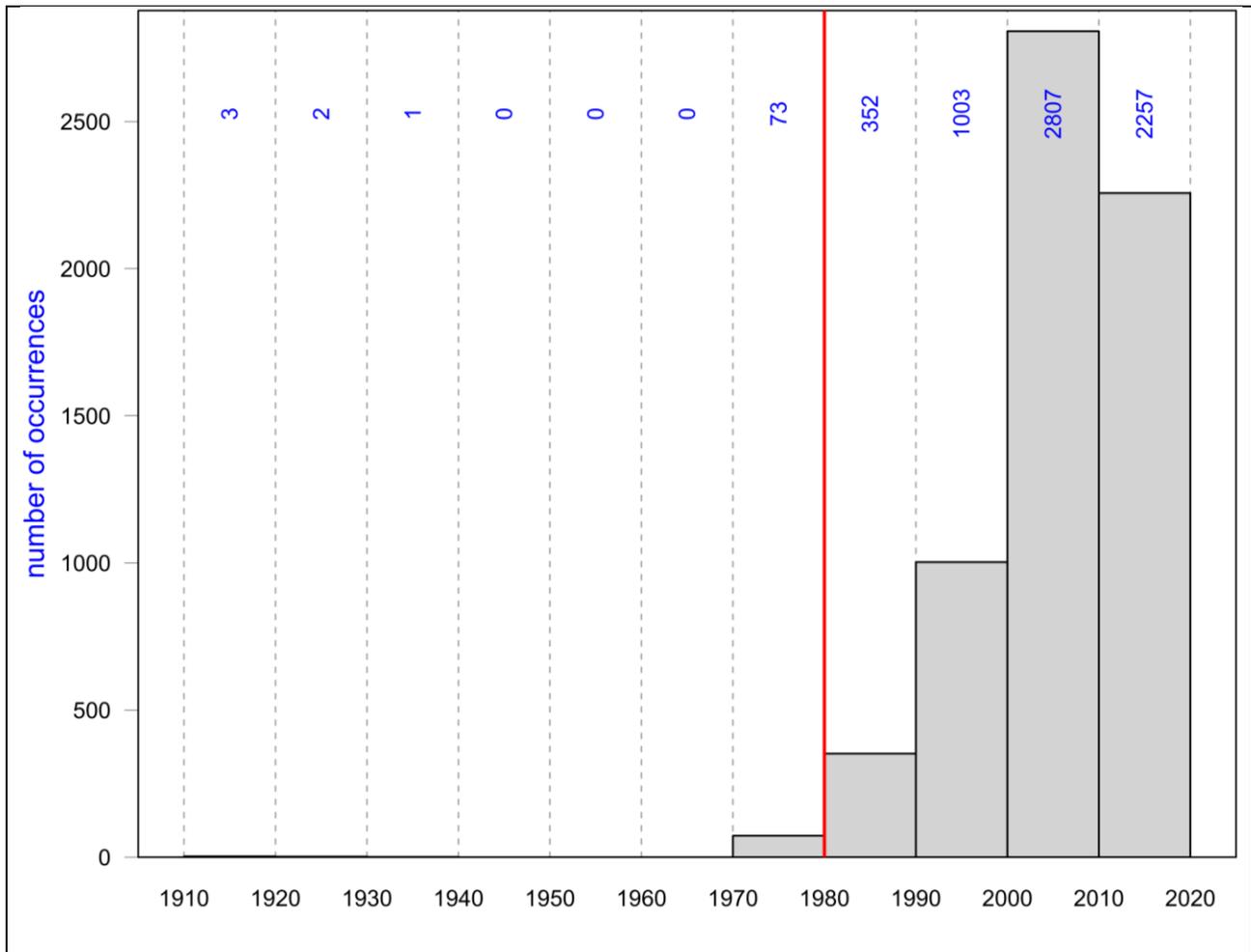
Appendix 6 - Abbildung 4: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des antarktischen Blauwals. Die Grafik zeigt das Vorkommen nach 1980 an jedem Kalendertag. Die Mehrheit der Sichtungsdaten wurde in den Sommermonaten gesammelt (besonders in Januar und Februar).



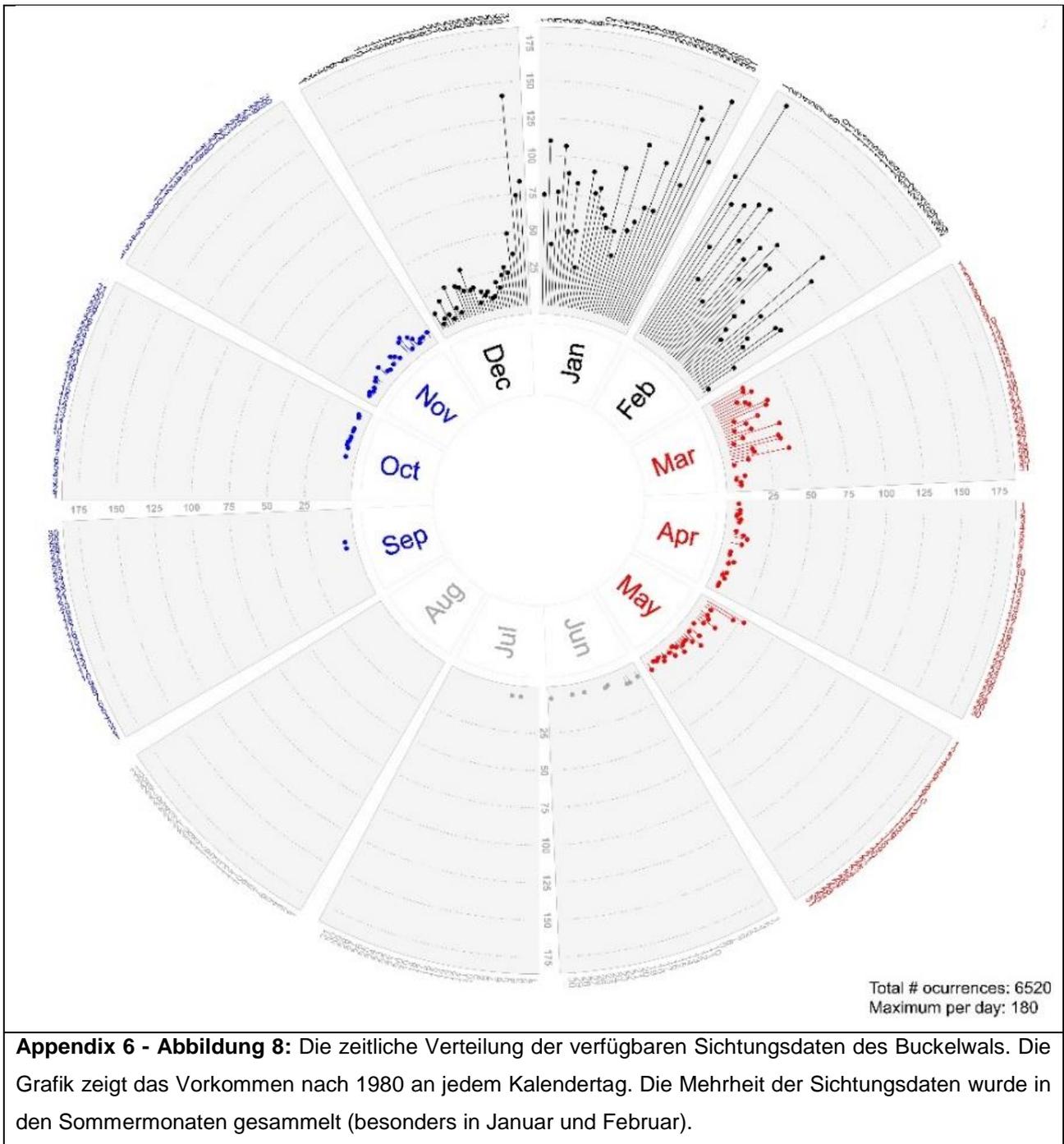
Appendix 6 - Abbildung 5: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des Finnwals. Das Histogramm zeigt das Vorkommen in Zehnjahreszeiträumen an. Die rote vertikale Linie differenziert zwischen Daten, die in der Analyse ausgeschlossen (vor 1980) oder einbezogen (nach 1980) wurden.



Appendix 6 - Abbildung 6: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des Finnwals. Die Grafik zeigt das Vorkommen nach 1980 an jedem Kalendertag. Die Mehrheit der Sichtungsdaten wurde in den Sommermonaten gesammelt (besonders in Januar und Februar).



Appendix 6 - Abbildung 7: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des Buckelwals. Das Histogramm zeigt das Vorkommen in Zehnjahreszeiträumen an. Die rote vertikale Linie differenziert zwischen Daten, die in der Analyse ausgeschlossen (vor 1980) oder einbezogen (nach 1980) wurden.



Appendix 6 - Abbildung 8: Die zeitliche Verteilung der verfügbaren Sichtungsdaten des Buckelwals. Die Grafik zeigt das Vorkommen nach 1980 an jedem Kalendertag. Die Mehrheit der Sichtungsdaten wurde in den Sommermonaten gesammelt (besonders in Januar und Februar).