

Schlussbericht

zum Verbundvorhaben CoastalFutures der DAM sustainMare-Mission



Zukunftsszenarien zur Förderung einer nachhaltigen Nutzung mariner
Räume

Vorhaben: Szenarien für marine Säugetiere

Partner: TiHo-ITAW (I)

Autoren: Anita Gilles, Rémi Pigeault, Nadya C. Ramirez-Martinez,
Tobias Schaffeld, Ursula Siebert

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



Förderkennzeichen: **03F0911H**

Laufzeit: 01.12.2021 - 30.11.2024 (Phase 1)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0911H gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Teil I: Kurzbericht zum Verbundvorhaben CoastalFutures der DAM sustainMare-Mission

Vorhaben: Szenarien für marine Säugetiere

Marine Säugetiere, wie Kegelrobbe, Seehund und Schweinswal, sind wichtige Topprädatoren im Ökosystem der Nord- und Ostsee. Alle Arten haben einen hohen Schutzstatus in Europa und reagieren sensibel auf Änderungen und Störungen in ihrer Umwelt. Sie gelten daher als wichtige Indikatoren für den Zustand von marinen Ökosystemen. Das Ziel dieses Teilprojektes im Verbund CoastalFutures bestand darin Handlungswissen zu generieren und diese Artengruppe in Ökosystemmodellen entsprechend zu berücksichtigen. Um Bewertungen vorzunehmen sowie Managementmaßnahmen effektiv einzusetzen, müssen sowohl die Ansprüche an ihr Habitat als auch die Einflüsse von anthropogenen Stressoren mit einbezogen werden.

Unser Teilprojekt I aus dem DAM-SN-Verbund CoastalFutures lieferte in Phase 1 über die erfolgreiche Kopplung der Artenverteilungsmodelle für marine Säugetiere mit dem neuartigen skalenübergreifenden End-to-End (E2E) Modellsystem die Voraussetzungen für eine konsistente Modellierung. So kann nun das gesamte Spektrum der Auswirkungen von der Physik bis zur höheren trophischen Ebene in einem konsistenten Rahmen bewertet werden, welcher auch Rückkopplungen zwischen höheren und niedrigeren trophischen Ebenen berücksichtigt werden. Aufgrund der Ausbauziele der EU bis 2050 eine Offshore-Windenergiekapazität von 450 GW zu erreichen, wird die Nordsee zu einem globalen Hotspot für Offshore-Windenergie (**AP1**), daher sind insbesondere Störungen durch Bautätigkeiten der Industrie, erhöhter Schiffsverkehr als auch Änderungen in trophischen Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Im Rahmen eines Gutachtens für das Büro für Technikfolgenabschätzung des Bundestags wurden die Risiken und ökologischen Folgen für marine Säugetiere beschrieben.

In **AP2** stützten sich die Artenverteilungsmodelle (sog. species distribution models) für Schweinswale auf nationale und internationale biologische Langzeitdatenreihen, die aus dezidierten Surveys zur Erfassung von Abundanz und Verteilung von Schweinswalen und anderen Walarten stammten. Der vollständige Datensatz umfasst den Zeitraum 1994 bis 2023. Angesichts der aufwandsintensiven (300.000 km Suchaufwand) und räumlich guten Abdeckung der Eingangsdaten konnten vertrauenswürdige Vorhersagen der Schweinswalverteilung ermöglicht werden. Zudem konnte die effektive Kopplung der Schweinswalmodelle mit dem ECOSMO E2E-Modell erreicht werden, da relevante ozeanografische und biologische Variablen im Artverteilungsmodell als wichtige Habitatvariablen selektiert wurden (z.B. Frontenindex, Phytoplankton, Zooplankton und potenzielle Fischbiomasse). Die so erstellten Artenverteilungsmodelle wurden prozessorientiert erweitert, um anthropogenen Aktivitäten zu berücksichtigen (**AP3**). So wurde unter anderem der Schiffsverkehr (basierend auf AIS-Positionen) als erklärende Variable in

die Modelle integriert, was die Modellanpassung signifikant verbesserte. Es zeigte sich, dass Schweinswale Bereiche mit häufiger oder sich annähernder Schifffahrt systematisch meiden; die stärksten Abnahmen der Sichtungsrates traten auf, wenn ein oder mehrere Schiffe innerhalb eines Umkreises von etwa neun Kilometern aktiv waren. Das Meideverhalten ließ sich im Modell besser durch die Anzahl der Schiffe und deren Annäherungsdistanz als durch den modellierten Schalldruckpegel erklären. Bei der Einbeziehung von Bau- und Betriebsphasen von Windparks wurde darüber hinaus ein signifikanter negativer Effekt der Bauphase auf die lokale Abundanz festgestellt, dessen Reichweite in ähnlicher Größenordnung lag.

Marine Säugetiere sind vor allem durch anthropogene Lärmbelastung gefährdet. Diese wird als eine der bedeutendsten Formen der Umweltverschmutzung anerkannt und stellt eine substantielle Bedrohung für die Biodiversität dar. Um eine Parametrisierung von Stressoren, wie z.B. durch den Offshore-Windenergieausbau und somit verbundenen Lärmemissionen, zu erlangen, wurden in **AP3** spezielle Modelle zur Tierbewegung erarbeitet, die über Auswirkungen von Verhaltensreaktionen Rückschlüsse auf das Energiebudget von marinen Säugetieren (hier Seehunde) auf Populationsniveau erlauben und eine multifaktorielle, umfassendere Bewertung des vom Menschen verursachten Unterwasserlärms ermöglichen. Die bestehenden Datensätze wurden mit Daten aus weiteren Feldkampagnen in CoastalFutures erweitert, bei denen 12 Seehunde mit spezielle Datenloggern besendet wurden. Ein Hidden-Markov-Modell lieferte verhaltensabhängige Lärmschwellen, welche gemeinsam mit artspezifischen Tauch- und Bewegungsparametern in ein agentenbasiertes Modell integriert wurden, um Zeitbudgets für Nahrung und Ruhe unter realistischen Schallfeldern abzubilden. Die so ermittelten Verhaltens- und Lärmschwellen für Seehunde wurden erstmalig in ein großflächiges agentenbasiertes Modell überführt, das ein zeit- und raumvariiertes Schallfeld nutzt, welches auf AIS-Daten hunderter Schiffe basiert. Vier Szenarien wurden simuliert: der aktuelle Zustand, ein Ausbauszenario für das Jahr 2030 mit einem rund 2,2-fachen OWP-bezogenen Schiffsverkehr, ein Ausbauszenario für das Jahr 2050 mit einem 24-fachen OWP-bezogenen Schiffsverkehr und ein Managementszenario mit spezifischen Tempolimits für unterschiedliche Schiffskategorien. Letzteres dient dazu, die Wirksamkeit einer solchen Managementmaßnahme auf das Verhalten von Seehunden zu prüfen.

Diese Ergebnisse wurden in **AP5** bei der Abschätzung der Wirkungsweise und Effizienz bestehender sowie geplanter Schutzkonzepte für marine Säugetiere in Schutzgebieten sowie des Effekts menschlicher Eingriffe und der Wirkung von möglichen Minderungsmaßnahmen (z.B. Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit) herangezogen.

Hinsichtlich der Modelle zur Artenverteilung der marinen Säugetiere wurden signifikante Fortschritte in der Vorhersage der Auswirkungen klimabedingter Veränderungen erzielt (**AP6**). Dazu wurden die Auswirkungen klimabedingter Veränderungen berechnet und die Szenarien des Klimawandels in die Vorhersagemodellierung zur Dichteverteilung integriert. Die besten Modelle aus Nord- und Ostsee, zeigen einen Rückgang der prognostizierten Schweinswaldichte angesichts des künftigen Temperaturanstiegs. Es konnten keine signifikanten Veränderungen in der räumlichen Verteilung festgestellt, was vermutlich auf die begrenzte Anzahl dynamischer Variablen und die breite zeitliche Skala zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse der Modellanpassung sowie der Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf marine Säugetiere, wurden aktiv in nationale und internationale Expertengruppen transferiert

sowie im OSPAR Quality Status Report 2023 integriert. Die zeitnahe Aufnahme der Ergebnisse in politische Entscheidungen wurde durch eine andauernde aktive Mitwirkung von Experten von TiHo-ITAW in nationalen Beratungsgremien (z.B. BLANO) sowie durch einen stetigen Austausch mit BSH und BfN gewährleistet. Zudem wurden die Ergebnisse auf diversen Tagungen präsentiert, in Outreach-Aktivitäten aufgenommen (Ringvorlesung, Fernsehformate, Jugendinformation, DAM interaktiver Weltozean) sowie in mehreren wissenschaftlichen Publikationen integriert, von denen einige bereits erschienen sind bzw. kurz vor der Veröffentlichung stehen.

Arbeitsplan, Zeitplan und Kostenplan wurden eingehalten, alle Meilensteine wurden erreicht.

Schlussbericht

Teil II: Eingehende Darstellung zum Verbundvorhaben CoastalFutures der DAM sustainMare-Mission

Vorhaben: Szenarien für marine Säugetiere

Inhaltsverzeichnis

1. Ergebnisse im Einzelnen - Wissenschaftliche Ergebnisse nach AP	2
2. Verwertbarkeit des Ergebnisses	18
2.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte	18
2.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)	18
2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	18
2.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	19
2.5. Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	19
2.6. Angaben über die Einhaltung der Zeitplanung	19
3. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	19
4. Veröffentlichungen des Ergebnisses	20
4.1. Publikationen (erfolgte und geplante)	20
4.2. Veranstaltungen	21
5. Literaturverzeichnis	22

1. Ergebnisse im Einzelnen - Wissenschaftliche Ergebnisse nach AP

AP1 - Transdisziplinäre Dialog- und Szenarienentwicklung (Co-design);

Beteiligte Partner: Hereon, TI-SF, Ti-OF, IOW, LUH, TiHo-ITAW, TUBS, TUHH, CAU-FTZ, BSH, BAW, BfN, DWD, SWIMWAY

Aufgabe 1.1 Identifikation institutioneller Zusammenhänge

Die internationalen Regelwerke zum Schutz mariner Säugetiere wurden evaluiert und als Grundlage genutzt, um die Ableitung von Szenarien und Narrativen für ausgewählte Sektoren zu ermöglichen. In enger Absprache mit den Verbundpartnern und der Leitung des AP1, lag das erste Augenmerk auf der Herausarbeitung der sog. ‚Agency‘, d.h. wie sind die Zuständigkeiten (national und international) geregelt und welches Gremium ist für die Umsetzung von Maßnahmen verantwortlich. Auch wurden die konkreten Gefährdungen für marine Säugetiere zusammengestellt und bei welchen anthropogenen Aktivitäten diese vor allem auftreten.

Aufgabe 1.5 Vernetzung mit beratungsorientierten Expertengruppen

Eine andauernde Vertretung durch Experten zum Thema wurde u.a. bei ASCOBANS, ICES, OSPAR und HELCOM sowie in nationalen und regionalen Beratungsgremien (z. B. Nationalparkkuratorien) gewährleistet. Dort wurden die Projektfortschritte transferiert und die DAM Forschungsmission sustainMare thematisiert. Die Ergebnisse der Modellanpassung sowie der Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf marine Säugetiere, die durch Modellierung und Markierung gewonnen wurden, wurden den internationalen Expertengruppen erfolgreich mitgeteilt sowie im OSPAR Quality Status Report 2023 integriert (s. sustainMare Produkt „Bewertung der Abundanz und Verteilung von Walen, Schweinswalen und Delfinen“ <https://www.sustainmare.de/112242/index.php.de>.)

Ebenso hat TiHo-ITAW in der Schlussphase von Phase I von CoastalFutures bei zwei wichtigen Beratungstexten aktiv mitgewirkt:

(1) bei der Entwicklung eines Beratungstextes durch das International Council for the Exploration of the Sea (ICES) für die Europäische Kommission zu Auswirkungen der Offshore-Windenergie auf die Fischerei und marine Ökosysteme, in dem TiHo-ITAW für die Einschätzung der Effekte auf Schweinswale in der zentralen Ostsee verantwortlich waren. Die entsprechenden Berichte (ein wissenschaftlicher Bericht und der Beratungstext; WKCOMPORE) wurden durch ICES im April 2025 veröffentlicht (ICES, 2025).

(2) Im Rahmen eines Gutachtens für das Büro für Technikfolgenabschätzung des Bundestags zum Offshore-Windenergieausbau in Nord- und Ostsee, wurden die Risiken und ökologischen Folgen für marine Säugetiere beschrieben.

AP2 - Framework für integrierte E2E Küstenmodellierung

Beteiligte Partner: TI-SF, IOW, Hereon, UHH, TiHo-ITAW, LUH, CAU-FTZ, TUHH, TUBS, TI-OF, AWI

Aufgabe 2.2 Artenverteilungsmodelle für kommerzielle Fischarten, marine Säugetiere und Seevögel

Um ein effektives Management von Küstengebieten zu unterstützen, lagen die Ziele des AP2 in der Weiterentwicklung und Anpassung der Artenverteilungsmodelle für marine Säugetiere, sowie die Entwicklung eines integrierten Modellierungsrahmens, der diese Modelle in das Ökosystemmodell einbindet und somit das Testen von Managementszenarien ermöglicht.

Alle Flug- und Schiffssurveys zur Erfassung von Schweinswalen in der Nordsee und westlichen Ostsee, die zwischen 1994 und 2023 durchgeführt wurden, wurden zusammengeführt, um belastbare Modelle zur Verbreitung dieser Art in den beiden Regionen zu entwickeln. Dazu gehört auch der großräumige internationale SCANS-IV Survey („Small Cetaceans in European Atlantic Waters and the North Sea“), der im Sommer 2022 unter regionaler Koordination des TiHo-ITAW durchgeführt wurde (Gilles et al., 2023). Der vollständige Datensatz umfasst mehr als 300.000 km Suchaufwand entlang von Transekten in der Nordsee. Angesichts der aufwandsintensiven und räumlich guten Abdeckung der Surveys stellt dies eine starke Datenbasis dar, um eine sehr umfassende und vertrauenswürdige Vorhersage der Schweinswalverteilung und -dichte zu ermöglichen.

Im weiteren Verlauf wurde die beobachtete Schweinswalldichte in Bezug zu Habitatparametern gesetzt und ein Modell entwickelt, welches dann basierend auf für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Habitatparametern die Dichte modellierte. Zur Modellierung der Verteilung wurden verschiedene Methoden verwendet, darunter Generalisierte Additive Modelle (GAM), maschinelles Lernen und Bayes'sche Verfahren. Die GAMs erwiesen sich als die am besten geeignete Methode zur Vorhersage der Schweinswalverbreitung (Pigeault et al., 2024a).

Um eine möglichst umfassende Datenbasis der Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet zu schaffen, wurden verschiedene Kovariaten aus mehreren Quellen (z. B. Copernicus, EMODnet) zusammengetragen. Die Kovariaten wurden extrahiert, und ihre zeitliche sowie räumliche Standardabweichung wurde als Näherung für das Vorkommen ozeanischer Fronten entlang der Transekte berechnet. Diese umfassten biologische Variablen (z. B. potenzielle Fischbiomasse, Primärproduktion), physikalisch-chemische Umweltvariablen (z. B. Temperatur der Wasseroberfläche und Wassersäule, Salzgehalt), physiographische Parameter (z. B. Wassertiefe, Hangneigung) und ozeanografische Kenngrößen (z. B. Tiefe der Mischschicht, Frontenindex). Mittelwerte sowie zeitliche und räumliche Standardabweichungen dieser Variablen wurden für Zeiträume von einem Tag, acht Tagen und 30 Tagen vor den Surveys berechnet, um Einflüsse auf unterschiedlichen zeitlichen Skalen abzubilden und deren Aussagekraft zu vergleichen.

Darüber hinaus wurden wichtige anthropogene Einflüsse berücksichtigt: Schiffsverkehr und der Bau und Betrieb von Offshore-Windparks (siehe AP3).

Aufgabe 2.4 Entwicklung eines End-to-End Küstenökosystemmodells

Zur Integration der Schweinswal Komponente in das übergeordnete Modellierungsframework wurde das bestehende Verteilungsmodell für Schweinswale mit dem ECOSMO E2E-Modell gekoppelt. Der umfassende Datensatz der Schweinswalerfassungen in der gesamten Nordsee sowie die erklärenden Umweltvariablen, ermöglichten eine effektive Kopplung der Schweinswalverteilungsmodelle mit dem ECOSMO E2E-Modell. Letzteres liefert in diesem Sinne nützliche Daten, da relevante ozeanografische und biologische Variablen modelliert werden (z. B. Frontenindex, Phytoplankton, Zooplankton und potenzielle Fischbiomasse) (Abbildung 1). Für die genannten Variablen wurde ein Durchschnittswert über einen Zeitraum von acht Tagen vor der Erhebung sowie die räumliche und zeitliche Variabilität extrahiert. Die modellbasierten Abundanzschätzungen lagen in einem ähnlichen Bereich wie konventionelle, design-basierte Verfahren (~350.000 Individuen in den Jahren 2005 und 2016). Die Vorhersagefähigkeiten wurden bewertet, wobei die Modelle im Frühjahr, Sommer und Herbst zuverlässig, im Winter aufgrund der mangelnden Datenlage jedoch unsicher waren.

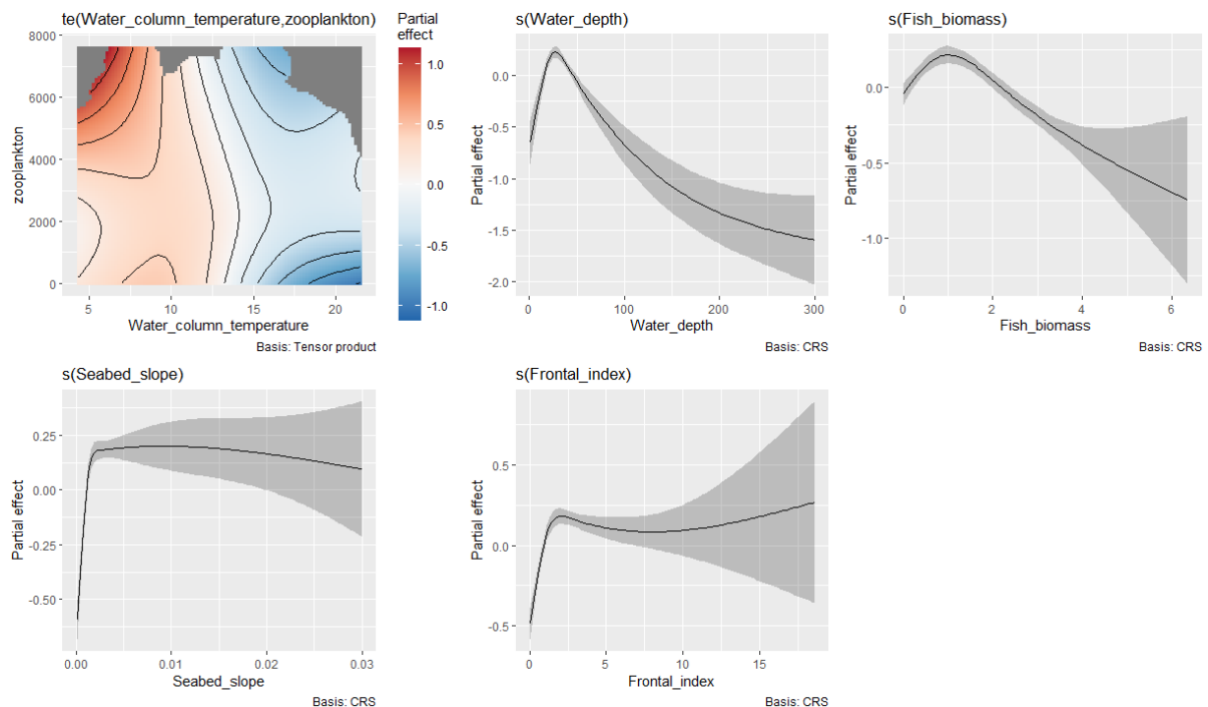


Abbildung 1: Ergebnisse der Modellanpassung (GAM) und Darstellung der functional smooth für die einzelnen Kovariaten aus ECOSMO E2E, zur Erklärung der Schweinswalverteilung.

Zudem wurde eine einheitliche Kopplungsstrategie für OSMOSE, Fisch- und Schweinswalverteilungsmodelle im Rahmen eines End-to-End-Modells entwickelt. Dabei wurden insbesondere die räumliche und zeitliche Auflösung diskutiert.

Aufgabe 2.5 Quantifizierung von Unsicherheiten in Ökosystemmodellen und Szenariosimulationen mit Hilfe durch Maschinelles Lernen

Die Daten aus dem großskalig angelegten internationalen Survey zur Erfassung von Walen (SCANS) aus dem Jahr 1994 wurde erfolgreich aufbereitet, und als Testdatensatz für die

Anpassung der Artverbreitungsmodelle verwendet. Die nachfolgenden Erhebungen (2002–2023) dienten zur Modellkalibrierung, wobei eine Veränderung in der Verbreitung im Vergleich zu 1994 festgestellt wurde. Die Wahrscheinlichkeit, mit der die angepassten Modelle die Verbreitung der Schweinswale im Jahr 1994 korrekt vorhersagen konnten, wurde geschätzt, und diejenigen Modelle mit der höchsten Wahrscheinlichkeit ausgewählt.

Diese Modelle für die Verbreitung von Schweinswalen beinhalten wichtige Umweltkovariaten (z. B. Wassertiefe, Temperatur), ozeanografische Kovariaten (z. B. Schichtung, Frontenindex) sowie biologische Kovariaten (z. B. Primärproduktion, potenzielle Fischbiomasse). Die Beziehungen zwischen Art und Umwelt wurden als ökologisch kohärent bewertet und stimmen mit zuvor veröffentlichten Ergebnissen überein (z.B. (Gilles et al., 2016; Hammond et al., 2021).

Aufgabe 2.6 Multi-Kompartiment Modell zu E2E Modellen gekoppelt und Konzept für die Modellierung von Schadstoffstressoren in Organismen

Im Rahmen von Aufgabe 2.6 wurde (in-kind) gemeinsam mit den Projekten SpaCeParti, iSeal und CONMAR eine abgestimmte Strategie zur Modellierung von Schadstoffen und deren Bioakkumulation diskutiert. Dabei wurden unter anderem in CONMAR entwickelte Transportroutinen für den passiven Eintrag von TNT in das hochaufgelöste Modell der Boddenkette integriert. Darüber hinaus wurde die Multikompartimentmodellierung für Quecksilber, PFAS und PCB weiterentwickelt und in das bestehende Küstenmodellsystem eingebunden. Die Einbindung der marinen Säugetiere, als wichtige Topprädatoren steht noch aus.

AP3 - Ökosystemauswirkungen durch Offshore-Windenergieausbau

Beteiligte Partner: TiHo-ITAW, Hereon, AWI, LUH, TI-SF, TI-OF, CAU-FTZ, BSH, BfN

Neben der Leitung des Arbeitspakets 3 lagen die Hauptaufgaben von TiHo-ITAW in Aufgaben 3.3 (Auswirkung von Offshore Windenergie auf Habitate, Habitatnutzung und Rekrutierung) sowie 3.4 (Zukunftsszenarien für Offshore-Windenergie im regionalen Kontext).

Aufgabe 3.3 Auswirkung von Offshore Windenergie auf Habitate, Habitatnutzung und Rekrutierung

Bei den marinen Säugetieren ist eine Parametrisierung von Stressoren, wie z.B. Lärmemissionen in Verbindung mit OWFs, erforderlich, um eine multifaktorielle, umfassende Bewertung des vom Menschen verursachten Unterwasserlärms durchzuführen.

Dazu wurden in der Projektlaufzeit zusätzlich zu den bereits verfügbaren zwei Datensätzen (erhoben im Projekt „[Fisch satt?-Evaluierung des Fressverhaltens von Seehunden mittels hochauflösender Multi-Sensor-Unterwasserkamera](#)“, gefördert durch die Nationalparkstiftung Schleswig-Holstein), 12 weitere Seehunde mit Datenloggern mit integrierter Kamera in der Nordsee besendert. Hierbei kam es zum Verlust von zwei Kameras, die nach der Datenaufnahme in Richtung Norwegen getrieben sind und nicht mehr geborgen werden

konnten, weil diese auf Grund von zu großen Entfernungen und / oder schlechten Wetterbedingungen unerreichbar waren. Die Kameras wurden so programmiert, dass diese nur während des Tauchgangs Videos aufnehmen. Diese Einstellung wurde so gewählt, damit aus der verfügbaren Batteriekapazität das Maximum an Erkenntnissen zum Beutefangverhalten von Seehunden gewonnen werden kann. Insgesamt wurden 63 Stunden Videomaterial erhoben, das hinsichtlich des Vorkommens von Jagdverhalten untersucht wurde. Nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand können Beutefangversuche aus den Bewegungsdaten von Seehunden abgeleitet werden (Vance et al., 2021). Diese Methode wurde auf die Bewegungsdaten der mit Kameras besenderten Seehunde angewendet. Es wurden Events bestimmt, die potenzielle Beutefangversuche darstellen und getestet, ob hierfür Videomaterial aufgenommen wurde und ob die Videoaufnahmen hell genug für eine Auswertung sind. Aus diesem Datensatz konnten insgesamt 868 potenzielle Beutefangversuche bestimmt werden. Für alle diese Ereignisse wurden die Bewegungsdaten und Videos zusammengeführt, sodass eine gemeinsame Bewertung möglich ist. Es wurden jeweils 10 Sekunden erstellt (5 Sekunden vor und nach dem Event), bei denen am rechten Bildrand die triaxiale Bewegung, die Tauchtiefe, die Magnetometerdaten und der sog. Jerk (zeitliche Änderungsrate der Beschleunigung aller Achsen) dargestellt werden. Im Jerk Signal wurde ein peak-Detektor angewendet, um potentielle Beutefangversuche zu finden (PCA=prey capture approach).



Abbildung 2: Kombiniertes Video von -5s vor bis +5s eines potenziellen Beutefangversuchs. Im rechten Bildrand werden die Bewegungsdaten des Seehunds dargestellt: Triaxiale Beschleunigung, Tauchtiefe, Magnetometerdaten, Jerk mit detektiertem potentiellen Beutefangversuch (roter Punkt).

Alle Videos wurden manuell untersucht, um das Auftreten verschiedener Verhaltensweisen und Parameter zu bestimmen. Folgende Parameter wurden ausgewertet:

position	Wo fand der Beutefangversuch statt? Pelagisch, benthisch?
benthic_habitat	Welcher Habitat Typ liegt vor, wenn benthisch? 1) Felsriff, 2) Einzelne Gesteinsbrocken, 3) Biogenes Riff, 4) Sandboden, 5) Seegraswiese
head_down	Schwimmt der Seehund mit dem Kopf nach unten gerichtet?
snapping	Ist eine plötzliche und schnelle Kopfbewegung zu sehen?

snapping_direction	In welche Richtung geht diese Kopfbewegung?
multi_snapping	Gibt es mehr als eine dieser Kopfbewegungen im 10 s Video?
pursuing	Gibt es plötzliche Richtungsänderungen oder ein Rollen des Körpers?
speed_up	Erhöht der Seehund kurzzeitig und zielgerichtet seine Schwimgeschwindigkeit?
prey_visible	Ist im gesamten 10 s Video ein potenzielles Beutetier sichtbar?
prey_in_mouth	Ist innerhalb des Videos irgendwann Beute im Maul zu sehen?
prey_species	Kann die Art der Beute bestimmt werden?
chewing	Gibt es Bewegungen des Kopfes oder des Mauls die auf Kauen oder Schlucken hinweisen?
conspecifics	Sind andere Seehunde im Video zu sehen?

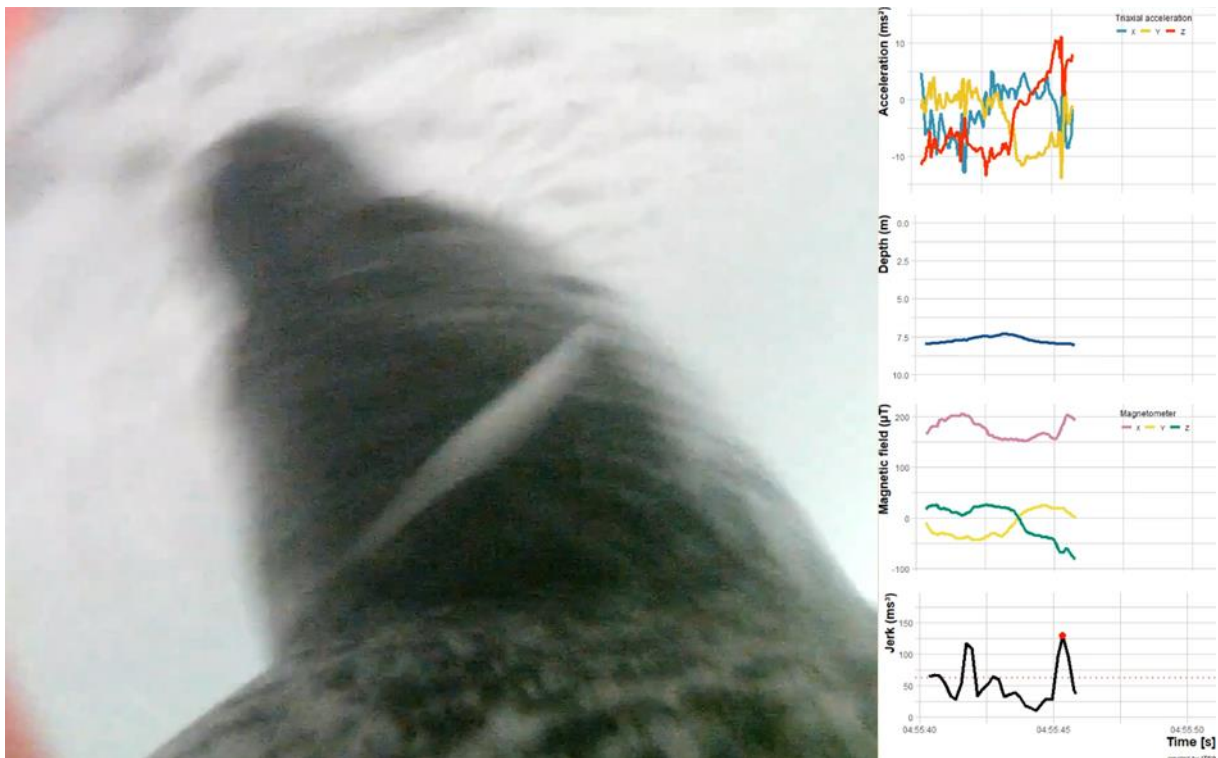


Abbildung 3: Ausschnitt eines Videos mit potentiell Beutefang. Der Seehund sucht mit dem Kopf nach unten gerichtet auf dem Grund. Der Seehund befindet sich auf Nahrungssuche im Habitat Sandboden. Zum Zeitpunkt des PCA (mit roten Punkt in der Jerk Abbildung) gibt es eine plötzliche Bewegung des Kopfes und man sieht, wie ein länglicher heller Fisch (vermutlich ein Sandaal) am Kopf des Seehunds vorbei schwimmt und entkommt.

Die Seehunde suchen zu einem Großteil dicht über dem Grund nach Beute. Die Beutefische sind nur sehr selten in den Videos klar zu bestimmen. Ein Grund hierfür ist, dass hauptsächlich sehr kleine Beutetiere gefangen werden. Es kommt vor, dass Flossenschläge zur Vorwärtsbewegung für einen potenziellen Beutefang gehalten werden. Der Anteil dieser fehlerhaften Detektionen wird derzeit noch bestimmt. Mit Hilfe der ausgewerteten Parameter wird ein Detektor entwickelt, der präziser Beutefangversuche aus Bewegungsdaten bestimmen kann und Rückschlüsse auf die potenziell aufgenommene Energie erlaubt (Schaffeld et al. in Vorbereitung).

Für das Projekt wurden vorhandene Telemetriedaten von Seehunden verwendet, die in vorangegangenen Projekten, die durch das Bundesamt für Naturschutz (Cluster 7: Z1.2-53302/2010/14, Unterwasserschalleffekte-UWE: FKZ 3515822000) und aus dem EU-Förderprogramm Horizon2020 für Forschung und Innovation Projekten (SATURN, FKZ 101006443) gefördert wurden. Die Daten wurden mit DTAGs (Digital Sound and Movement Tags) erhoben, die gleichzeitig Bewegungsdaten und den empfangenen Unterwasserschall aufzeichnen. Es wurden Verhaltensreaktionen von 13 Seehunden auf Schiffslärm untersucht. Mittels Hidden-Markov Modellen wurden vier verschiedene Verhaltensweisen (states) der Tiere identifiziert: Ruhen am Meeresgrund, Oberflächenverhalten mit geringer Aktivität, Beutefang und Transit (Maurer et al., 2025). Die Klassifizierung der Verhaltensweisen erfolgte auf Basis einzelner Tauchgänge. Die beste Anpassung des Modells konnte durch Berücksichtigung folgender Eingangsparameter erzielt werden: 1) Flossenschlagrate, 2) vertikale Abtauchgeschwindigkeit, 3) Dauer der Phase am Grund, 4) Dauer der Oberflächenphase nach einem Tauchgang und dem 5) Vorhandensein von Beutefangversuchen.

Es wurde weiterhin untersucht, ob Seehunde durch die Exposition mit Schiffslärm (Nachtsheim et al., 2023) von einem Verhalten in ein anderes wechseln (Maurer et al., 2025). Hierfür wurden Reaktionen von Seehunden während Schiffspassagen hinsichtlich ökologisch relevanter Reaktionen untersucht (Nachtsheim et al. in Vorbereitung). Eine ökologisch relevante Reaktion wurde definiert als Reaktion, die sich signifikant auf die verfügbare Energie des Seehunds auswirkt, also die Nahrungsaufnahme beeinflusst oder das Aufbringen von mehr Energie erfordert. Hierfür wurden die Parameter Flossenschläge (Energiekosten) und Beutefangversuche (Energieaufnahme) betrachtet. Die Beziehung zwischen relevanten Reaktionen und dem empfangenen Schall im 2-kHz-Band wurde in einem GLMM analysiert. Für jedes Verhalten wurde bestimmt, ab welchem empfangenen Schallpegel Schiffslärm (im 2 kHz Dezidekadband) sich das Verhalten mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% ändert.

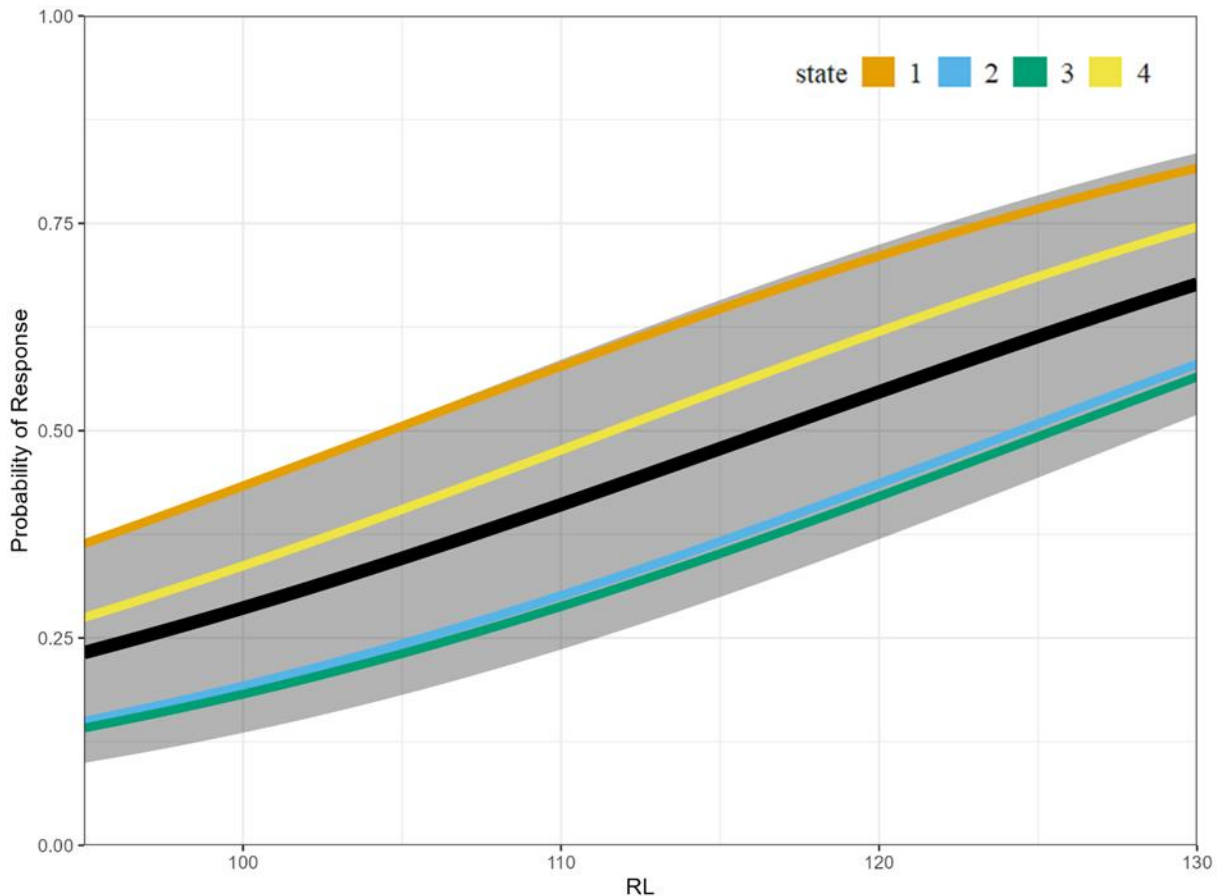


Abbildung 4: Ergebnisse des GLMM hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit für ökologisch relevante Verhaltensänderungen der Seehunde auf Schiffslärm. Die schwarze Kurve umfasst alle Verhaltenskategorien und zeigt den Zusammenhang zwischen Schallexposition und Wahrscheinlichkeit für Verhaltensänderungen. Die weiteren Kurven sind entsprechend der Verhaltenskategorien 1-4 farbcodiert.

Seehunde reagierten am sensitivsten, während sie auf dem Grund schlafen ($ED_{50}=105$ dB re $1 \mu\text{Pa}$) (Maurer et al., 2025). Bei einem empfangenen Schallpegel von 126 wird das Ruheverhalten an der Oberfläche und das Fressverhalten unterbrochen (ED_{50}) und das Verhalten geht stattdessen in Transit über (Maurer et al., 2025). Die zeitlichen Anteile in den Verhaltenskategorien wurde aus den DTAG Daten berechnet. Eine schallabhängige zeitliche Verteilung wurde wie folgt in einem agentenbasierten Modell verwendet:

Tabelle 1: Schallabhängige anteilige Verteilung der Verhaltenskategorien für das agentenbasierte Modell. Der empfangene Schallpegel (received level, RL in dB re $1 \mu\text{Pa}$) umfasst drei Schwellenwerte, ab denen die Wahrscheinlichkeiten der Verhaltenskategorien (State 1-4) neu verteilt werden. Die Anteile der Zeit (Werte zwischen 0 und 1) sind in den vier Spalten der States angegeben.

RL	State 1	State 2	State 3	State 4
<105	0.11	0.12	0.57	0.2
105	0.06	0.12	0.57	0.26
126	0.03	0.06	0.285	0.63

Diese Schwellenwerte für die Reaktion auf Schiffslärm wurden zusammen mit weiteren biologischen Parametern zusammengestellt, um in einem agentenbasierten Modell den Effekt von Schiffslärm auf Seehunde möglichst realitätsnah zu modellieren. Weitere biologische

Parameter waren unter anderem: Haul-out Dauer, Schwimmgeschwindigkeit, Abtauch- und Auftauchgeschwindigkeit, Tauchtiefe, Tauchdauer, Häufigkeitsverteilung der Verhaltensklassen.

In einem weiteren Ansatz wurde die Distanz zu Offshore Windparks im Bau und während des Betriebs in das Dichtemodell für Schweinswale integriert. Für die Umweltvariablen wurde zwar ein größerer Effekt auf die Abundanz von Schweinswalen festgestellt, jedoch gab es ebenfalls einen signifikanten negativen Einfluss durch den Bau von Offshore Windparks. Umfassende Analysen der Auswirkungen des Schiffsverkehrs, der mit dem Bau von OWF und damit auch von Service-Schiffen zunehmen wird, wurden ebenfalls durchgeführt und veröffentlicht (Pigeault et al., 2024b). Es wurden negative Auswirkungen auf das Vorkommen von Schweinswalen über Entfernungen von bis zu 9 km festgestellt.

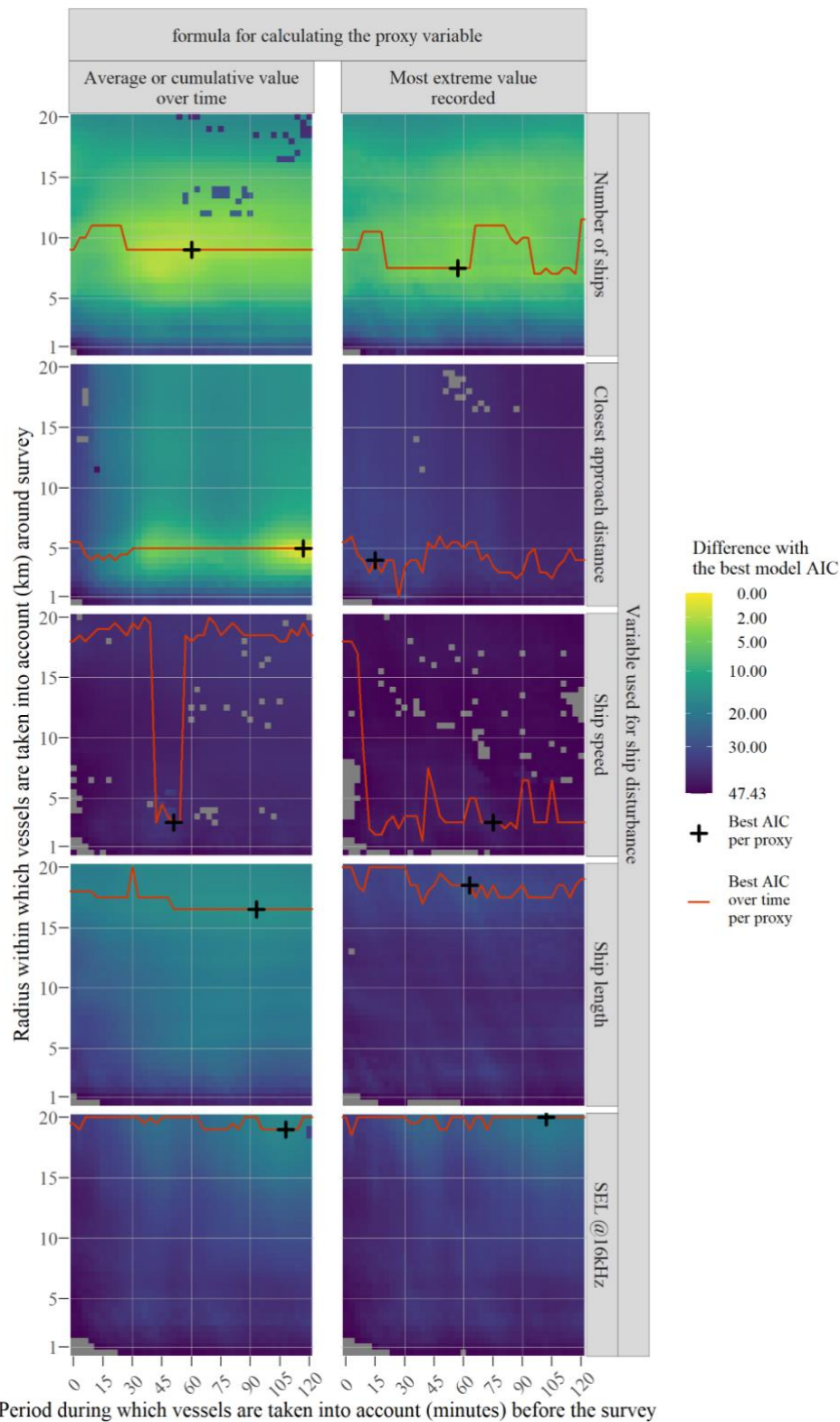


Abbildung 5: Die Qualität der berechneten Modelle wurde anhand des ermittelten AIC Werts bestimmt. Für die verschiedenen Modelle wurde schrittweise der Radius (Kilometer) und der Zeitraum (Minuten) vergrößert. Durch diese Methode wurden die Zeiträume und Distanzen bestimmt, die hinsichtlich Effekte von Schiffen auf Schweinswale berücksichtigt werden sollten. Es wurden getestet, welche Variable sich als bester Proxy eignet, um die Auswirkungen des Schiffverkehrs zu ermitteln und wie ein Schwellenwert ermittelt werden kann. Ein niedriger AIC (gelb) zeigt Modelle, die das beobachtete Vorkommen von Schweinswalen in der Nordsee am besten erklären. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Anzahl der Schiffe in Entfernungen von bis zu 9 km während einer Stunde berücksichtigt wurde und wenn die durchschnittliche Annäherungsdistanz über zwei Stunden geschätzt wurde. (Pigeault et al., 2024b).

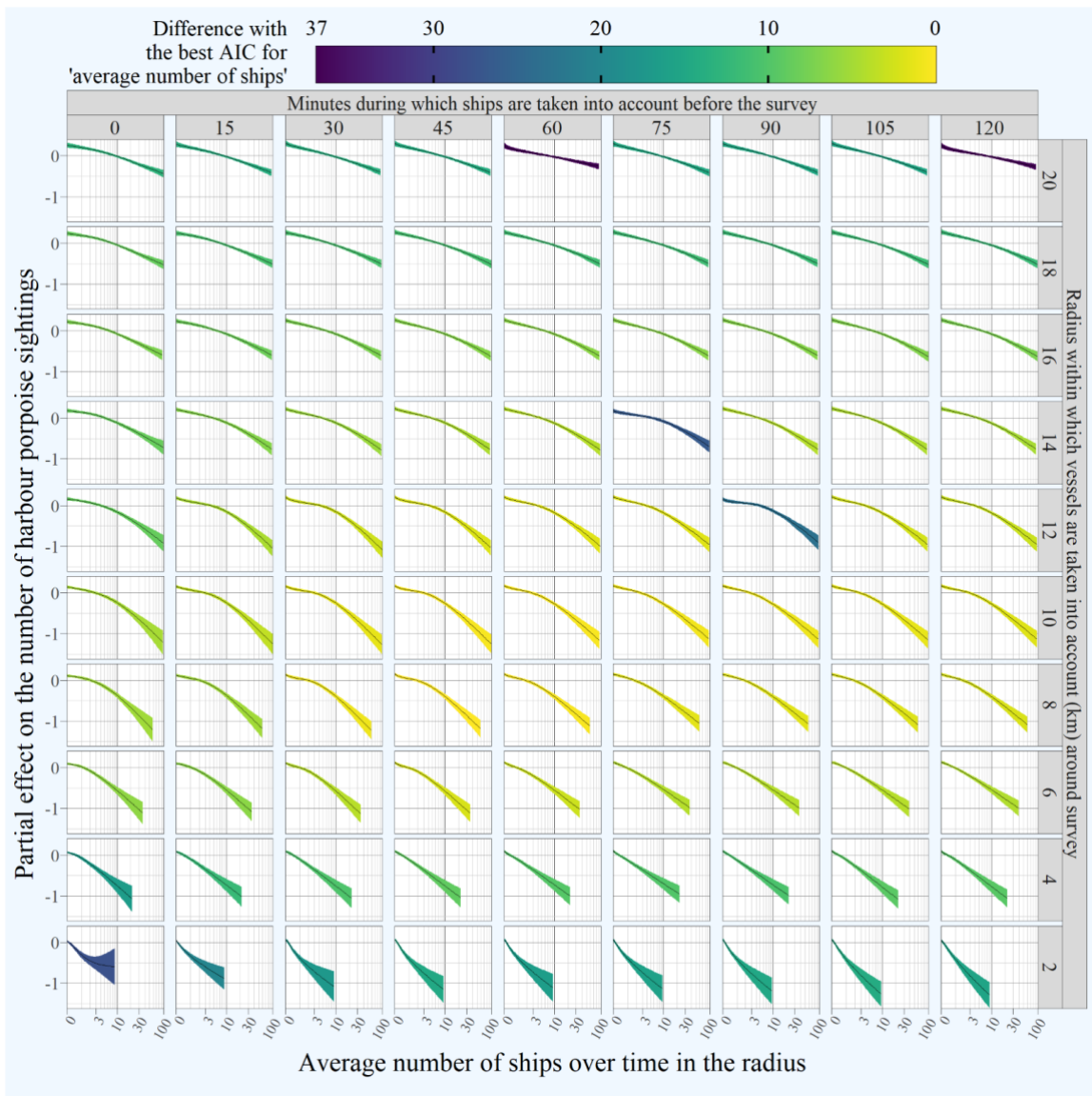


Abbildung 6: Teileffekte der durchschnittlichen Anzahl von Schiffen innerhalb des Radius auf die Anzahl der Schweinswalsichtungen. Die Auswirkungen sind durchweg negativ (Pigeault et al., 2024b).

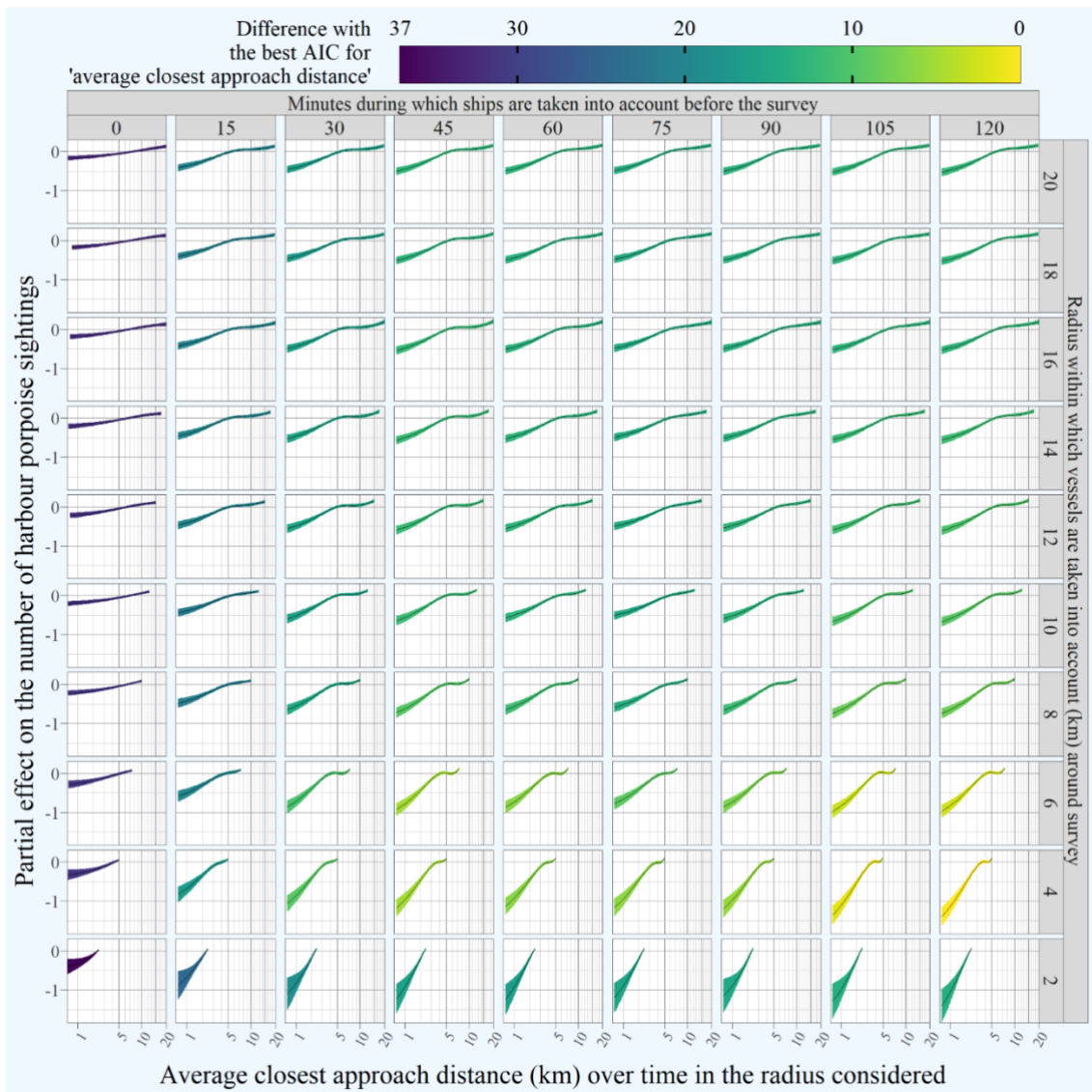


Abbildung 7: Teileffekte der Auswirkungen der durchschnittlichen Annäherungsentfernung von Schiffen (mit empfangenem AIS-Signal) innerhalb des Radius auf die Anzahl der Schweinswalsichtungen. Die Auswirkungen sind durchweg negativ (Pigeault et al., 2024b).

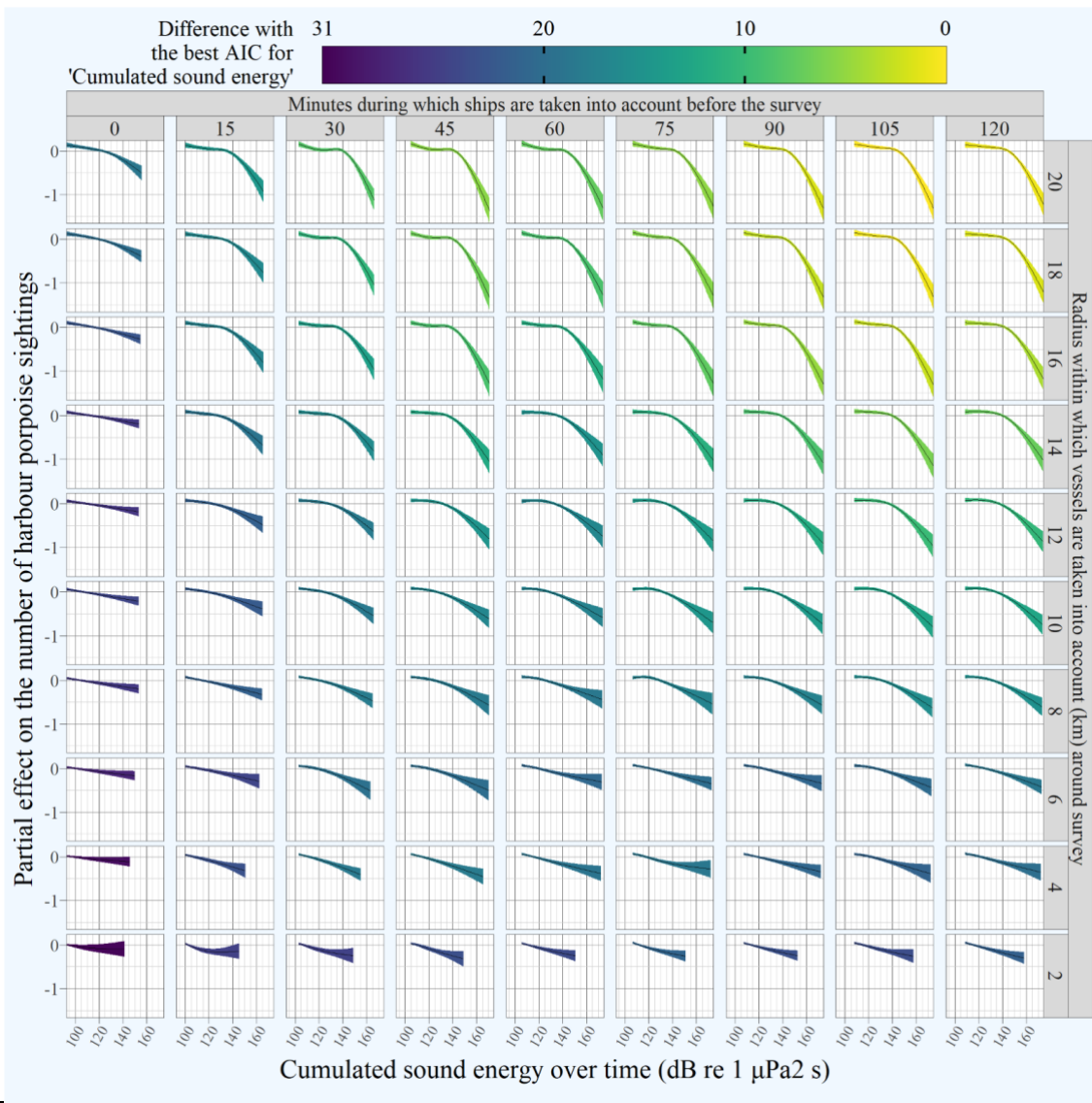


Abbildung 8: Teileffekte der Auswirkungen des modellierten empfangenen Schallpegels innerhalb des Radius auf die Anzahl der Schweinswalsichtungen. Die Auswirkungen sind durchweg negativ (Pigeault et al 2024b).

Aufgabe 3.4 Zukunftsszenarien für Offshore-Windenergie im regionalen Kontext

Erstmalig wurde ein agentenbasiertes Modell (ABM) mit einem großflächigen kumulativen Schallmodell kombiniert, um die Reaktionen von Seehunden auf Szenarien mit ansteigendem Unterwasserlärm zu simulieren und die Wirksamkeit einer weithin diskutierten Schallminderungsstrategie zu bewerten: die Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit. Das ABM simuliert die Bewegungen von Seehunden innerhalb eines zeitabhängigen, großflächigen (~130 km × 300 km) modellierten Schiffslärm-Schallfeldes, das Hunderte von Schiffen und zeitabhängige Umgebungspegel berücksichtigt, die aus AIS-Daten erstellt wurden, um realistische Schiffsaktivitäten darzustellen. Es wurden vier Szenarien simuliert, mit denen die Ökosystemauswirkungen einer zukünftig stark wachsenden Offshore Energieproduktion abgeschätzt werden sollen: 1) Kontrollszenario mit aktuellem Schifffahrtsaufkommen, 2) Szenario für das Jahr 2030 mit einem 2,2 mal so hohem Schifffahrtsaufkommen der OWF Schiffe, entsprechend der erwarteten Zunahme der OWF

Fläche, 3) Szenario für das Jahr 2050 mit einem 24 mal so hohen Schifffahrtsaufkommen der OWF Schiffe entsprechend des erwarteten Zuwachses. Der Anstieg der Schiffe wurde entsprechend folgender Tabelle vorgenommen:

Schiffskategorie	OWP unabhängig		OWP assoziiert	
	2030 (%)	2050 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Massengutfrachter	17,1	35,6	-	-
Containerschiff	29,3	77,7	-	-
Kreuzfahrtschiff	16,4	29,9	-	-
Fähre	6	16	-	-
Fischereifahrzeug	12	32	-	-
Behördenschiff	12	32	-	-
Schnellfahrendes Fahrzeug	12	32	123	2.298
Passagierschiff (< 100 m)	12	32	123	2.298
Sportboot	12	32	-	-
Offshore-Versorgungsschiff	12	32	123	2.298
Tankschiff	20,5	49,6	-	-
Schlepper	12	32	123	2.298
Fahrzeugtransporter (RoRo)	19,6	49,6	-	-
Sonstige	12	32	-	-

4) Szenario mit einem aktuellen Schifffahrtsaufkommen, aber einer reduzierten Fahrtgeschwindigkeit als simulierte Managementmaßnahme, durch die Schallpegel sinken. Für das Szenario 4) wurden Begrenzungen unterschiedlicher Schiffsklassen simuliert, da eine Reduzierung der Geschwindigkeit zu einer Abnahme der Schallemissionen führt und somit eine Managementmaßnahme darstellt, die sofort umgesetzt werden könnte. Die Wirksamkeit einer solchen Maßnahme auf Seehunde wurde für folgende Geschwindigkeitsbegrenzungen getestet:

Schiffskategorie	Mediangeschwindigkeit (kn)	75-Perzentil (kn)	Geschwindigkeitsbegrenzung (kn)
Massengutfrachter	10,4	12,1	11
Containerschiff	14,9	17,1	14
Kreuzfahrtschiff	14,5	16,6	14
Fähre	7,7	9,4	12
Fischereifahrzeug	3,3	4	Kein Limit
Behördenschiff	6,9	10,3	Kein Limit
Schnellfahrendes Fahrzeug	6,9	13,3	14
Sonstige	4,4	9,8	8
Passagierschiff (< 100 m)	7,3	11	8

Sportboot	6,7	8,8	8
Offshore-Versorgungsschiff	4,1	10,1	8
Tankschiff	11,8	13,1	11
Schlepper	6,8	9,6	8
Fahrzeugtransporter (RoRo)	14,6	16,4	14

Die Resultate des agentenbasierten Modells werden Aufschluss über die Effekte auf die verfügbare Zeit zur Nahrungsaufnahme, Ruhephasen und dem Transitverhalten in Abhängigkeit des erwarteten Anstiegs im Schiffsverkehr geben. Es wird sich ebenfalls zeigen, ob mit Hilfe einer Geschwindigkeitsreduzierung sich die Reaktionen auf Schiffslärm signifikant verbessern lassen.

Zudem wurden Modelle entwickelt, die eine zuverlässige Vorhersage der Schweinswalverbreitung unter aktuellen und zukünftigen Bedingungen ermöglichen. Dazu lieferten die (im Verbund) unter 3.1 inventarisierten Zustände und die in AP1 zusammen mit Interessenvertretern entwickelten Entwicklungsnarrative die Eingangsdaten über Installations- und Betriebskonfigurationen sowie wichtige Informationen über Lokalisierung, Zeitpunkte der Inbetriebnahme und Betriebsdauer der Energieextraktion für die Szenariensimulationen.

Die prozessorientierte Parametrisierung und das E2E-Ökosystemmodell wurden zudem genutzt, um die Auswirkungen der wachsenden Offshore-Energieproduktion auf lokaler und regionaler Ebene zu simulieren. Die neu entwickelten Modelle zur Vorhersage der Schweinswalverbreitung (Gilles et al. in Vorbereitung) können nun in ECOSMO E2E integriert werden und stehen für Anwendungen in Phase 2 zur Verfügung. Mittels der prozessorientierten Parametrisierungen und des E2E-Ökosystemmodells werden die kumulativen Ökosystemauswirkungen der zukünftig stark wachsenden Energieproduktion auf lokaler und regionaler Skala simuliert und analysiert.

Die Sachstandsberichte zu Auswirkungen der Offshore-Windenergie auf das Schutzgut „marine Säugetiere“ wurden ausgearbeitet und in (Benkort et al. (2024) für die junge Öffentlichkeit („Frontiers for Young Minds“) aufgearbeitet.

AP5 - Sektorale Stressoren und Schutzkonzepte

Beteiligte Partner: Hereon, IOW, TI-SF, Ti-OF, TiHo-ITAW, CAU-FTZ, AWI, BAW, BfN, BSH

Aufgabe 5.3 Management und Schutzkonzepte

In 5.3. stand die Untersuchung der Wirkungsweise und Effizienz existierender und geplanter Schutzkonzepte für marine Säugetiere in Schutzgebieten sowie des Effekts menschlicher Eingriffe auf ihre Schutzwirkung und der Wirkung von möglichen Minderungsmaßnahmen im Fokus.

Die Auswirkungen des zunehmenden Ausbaus von Offshore-Windparks auf Seehunde und Schweinswale wurden mithilfe eines agentenbasierten Modells (ABM) und eines

Artverbreitungsmodells (SDM), gekoppelt mit dem E2E-Modell, untersucht. Im Rahmen des Naturschutzes wurde ein Informationsblatt/Fact Sheet zu Meeressäugern erstellt.

Zur Abstimmung und Definition der Szenariensimulationen wurde gemeinsam mit den Verbundpartnern im Mai 2023 ein erster Workshop zur Szenarientwicklung mit Vertretern des BfN durchgeführt. Im Vorfeld wurde dem BfN ein Fragenkatalog übermittelt, dessen Ziel es war, im weiteren Projektverlauf relevante Entscheidungshilfen zur Auswahl der Szenarien bereitzustellen. Dies beinhaltete insbesondere die Auswahl geeigneter Zielgrößen und Schutzgüter sowie die Berücksichtigung der Erwartungen der Stakeholder (in diesem Fall speziell des BfN). Das BfN bat wiederum um eine Einführung in die in CoastalFutures verwendeten Modelle sowie um eine Übersicht über deren Leistungsfähigkeit hinsichtlich Bewertungen von Managementmaßnahmen.

AP6 - Klimaszenarien und multiple Stressoren

Beteiligte Partner: IOW, Hereon, TI-SF/TI-OF, TiHo-ITAW, UHH, DWD, BSH, BAW, BfN, CAU-FTZ

Aufgabe 6.2 Regionale Klimawandelszenarien und ihre Unsicherheiten

Bei den Modellen zur Artenverteilung der marinen Säugetiere wurden die Auswirkungen klimabedingter Veränderungen auf vorkommende Arten analysiert. Große Fortschritte wurden bei der Entwicklung eines einheitlichen Ansatzes für verschiedene Ökosystemkomponenten (z.B. Seevögel, Fische) erzielt. Hier ist insbesondere die vergleichbare räumliche und zeitliche Auflösung zu nennen. Darüber hinaus wurden Klimaszenarien definiert, wobei extreme und realistische Szenarien ausgewählt wurden, um die möglichen Auswirkungen des Klimawandels in der Zukunft zu untersuchen. Die gegenwärtigen und zukünftigen monatlichen Mittelwerte der Umweltdaten wurden aus herunterskalierten hydrologischen Modellen (AHOI, MOM und MPIOM) und der Bathymetrie (von GEBCO) abgeleitet. Mit Hilfe von verallgemeinerten additiven Modellen (GAMs) wurden die Schweinswalsichtungen (28.165 Sichtungen) als Funktion von Relief- und Umweltvariablen modelliert. Die Prognosen wurden für die aktuellen Daten (Nowcasting) und für künftige Projektionen durchgeführt, letztere auf der Grundlage des IPCC-Szenarios RCP 8.5 für die Jahre 2030, 2050 und 2100. Die besten Modelle aus beiden Meeren, welche die Meeresoberflächentemperatur und Bathymetrie sowie in der Ostsee zusätzlich Sauerstoff berücksichtigen, zeigen einen Rückgang der prognostizierten Schweinswalddichte angesichts des künftigen Temperaturanstiegs. Es konnten jedoch keine signifikanten Veränderungen in der räumlichen Verteilung festgestellt werden, was höchstwahrscheinlich auf die begrenzte Anzahl dynamischer Variablen und die breite zeitliche Skala zurückzuführen ist (Ramirez-Martinez et al., 2024, Ramirez-Martinez et al. in prep).

Die Verwendung von Klimaszenarien trägt zur Erweiterung des Verständnisses der ökologischen Reaktionen der Schweinswale auf künftige Klimabedingungen bei, und unsere Ansätze in CoastalFutures bieten einen wertvollen Überblick über die Auswirkungen auf die Verteilung und Dichte von wichtigen marinen Topprädatoren.

AP8 - Management von CoastalFutures und Transfer

Beteiligte Partner: Hereon, alle Projektpartner

Im AP8 wurde das übergreifende Projektmanagement durch Hereon sowie die Maßnahmen zur Kommunikation und zum Ergebnistransfer innerhalb des CoastalFutures-Verbunds unterstützt.

Dazu gehörte auch die Teilnahme im Lenkungsausschuss sowie in der Ringvorlesung „Schutz und nachhaltige Nutzung unsere Meere und Küstenregionen“.

2. Verwertbarkeit des Ergebnisses

2.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

*** Nicht zutreffend. ***

2.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

CoastalFutures verfolgte keine direkten wirtschaftlichen Interessen.

2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Über die Projektlaufzeit von CoastalFutures I hinaus sind mehrere wissenschaftliche Fachbeiträge in internationalen Verlagen erschienen und weitere in Vorbereitung, die im Laufe des Jahres 2025 eingereicht werden sollen. Zudem wurden mehrere Beiträge auf nationalen und internationalen Konferenzen sowie Workshops ausgewählt und vorgestellt. Aufgrund der vorhandenen Expertise sowie der hervorragenden nationalen und internationalen Vernetzung der TiHo-ITAW Mitarbeiter konnten in Phase I des Projektes CoastalFutures die Ziele erreicht werden. Im Projektverlauf konnte eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit etabliert werden. Darüber hinaus wurden verschiedene transdisziplinäre Formate implementiert, um eine Interaktion mit den Praxisakteuren zu etablieren. In der zweiten Phase wird diese Zusammenarbeit fortgeführt und weiterentwickelt.

Eine Reihe der Mitarbeitenden des TiHo-ITAW ist in politischen und wissenschaftlichen Beratungsgremien auf nationaler sowie internationaler Ebene vertreten und haben den Vorsitz von Expertengruppen inne. In dieser Funktion agieren sie als intermediäre Instanz zwischen den Resultaten dieses Projektes und den praktischen Anforderungen in den Bereichen Politikentwicklung, Planungsprozesse und die Entwicklung spezifischer Managementmaßnahmen. Die Ergebnisse von CoastalFutures/TP I sind dabei unmittelbar bei der Erarbeitung und Weiterentwicklung von Indikatoren für marine Säugetiere nutzbar. Diese Ergebnisse wurden von Wissenschaftlern des ITAW in internationalen Arbeits- und Expertengruppen im Rahmen von ASCOBANS, HELCOM EG MAMA, OSPAR OMMEG

(BDC-Biodiversity Committee) und ICES (WGMME Working Group on Marine Mammal Ecology) eingebracht. Darüber hinaus wurden die Resultate in der Trilateralen Robben-Expertengruppe (TSEG) des Gemeinsamen Wattenmeersekretariats (CWSS) erörtert. Im Rahmen des nationalen Transfers wurden die Ergebnisse in die BLANO AGs integriert, mit dem Ziel der Identifizierung von Schnittstellen zu managementrelevanten Aufgaben. Darüber hinaus erfolgte eine Integration der Projekterkenntnisse in die akademische Lehre der TiHo Hannover, beispielsweise in Form von Vorlesungen und Übungen, wie sie etwa im Rahmen der Summer School angeboten werden.

2.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Siehe Verwertungsplan im Teil III sowie im Verbundbericht.

2.5. Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine.

2.6. Angaben über die Einhaltung der Zeitplanung

Der Zeitplan wurde im Wesentlichen eingehalten. Alle Arbeiten wurden innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen und die Meilensteine für TPI sind im Rahmen der Projektbearbeitung eingehalten worden. Alle benötigten Zuarbeiten und Datenlieferungen für die anderen Verbundpartner wurden termingerecht abgeschlossen.

3. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Da es sich bei den in CoastalFutures bearbeiteten Fragestellungen um sehr aktuelle Themen handelt, erfolgt eine Bearbeitung aus verschiedenen wissenschaftlichen und praktischen Perspektiven an unterschiedlichen Stellen. Der intensive interdisziplinäre Austausch mit den Projektpartnern, die Mitwirkung der Mitarbeitenden des TiHo-ITAW in einer Vielzahl weiterer nationaler sowie internationaler Forschungsprojekte (u.a. HABITATWal, SATURN, DEMASK, PureWind), die ergänzende Forschungsfragen adressieren, sowie der Austausch mit zahlreichen Praxisakteuren und in wissenschaftlichen Netzwerken gewährleisten einen kontinuierlichen Einbezug externer Erkenntnisse in die Arbeiten von CoastalFutures.

4. Veröffentlichungen des Ergebnisses

4.1. Publikationen (erfolgte und geplante)

Benkort, D., Christiansen, N., Hagemann, H.T.M., Daewel, U. & Gilles, A. (2024). How do offshore wind farms affect the ocean? *Frontiers for Young Minds* 12:1336535. [doi: 10.3389/frym.2024.1336535](https://doi.org/10.3389/frym.2024.1336535)

ICES (2025). Workshop to compile evidence on the impacts of offshore renewable energy on fisheries and marine ecosystems (WKCOMPORE). *ICES Scientific Reports*. 7:45. 283 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.28759259>

Maurer, N., Boyi, J. O., Schick, L. A., Nachtsheim, D. A., Schaffeld, T., Gross, S., Teilmann, J., Schnitzler, J.G. & Siebert, U. (2025). Unsealing behaviour: Variation in harbour seal (*Phoca vitulina*) responses to anthropogenic sound in relation to individual health. *Marine Pollution Bulletin*, 214, 117777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117777>

Pigeault, R., Authier, M., Ramirez-Martinez, N. C., Virgili, A., Geelhoed, S. C., Haelters, J., Louzao, M., Saavedra, C. & Gilles, A. (2024a). Assessing the reliability of species distribution models under changing environments: A case study on cetaceans in the North-East Atlantic. *Global Ecology and Conservation*, 56, e03299. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03299>

Pigeault, R., Ruser, A., Ramírez-Martínez, N. C., Geelhoed, S. C., Haelters, J., Nachtsheim, D. A., Schaffeld, T., Sveegard, S., Siebert, U. & Gilles, A. (2024b). Maritime traffic alters distribution of the harbour porpoise in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 208, 116925. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116925>

Schaffeld, T., Maurer, N., Frankel, A.S., Matthews M-N.R., Campo, F., Pace, F., Racca, R., Nachtsheim, D.A., Schnitzler, J.G., Siebert, U. & Gilles, A. (in prep.). Agent-based modelling of harbour seal behavioural responses to ship noise in a changing North Sea.

Schaffeld, T., Maurer, N., Frankel, A.S., Matthews M-N.R., Campo, F., Pace, F., Racca, R., Nachtsheim, D.A., Schnitzler, J.G., Siebert, U. & Gilles, A. (in prep.). Predicting foraging dive outcomes in harbour seals using animal-borne cameras.

Ramírez-Martínez, N.C., Pigeault, R., Fiorentino, D., Groeger, M., Meier, M.H.E., Becherer, J., Mayer, B., Akimova, A., Núñez-Riboni, I., Siebert, U. & Gilles, A. (in prep.). The outlook of a small cetacean facing climate change in the Anthropocene.

Daten, Skripte, Modelle

AIS-Analyse (Open-Access-R-Paket), SustainMare Software-Produkt
<https://www.sustainmare.de/112656/index.php.de>

Modellanwendung zur Kopplung im Küstenmodellsystem:
<https://www.coastalfutures.de/107596/index.php.de>

Nachwuchsförderung (Bachelor, Master und Doktorarbeit)

Benoit, Vincent: Developing an indicator of changes in the distribution of cetaceans. Université Paris-Saclay, 2024. Authier, Matthieu; Gilles, Anita

Pigeault, Rémi: Distribution of harbour porpoises in response to anthropogenic activities under climate change in the North and Baltic Sea. Doktorarbeit. Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, voraus. 2026. Klaus Jung; Siebert, Ursula

4.2. Veranstaltungen

- 09.-11.11.2021: „Küste im Wandel 2022“. 3. Küstensymposium des KüNO-Küstenforschungsverbundes, Hamburg
- 24.-26.01.2022: Kick-off CoastalFutures (online)
- 17.-18.02.2022: Kick-off sustainMare (online)
- 20.-25.03.2022: KüNO Spring School „Human impact on the Tidal Elbe“, Lauenburg
- 06.05.2022: Workshop mit BSH und Arbeitspaket 3 (Ziel: Diskussion der Modellierung von Auswirkungen von Offshore Windparks)
- 08.07.2022: Meeting sustainMare Multiple Stressors Working Group
- Schaffeld, T., Van Neer, A., Nachtsheim, D., Schnitzler, G.F., Lucke, K., Gilles, A., Siebert, U. (2022). Predicting potential impacts on harbour seals from anthropogenic noise: towards an understanding of population consequences of disturbance. Poster. 6th International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life (10.-15.07.2022) Berlin, Germany.
- Pigeault, R. (2022). Predicting harbour porpoise distribution with anthropogenic activities under climate change: a glance into the future. Talk. KüNO Young Scientists Workshop, Hamburg (27.04.2022).
- 06.09.2022: PANGAEA Info Event “How to publish data in the repository PANGAEA, Data Publisher for Earth and Environmental Science” (online)
- 14.09.2022: Meeting sustainMare Multiple Stressors Working Group
- 13.09-16.09.2022: ICYMARE 2022 Conference, Bremerhaven
- 01.12.2022: PANGAEA Community Workshop - "FAIR data publications with PANGAEA"
- 24.01.2023: Vorstellung der Forschungsmission sustainMare für des Bundesamtes für Naturschutz, um die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Management zu stärken; Insel Vilm.
- 11.-13.01.2023: CoastalFutures 1. Jahrestreffen, Warnemünde
- 27.04.2023: Meeting sustainMare Multiple Stressors Working Group
- Akimova, A., Daewel, U., Gilles, A. (2023). What information can CF models provide? BfN Workshop, online, 12.05.2023.
- Gilles, A. (2023). Seasonal habitat-based density models for harbour porpoises in a dynamic environment, implications for energetics of disturbance. Invited talk, BfN, expert workshop “Management of underwater radiated noise in relation to nature conservation” (02.-03.05.2023)
- Pigeault, R., Ramirez-Martinez, N., Siebert, U., Gilles, A. (2023). Distribution of harbour porpoises in face of anthropogenic activities and climate change in the North and Baltic Sea. Poster. SustainMare Mid-term Conference, Kiel, Germany, 30.08.- 01.09.2023
- Schaffeld (2023). Neuneinhalb WDR. Lärmverschmutzung: Was passiert, wenn es Unterwasser zu laut ist? Fernsehbeitrag in Kinderfernsehsendung neuneinhalb im WDR. <https://www.youtube.com/watch?v=jG2YX28KTSQ>
- 10.10.2023: Meeting sustainMare Multiple Stressors Working Group
- 09.02.2024: Meeting sustainMare Multiple Stressors Working Group
- 21.03.2024: EMB Science Webinar - Implementing Ocean Sound as an essential ocean variable for the Global Ocean Observing System
- 23.03.2023: Parlamentarischer Abend der Deutschen Allianz für Meeresforschung, Hannover
- 27.-28.02.2024: Kick-off sustainMare Arbeitsgruppe „Monitoring & Assessment“
- Gilles, A., Pigeault, R., Ramirez-Martinez, N., Schaffeld, T., Daewel, U., Schrum, C., Siebert, U. (2024). Our coastal future: from prey to anthropogenic stressors, predicting marine mammal habitat in the Anthropocene Ocean. Talk. 35th Conference of the European Cetacean Society (10-12 April 2024). Abstract book page 50.
- 03.-05.06.2024: CoastalFutures 2. Jahrestreffen, Geesthacht
- 17.09.2024: Meeting sustainMare Multiple Stressors Working Group

Pigeault, P., Schaffeld, T., Ramirez-Martinez, N., Siebert, U., Gilles, A. (2024). Predicting marine mammal habitat under anthropogenic stressors & climate change scenarios in the Anthropocene. Poster. SustainMare Final Conference, Hamburg, Germany, 24.-25.09.2024

Pigeault, R., Ramirez-Martinez, N., Ruser, A., Nachtsheim, D., Schaffeld, T., Siebert, U., Gilles, A. (2024). Maritime traffic alters distribution of the harbour porpoise in the North Sea. Talk. In: 25th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals: book of abstracts. The Society of Marine Mammalogy, p 333.

Ramírez-Martínez, N.C., Pigeault, R., Akimova, A., Fiorentino, D., Groeger, M., Mayer, B., Meier, M.H.E., Núñez-Riboni, I., Siebert, U., Gilles, A. (2024). The outlook of a small cetacean facing climate change in the Anthropocene. Poster. In: 25th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals: book of abstracts. The Society of Marine Mammalogy, p 510.

Ramírez-Martínez N.C, Pigeault, R., Fiorentino, D., Groeger, M., Meier, H.E.M., Becherer, J., Mayer, B., Siebert, U., Gilles, A. (2025). Adapting to the Anthropocene: Challenges of a small cetacean in a warming ocean. Talk. In: 36th European Cetacean Society Conference 14-16 May 2025, Ponta Delgada, Azores/Portugal, book of abstracts, p 73.

18.09.2024: Parlamentarischer Abend der Deutschen Allianz für Meeresforschung, Kiel

03.-04.12.2024: 2. Workshop mit dem Bundesamt für Naturschutz (BfN)

Schaffeld, T., Maurer, N., Frankel, A. S., Matthews, M.-N. R., Campo, F., Pace, F., Racca, R., Nachtsheim, D. A., Schnitzler, J. G., Siebert, U., & Gilles, A. (2025) Agent-Based Modeling of Harbor Seal Behavioral Responses to Ship Noise in a Changing North Sea. Talk. 7th International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life (30.06.-04.07.2025) Prague, Czech Republic.

5. Literaturverzeichnis

Benkort, D., Christiansen, N., Ho-Hagemann, H. T. M., Daewel, U., and Gilles, A. (2024). "How Do Offshore Wind Farms Affect the Ocean?," *Front Young Minds*, doi: 10.3389/FRYM.2024.1336535

Gilles, A., Authier, M., Ramirez-Martinez, N., Araújo, H., Blanchard, A., Carlström, J., Eira, C., et al. (2023). "Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2022 from the SCANS-IV aerial and shipboard surveys," Final report published 29 September 2023,.

Gilles, A., Viquerat, S., Becker, E. A., Forney, K. A., Geelhoed, S. C. V, Haelters, J., Nabe-Nielsen, J., et al. (2016). "Seasonal habitat-based density models for a marine top predator, the harbor porpoise, in a dynamic environment," *Ecosphere*, **7**, e01367. doi:10.1002/ecs2.1367

Hammond, P. S., Francis, T. B., Heinemann, D., Long, K. J., Moore, J. E., Punt, A. E., Reeves, R. R., et al. (2021). "Estimating the Abundance of Marine Mammal Populations," *Front Mar Sci*, **8**, 735770. doi:10.3389/fmars.2021.735770

ICES (2025). *Workshop to compile evidence on the impacts of offshore renewable energy on fisheries and marine ecosystems (WKCOMPORE)* ICES Scientific Reports, Copenhagen, DK, Vol. 7, 283 pp pages.

Maurer, N., Boyi, J. O., Schick, L. A., Nachtsheim, D. A., Schaffeld, T., Gross, S., Teilmann, J., et al. (2025). "Unsealing behaviour: Variation in harbour seal (*Phoca vitulina*) responses to anthropogenic sound in relation to individual health," *Mar Pollut Bull*, **214**, 117777. doi:10.1016/J.MARPOLBUL.2025.117777

- Nachtsheim, D. A., Johnson, M., Schaffeld, T., van Neer, A., Madsen, P. T., Findlay, C. R., Rojano-Doñate, L., et al. (2023). "Vessel noise exposures of harbour seals from the Wadden Sea," *Sci Rep*, **13**, 6187. doi:10.1038/s41598-023-33283-z
- Pigeault, R., Authier, M., Ramirez-Martinez, N. C., Virgili, A., Geelhoed, S. C. V., Haelters, J., Louzao, M., et al. (2024a). "Assessing the reliability of species distribution models under changing environments: A case study on cetaceans in the North-East Atlantic," *Glob Ecol Conserv*, **56**, e03299. doi:10.1016/J.GECCO.2024.E03299
- Pigeault, R., Ramirez-Martinez, N. C., Ruser, A., Nachtsheim, D. A., Schaffeld, T., Siebert, U., and Gilles, A. (2024b). "Maritime traffic alters distribution of the harbour porpoise in the North Sea," *Mar Pollut Bull*, **208**, 16925. doi:https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116925
- Vance, H. M., Hooker, S. K., Mikkelsen, L., van Neer, A., Teilmann, J., Siebert, U., and Johnson, M. (2021). "Drivers and constraints on offshore foraging in harbour seals," *Sci Rep*, **11**, 6514. doi:10.1038/s41598-021-85376-2