



UNIVERSITÄT
LEIPZIG



iDiv

Abschlussbericht

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

November 2020 – Oktober 2023

Fkz. 03F0863 - B

Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung



balt_ADAPT

Anpassung der Küstenfischerei in der
Westlichen Ostsee an den Klimawandel

GEFÖRDERT DURCH



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Abschlussbericht

(Nach Nr. 3.1 BNBest-BMBF 98)

Zuwendungsempfänger: Universität Hamburg (UHH), Thünen-Institut für Ostseefischerei (TI-OF), Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv), Christian- Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR)	Förderkennzeichen: 03F0863
Vorhabenbezeichnung: balt_ADAPT: Anpassung der Küstenfischerei in der Westlichen Ostsee an den Klimawandel	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2020 – 31.10.2023	
Berichtszeitraum: 01.11.2020 – 31.10.2023	

Verbundkoordination:

Prof. Dr. Christian Möllmann
Universität Hamburg
Institut für marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften
Große Elbstraße 133
22767 Hamburg

Teilprojektkoordination

Prof. Dr. Martin F. Quaas
Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv)
Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig
Biodiversitätsökonomik
Puschstraße 4
04103 Leipzig

Projektwebseite: <https://baltadapt.de>

Inhaltsverzeichnis

Teil I Kurzbericht

Teil II Eingehende Darstellung

Teil III Erfolgskontrollbericht

ZUSAMMENFASSUNG 3

1 AUFZÄHLUNG DER WICHTIGSTEN WISSENSCHAFTLICHEN ERGEBNISSE UND ANDERER WESENTLICHER EREIGNISSE

2 VERGLEICH MIT ABGESTIMMTER ARBEITS-, ZEIT- UND AUSGABENPLANUNG

3 AUSSICHTEN FÜR ZIELERREICHUNG

4 ERGEBNISSE VON DRITTER SEITE

5 NOTWENDIGE ÄNDERUNGEN IN DER ZIELSETZUNG

6 FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS

Teil I Kurzbericht

Das *Hauptziel* von balt_ADAPT und damit auch dieses Teilprojektes war die Entwicklung von Instrumenten für ein ökosystem-basiertes Management und die Anpassung der Fischerei in der Westlichen Ostsee an den Klimawandel. Diese Instrumente sollten zu einer zuverlässigeren Bewertung der Fischbestände und des Ökosystemzustandes in der Westlichen Ostsee beitragen, und die politischen Entscheidungsträger bei der Entwicklung einer nachhaltigen Nutzung der lokalen Fischereiresourcen unter den Auswirkungen des zukünftigen Klimawandels unterstützen. balt_ADAPT entwickelte Instrumente für ein ökosystem-basiertes Management und die Anpassung der Fischerei in der Westlichen Ostsee an den Klimawandel, welche sich an dem seinerzeit bestehenden *wissenschaftlichen und technischen Stand* orientierten.

Die Entwicklung ökosystem-basierter Management- und Anpassungsstrategien für die Fischerei in der Westlichen Ostsee litt zu Projektbeginn an einem Mangel an (i) Kenntnissen zur Gefährdung des sozial-ökologischen Systems durch den Klimawandel, (ii) gut konzipierten Indikatorsystemen für eine zuverlässige Bewertung von Veränderungen des Ökosystemzustands, (iii) Instrumenten zu Evaluierung von alternativen Managementstrategien für eine nachhaltige Nutzung der Fischbestände, und (iv) Narrativen zur potentiellen Entwicklung der sozial-ökologischen Systeme unter Szenarien von Klima- und Gesellschaftswandel als Grundlage für eine Anpassung der Nutzung der biologischen Vielfalt und der Fischerei in der Westlichen Ostsee. Dieses Teilprojekt hatte seinen Schwerpunkt auf der Beurteilung von Managementstrategien.

Der *Ablauf* von balt_ADAPT war auf das Hauptziel der Entwicklung ökosystem-basierter Management- und Anpassungsstrategien für die Küstenfischerei der Westlichen Ostsee ausgerichtet, und im Rahmen von 4 interagierenden wissenschaftlichen Arbeitspaketen (AP) erreicht. AP1 führte eine Bewertung der Gefährdung des Sozial-ökologischen Systems der Fischerei in der Westlichen Ostsee durch den Klimawandel durch und lieferte somit Hintergrundwissen über die Dynamik der Biodiversität sowie sozio-ökonomischer Entwicklungen für nachfolgende APs. AP2 verwendete Informationen aus AP1, um Indikatorensätze für eine Bewertung des Ökosystemzustands der Fischgemeinschaft der Westlichen Ostsee zu entwickeln und zu testen. AP3 nutzte die in AP2 bewerteten Druck-Zustands-Beziehungen (einschließlich sozio-ökonomischer Informationen aus AP1) zur Entwicklung eines Ensembles von Einzel- und Mehrarten- sowie Nahrungsnetzmodellen zur Durchführung der Bewertung verschiedener Managementstrategien für die Fischereien. Die in AP3 durchgeführten Modellsimulationen bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Narrativen über mögliche Anpassungspfade zu einer nachhaltigen und gerechten Nutzung der Biodiversität in AP4. AP5 führt schließlich das Projektmanagement durch, organisierte die

Beteiligung der relevanten Interessens- und Wissensträger und sicherte die Verwertung der Projektergebnisse, d.h. spezifische wissenschaftlich fundierte Instrumente und Empfehlungen zur Unterstützung einer nachhaltigen Nutzung des Küstenökosystems der Westlichen Ostsee.

In diesem Teilprojekt (TP2) erfolgte zunächst die Modellentwicklung und -kopplung (Arbeitsaufgabe 3.1). Hierzu wurden altersstrukturierte bio-ökonomische Modelle für den Hering und den Dorsch in der westlichen Ostsee entwickelt. Die Modelle beinhalten eine klimasensible Bestands-Nachwuchs-Funktion. Die Modellformulierung erlaubt das Einlesen von Ergebnissen regional aufgelöster Klimaszenarien für die Ostsee, so dass verschiedenen RCP-Szenarien modelliert werden können. Die ökonomischen Teil-Modelle für die Herings- und Dorschfischerei wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg mit den aktuellsten Daten kalibriert. Die Verbindung der Modelle für Dorsch und Hering zu einem ökologisch-ökonomischen Mehrartenmodell (Arbeitsaufgabe 3.2) erfolgte über die Bestimmung der Wegfraßraten, welche alters- und dichteabhängig sind. Zudem wurden die Ein- und Mehrartenmodelle mit einem Ökosystemmodell der westlichen Ostsee gekoppelt.

In *Zusammenarbeit mit den Projektpartnern* und der Technischen Universität Dänemarks (DTU-Aqua) Es wurden strukturierte Simulationen mit den Einarten-, Mehrarten- und Ökosystemmodell durchgeführt, um verschiedene Aspekte und Auswirkungen zu untersuchen, welche die Grundlage für Arbeitsaufgabe 3.4 (Managementstrategien) bildeten und robuste Managementstrategien zu entwickeln.

Die Ergebnisse zeigten verschiedene Trade-offs zwischen Managementzielen auf. Oftmals muss mit einschränkenden Nebenbedingungen gearbeitet werden (z.B. Mindestbestandsgrößen, nicht-negativen Profiten), um die „triple bottom line“ des Fischereimanagements, bestehend aus Ressourcennutzung, ihrer gerechten Verteilung und Ressourcenschutz zu gewährleisten.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass eine deutliche Reduzierung der Ziel-Sterblichkeit durch die Fischerei (F_{MSY}) nötig ist, um die Bestände wieder zu nachhaltigen Biomassen aufzubauen. Die Simulationen zeigen zudem, dass unter den Annahmen des Modelles auch in Zukunft nur noch vergleichsweise kleine Fangmengen möglich sind, wenn der Bestand nicht weitergefährdet werden soll. Generell zeigt sich zudem, dass sich der Klimaeffekt (d.h. stärkere Erwärmung der Westlichen Ostsee) negativ auf beide Arten auswirkt und verstärkt in der zweiten Hälfte des Jahrtausends auftreten wird.

Teil II **Eingehende Darstellung**

1. Ausführliche Darstellung der Arbeiten

In Arbeitsaufgabe 3.1 wurden zunächst die Ein- und Mehrartenmodelle entwickelt. Zudem erfolgte die Kopplung an das Ökosystemmodell. In Arbeitsaufgabe 3.2 erfolgten dann Simulationen mit den neu-entwickelten Modellen durchgeführt. Arbeitsaufgabe 3.4 erforschte dann robuste Bewirtschaftungsstrategien unter bestimmten Klima- und Bewirtschaftungsstrategien. Die Arbeiten konnten trotz erswerter Bedingungen (Corona-Krise) vollständig und erfolgreich durchgeführt werden. Die Projektarbeiten lieferten u.a. wertvolle Beiträge zur Leitbildkommission für die Zukunft der Deutschen Ostseefischerei, als auch für Arbeiten im Rahmen des ICES.

Unter den Veränderungen, die die Dynamik eines Fischbestands beeinflussen, ist die Variation der Rekrutierung wahrscheinlich das wichtigste Beispiel. Die Höhe der Rekrutierung wird häufig standardmäßig von den ICES-Arbeitsgruppen abgeschätzt. Eventuelle Umwelteinflüsse auf die Rekrutierung werden jedoch nicht berücksichtigt (Köster et al., 2009; Voss et al., 2019). Im Fischereimanagement sind Annahmen über die Rekrutierung ein zentrales Element bei der Festlegung langfristiger Ziele, kurzfristiger Prognosen und letztlich wissenschaftlicher Empfehlungen zu Fangraten und -mengen. Es versteht sich von selbst, dass die Rekrutierung auch eine Schlüsselvariable in unserem ökologisch-ökonomischen Fischereimodell ist. Derzeit verwendet der ICES für seine kurzfristigen Prognosen für den Dorsch einen Durchschnitt der letzten Jahre. Wir haben simuliert, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn wir einen Durchschnitt von 10 Jahren, 3 Jahren und 1 Jahr verwenden oder das Konzept eines „robusten Managements“ für alle Arten anwenden. Dies berücksichtigt zwar die großen natürlichen Schwankungen bei der Rekrutierung von Hering und Sprotte, spiegelt aber auch die klimabedingt abnehmende Rekrutierung wider. Ein robustes Management müsste konservativer vorgehen, indem es niedrigere Fanggrenzen festlegt und so eine Übernutzung der Bestände verlangsamt oder verhindert. Es wurde festgestellt, dass die Einführung eines robusten Managements den Gewinnen der Fischerei nicht schadet. Daher erschien es sinnvoll, das Konzept und die mögliche künftige Anwendung einer robusten Managementstrategie in der Ostsee weiter zu untersuchen. Insbesondere unter sich ändernden Umweltbedingungen aufgrund des Klimawandels in Kombination mit schwer vorhersehbaren ökologischen Veränderungen könnte ein solcher Ansatz den Erfordernissen der ökologischen und wirtschaftlichen Erhaltung gerecht werden (Voss et al., 2022).

Ein solcher Ansatz erforderte zunächst die Entwicklung eines ökologisch-ökonomischen Fischereimodells, welches in der Lage ist, den Klimawandel zu berücksichtigen (AA 3.1).

Ökonomisches Modell

Wir haben ein gekoppeltes ökologisch-ökonomisches Modell mit zwei Arten und Altersstruktur entwickelt und angewandt, welches sowohl die neuesten biologischen, z. B. Prädationsraten, als auch wirtschaftliche Informationen berücksichtigt. Unser Modell ist eine Aktualisierung des ökologisch-ökonomischen Multispezies-Modells von Voss et al. (2014a, b) mit neuen ökologischen und ökonomischen Parametern. Es baut auf dem fischereiökonomischen Modul eines altersstrukturierten Ein-Arten-Fischereimodells für Ostseedorsch auf, das von Tahvonen et al. (2018) entwickelt wurde. Hier greifen wir auf das Modell von Schaefer (1957) zurück, bei dem der Fang pro Aufwandseinheit proportional zur Bestandsgröße ist. Wir verifizieren diese Annahme, indem wir zeigen, dass sich die Erntekosten signifikant mit der Bestandsgröße ändern. Für beide Arten gab es in den letzten Jahren keine verbindlichen Quoten. Daher modellieren wir sie als regulierte Fischerei mit freiem Zugang, bei der der Fang durch das Marktgleichgewicht bestimmt wird. Die Bedingungen des Marktgleichgewichts lauten für beide Arten:

$$P = a H^{-\eta} = \frac{c e^{-\xi t}}{B} H^{\epsilon}, \quad (1)$$

wobei P der Marktpreis (BLE-Daten), a ein Parameter der zu schätzenden Nachfragefunktion, η die zu schätzende Nachfrageelastizität, c ein zu schätzender Kostenparameter, B die Bestandsbiomasse (ICES-Daten), H die Fangmenge (ICES-Daten), ϵ die Elastizität der marginalen Erntekosten in Bezug auf den Aufwand und ξ ein Zeittrend ist, der den technischen Fortschritt und die Inflation erfasst.

Aufgrund der Endogenität der Marktpreise für Angebot und Nachfrage können wir die Parameter der Nachfrage- und Kostenfunktionen nicht direkt anhand von Fang- und Preisdaten schätzen. Wir müssen vielmehr einen indirekten Ansatz wählen. Zu diesem Zweck modifizieren wir zunächst (1) wie folgt:

$$\ln H = \ln \left(\frac{a}{c} \right)^{\frac{1}{\eta+\epsilon}} + \frac{\xi}{\eta+\epsilon} t + \frac{1}{\eta+\epsilon} \ln B \quad (2)$$

Einsetzen in (1) ergibt

$$\ln P = \ln \left(a^{\frac{\epsilon}{\eta+\epsilon}} c^{\frac{\eta}{\eta+\epsilon}} \right) - \frac{\eta \xi}{\eta+\epsilon} t - \frac{\eta}{\eta+\epsilon} \ln B \quad (3)$$

Zur Schätzung der Modelle verwenden wir BLE-Daten für Preise und ICES-Daten für Bestandsbiomasse und Fänge (Jahre 1989-2020). In allen Fällen betrachten wir Spezifikationen mit und ohne Zeittrend. Wir erhalten die in Tabelle 1 dargestellten Schätzungen.

Tabelle 1: Ergebnisse der statistischen Modelle (2) und (3) - mit und ohne Zeittrends - für Dorsch und Hering in der westlichen Ostsee, unter Verwendung von Zeitreihen (Jahre 1989-2020) für Preise von der BLE und Fänge und Biomasse des Laicherbestands vom ICES.

species	cod	cod	cod	cod	herring	herring	herring	herring
model	(2)	(2)	(3)	(3)	(2)	(2)	(3)	(3)
dep. var.	$\ln(H_t)$	$\ln(H_t)$	$\ln(P_t)$	$\ln(P_t)$	$\ln(H_t)$	$\ln(H_t)$	$\ln(P_t)$	$\ln(P_t)$
constant	-1.19*** (0.17)	-0.85* (0.24)	0.60 (0.35)	1.77*** (0.44)	-1.85*** (0.36)	1.19 (1.46)	0.35 (0.27)	0.30 (1.21)
log biomass	1.19*** (0.048)	1.12*** (0.058)	0.014 (0.10)	-0.23** (0.11)	1.16*** (0.067)	0.68*** (0.234)	-0.31*** (0.051)	-0.30 (0.19)
time		-0.0065* (0.0033)		-0.022*** (0.0063)		-0.029** (0.014)		0.00051 (0.011)
adj. R^2	0.951	0.955	-0.033	0.258	0.911	0.921	0.544	0.527

Für das Dorsch-Modell (2) macht die Einbeziehung eines Zeittrends keinen großen Unterschied, aber für Kabeljau Modell (3) ohne Zeittrend liefert keine aussagekräftigen Ergebnisse, während das Modell mit dem Zeittrend plausibel ist. Insgesamt verwenden wir für Kabeljau die Modelle mit einem Zeittrend. Beim Hering führt die Einbeziehung des Zeittrends dazu, dass die Schätzungen für die logarithmische Biomasse wesentlich ungenauer werden. Wir lassen daher den Zeittrend für Hering weg. Die endgültigen Schätzungen der Parameterwerte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Geschätzte Parameterwerte

symbol	a_c	η_c	c_c	ϵ_c	a_h	η_h	c_h	ϵ_h
value	4.92	0.20	10.57	0.69	2.28	0.44	0.39	1.04

Umweltsensitive Bestandsrekrutierungsfunktionen

Wir betrachten für Hering ein Bestandsrekrutierungsmodell vom Typ Beverton-Holt,

$$\ln(R_t) = \ln\left(\frac{e^{-\beta_0 + \beta_1 T_t} \text{SSB}_t}{1 + \beta_3 \text{SSB}_t}\right) + \varepsilon_t, \tag{4}$$

wobei R_t die Rekruten des Alters 1 im Jahr t , T_t die relevante Wassertemperatur und SSB_t die Biomasse des Heringslaichbestands im selben Jahr ist. Die Umweltstochastik, die sich auf die Rekrutierung auswirkt, wird in Form von unabhängig und identisch normalverteilten Zufallsschocks ε_t berücksichtigt.

Zur Schätzung des Bestandsrekrutierungsmodells verwenden wir ICES-Bestandsbewertungsdaten (Jahre 1990-2020) und Temperaturdaten aus den Rekonstruktionen eines Ostsee-Modells (Lehmann & Hinrichsen, 2000; Lehmann et al., 2002; Lehmann et al., 2014).

Die Daten umfassen sowohl Meeresoberflächen- als auch Bodentemperaturen für die Quartale 1 bis 4 der Jahre. Um ein einfaches Modell zu erhalten, versuchen wir, nur eine Temperaturvariable in das Modell aufzunehmen. Um das bevorzugte Modell zu finden, schätzen wir acht Modelle unter Verwendung der acht verschiedenen Temperaturzeitreihen.

Tabelle 3. Schätzergebnisse für die Bestands-/Rekrutierungsmodelle unter Verwendung von Zeitreihen (Jahre 1990-2020) von Bestandsabschätzungsdaten des ICES (ICES, 2021) und Temperaturdaten aus dem Ostsee-Modell.

constant	3.25*** (0.22)	3.90*** (0.74)	4.32*** (1.20)	5.04*** (1.03)	4.22*** (0.60)	5.64*** (0.75)	6.53*** (1.16)	7.54*** (1.06)
SSB	0.000073 ^{n.s.} (0.00097)	0.000054 ^{n.s.} (0.0010)	-0.000040 ^{n.s.} (0.0010)	0.00098 ^{n.s.} (0.0015)	0.00069 ^{n.s.} (0.0013)	0.00053 ^{n.s.} (0.0010)	-0.00045 ^{n.s.} (0.00076)	0.0016 ^{n.s.} (0.0014)
$T_{surface,Q1}$	-0.16** (0.057)							
$T_{surface,Q2}$		-0.13 ^{n.s.} (0.082)						
$T_{surface,Q3}$			-0.082 ^{n.s.} (0.064)					
$T_{surface,Q4}$				-0.21** (0.09)				
$T_{bottom,Q1}$					-0.28** (0.11)			
$T_{bottom,Q2}$						-0.44*** (0.11)		
$T_{bottom,Q3}$							-0.35*** (0.11)	
$T_{bottom,Q4}$								-0.51*** (0.11)
adj. R^2	0.740	0.696	0.688	0.723	0.732	0.792	0.761	0.817

Das abschließende Modell, bei dem die Bodentemperatur im 4. Quartal verwendet wird, verbessert die Anpassung des Bestandsrekrutierungsmodells deutlich (Abb. 2).

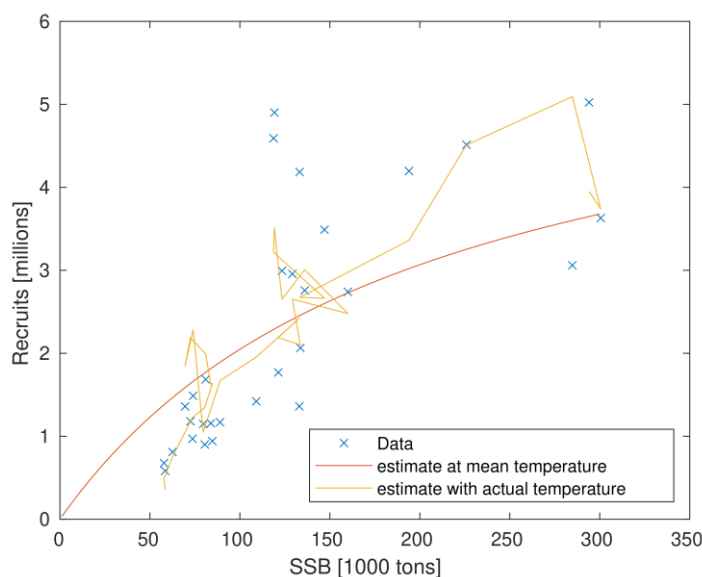


Abb. 2. Verhältnis zwischen Bestand und Rekrutierung für den westlichen Ostseehering. Beobachtete Werte im Zeitraum 1989-2020 (blaue Kreuze; ICES 2021) und angepasstes Modell mit mittlerer Temperatur (rote Linie) oder tatsächlicher Temperatur (orange Linie).

Für Dorsch verwenden wir das Modell von Conradt et al., 2023, welches die Meeresoberflächentemperatur im 3. Quartal des Vorjahres verwendet.

Zukunftsszenarien

Wir berechneten Modellszenarien für drei Klimatrajektorien (RCP4.5, RCP8.5, konstantes Klima) in Kombination mit zwei Bewirtschaftungsoptionen (MMSY, MMEY), was sechs Durchläufe ergab. Für jedes Szenario haben wir 100 Durchläufe durchgeführt, indem wir die Varianz der geschätzten Bestandsrekrutierungsfunktionen abgetastet haben. Die Temperaturvorhersagen für den Zeitraum von 2006 bis 2098 wurden aus den Jahresmittelwerten von vier verschiedenen regionalen Klimamodellen (MPI-ESM-LR, EC-EARTH, IPSL-CM5A-MR und HadGEM2-ES) abgeleitet, die mit einem regionalen physikalisch-biogeochemischen Modell (RCO-SCOBI) mit einer horizontalen Auflösung von 3,7 km und einer vertikalen Auflösung von 3 m gekoppelt sind (Meier et al. 2019; Saraiva et al. 2019). Die Daten aus den gekoppelten Modellen wurden in zwei verschiedenen „Representative Concentration Pathway“ (RCP)1-3 ausgewertet. Wir wählten zwei RCP-Projektionsszenarien, RCP4.5 und RCP8.5, die jeweils ein mittleres Stabilisierungsszenario mit einem Anstieg von $4,5 \text{ W/m}^2$ und ein „Business-as-usual“-Szenario mit einem Anstieg von $8,5 \text{ W/m}^2$ bis zum Jahr 2098 widerspiegeln. Wir haben zudem die ökologische Bedingung der Einhaltung der Biomasse-Referenzpunkte des ICES (ICES, 2023) und die wirtschaftliche Bedingung nicht negativer Gewinne aufgenommen. Dies bedeutet, dass die Bestandsgröße nicht unter sichere Grenzen fallen darf und dass die Fischerei nicht ohne Gewinn betrieben werden darf.

Parametrisierung des Mehrarten-Modells

Das Modell folgt den Spezifikationen von Voss et al. (2022), ist jedoch auf ein Zwei-Arten-Modell reduziert, das die Interaktion zwischen Kabeljau und Hering durch Prädation erfasst. Altersspezifische Zahlen, Gewichte und Reifegrade werden aus den ICES-Bewertungsberichten (2021) für die beiden Bestände entnommen, wobei die Werte von 2020 verwendet werden. Die altersspezifischen natürlichen Überlebensraten werden von der natürlichen Sterblichkeit abgeleitet und hängen im Falle des Herings von der Kabeljau-Prädation ab, die mit der Größe des Kabeljaubestands zunimmt. Die Schätzungen für die räuberische Sterblichkeit basieren auf dem letzten verfügbaren Hauptlauf eines stochastischen Multi-Spezies-Modells (SMS: Lewy und Vinther, 2004) für die westliche Ostsee. Die altersspezifischen Fangmöglichkeiten $q_i(s)$ wurden auf der Grundlage der mittleren altersspezifischen fischereilichen Sterblichkeit für die Jahre 2010 bis 2020 gemäß

ICES (2021) geschätzt, wobei $q_i = 1$ für die Altersklasse mit der höchsten Sterblichkeit durch Normalisierung.

Numerische Optimierung

Um die optimale Bewirtschaftung des MMEY unter Berücksichtigung der in den Bewirtschaftungsszenarien gegebenen Einschränkungen zu bestimmen, haben wir das Optimierungsproblem numerisch gelöst. Zu diesem Zweck wurde die dynamische Optimierung mit dem Interieur-Punkt-Algorithmus der Optimierungssoftware Knitro (Version 12.1) mit AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming, AMPL Optimization LLC, Albuquerque, USA) durchgeführt.

Die durchgeführten Simulationen beinhalteten eine Kombination von verschiedenen Klima- und Managementszenarien (**AA 3.2**). Hier werden die Ergebnisse des Mehrartenmodell in den Fokus gestellt, welches auch eine vergleichende Beurteilung von Managementstrategien ermöglichte (**AA 3.4**).

Biomasse des Laicherbestands (SSB)

Unter der Annahme, dass sich der Klimawandel nicht weiter fortsetzt, erholt sich der Dorschbestand in der westlichen Ostsee unter MMSY-Bewirtschaftung leicht auf ca. 40.000 Tonnen SSB im Vergleich zu ca. 55.000 Tonnen unter MMEY-Bewirtschaftung (Abb. 2). Geht man jedoch davon aus, dass der Klimawandel die optimale Größe des Dorschbestands bis zur Mitte des Jahrhunderts auf 20 000 Tonnen (MMSY) oder 35 000 Tonnen (MMSY) reduzieren wird. Zwischen den beiden RCPs für Kabeljau gibt es keine großen Unterschiede: in beiden Fällen wird die optimale SSB ab der Mitte des Jahrhunderts langsam abnehmen. Die SSB von Hering erholt sich bei konstantem Klima und MMSY-Bewirtschaftung auf bis zu 320.000 Tonnen. Beim Kabeljau ist die optimale Bestandsgröße bei MMEY-Bewirtschaftung größer (340 000 Tonnen). Für beide RCP-Szenarien erreicht die SSB von Hering in der Mitte des Jahrhunderts ihren Höhepunkt. Danach gibt es ein klares Signal für einen negativen Temperatureinfluss und eine abnehmende Bestandsgröße. Wie beim Kabeljau unterscheidet sich auch beim Hering die optimale SSB nur geringfügig zwischen RCP4.5 und RCP8.5

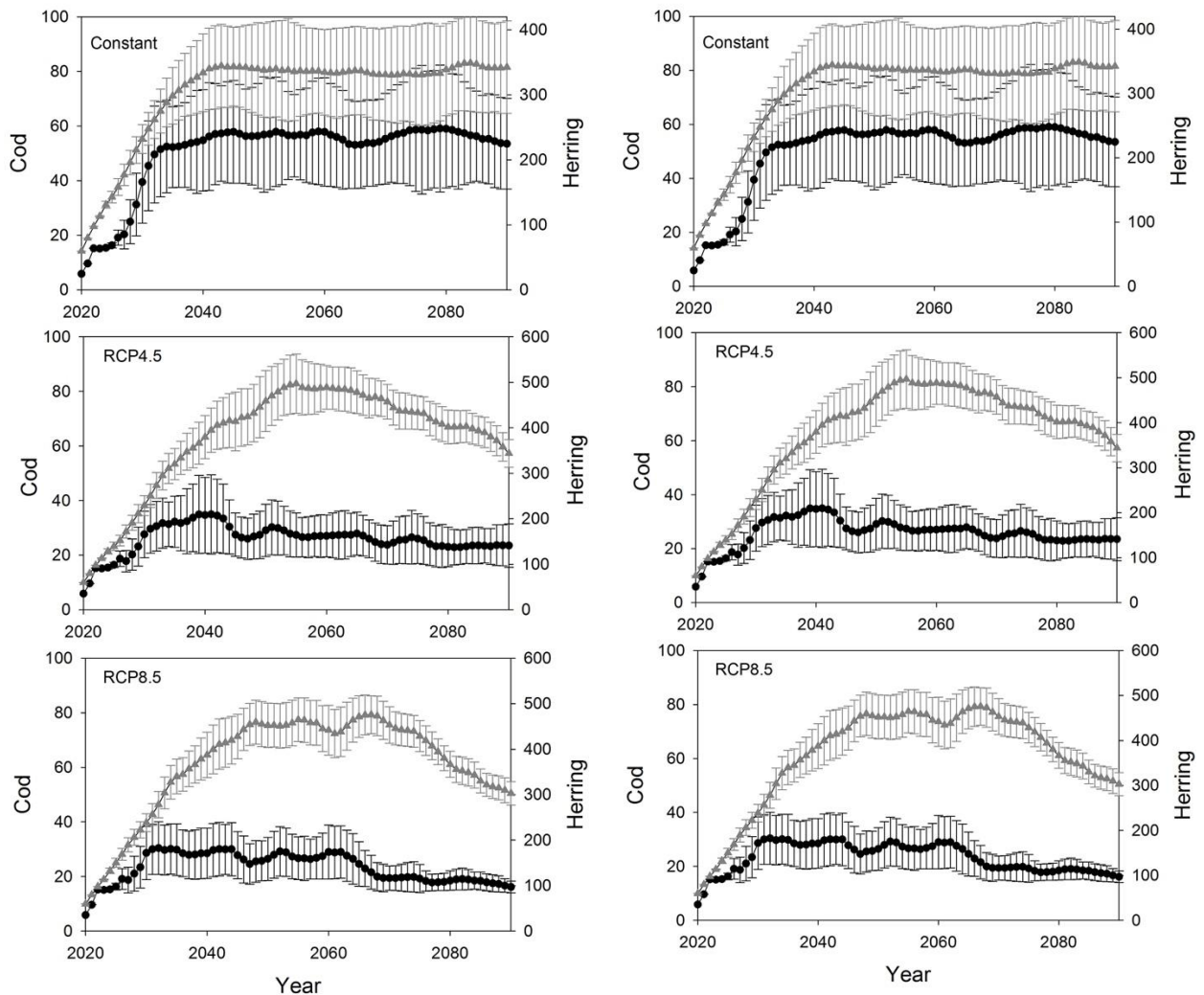


Abb. 2. Entwicklung der Biomasse des Laicherbestands (SSB) für Kabeljau und Hering unter drei Klimaszenarien in Kombination mit MMSY-Management (linke Spalte) oder MMEY-Management (rechte Spalte). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung von 100 Modellläufen.

Fangpotenzial

Im Vergleich zu historischen Zeiten ist das Fangpotenzial für Kabeljau unter den Bedingungen des Klimawandels sehr begrenzt (< 10.000 Tonnen) und nimmt sogar mit der Zeit ab (Abb. 3). Das Fangpotenzial für Hering erreicht auch unter dem Klimawandel >50.000 Tonnen. Die Unterschiede zwischen RCP 4.5 und 8.5 sind bis 2040 gering, werden aber im Jahr 2080 deutlich. Zwischen den Bewirtschaftungsszenarien MMSY und MMEY gibt es nur geringe Unterschiede bei den Fangmengen. Allerdings sind die Fangmengen unter MMEY in beiden Klimawandelszenarien und zu beiden Zeitpunkten etwas höher.

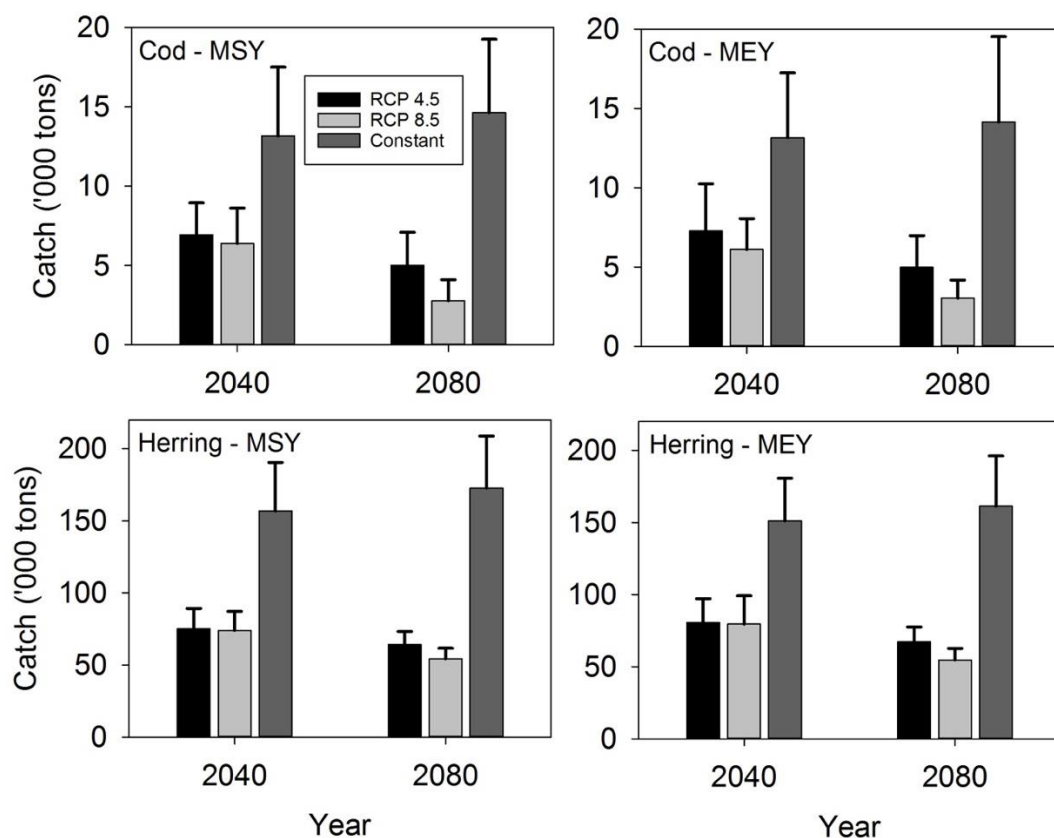


Abb. 3. Fangpotenzial für Kabeljau und Hering in den Jahren 2040 und 2080 unter MMSY- bzw. MMEY-Bewirtschaftung und unter Annahme unterschiedlicher Klimatrajektorien. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung von 100 Modellläufen

Wirtschaftlicher Überschuss

Der künftige Klimawandel wird den gesamtwirtschaftlichen Überschuss je nach Bewirtschaftung und Klimaszenario um 25,9-30,3 (Jahr 2040) und 39,2-50,2 Mio. € pro Jahr im Jahr 2080 verringern (Tab. 1). Wie vom Ziel her erwartet, ist die MMEY-Bewirtschaftung der MMSY-Bewirtschaftung überlegen. Die Unterschiede bleiben im direkten Vergleich innerhalb der Klima-x-Bewirtschaftungsszenarien im einstelligen Bereich. Eine Verleugnung des weiteren Klimawandels würde zu übermäßig optimistischen wirtschaftlichen Erwartungen führen und den gesamten wirtschaftlichen Überschuss um etwa 150 % überschätzen.

Tabelle 1. Gesamter wirtschaftlicher Überschuss unter verschiedenen Klimaszenarien und für zwei Bewirtschaftungsstrategien für die Jahre 2040 und 2080.

Climate	2040		2080	
	MMSY	MMEY	MMSY	MMEY
Constant	91.3	96.5	96.6	99.7
RCP 4.5	65.4	69.8	57.4	59.5
RCP 8.5	63.4	66	48.5	49.5

Während sich die Sozialplaner auf den gesamtwirtschaftlichen Überschuss konzentrieren, könnte das Regionalmanagement auch an den tatsächlichen Gewinnen für die Fischerei interessiert sein, d. h. an der Erzeugerrente (Abb. 4).

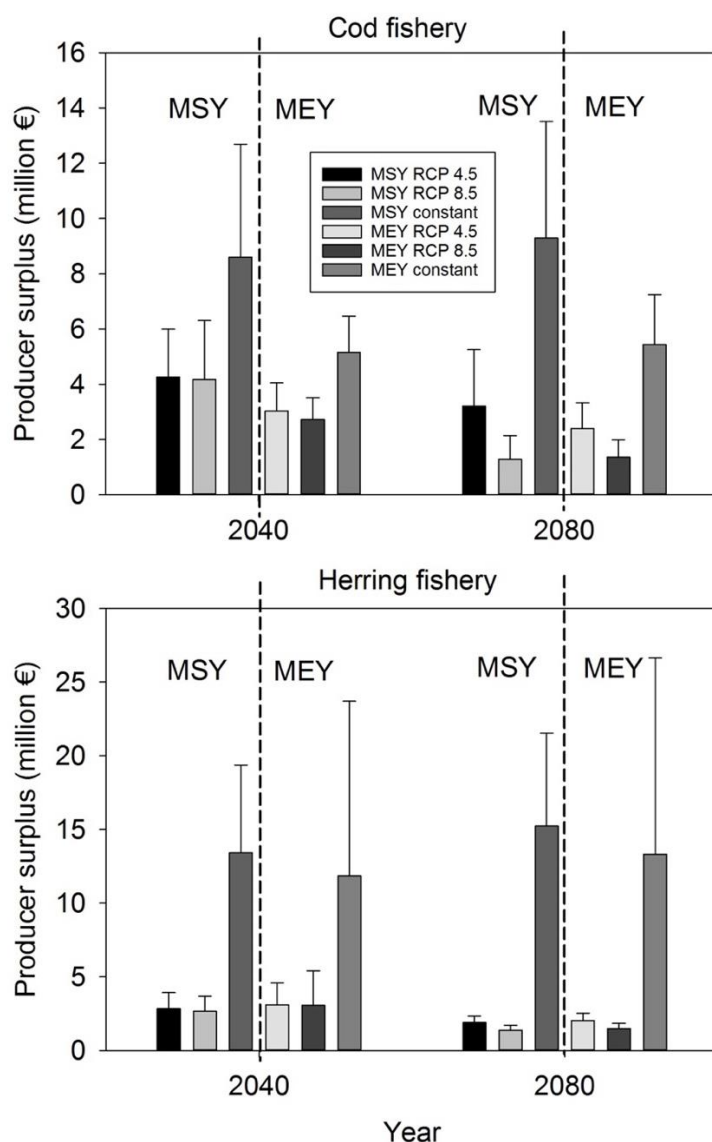


Abb. 4. Erzeugerüberschuss in der Kabeljau- und Heringsfischerei in den Jahren 2040 und 2080 für verschiedene Klima-/Managementszenarien. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung von 100 Modellläufen.

Wir stellen fest, dass der Klimawandel in der Kabeljaufischerei zu Verlusten von >8 Mio. € und in der Heringsfischerei zu Verlusten von bis zu 13,8 Mio. € führt (Vergleich zwischen konstantem Klima und RCP8.5 unter MMSY-Management; Abb. 4). Der Erzeugerüberschuss in der Kabeljaufischerei ist unter dem MMSY-Management sogar höher als unter dem MMEY-Management (Abb. 4a), außer im Jahr 2080 unter der Annahme von RCP8,5. Andererseits ist der Erzeugerüberschuss in der Heringsfischerei bei allen Klimawandelszenarien unter dem MMEY-Management höher. Bei starkem Klimawandel, d.h. unter der Annahme von RCP8.5, wird der Erzeugerüberschuss in der Heringsfischerei die Kabeljaufischerei wirtschaftlich übertreffen, und die Heringsfischerei würde wirtschaftlich dominant werden.

Optimaler zeitlicher Verlauf

Die Analyse des optimalen zeitlichen Verlaufs der fischereilichen Sterblichkeit (F) deutet auf einen anfänglichen Zeitraum der Bestandserholung und eine damit verbundene fischereiliche Sterblichkeit von Null hin. Für Kabeljau wird ein Fangverbot von 2 Jahren vorgeschlagen, bei Hering würde die Schließung 4 Jahre dauern, unabhängig vom Klimawandel- oder Bewirtschaftungsszenario.

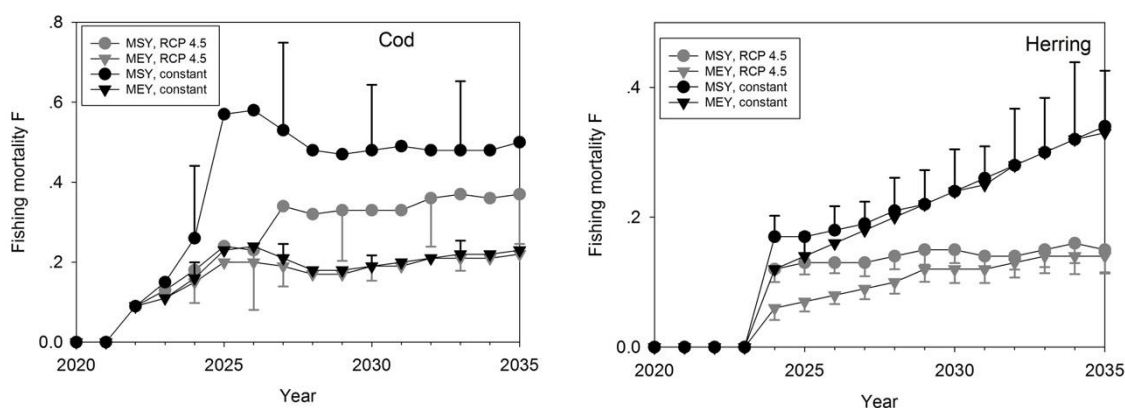


Abb. 5. Optimaler Zeitpfad der fischereilichen Sterblichkeit (F) für verschiedene Szenarien. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung von 100 Modellläufen.

Nach dem Zeitraum der Bestandserholung würde die fischereiliche Sterblichkeit allmählich ansteigen. Im Allgemeinen wäre die fischereiliche Sterblichkeit bei MMEY-Bewirtschaftung niedriger als bei MMSY-Bewirtschaftung. Ebenso sind niedrigere F-Werte optimal, wenn der Klimaeffekt in die Simulationen einbezogen wird. Die Nichtberücksichtigung des Klimawandels würde zu weit höheren Schätzungen der optimalen F-Werte führen (um den Faktor 2 bis 3), was wahrscheinlich zu einer Überfischung führen würde. Ein Wechsel zum MMEY-Management in Kombination mit der Verwendung klimasensitiver Fischereimodelle für die Quantifizierung von Szenarien führt zu vorsichtigeren Schätzungen der Fangmöglichkeiten.

Zusammenfassende Bewertung

Wir haben das künftige Fischereipotenzial in der westlichen Ostsee für zwei wichtige Arten, den westlichen Ostseedorsch und den frühjahrslaichenden westlichen Ostseehering, unter Klimawandelszenarien quantifiziert. Es scheint von zentraler Bedeutung zu sein, die Temperatur als treibenden Faktor für den Rekrutierungserfolg in unserem Multispezies-Modell zu berücksichtigen. Die Simulationsergebnisse sind weit weniger positiv, wenn der künftige Klimawandel berücksichtigt wird, und das Ignorieren des Klimawandels bei der Modellierung

von Szenarien führt zu zu optimistischen politischen Empfehlungen. Unter den derzeitigen Bedingungen könnte es sinnvoll sein, die Bewirtschaftungsziele vom Ziel des höchstmöglichen Dauerertrags auf das Ziel des höchstmöglichen wirtschaftlichen Ertrags umzustellen, da dies (neben anderen positiven Aspekten) einen stärker auf Vorsorge ausgerichteten Ansatz beinhalten würde.

Beide Bestände befinden sich derzeit in einem schlechten Zustand, wobei die Biomassen der Laicherbestände deutlich unter den ICES-Referenzwerten liegen (ICES, 2023). Für beide Bestände lautete das wissenschaftliche Gutachten Nullfang für 2024. Eine begrenzte Fischerei wurde dennoch erlaubt, im Falle des Kabeljaus als Beifangquote in der Plattfischfischerei. Die fischereiliche Sterblichkeit (Nutzungsrate bei Kabeljau) ist in den letzten Jahren zurückgegangen. Während es beim Hering leichte Anzeichen für eine beginnende Bestandserholung gibt (ICES, 2023), ist eine Bestandserholung beim Kabeljau kurz- bis mittelfristig unwahrscheinlich (ICES, 2023). Um die verbleibende Bestandsbiomasse zu schützen und die Chancen auf eine mögliche Bestandserholung zu erhöhen, ist eine Schließung beider Fischereien für 2-4 Jahre dringend erforderlich.

Die Modellentwicklung und Kopplung wurde erfolgreich abgeschlossen. In die altersstrukturierten Ein- und Mehrartenmodelle wurden klimasensible Beziehungen der Bestandsrekrutierung eingebaut und Läufe mit Klima-Ozean-Projektionen durchgeführt. Dabei können sowohl verschiedene Managementansätze verglichen werden, als auch optimale Anpassungspfade für bestimmte, sozio-ökologisch-ökonomische Zielvorgaben bestimmt werden. Der Klimawandel wird sich zunehmend negativ auf die Dorsch- und Heringsbestände auswirken, so dass es essentiell erscheint, robuste Bewirtschaftungsstrategien zu entwickeln. Kurzfristig erscheint eine (möglichst komplette) Schonung der Bestände unumgänglich.

Es konnten alle geplanten Arbeiten und Beiträge zu anderen Meilensteinen, in Form von Zusammenarbeit mit anderen Partner:innen erfolgreich abgeliefert werden. Die Meilensteine und Produkte wurden nicht gefährdet.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 1: Personalkosten

	Funktionsbezeichnung	Ein- gruppierung	Betrag in EUR
beantragt	Wissenschaftlicher Mitarbeiter	TV-L E13	208.485 €
entstanden	Wissenschaftlicher Mitarbeiter	TV-L E13	209.889,44 €

Der etwas höhere Mittelbedarf ergab sich, da mit Dr. Pinto ein erfahrener Mitarbeiter gewonnen werden konnte und die Erfahrungsstufe entsprechend etwas höher als ursprünglich geplant lag.

Tabelle 2: Weitere Sachausgaben

Bezeichnung	Betrag in EUR
Gebühr für Open Access Publikation	1.500 €
Nicht abgerufen/verbraucht	1500 €

Auf Grund von Verzögerungen in der Begutachtung konnten die Mittel nicht fristgerecht abgerufen werden.

Tabelle 3: Reisekosten

Reiseziel	Reisender	Betrag in EUR
beantragt		6.900 €
entstanden	Dr. Pinto	5163,89 €

Bei den Dienstreisen mussten Veränderungen gegenüber der ursprünglichen Planung vorgenommen werden. Die Corona-Pandemie war hier maßgeblich. Daher konnten nicht alle Mittel wie geplant abgerufen werden. Die Reisen umfassen Projekttreffen im Inland, sowie die Teilnahme am 5th Climate and Oceans Symposium in Bergen.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten

Die durchgeführten Projektarbeiten waren angemessen und notwendig. Die Ergebnisse haben u.a. maßgeblich zur Politik-Beratung der Leitbildkommission für die Zukunft der Ostseefischerei sowie des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) beigetragen.

4. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der bestehende Verwertungsplan (s.u.) wurde wie folgt fortgeschrieben: Dr. Rüdiger Voss wurde als Mitarbeiter des iDiv in die Leitbildkommission Ostseefischerei berufen, was eine direkte und intensive Kommunikation von balt_adapt Projektergebnissen und den Austausch mit maßgeblichen Interessenvertretern aus Wirtschaft, Verwaltung und Politik ermöglicht.

Das Projekt wird Erkenntnisse erarbeiten, die in ein innovatives nachhaltiges Fischerei- und Ökosystemmanagement der Westlichen Ostsee eingebracht werden können und dann langfristig einen wirtschaftlichen Nutzen für die Gesellschaft (u.a. Fischkonsument:innen, Fischer:innen, Tourist:innen) hätten. Gemeinsam mit Praxispartner:innen und Entscheidungsträger:innen sollen Maßnahmen zum Erhalt bzw. Erreichen des guten Umweltzustandes entwickelt werden. Außerdem sollen Wege gefunden werden, wie das sozial-ökologische Fischereisystem der Westlichen Ostsee an die sich verändernden Bedingungen anpassen kann, um auch künftig wichtige Ökosystemdienstleistungen zu erbringen.

Hauptaugenmerk der Ergebnisverwertung von balt_adapt wird in der Unterstützung des ökosystem-basierten Managements der Ostsee liegen.

Tabelle 4. Verwertungsplan

1. Wirtschaftliche Verwertung aus Sicht der Einrichtung und ggf. aus Sicht Dritter		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
1	Die Ergebnisse von balt_ADAPT dienen keiner direkten, eher einer indirekten wirtschaftlichen Verwertung . Die von balt_ADAPT zu entwickelnden wissenschaftlichen Produkte haben dabei einen potentiellen Nutzen für verschiedene Anwendergruppen. So plant balt_ADAPT die Schaffung von Instrumenten, die eine bessere Bewertung von Fischbeständen und des Zustandes von Ökosystemen erlauben. Diese Instrumente können direkt im Rahmen von wissenschaftlichen Gremien (z.B. ICES; HELCOM; AGs zur Implementierung der MSRL) zu einer besseren Beratung nationaler und internationaler Behörden im Fischerei- und Umweltmanagement genutzt werden.	nach Projektende

2	Des Weiteren ist das Hauptziel von balt_ADAPT die Anpassung der Fischerei in der Westlichen Ostsee an den Klimawandel zu unterstützen und dafür lokalen, nationalen und internationalen Behörden Hilfestellungen zu liefern. Insgesamt kann somit die Arbeit von balt_ADAPT zur Sicherung vorhandener und Schaffung neuer Arbeitsplätze an der deutschen Küste beitragen und zur Verbesserung der Wettbewerbssituation der Küstenfischerei in der Westlichen Ostsee führen.	~ 10 Jahre
3	Die Arbeit von balt_ADAPT ist außerdem explizit darauf ausgerichtet Nachhaltigkeit zu fördern und hier insbesondere Nachhaltigkeit im wirtschaftlichen Überleben der Fischerei aber auch der ihr angeschlossenen Sektoren wie dem Tourismus. So kann im weiteren möglicherweise eine Verbesserung der Lebensbedingungen verschiedener Zielgruppen (z.B. der Fischerfamilien, Gastronomie) an der deutschen Küsten erreicht werden.	~ 10 Jahre

2. Wissenschaftlich-technische Verwertung aus Sicht der Einrichtung und ggf. aus Sicht Dritter		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
4	Wissenschaftliche Ergebnisse von balt_ADAPT werden in internationalen, referierten Zeitschriften veröffentlicht	während und bis zu 2 Jahre nach dem Projekt
5	In balt_ADAPT zu entwickelnde wissenschaftliche Instrumente wie die Gefährdungsanalyse (AP1) Ökosystemindikatoren (AP2), Fischerei- und Nahrungsnetzmodelle (AP3) können direkt im Bestandsassessment für Dorsch und Hering durch den Internationalen Rat für Meeresforschung (ICES) im Rahmen der "Baltic Fisheries Assessment Working Group" (WGBFAS) eingesetzt werden. Sie können somit die bessere Implementierung eines Ökosystemansatzes bei der Beratung der Europäischen Kommission zum Bestandsmanagement (z.B. durch Quoten) fördern.	nach Projektende
6	Des Weiteren können die oben genannten Instrumente und insbesondere die Entwicklung robuster Indikatoren (AP2) zu einer besseren Bewertung des Ökosystemzustandes, z.B. im Rahmen von ICES ("Working Group on Integrated Assessments for the Baltic Sea" - WGIAB), HELCOM und der zweiten Implementierungsphase der MSRL führen.	nach Projektende
7	Langfristiger sollen die Ergebnisse von balt_ADAPT den verschiedensten Nutzergruppen und Interessensvertretern, welche an der Entwicklung der deutschen Küstenfischerei in der Westlichen Ostsee beteiligt sind, wissenschaftliche Grundlagen zu einer nachhaltigen Anpassungsplanung an den Klimawandel an die Hand geben.	~ 10 Jahre

	balt_ADAPT wird somit erste wissenschaftliche Grundlagen für eine Transformation der momentan angeschlagenen Küstenfischerei und ihr angelehnter Sektoren zu einer nachhaltige Entwicklung auch unter dem zu erwartenden Klimawandel liefern.	
--	---	--

3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Folgeentwicklungen/-projekte aus Sicht der Einrichtung und ggf. aus Sicht Dritter		
Lfd. Nr.	Nächste Schritte	Zeithorizont
8	balt_ADAPT kann nur einen ersten Schritt in Richtung eines nachhaltigen Strukturwandels der Fischerei an der deutschen Ostseeküste machen. Bei Erfolg müssen die Anstrengungen von balt_ADAPT insbesondere im Bereich der Anpassungsplanung weitergeführt werden.	nach Projektende

4. Wissenstransfer (Studien-/Semesterarbeiten, Abschlussarbeiten, Promotionen, Ausgründungen)		
Lfd. Nr.	Nächste Schritte	Zeithorizont
9	Die Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs wird direkt an die Forschungsarbeit von balt_ADAPT angekoppelt. So sollen z.B. Studierende der BSc und MSc Studiengänge in "Marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften" der Universität Hamburg durch Abschlussarbeiten in die Aktivitäten von balt_ADAPT eingebunden werden. balt_ADAPT Ergebnisse werden zudem zu 1-2 Promotionen führen.	während und bis zu 2 Jahre nach dem Projekt

5. Wissenstransfer (Politikberatung, Öffentlichkeitsarbeit, Citizen Science, etc.)		
Lfd. Nr.	Nächste Schritte	Zeithorizont
10	balt_ADAPT wird erste Schritte zum Wissenstransfer machen. Dabei wird insbesondere die Implementierung von balt_ADAPT Ergebnissen und Instrumenten in das Bestandsassessment für Dorsch und Hering durch den Internationalen Rat für Meeresforschung (ICES) im Rahmen der "Baltic Fisheries Assessment Working Group" (WGBFAS) eines erstes Ziel sein.	während des Projektes
11	Des Weiteren werden Ergebnisse der Gefährdungsanalyse (AP1) und der Indikatorenentwicklung (AP2) eine Beitrag zur ICES/HELCOM Working Group on Integrated Assessments for the Baltic Sea (WGIAB) liefern.	während des Projektes
12	Erste Schritte zur Politikberatung sollen durch die Partizipationsaktivitäten mit InteressensvertreterInnen (z.B. aus der Verwaltung) gemacht werden.	während des Projektes

13	Öffentlichkeitsarbeit zur Verbreitung der Ergebnisse von balt_ADAPT werden kontinuierlich durch die entsprechenden Stellen der Projektpartner und regelmäßig im Rahmen der Projekttreffen und bei Veröffentlichung von wissenschaftlichen Ergebnissen durchgeführt.	während des Projekt
----	---	--------------------------------

5. Veröffentlichungen

Erschienene Paper:

- Grünhagen C, Schwermer H, Wagner-Ahlf C, Voss R, Gross F, & Riekhof MC. The multifaceted picture of transdisciplinarity in marine research. In. Köpsel V, & Gómez Mestres S. 2022. Knowledge co-production. Routledge, London.
- Schaber, V., Riekhof, M-C., Stecher, M., Voss, R., & Baumgärtner, S. (2022). Stakeholders' normative notions of sustainability. In S. Gómez, & V. Köpsel (Hrsg.), *Transdisciplinary Marine Research: Bridging Science and Society* (S. 149-172). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003311171-10>
- C Möllmann, X Cormon, S Funk, SA Otto, JO Schmidt, H Schwermer, R Voss (2021) Tipping point realized in cod fishery. *Scientific Reports* 11 (1), 1-12
- R Voss, M Quaas, S Neuenfeldt (2022) Robust, ecological–economic multispecies management of Central Baltic fishery resources. *ICES Journal of Marine Science* 79 (1), 169-1812
- Y Ammar, R Voss, S Niiranen, T Blenckner (2022) Quantifying socio-economic novelty in fisheries social-ecological systems. *Fish and Fisheries* 23 (2), 445-4611
- C Möllmann, R Voss (2022) Ökosystem-basiertes Management für den Dorsch der Westlichen Ostsee. *Zeitschrift für Fischerei*, 10-102022
- Schacht, K, Voss, R (2023) German fishery's adaptation to historic events, Western Baltic Sea, 1890–1950. *Ambio* 52 (1), 155-1702023

In prep:

- Riekhof, Pinto, Voss et al: Vulnerability Analysis of the Western Baltic Sea Fisheries-Combining the best of two worlds
- Riekhof, Pinto, Voss et al: Shaping structural change – Introducing a scenario tool to explore directions for the future of a diverse German Baltic Sea fishery
- Pinto, Voss et al.: Longer and more frequent marine heatwaves in the Western Baltic Sea
- Voss, Quaas: Future fishing potential under climate change in the Western Baltic Sea

Weiteren Veröffentlichungen:

- BMEL. 2023. Leitbildkommission zur Zukunft der deutschen Ostseefischerei. Abschlussbericht. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Fischerei/abschlussbericht-ik-ostseefischerei.pdf?__blob=publicationFile&v=10. (unter Mitwirkung von MCR, RV, HS)

Poster:

- ECCWO “5th Effects of Climate Change on the World’s Oceans Meeting” – Bergen (04.2023). Voss et al.: Fishing past a tipping point – climate changes and medieval overfishing depleted Baltic herring in the 16th century.
- ECCWO “5th Effects of Climate Change on the World’s Oceans Meeting” – Bergen (04.2023)

- ICES ASC 2023 – Bilbao (09.2023) Voss et al.: How much is the fish? – Adopting an ego-network lens to reconstruct historic seafood trade networks in small-scale fisheries.
- ECCWO “5th Effects of Climate Change on the World’s Oceans Meeting” – Bergen (04.2023) – Poster: Spatio-temporal trends of marine heatwaves in the western Baltic Sea between 1950-2022. Guilherme Pinto, Christian Möllmann, Hans-Harald Hinrichsen, Martin Quaas, Rüdiger Voss

Besuchte Veranstaltungen:

Datum	Teilnehmer bAD	Grund des Treffens
06.2022	2	World Conference on Natural Resource Modeling
03.2023	1	Parlamentarischer Abend, Berlin
04.2023	2	Konferenz ECCWO5, Bergen, Norwegen
09.2022	2	ICES ASC Conference, Dublin
08.2022	2	balt_adapt Retreat
02.2023	2	balt_adapt Ensemble Modeling Meeting, Sylt
09.2023	2	ASC ICES Conference, Bilbao, Spanien
03.2022	1	KÜNO Spring school “Human impact on the Tidal Elbe - Ecology, conservation, prediction & Adaption“, Lauenburg
07.2023	1	ICTP-CLIVAR Summer School on Marine Heatwaves: Global Phenomena with Regional Impacts – Trieste
12.2023	1	Leitbildkommission Zukunft der deutschen Ostseefischerei, Berlin