
Erfolgskontrollbericht

Verbundprojekt BioWeb

„Die Auswirkungen der durch Umweltfaktoren und menschliche Aktivitäten bedingten Veränderungen der Biodiversität auf die Nahrungsnetze der Nordsee“



Gesamtbericht des Verbundes

Koordination Verbund: Prof. Dr. Ingrid Kröncke

Teilprojektleitung, PIs	Zuwendungsempfänger
TP1: Prof. Dr. Ingrid Kröncke, Dr. Jasmin Renz-Gehnke	Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung
TP2: Dr. Gerd Kraus, Dr. Alexander Kempf, Dr. Tobias Lasner, Dr. Anne Sell	Thünen-Institut für Seefischerei
TP3: Prof. Dr. Karen H. Wiltshire, Prof. Dr. Maarten Boersma, Dr. Cedric Meunier	Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
TP4: Prof. Dr. Dr. h.c. Ursula Siebert, Dr. Anita Gilles	Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, ITAW

Projektmitarbeiterinnen	
TP1: Dr. Raquel Marques, Dr. Anja Singer	
TP2: Dr. Miriam Püts, Kim. E. Ludwig	
TP3: Dr. Maite Guignard	
TP4: Eileen Heße	

Förderkennzeichen

03F0861A

Berichtszeitraum:

01.11.2020 – 29.2.2024

INHALTSVERZEICHNIS

1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse	3
1.1 Ereignisse und Ergebnisse	3
2. Stand des Vorhabens	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.1 Stand des Arbeitsplans.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.2 Stand des Zeitplans.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.3 Stand des Kostenplans.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3. Erreichung der Ziele des Vorhabens	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5. Stand von Wissenschaft und Technik.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6. Änderungen in der Zielsetzung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
7. Fortschreibung des Verwertungsplans	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Publikationen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
8. Datenmanagementplan	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1. WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ERGEBNISSE UND ANDERE WESENTLICHE EREIGNISSE

1.1 EREIGNISSE UND ERGEBNISSE

AP1: Zeitliche und räumliche Variabilität der Biodiversität und Merkmale von Phyto- und Zooplankton, Benthos, Fischen und marine Säugetiere in der Nordsee in Bezug auf Umweltfaktoren (z.B. Hydrographie, Nährstoffe, Fischerei) (Wiltshire, Kröncke)

TP1

Das erste Ergebnis von TP1 für alle weiterführenden Datenanalysen war die Integration von Langzeitdaten und die Erstellung einer räumlichen Cross-Taxa-Karte und einer Metadatenbank für die südöstlichen Nordsee, die alle für BioWeb verfügbaren Stationsbasierten und in Datenbanken gespeicherten Daten zum Vorkommen der für BioWeb relevanten trophischen Gruppen: marine Säugetiere, Fische, Benthos, Zoo- und Phytoplankton beinhalten (Abb. 1).

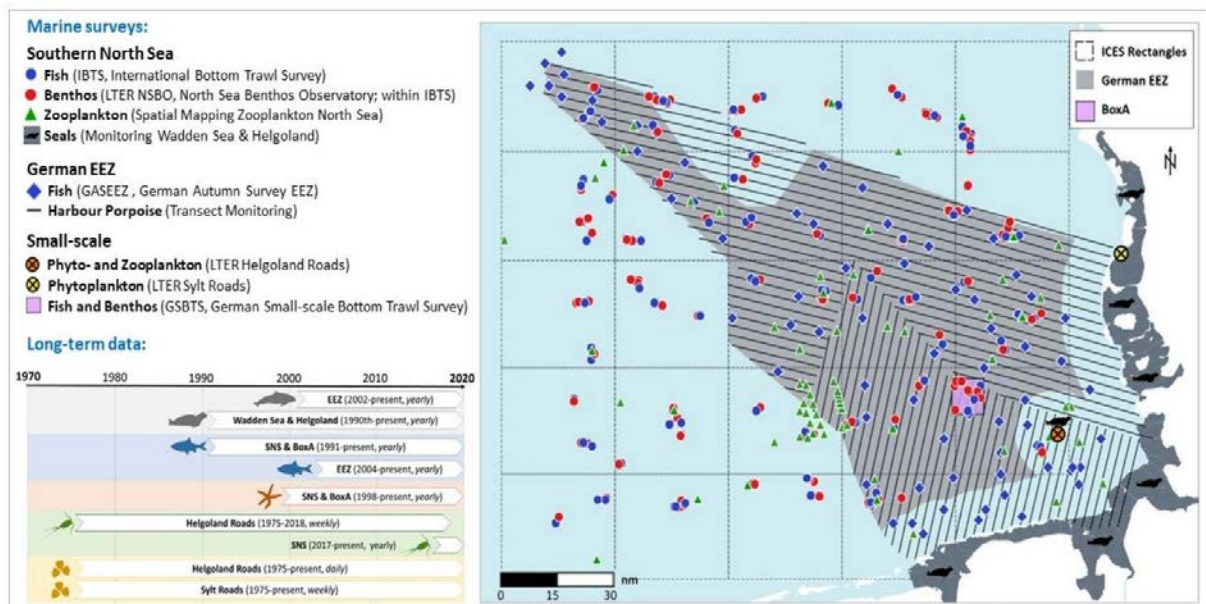


Abb.1: Räumliche und zeitliche Überlappungen der Datensätze für die Taxa in der südöstlichen Nordsee (1975-heute): Marine Säugetiere, Fische, Benthos, Zoo- und Phytoplankton.

Die Karte zeigt, dass die Langzeitdaten für Fische und In- und Epifauna in derselben räumlichen Auflösung in den deutschen ICES Rectangles und in Box A in der südöstlichen Nordsee seit 1998 vorliegen. Dasselbe gilt für die Phytoplankton und Mero/Zooplanktondaten bei Helgoland seit den 1970er Jahren. Die Daten der Marinen Säugetiere liegen großräumig für die deutsche AWZ vor. Die räumlichen und zeitlichen Überlappungen der Datensätze für die verschiedenen Taxa ermöglichen neben der Datenanalyse auf Trophieebene gemeinsame Cross-Taxa-Datenanalysen zwischen den verschiedenen Trophieebenen, z.B. Benthos und Fisch in den ICES Rectangles.

Zusammenfassungen der Ergebnisse, die detailliert im BioWeb Abschlussbericht dargestellt werden:

Die Nordsee verändert sich schnell. Zeitliche Schwankungen der Schleppnetzfishereiintensität und eutrophe Bedingungen sowie die anhaltenden Auswirkungen des Klimawandels wirken synergetisch und führen zu Veränderungen in den marinen Gemeinschaften. Obwohl das Zooplankton umfassend untersucht wurde, wird das große Meso-/Makrozooplankton ($> 500 \mu\text{m}$), einschließlich Holoplankton und Meroplankton, in den Studien oft nicht berücksichtigt. Die Untersuchung von Veränderungen der Abundanz und der Gemeinschaftsstruktur dieser Organismen zwischen 1975 und 2018 in der südlichen Nordsee bei Helgoland Reede mithilfe univariater und multivariater Analysen auf verschiedenen taxonomischen Ebenen zeigte abrupte Veränderungen in den Häufigkeiten von (Unter-)Gemeinschaften. Diese traten in verschiedenen Zeiträumen auf und führten zu einer signifikanten Umstrukturierung der gesamten Gemeinschaft im Jahr 2006. Diese Veränderungen standen im Einklang mit den in der Nordsee berichteten Regimeverschiebungen und waren eine Folge des Umweltdrucks auf die gesamte Gemeinschaft bzw. auf bestimmte Untergemeinschaften. Langfristig verlagerte sich die Gemeinschaft von einer höheren Abundanz von Hydrozoen und Holoplankton-Taxa hin zu einer zunehmenden Abundanz von Zehnfußkrebsen. Darüber konnten die Umweltvariablen aufgezeigt werden, die die Variabilität der Gemeinschaftsdynamik am stärksten erklären, wobei besonders die Bedeutung von Temperatur und Top-down-Prozessen hervorhoben werden muss. Um langfristige Veränderungen in der funktionalen Biodiversität zu untersuchen, wurden Indizes der funktionellen Diversität in Kombination mit eigenschaftsbasierten, uni- und multivariaten Analysen verwendet, um 1) die zeitliche Variabilität der Komponenten der funktionellen Biodiversität zu untersuchen, 2) die internen Veränderungen der Gemeinschaft unter dem Einfluss externer Umweltfaktoren zu beschreiben und 3) die Ergebnisse im Kontext der Mechanismen der Gemeinschaftsbildung zu interpretieren, die diese Veränderungen unterstützen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich einzelne Komponenten der funktionalen Biodiversität in verschiedenen Zeiträumen verändert haben, wobei es in den frühen 2000er Jahren zu ausgeprägten Verschiebungen kam. Strukturelle Veränderungen standen in engem Zusammenhang mit Modifikationen im Nahrungsnetz: Merkmale wie trophisches Regime und Fraß-Strategie zusammen mit Merkmalen wie Körpertyp oder Stacheln, die sich auf das Risiko gefressen zu werden auswirken, waren die wichtigsten internen Triebkräfte für Veränderungen, die extern durch Kieselalgenvorkommen und Fischbiomasse beeinflusst wurden. Dies führte zu umweltbedingten Prozessen, die für die Umstrukturierung der Gemeinschaft verantwortlich waren und nach 2005 zu einer deutlich veränderten funktionalen Gemeinschaftsstruktur führten. Diese Studie unterstreicht die wesentliche Rolle merkmalsbasierter Analysen für ein umfassendes Verständnis der mechanistischen Prozesse, die Veränderungen in der Gemeinschaftsstruktur bewirken, und unterstreicht nachdrücklich die Notwendigkeit ihrer Integration in Modellierungsinitiativen.

Wir untersuchten auch wie die oben beschriebenen Umweltveränderungen die Biodiversität der Gemeinschaften der benthischen Epifauna und der Bodenfische beeinflusst. Dazu wurden die Datensätze analysiert, die bei gleichzeitiger Probenahmen auf dem Fischereiforschungsschiff „Walther Herwig III“ seit 1998 erhoben werden. Die Daten liegen also in gleicher räumlicher und zeitlicher Auflösung vor für die südöstliche Nordsee und bilden damit eine ausgezeichnete Grundlage für die Untersuchung der Veränderungen in diesem Gebiet seit 1998.

Die Daten zeigen einen signifikanten Rückgang der Abundanz und Biomasse der Epifauna. Im Gegensatz dazu haben die Abundanz und Biomasse der Bodenfische zugenommen.

Statistische Trendanalysen zeigen, dass diese Veränderungen sowohl bei der Epifauna als auch bei den Bodenfischen primär mit den zunehmenden Wassertemperaturen am Meeresboden im Winter, aber auch mit Phasen von abnehmenden Wassertemperaturen im Sommer zusammenhängen. Außerdem sind die Veränderungen signifikant mit dem Rückgang der Schleppnetzfisherei in der südöstlichen Nordsee korreliert. Zusätzlich zeigen die Veränderungen in der Abundanz der Arten, dass synergistische Effekte dieser beschriebenen Umweltparametern mit De-Eutrophierungsprozessen gekoppelt sind. Letztere bewirken, dass weniger Nahrung (Plankton) aus der Wassersäule zu den benthischen Gemeinschaften am Meeresboden absinken kann.

TP2

Zum Verständnis der Veränderungen im Nahrungsnetz wurden umfangreiche Langzeitdatensätze zur Fischfauna der südlichen Nordsee aus verschiedenen Forschungssurveys zusammengeführt. Um zeitlich-räumliche Verläufe in der Dominanz bestimmter ökologischer Merkmale (Traits) in den Fischgemeinschaften zu visualisieren, nutzen die BioWeb Wissenschaftler*innen ein geographisches Informationssystem (GIS). So ließen sich Verschiebungen der Verteilungsschwerpunkten ökologischer Funktionen über sogenannte community-weighted means zeigen. Für die funktionale Analyse von Nahrungsbeziehungen wurde eine bereits publizierte Trait-Datenbank für Fische erweitert und um Traits ergänzt, die für die Räuber-Beute-Interaktionen (Fische und Benthos) wichtig sind. Um für möglichst viele Fischarten Informationen zur Beutewahl vergleichend untersuchen zu können, konnte in BioWeb eine umfassende Basis geschaffen werden, indem Ergebnisse zu Mageninhalts-untersuchungen international aus 13 Datenbanken zusammengeführt und harmonisiert wurden. Ein statistischer Vergleich der Trait-Profile zwischen Räuber und Beute deckte auf, dass unter den Traits der Raubfische allein ihr Gehalt an mehrfach ungesättigten Omega-3 Fettsäuren signifikant mit Merkmalen der Beutefische (Energiegehalt und Mobilität) verknüpft war. Dies spiegelt sich vor allem in den Beziehungen der Räuber Wittling und Grauer Knurrhahn zu den Schwarmfischen Hering und Sprotten. Dass andere Trait-Profile nicht signifikant verknüpft waren, lässt sich auf variable und opportunistische Beutewahl etlicher Raubfisch-arten zurückführen.

TP3

Planktonorganismen reagieren besonders empfindlich auf Umweltveränderungen. Da sie die direkte Verbindung zwischen abiotischen und biotischen Kompartimenten innerhalb des marinen Nahrungsnetzes darstellen, können Veränderungen in der funktionalen Struktur von Planktongemeinschaften tiefgreifende Auswirkungen auf das Funktionieren des Ökosystems haben. Wir untersuchten die Veränderungen in den Planktongemeinschaften in der Deutschen Bucht mit einer Reihe verschiedener Ansätze, die sowohl auf der traditionellen Taxonomie als auch auf Merkmalen (Traits) basieren. Wir haben die Auswirkungen kurzfristiger Ereignisse wie mariner Hitzewellen (MHWs) mit kontinuierlichen Veränderungen der Nährstoffbelastung und der Temperaturen verglichen. Bei der taxonomischen Analyse der Planktongemeinschaften, die auf Veränderungen reagieren, stellten wir fest, dass in den letzten 50-60 Jahren die Phytoplanktondichten zugenommen hatten, während das Zooplankton weniger häufig vorkam. Gleichzeitig scheinen die Gemeinschaften ihre Hauptverbreitungsgebiete innerhalb des Jahres zu verlagern und so den sich ändernden Umweltbedingungen zu folgen.

Extreme Ereignisse wie marine Hitzewellen können erhebliche Auswirkungen auf planktonische Gemeinschaften haben. Wir haben die Häufigkeit, Dauer und Schwere

mariner Hitzewellen anhand der Temperaturdaten mehrerer Stationen in der Deutschen Bucht untersucht und festgestellt, dass diese in den letzten Jahren häufiger aufgetreten sind. Wir diskutierten die Auswirkungen verschiedener Methoden zur Identifizierung von MHVs. Anschließend nutzten wir die Zooplankton-Datenreihen, um die Auswirkungen der MHVs zu bewerten, indem wir die Reaktion der Gemeinschaften auf eine Hitzewelle mit "normalen" Jahren verglichen, in denen es keine Hitzewellen gab. Wir stellten fest, dass sich die Gemeinschaft vor allem im Frühjahr und Herbst nach einer Hitzewelle deutlich verändert, während die phänologischen Veränderungen der Gemeinschaftsentwicklung weniger ausgeprägt sind. Das bedeutet, dass Hitzewellen das Potenzial haben, die normale Entwicklung der planktonischen Gemeinschaft zu stören.

Veränderungen in der taxonomischen Zusammensetzung der planktonischen Gemeinschaft lassen keine Rückschlüsse auf Veränderungen in der Funktionsweise des Nahrungsnetzes zu. Um hier Abhilfe zu schaffen, haben wir die Veränderungen in der Gemeinschaft auch mit einem merkmalsbasierten Ansatz analysiert. Dazu mussten wir wichtige Merkmale identifizieren, was wir anhand von Literaturdaten für alle Teile der planktonischen Gemeinschaft taten, sowohl in der Nordsee, als auch bei der Untersuchung allgemeinerer Muster. Beim Phytoplankton haben wir zwischen 1998 und 2004 eine Verschiebung in der funktionellen Struktur festgestellt. Anfang der 2000er Jahre verschob sich die funktionelle Struktur des Phytoplanktons von langsam wachsenden, im Herbst blühenden, mixotrophen Organismen hin zu früher blühenden und schneller wachsenden Mikroalgen. Die Erwärmung und abnehmende Konzentrationen von gelöstem Phosphor wurden mit dieser raschen Umstrukturierung der funktionellen Struktur in Verbindung gebracht. Wir haben einen möglichen Zusammenhang zwischen dieser Verschiebung und den Konzentrationen gelöster Nährstoffe festgestellt und stellen die Hypothese auf, dass Organismen, die früh blühen und hohe Wachstumsraten aufweisen, effizient Nährstoffe aufnehmen, die dann für die Spätblüher nicht mehr verfügbar sind. Darüber hinaus haben wir festgestellt, dass die oben erwähnte funktionale Veränderung durch einen negativen Einfluss der Nahrungsqualität auf die Abundanzen der Copepoden auch Konsequenzen haben kann. Bei den Copepoden-Gemeinschaften beobachteten wir um 1986-1988 eine Verschiebung: Die Copepoden-Gemeinschaft wurde anfangs von größeren Pflanzenfressern dominiert, die sich durch eine lange Entwicklungszeit, die Fähigkeit zur Diapause und die höchsten Abundanzen im Sommer auszeichneten. Diese Gemeinschaft änderte sich nach 1986-1988 abrupt zu einer Dominanz kleinerer karnivorer Taxa mit kürzeren Entwicklungszeiten, geringerer Fähigkeit, in die Diapause zu gehen, und mit höheren Abundanzen im Herbst. Diese rasche Umstrukturierung könnte durch höhere Wassertemperaturen, geringere Dinoflagellatenmengen und niedrigere Nährstoffkonzentrationen bedingt sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Planktongemeinschaft in den letzten Jahrzehnten erheblich verändert hat, was mit den Veränderungen der Umweltparameter in der Nordsee zusammenhängt, und zwar sowohl schrittweise als auch ereignisbezogen. Bisher haben sich diese Veränderungen vor allem in den veränderten relativen Beiträgen der verschiedenen Merkmale und Arten niedergeschlagen, und soweit wir wissen, haben wir bisher noch keine Art aus dem Plankton verloren. Angesichts der anhaltenden Veränderungen in unseren Gewässern könnte es auch zu Aussterbeereignissen mit unvorhersehbaren Folgen kommen.

TP4

Das Nahrungsspektrum von marinen Säugetieren wurde durch eine Kombination aus mikroskopischen, biochemischen und neuartigen genetischen Methoden analysiert, die sich gegenseitig ergänzten. Ein wesentliches Resultat ist der Nachweis der Effektivität der Verwendung von Metabarcoding zur Steigerung der gesamten Erfassungsrate von Beutearten mariner Säugetiere. Der synergetische Einsatz von Mageninhaltsanalyse und Metabarcoding, der beim Schweinswal möglich war, resultierte in einer signifikanten Steigerung der Artenerkennung von bis zu 50%. Zudem konnten über das Metabarcoding Fischarten bestimmt werden, die zuvor nicht als Beute bekannt waren oder aufgrund von Methodendefiziten nicht bestimmt werden konnten, wie z.B. der Steinpicker (*Agonus cataphractus*) und einige Süßwasserfischarten bei Schweinswal und Kegelrobbe.

In BioWeb wurde zum ersten Mal die Überschneidung der trophischen Nischen von Kegelrobben, Seehunden und Schweinswalen in mehreren Ernährungsdimensionen aufgeklärt. Die Ergebnisse aller drei Methoden deuten auf eine teilweise Konvergenz der Ernährung der drei Spitzenprädatoren in verschiedenen wichtigen Aspekten der Nahrungsnische hin, wie z.B. Beutepreferenzen, Nahrungsumgebungen und Arten von Beutefischen. Bedeutend ist, dass wir in BioWeb eine Verkleinerung der isotopischen Nische von Seehunden und Schweinswalen herausarbeiten konnten, die mit der zunehmenden Präsenz von Kegelrobben in der südlichen Nordsee einhergeht. Insbesondere in den letzten Jahren umfassten die erweiterten Nischen der Kegelrobben über alle Isotopenkombinationen (Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel) hinweg den Großteil der von Seehunden und Schweinswalen besetzten Nischen.

AP2: Modellierung des Nahrungsnetzes (Leitung: Kempf, Renz-Gehnke)

TP2

Im Rahmen des BioWeb-Projekts wurde ein bestehendes Ökosystemmodell, entwickelt mit Ecopath with Ecosim, überarbeitet und erweitert. Ziel war es, ein umfassenderes Verständnis des südlichen Teils der Nordsee zu gewinnen, insbesondere durch die Integration von bottom-up- und top-down-Dynamiken. Das Modell wurde in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern neu parametrisiert und umfasst nun 81 funktionelle Gruppen. Besondere Anpassungen wurden vorgenommen, um die Auswirkungen des Klimawandels besser abzubilden. Durch zwei Arten von Szenarien (historische und zukünftige Veränderungen im Ökosystem der südlichen Nordsee) konnten Rückschlüsse auf einzelne sowie kumulative Treiber gezogen werden. Sensitivitätsanalysen zeigten, dass bottom-up-Prozesse, wie Änderungen der Primärproduktion und der Copepoden-Biomasse, Ökosystemdynamiken stark beeinflussen. Marine Säugetiere hatten nur begrenzte Auswirkungen auf die Biomasse ihrer Beutearten. In die Analysen von drei „Was-wäre-wenn“-Szenarien (Klimawandel, ökologisch und kommerziell) wurden vier Treiber simultan getestet: Temperatur, Primärproduktion, die Biomasse mariner Säugetiere und Fischereiaufwand. Die Ergebnisse zeigten, dass auch kumulativ bottom-up-Prozesse die entscheidende Rolle für das Ökosystem spielen. Reduzierte Primärproduktion führte zu einer Abnahme der ökologischen Indikatoren in allen Szenarien. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, neben der Temperatur auch die veränderte Nährstoffzufuhr und Primärproduktion in Betracht zu ziehen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem der südlichen Nordsee zu verstehen und einzugrenzen.

TP4

Marine Säugetiere, als Raubtiere der oberen trophischen Ebene ökologisch, ökonomisch und kulturell wichtig, sind besonders geeignete Indikatoren für den Zustand der Meere, da sie Veränderungen des marinen Ökosystems über große räumliche und lange Zeitskalen hinweg integrieren. In den meisten Ökosystemmodellen wurden marine Säugetiere bisher jedoch nicht mit einer ausreichenden Darstellung von Merkmalen berücksichtigt. In BioWeb konnten wir dies deutlich verbessern und die Parametrisierung des eines bestehenden Ökosystemmodells bezüglich konsumierter Beutebiomasse sowie saisonaler Verteilung und Zeitserien zur Biomasse der prägenden marinen Säugetierarten in der südlichen Nordsee (d.h. Seehund, Kegelrobbe und Schweinswal) erheblich berichtigen. Dadurch waren robustere Rückschlüsse sowohl auf die Räuber-Beute-Dynamik, die Nahrungsnetzstrukturen als auch auf den Wettbewerb mit der Fischerei möglich, und es konnten über die gemeinsam erarbeiteten Szenarien verschiedene Strategien im Management der Meeresressourcen evaluiert werden sowie die Grundlage für eine bessere Entscheidungsfindung im Naturschutz verbessert werden.

AP3 Transfer (Leitung: Gilles, Kraus)

TP2

In zwei Fokusgruppen gebildet aus Unternehmer*innen und Funktionären der norddeutschen Krabbenfischerei sollten soziale und ökonomische Risiken durch zukünftige Veränderungen der äußeren Bedingungen herausgearbeitet werden. Zur Diskussion standen drei Szenarien: „Einbruch der Meeressäugerpopulation“, „Verminderung Nährstoffeintrag“ und „Gebietsschließungen durch Meeres-Schutzgebiete“. Schon während der Diskussionen und auch im Anschluss bei der Auswertung nach dem inhaltlich-semantic System transkribierter Audiomitschnitte wurde deutlich, dass die Veränderungen in den präsentierten Szenarien insgesamt eher negativ als positiv wahrgenommen wurden. Sie dienten in den Diskussionen als Ausgangspunkt, um die von den Teilnehmenden wahrgenommenen Risiken für die Krabbenfischerei zu ordnen und zu erörtern. Während das „Nährstoff“ Szenario als nicht relevant betrachtet wurde, so wurde die modellierte positive Wechselwirkung zwischen Seehunden und der Nordseekrabbe abgelehnt und als negativ beobachtet. Das Szenario „Meeresschutzgebiete“ wurde am intensivsten diskutiert und es zeigte sich, da dies zu einem langfristigen Verlust der Fanggebiete und zu einer Verdichtung des Fischereiaufwandes führen kann.

TP4

Vor dem Hintergrund einer polarisierten Diskussion, bestimmt durch die Wahrnehmung eines Konfliktes zwischen fischfressenden marinen Säugetieren und der Fischerei, wurde in BioWeb die Komplexität der Räuber-Beute-Interaktionen sowie das Ausmaß der top-down Kontrolle durch Robben in einer Fallstudie an lokale Akteure aus der Fischerei transferiert (u.a. an Fischereiwirte in der Ausbildung). Dieser gelungene Einstieg in den Beziehungsaufbau legt den Grundstein für einen kontinuierlichen Transfer von wissenschaftlichen Ergebnissen in die Gesellschaft.

Publikationen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften

Balkoni, A., M. S. Guignard, M. Boersma, and K. H. Wiltshire. 2023. Evaluation of different averaging methods for calculation of ratios in nutrient data. *Fundamental and Applied Limnology*. 10.1127/fal/2023/1487.

Boyi, J. O., Heße, E., Rohner, S., Säurich, J., Siebert, U., Gilles, A., Lehnert, K. (2022). Deciphering Eurasian otter (*Lutra lutra* L.) and seal (*Phoca vitulina* L.; *Halichoerus grypus* F.) diet: metabarcoding tailored for fresh and saltwater fish species. *Molecular Ecology*, 31(19), 5089–5106. doi: <https://doi.org/10.1111/mec.16635>

Corona, S., A. G. Hirst, D. Atkinson, J. Renz, M. Boersma, and A. Atkinson. 2024. Long-term shifts in phenology, thermal niche, population size, and their interactions in marine pelagic copepods. *Limnology and Oceanography* n/a. <https://doi.org/10.1002/lno.12499>.

Deschamps, M. M., M. Boersma, and L. Giménez. 2024. Responses of the mesozooplankton community to marine heatwaves: Challenges and solutions based on a long-term time series. *Journal of Animal Ecology* n/a. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.14165>.

Deschamps, M. M., M. Boersma, C. L. Meunier, I. V. Kirstein, K. H. Wiltshire, and J. Di Pane. 2023. Major shift in the copepod functional community of the southern North Sea and potential environmental drivers. *ICES Journal of Marine Science*. 10.1093/icesjms/fsad160.

Di Pane, J., K. H. Wiltshire, M. McLean, M. Boersma, and C. L. Meunier. 2022. Environmentally induced functional shifts in phytoplankton and their potential consequences for ecosystem functioning. *Global Change Biology* 28:2804-2819. <https://doi.org/10.1111/gcb.16098>.

Di Pane, J., M. Boersma, R. Marques, M. Deschamps, U. Ecker, and C. L. Meunier. 2023. Identification of tipping years and shifts in mesozooplankton community structure using multivariate analyses: a long-term study in southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*. 10.1093/icesjms/fsad071.

Giménez, L., M. Boersma, and K. H. Wiltshire. 2024. A multiple baseline approach for marine heatwaves. *Limnology and Oceanography* n/a. <https://doi.org/10.1002/lno.12521>.

Groß, E., J. Di Pane, M. Boersma, and C. L. Meunier. 2022. River discharge-related nutrient effects on North Sea coastal and offshore phytoplankton communities. *Journal of Plankton Research*. 10.1093/plankt/fbac049.

Herstoff, E. M., C. L. Meunier, M. Boersma, and S. Baines. 2023. Are all copepods the same? Variation in copepod stoichiometry with taxonomy, ontogeny, latitude, and habitat. *Ecosphere* 14:e4705. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4705>.

Heße, E., Gessner, J., Siebert, U., Gilles, A. 2024. First record of a Critically Endangered species, European sturgeon, in the diet of harbour porpoises from the North Sea. *Endangered Species Research* 54: 239-244. DOI: <https://doi.org/10.3354/esr01342>

Heße, E., Boyi, J.O., Das, K., Jung, K., Lehnert, K., Piette, M., Pinzone, M., Schückel, S., Schückel, U., Siebert, U., Gilles, A. (2024). An advanced multi-method approach to study differences in the long- and short-term diet of harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the southern North Sea. *Marine Ecology Progress Series*. In review.

Marques, R., Otto, S.A., Di Pane, J., Boersma, M., Meunier, C.L., Wiltshire, K.H., Möllmann, C., Renz, J. (2023). Response of the meso- and macro-zooplankton community to long-term environmental changes in the southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, fsad121.

Ludwig, K.E. (2022). Working Document: Systematic error in the DATRAS-variables *CatchWgt* and *CatCatchWgt*. In: Ellis, J. et al., INTERNATIONAL BOTTOM TRAWL SURVEY WORKING GROUP (IBTSWG). ICES Sci Reports 04, Annex 8.

Ludwig, K.E., Singer, A., Kröncke, I., Sell, A.F. (in press). Predator-Prey Trait Associations and Feeding Preferences of Demersal Fishes in the Southern North Sea. *Marine Ecology Progress Series*

Lüskow, F., M. D. Galbraith, B. P. V. Hunt, R. I. Perry, M. Boersma, and E. A. Pakhomov. 2021. Gelatinous and soft-bodied zooplankton in the Northeast Pacific Ocean: Phosphorus content and potential resilience to phosphorus limitation. *Hydrobiologia*. 10.1007/s10750-021-04758-9.

Püts, M., Kempf, A., Möllmann, C., Taylor, M. (2023). Tradeoffs between fisheries, offshore wind farms and marine protected areas in the southern North Sea – winners, losers and effective spatial management. *Mar Policy* 152:105574, DOI:10.1016/j.marpol.2023.105574

Renz, J., Neuhaus, J. (2022). Abschlußbericht – Zooplanktonmonitoring 2017-2021, Landesamt für Umwelt Schleswig Holstein, 39 pp.

Schneider von Deimling, J., Hoffmann, J., Geersen, J., Koschinski, S., Lohrberg, A. Gilles, A., Belkin, I., Böttner, C., Papenmeier, S., Krastel, S. (2023). Harbor porpoises cause millions of seafloor pits. *Nature Communications Earth & Environment* 4, 478. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01102-y>

Singer, A., Bijleveld, A.I., Hahner, A.F., Holthuijsen, S., Hubert, K., Kerimoglu, O., Kleine Schaars, L., Kröncke, I., Lettmann, K., Rittweg, T., Scheiffarth, G., van der Veer, H., Wurpts, A. (2023). Long-term response of coastal macrofauna communities to de-eutrophication and sea level rise mediated habitat changes (1980s and 2018). *Frontiers in Marine Science* 9:963325.

BioWeb Publikationen subm. und in prep.

Balkoni A., Wiltshire K.H., Boersma M. (in prep.) Large scale changes in nutrient dynamics of the German Bight

Deschamps, M.M., Gimenez L., Boersma M. (in prep.). The impact of marine heatwaves on phenology of copepods in the North Sea.

Heße, E., Boyi, J.O., Das, K., Pinzone, M., Siebert, U., Gilles, A. (in prep.) Trophic ecology of marine mammals with competition potential under resource-limited conditions in the southern North Sea.

Marques, R., Otto, S., Boersma, M., Wiltshire, K., Möllmann, K., Renz, J. Food web modifications shifted the functional structure of meso- and macro-zooplankton in the Southern North Sea. Ready for submission to *Limnology & Oceanography*

Ludwig, K.E., Sell, A.F. et al. (in prep.) Effects of sampling scale and resolution on observed taxonomic and functional biodiversity trends in the south-eastern North Sea

Püts, M., Boersma, M., Gilles, A., Guignard, M., Heße, E., Kraus, G., Kröncke, I., Ludwig, K., Marques, R., Mathis, M., Meunier, C., Peters, J., Renz-Gehnke, J., Sell, A., Singer, A., van Neer, A., Wiltshire, K., Kempf, A. (in prep). Unravelling the web - Implications of multiple changes in ecological and anthropogenic drivers on the food web, biodiversity and fisheries management.

Schäfer, F., Oesterwind, D., Sell, A.F., Kammann, U. (under review) Fatty acid analyses reveal differences in feeding ecology of North Sea squids that overlap in time and space.

Singer, A. Kröncke, I., Ludwig, K.E., Neumann, H., Sell, A.F. (in prep.) Long-term trends in epifauna and demersal fish communities associated with environmental and human stressors in the south-eastern North Sea.

BioWeb nicht wiss. Publikationen und Beiträge

Heße, E. (2022). Science Slam KüNO-Symposium „Küste im Wandel“, Hamburg

Heße, E. (2023). "Wenn Artenschutz durch den Magen geht." 6. Science Slam "NDR Synapsen: Science Slam im Podcast. <https://www.ndr.de/nachrichten/info/podcasts/NDR-Synapsen-Science-Slam-im-Podcast-Staffel-6,podcastsynapsen346.html>, <https://deutsche-kuestenforschung.de/nachrichten.html>

BioWeb Poster

Heße, E., Boyi, J.O., Das, K., Lehnert, K., Piette, M., Pinzone, M., Siebert, U., van Neer, A., Gilles A. (2022). Trophic interactions of seals and harbour porpoises in the North Sea food

Bernreuther, M., Ludwig, K., Püts, M. Das Nahrungsnetz der Nordsee verstehen – von Räuber-Beute-Beziehungen zum ökosystembasierten Management – Poster vorgestellt im

Ludwig, K.E., Singer, A., Kröncke, I., Sell, A.F. Picky Eaters? Using Benthos Data and Trait Information to Study Prey Selectivity in Demersal Fishes – Poster, ICES Annual Science Conference, 2022 und 3rd Coastal Symposium "Coast in Transition 2022", KÜNO, 9.-11.11.2022, Hamburg.

Marques, R., Renz J. et al. The impact of environmental and anthropogenic changes on meso-/macrozooplankton biodiversity in the Southern North Sea Küno Symposium Küste im Wandel, Hamburg, Deutschland, 9.-11- Nov. 2022.

Marques, R., Renz J. et al. Long - term shifts in functional biodiversity of meso - /macro - zooplankton in the Southern North Sea. 6th Workshop on Trait-Based Approaches to Ocean Life. Kopenhagen, Dänemark, 15.-17. August 2023).

Peters, J., Renz J. et al. New kid on the block - Proteomic fingerprinting as quick and easy molecular tool for species identification in monitoring of marine zooplankton communities. 7th Zooplankton Production Symposium. Hobart, Tasmania, 17.-23. März 2024.

Renz, J. et al. Zooplankton diversity monitoring by metabarcoding in the Southern North Sea 7th Zooplankton Production Symposium Hobart, Tasmania, 17.-23. März 2024.

BioWeb Vorträge

Heße, E. (2021). Foraging ecology of harbour porpoises, harbour seals and grey seals and their role in the food web of the southern North Sea. 1. KüNO Young Scientist Workshop. Online.

Heße, E. (2022). Studying the diet of marine top predators - the classical hard part analysis. KüNO Spring School "Human impact on the Tidal Elbe", Lauenburg.

Heße, E. (2022). Cracking code: using metabarcoding to analyse dietary overlap of seals (*Phoca vitulina*; *Halichoerus grypus*) from the southern North Sea. Online-Gastvortrag. Pusan National University, Korea.

Heße, E., Siebert, U., Gilles, A. (2023). Nahrungsanalysen von Meeressäugetieren in der südlichen Nordsee – du bist, was du isst. KüNO III Abschluss Symposium. Warnemünde, Deutschland.

Heße, E., Boyi, J.O., Das, K., Lehnert, K., Piette, M., Pinzone, M., Siebert, U., Gilles, A. (2023) Hidden gems? A multi-method approach to study the diet of harbour porpoises

(*Phocoena phocoena*) in the southern North Sea. 34. European Cetacean Society Konferenz. O Grove, Spanien. abstract book p 44.

Heße, E., Boyi, J.O., Lehnert, K., Siebert, U., van Neer, A., Gilles, A. (2022). Cracking code: using metabarcoding to analyse the diet of seals (*Phoca vitulina*; *Halichoerus grypus*) from the southern North Sea. 33. European Cetacean Society Konferenz (online). abstract book p 44.

Gilles, A. (2022). Trophic interactions of seals in the Wadden Sea food web. Invited speaker. Wadden Sea Day, Wilhelmshaven.

Das, K., Siebert, U., Damseaux, F., Pinzone, M., Lepoint, G., Gilles, A., Schnitzler, J., Jauniaux, T., Pomeroy, P. (2023) Seals in a changing sea: a multi-tracer approach. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Europe, 33rd Annual Meeting, Dublin, Ireland.

Gilles, A., Heße, E. (2023). Marine Säugetiere und ihre Nahrung in der Nordsee. Fischereischule Rendsburg.

Marques, R., Renz J. et al. Long-term shifts in taxonomic and functional biodiversity of the meso-/macrozooplankton community in the Southern North Sea, mediated by environmental and anthropogenic changes. Symposium on Decadal Variability of the North Atlantic and its Marine Ecosystems 2010-2019 (20.-22.06.2022, Bergen, Norwegen).

Marques, R., Renz J. et al. Long-term shifts in taxonomic and functional biodiversity of the meso-/macrozooplankton community in the Southern North Sea, mediated by environmental and anthropogenic changes. ICES Working Group on Zooplankton Ecology (22.06.2022, online):

Renz, J. et al. Compile data on zooplankton key traits in the ICES area and continue development of the WGZE Zooplankton Biometric Atlas. ICES Working Group on Zooplankton Ecology (22.06.2022, online).

Marques, R., Renz, J. et al. Phenology changes of the North Sea meroplankton since 1975ASLO Symposium (Palma de Mallorca, Mallorca, 4.-9. Juni 2023).

Renz, J., Marques, R. Food web modifications shifted the functional structure of meso- and macro-zooplankton in the Southern North Sea. 7th Zooplankton Production Symposium (Hobart, Tasmania, 17.-23. März 2024).

Püts, M., Boersma, M., Gilles, A., Guignard, M., Heße, E., Kraus, G., Kröncke, I., Ludwig, K., Marques, R., Mathis, M., Meunier, C., Peters, J., Renz-Gehnke, J., Sell, A., Singer, A., van Neer, A., Wiltshire, K., Kempf, A. (2022) "Caught in the web - Disentangling top-down and bottom-up processes in the southern North Sea" – Vortrag gehalten auf dem KÜNO Symposium "Küste im Wandel" in Hamburg

Püts, M. (2023) "Food web model of the southern North Sea - top-down and bottom-up processes" – Vortrag gehalten in der ICES Arbeitsgruppe WGSAM, virtuell

Püts, M., Kempf, A., Möllmann, C., Taylor, M. (2023) "Sorry, we are closed! Trade-offs between fisheries, marine protected areas and offshore wind farms in the southern North Sea" – Vortrag gehalten auf der ISEM in Toronto

Püts, M. (2023) "Integrating habitat preferences into Ecospace for spatial management – Examples from the southern North Sea" – Vortrag gehalten in der Reihe "Ecopath Seminars", virtuell

Püts, M. (2024) "Understanding Trophic Interactions in the Southern Part of the North Sea – Implications for Spatial Management" – Vortrag gehalten auf der Ecopath40 Konferenz in Ostende, Belgien

Singer A., Kröncke I. (2022) Biodiversity and Food Web Changes in the Southern North Sea. 3rd Coastal Symposium, Hamburg, Deutschland, 16-19 November 2022, session: Multiple stressors.

Singer A., Kröncke I. (2022) Long-term response of coastal macrofauna communities to de-eutrophication and environmental habitat changes Senckenberg Retreat, Frankfurt, 28-30 September 2022.

Singer A., Bijleveld A.I., Hahner F., Holthuijsen S.J., Hubert K., Kerimoglu O., Kleine Schaars L., Kröncke I., Lettmann K., Rittweg T., Scheiffarth G., van der Veer H.W., Wurpts A. (2022) Long-term response of coastal benthic communities to climatic and environmental changes (1980s-2018). LTER-DE Jahrestagung, 16-18 März 2022.

Singer A., Kröncke I., Hermann N. & Sell A.F. (2023): Long-term data for the North Sea reveal common trends in characteristic epifauna and fish communities driven by environmental and anthropogenic habitat changes (1998-2022). 52nd Annual Meeting of the Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland, Leipzig, Deutschland, 12-16 September 2023, session: Long-term data and global change.

BioWeb Promotionen

Püts, Miriam (2022). Evaluating spatial processes and management strategies under changing anthropogenic influences on the ecosystem of the southern part of the North Sea. Univ. Hamburg, Betreuer: Möllmann, C., Kempf, A.

Heße, Eileen (2024). Nahrungsökologie von Schweinswalen, Seehunden und Kegelrobben und deren Funktion im Nahrungsnetz der südlichen Nordsee. TiHo Hannover, Betreuer*in: Siebert, U., Jung, K.

BioWeb Masterarbeiten

Fromme, Vanessa (2022). Spatial Variability of In- and Epifaunal Communities in the South-Eastern North Sea in Summer 2020, Univ. Oldenburg, 137 pp. Betreuerinnen: Kröncke, I., Singer, A.

Stoffers, Tjardo (2022). The Seen and the Unseen: Epipelagic Zooplankton assemblages inferred from integrated Morphological Identification and Environmental DNA Analysis. Univ. Hamburg. Betreuerinnen: Renz, J., Marques, R.

BioWeb Bachelorarbeiten

Thurau, Annika (2022). Vergleich der Nischen von Arten der Kieselalpengattung *Thalassiosira* im Wattenmeer. Univ. Freiburg. Betreuer*in: Guignard, M.S., Boersma, M.

Wiemers, Anna (2022). Die räumliche Variabilität der Makrofauna in der Nordsee und verschiedener Umweltparameter. Univ. Oldenburg, 43 pp. Betreuerinnen: Kröncke, I., Singer, A.

Dreger, Paul (2023). Applicability of the digital ZooScan system for estimating abundance and biomass of zooplankton in the southern North Sea; Univ. Oldenburg, 51 pp. Betreuerinnen: Renz, J., Marques, R.