

Ökosystembasiertes Management für den Dorsch der Westlichen Ostsee

Christian Möllmann¹, Rudi Voss^{2,3}

¹ Institut für Marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN), Universität Hamburg, Grosse Elbstrasse 133, 22767 Hamburg, christian.moellmann@uni-hamburg.de

² Center for Ocean and Society, Kiel Marine Science, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Neufeldstr. 10, 24118 Kiel, Germany, voss@ceos.uni-kiel.de

³ Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Biodiversitätsökonomik, Puschstrasse 4, 04103 Leipzig

Korrespondierender Autor

Christian Möllmann
christian.moellmann@uni-hamburg.de

Eingereicht: 08.01.2022

Begutachtet: ..2022

Erhalt 1. Überarbeitung: 04.03.2022

Begutachtet: 04.03.2022

Erhalt 2. Überarbeitung: 09.03.2022

Akzeptiert: 09.03.2022

Zitierhinweis

Möllmann, C., Voss, R. (2022): Ökosystembasiertes Management für den Dorsch der Westlichen Ostsee. Zeitschrift für Fischerei 2: Artikel 3: 1-10.
DOI: 10.35006/fischzeit.2022.18

Verantwortlicher Redakteur:

Robert Arlinghaus
ra@zeitschrift-fischerei.de

Finanzierung

- marEEshift: Förderkennzeichen 01LC1826 (BMBF)
- balt_ADAPT: Förderkennzeichen 03F0863 (BMBF)

Interessenkonflikt

Keiner.

Copyright

© Autore(en) 2022, veröffentlicht unter der creative commons Lizenz [CC-BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
www.zeitschrift-fischerei.de

Zusammenfassung

Dem Dorsch der Westlichen Ostsee geht es schlecht und die von ihm abhängige Fischerei ist in Gefahr. Neueste Abschätzungen des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) zeigen einen katastrophalen Zustand des Bestands. In einem wissenschaftlichen Artikel haben wir mit weiteren Kolleg:innen die historische Entwicklung des Bestandes in Hinsicht auf sogenannte Regime Shifts und damit verbundene Kipp-Punkte untersucht. Das für die Fischerei in der Ostsee zuständige Bundesinstitut (Thünen-Institut für Ostseefischerei, Rostock) und eine sich darauf beziehende Pressemitteilung (URL 1) des Verbandes der Deutschen Kutter- und Küstentischer e. V. haben die Sinnhaftigkeit unserer Studie in Frage gestellt und kommentiert. In diesem Artikel nehmen wir nun Bezug auf die sachlich relevanten Kritikpunkte des sogenannten "Faktenchecks" (URL 2) des Rostocker Bundesinstitutes. In diesem Artikel haben wir die Bedenken aufgegriffen und unsere Berechnungen mit den aktuellsten Bestandsabschätzungen des ICES wiederholt. Diese erneute Analyse untermauert unsere ursprüngliche Schlussfolgerung, dass sich der Dorschbestand der Westlichen Ostsee zur Zeit in einem wahrscheinlich sehr stabilen, unproduktiven Zustand befindet. Des Weiteren antworten wir auf weitere Kritik, dass (i) unsere Ergebnisse nicht neu seien, (ii) wir vom eigentlichen Problem der Überfischung ablenken, und (iii) eine Einbindung von Umweltveränderungen in das Bestandsmanagement des Dorsches nicht möglich ist. Anschließend diskutieren wir die aus unserer Sicht nötigen Modernisierungen im Bestandsmanagement sowie die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen für die Fischerei der Westlichen Ostsee an den Klimawandel.

Schlagworte: Kipp-Punkte, Klimawandel, Überfischung, ökosystembasiertes Bestandsmanagement, Anpassungsmaßnahmen

Abstract

Western Baltic cod is in danger and the fishery that depends on it is in jeopardy. Recent assessments by the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) show the catastrophic state of the stock. In a scientific article, we and other colleagues have examined the historical development of the stock in terms of so-called regime shifts and associated tipping points. The federal institute responsible for fisheries in the Baltic Sea and a related press release of the Association of German Cutter and Coastal Fishermen have questioned and commented on the meaningfulness of our study. In this article, we now refer to the factually relevant criticisms of the so-called "fact check" of the Rostock federal institute. In this article, we have addressed the concerns and repeated our calculations using the most recent stock assessments from ICES. This re-analysis supports our original conclusion that the Western Baltic cod stock is currently in what is likely a very stable, unproductive state. Furthermore, we respond to further criticisms that (i) our results are not new, (ii) we distract from the real problem of overfishing, and (iii) incorporation of environmental changes into cod stock management is not possible. We eventually discuss what we consider to be the need for modernization in stock management and the need for adaptation measures for the Western Baltic fishery to climate change.

Keywords: tipping points, climate change, overfishing, ecosystem-based management, adaptation measures

Fazit für die Praxis

Aus vorherigen und hier modifizierten Analysen ergibt sich, dass sich der Bestand des Dorsches in der Westlichen Ostsee wahrscheinlich nicht kurzfristig erholen und weiter unter den Folgen des Klimawandels leiden wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, das Bestandsmanagement in Hinsicht auf moderne ökosystembasierte Komponenten zu erweitern, um so Veränderungen in der Umwelt besser einzubeziehen. Des Weiteren ist eine moderne Anpassungsplanung für die Fischerei an die zukünftige vom Klimawandel veränderte Produktivität der Westlichen Ostsee und des Dorschbestandes nötig.

1. Einleitung

Dem Dorsch der Westlichen Ostsee geht es schlecht und die von ihm abhängige Fischerei ist in Gefahr. Neueste Abschätzungen des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) zeigen den katastrophalen Zustand des Bestands (ICES, 2021; Abb. 1). Die Laicherbiomasse (Abb. 1a) befindet sich auf einem historisch tiefen Niveau weit unter dem Referenzwert ($MSY B_{trigger}$) für ein Management, das theoretisch einen dauerhaft nachhaltigen Ertrag MSY (Maximum Sustainable Yield; ICES, 2020) erbringt. Die Stärke der Nachwuchsjahrgänge (Abb. 1b) ist ebenso weiterhin sehr gering. Statistische Analysen von "Wende-

punkten" demonstrieren für beide Variablen stabile niedrige Zustände seit Mitte der 2000er Jahre, und ebenso für die Produktivität (Abb. 1c), hier aber schon seit Ende der 1990er Jahre.

Die aktuellen Abschätzungen des ICES zeigen zudem, dass die fischereiliche Sterblichkeit (d) leicht sinkt, aber immer noch ca. dreimal höher ist als der Zielwert im Management (F_{MSY}). Wenn die fischereiliche Sterblichkeit in Relation zur Jahrgangsstärke gesetzt wird (Abb. 1e) zeigt sich des Weiteren, dass seit Mitte der 2000er Jahre der fische-

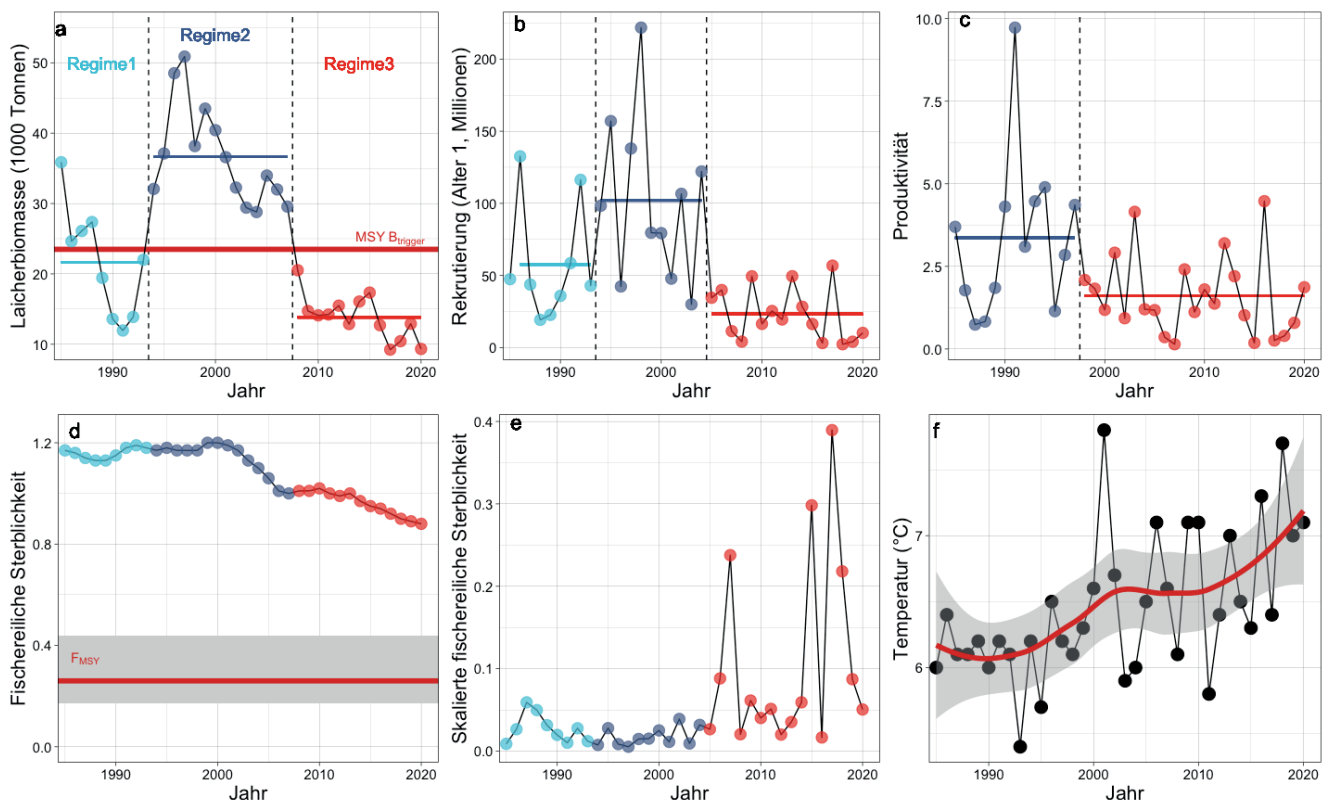


Abbildung 1

Zeitliche Entwicklung im System des Dorsches der Westlichen Ostsee - a) Laicherbiomasse, b) Rekrutierung (Jahrgangsstärke), c) Produktivität (Rekrutierung/Laicherbiomasse), d) Fischereiliche Sterblichkeit, e) Skalierte fischereiliche Sterblichkeit (Fischereiliche Sterblichkeit/Rekrutierung), f) Temperatur. Kurze horizontale Balken, vertikale Linien und Punktfarben in a, b und c zeigen "Regimes" in den Zeitserien basierend auf einer statistischen Change-point-Analyse. Rote horizontale Linie in a zeigt Management Referenzpunkt $MSY B_{trigger}$. Rote horizontale Linie in d zeigt Management Referenzpunkt F_{MSY} (mit Variationsbereich in grau). Punktfarben in d und e reflektieren "Regimes" in Laicherbiomasse aus a. Rote Linie in f repräsentiert einen gleitenden Durchschnitt, sog. "Loess-smoother".

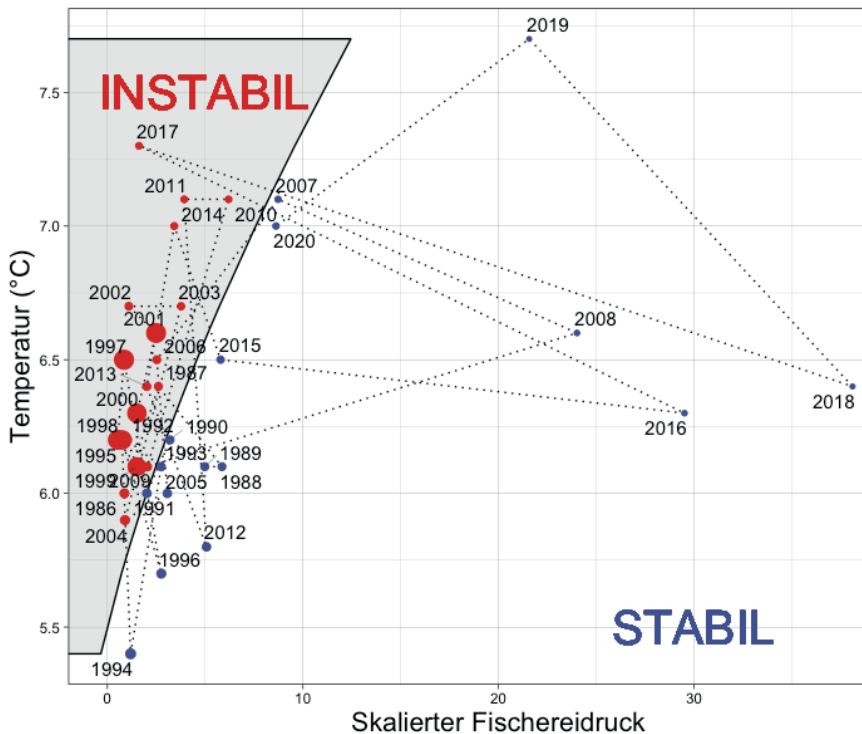


Abbildung 2

Verfestigter Zustand geringer Produktivität des Dorsches der Westlichen Ostsee. Re-Analyse des „Stochastic Cusp“ Modelles (MÖLLMANN et al., 2021) basierend auf den neuesten Bestandsabschätzungen des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES, 2021). Das Modell demonstriert den Zusammenhang zwischen der Laicherbiomasse (repräsentiert durch rote bzw. blaue Punkte, deren Größe die Bestandsgröße widerspiegelt) und den interaktiven Effekten von Fischereidruck (fischereiliche Sterblichkeit in Relation zur Größe des Nachwuchsjahrgangs) und Temperatur. Bereiche mit grauen und weißen Hintergründen zeigen instabile und stabile Zustände des Bestandes. Detaillierte Modellergebnisse siehe Tabelle 1. Für eine genaue Beschreibung des Modellierungsansatzes siehe SGUOTTI et al. (2019) und MÖLLMANN et al. (2021).

reiliche Druck auf den Bestand sehr hoch ist, mit einigen Extremwerten. Ein weiterer Einfluss auf die Population ist wahrscheinlich die klimabedingte Erwärmung der Ostsee (MÖLLMANN et al., 2021) (Abb. 1f).

In einem wissenschaftlichen Artikel (MÖLLMANN et al., 2021) haben wir mit weiteren Kolleg:innen basierend auf früheren Abschätzungen der Laicherbiomasse und der Rekrutierung die historische Entwicklung des Bestandes in Hinblick auf sogenannte Regime Shifts und damit verbundene Kipp-Punkte untersucht. Als Kipp-Punkt oder Tipping Point bezeichnet man einen Moment, an dem eine gradlinige Entwicklung durch bestimmte Rückkopplungen abrupt abbricht bzw. in eine andere Richtung wechselt. Einmal gekippt, ist es schwer, eventuell sogar unmöglich, den Ursprungszustand zurückzuerlangen. Unsere Untersuchung zeigt, dass im Falle des Dorsches in der Westlichen Ostsee ein solcher Kipp-Punkt wahrscheinlich überschritten wurde - leider in Richtung eines Zustandes geringerer Produktivität des Bestandes. Die Ursachen dieses Kipp-Punktes sind unserer Studie zu Folge ein Zusammenspiel von bisher nicht nachhaltiger Nutzung und sich ändernden Umweltbedingungen durch den Klimawandel (d. h. die Erwärmung der Ostsee).

Das für die Fischerei in der Ostsee zuständige Bundesinstitut (Thünen-Institut für Ostseefischerei) und eine sich darauf beziehende Pressemitteilung des Verbandes der Deutschen Kutter- und Küstenfischer e. V. haben die Sinnhaftigkeit unserer Studie in Frage gestellt und kommentiert. In diesem Artikel nehmen wir nun Bezug auf die sachlich relevanten Kritikpunkte des sogenannten "Faktenchecks" des Rostocker Bundesinstitutes und diskutieren anschließend die aus unserer Sicht nötigen Modernisierungen im Bestandsmanagement sowie die notwendige Anpassung der Fischerei in der Westlichen Ostsee an den Klimawandel.

2. Kritik an der Datenauswahl

Die Grundlage für unsere Analysen bildeten offizielle, jedem zur Verfügung stehende Daten, der für die Ostseebestände zuständigen Arbeitsgruppe des ICES (URL 3). Für unsere Studie haben wir die zu dem Zeitpunkt der Analyse aktuellste Datenreihe um einen historischen Zeitraum (1970-1984) ergänzt, der wahrscheinlich einen historisch guten Zustand des Dorschbestandes widerspiegelt. Dafür haben wir den einzig offiziell veröffentlichten Datensatz benutzt, der

aber aufgrund der für diese Periode weitgehend unbekannt Vermischung der beiden Dorschbestände der Ostsee mit größeren Unsicherheiten behaftet ist. Auf die damit verbundenen Probleme haben wir in unserem Artikel hingewiesen.

Trotz der Unsicherheiten in dem erweiterten Datensatz sind wir von der Gültigkeit der Ergebnisse unserer Studie weiterhin überzeugt. Wir haben die Bedenken aber gerne aufgegriffen und unsere Berechnungen mit den aktuellsten Bestandsabschätzungen des ICES (ICES, 2021) und ohne die in Frage stehende historische Periode wiederholt (siehe Material und Methoden). Wir merken hier zusätzlich an, dass das hier angewandte Modell aufgrund seiner Komplexität einige methodisch ungelöste Probleme mit sich bringt. Diese Unsicherheiten bedürfen eines ausführlicheren Validierungsprozesses, den wir auch für die hier präsentierte Analyse angewandt haben (siehe Material und Methoden, sowie GRASMAN et al., 2009; SGUOTTI et al., 2019).

Die erneute Analyse untermauert unsere ursprünglichen Schlussfolgerungen. Insbesondere gibt die Modellierung einen starken Hinweis darauf, dass sich der Dorschbestand der Westlichen Ostsee zur Zeit in einem wahrscheinlich sehr

stabilen, unproduktiven Zustand befindet. Abb. 2 gibt das Ergebnis der Analyse in einer 2-dimensionalen Repräsentation wieder, in der zu sehen ist, dass die Werte der Jahre 2015-2020 (mit Ausnahme von 2017) außerhalb der instabilen Zone des Modells (in grau) liegen. Innerhalb der instabilen Zone fluktuieren die Bestandsbiomassen theoretisch zwischen einem produktiven und einem unproduktiven Zustand. Die momentan geringen Biomassen befinden sich hingegen in der stabilen Zone (in weiß), was auf einen unproduktiven Zustand schließen lässt.

Die erneute Analyse zeigt außerdem, wie bereits unsere Veröffentlichung, dass der Zustand des Dorschbestandes eine Folge von kontinuierlich zu hohem Fischereidruck ist, und nun in zunehmendem Maße von der Erwärmung der Ostsee als Folge der Klimaerwärmung stabilisiert wird. Basierend auf unserer Analyse können wir also weiterhin folgern, dass eine schnelle Erholung des Bestandes unwahrscheinlich ist und deshalb Anpassungsmaßnahmen zur Rettung der Fischerei von Nöten sind. Die neuesten Daten zum Zustand des Bestandes (siehe oben) und die damit verbundene faktische Einstellung der Fischerei haben unsere Analyse auf traurige Weise bestätigt.

3. Unsere Aussagen sind (nicht) neu

Der Faktencheck des Bundesinstituts erläutert weiterhin, dass die wesentlichen Aussagen unserer Studie keine Neuigkeit offenbaren, da der ICES den Bestand bereits 2016 als kollabiert bezeichnet hat. Das Neuartige unserer Studie liegt allerdings nicht in der Feststellung des Kollapses. In unserer Analyse haben wir die Populationsdynamik des Dorsches auf eventuell vorhandene Kipp-Punkte untersucht und deren wahrscheinliche Existenz bestätigt. Für den Dorsch in der Westlichen Ostsee bedeutet dies, dass sich der Bestand theoretisch gar nicht oder zumindest nur sehr langsam auf ein nachhaltig nutzbares Niveau erholen kann. Das Neue an unserer Studie ist daher, dass das Zusammenspiel von hohem Fischereidruck und Klimaveränderung, insbesondere der klimabedingten Erwärmung der Ostsee, den Bestand in einen wahrscheinlich schwer zu überwindenden, unproduktiven Zustand gebracht hat. Wir sind der Meinung, dass dieses neue Ergebnis bedeutend für das Management des Bestandes ist, und insbesondere neue Strategien für die Erhaltung der Fischerei erfordert.

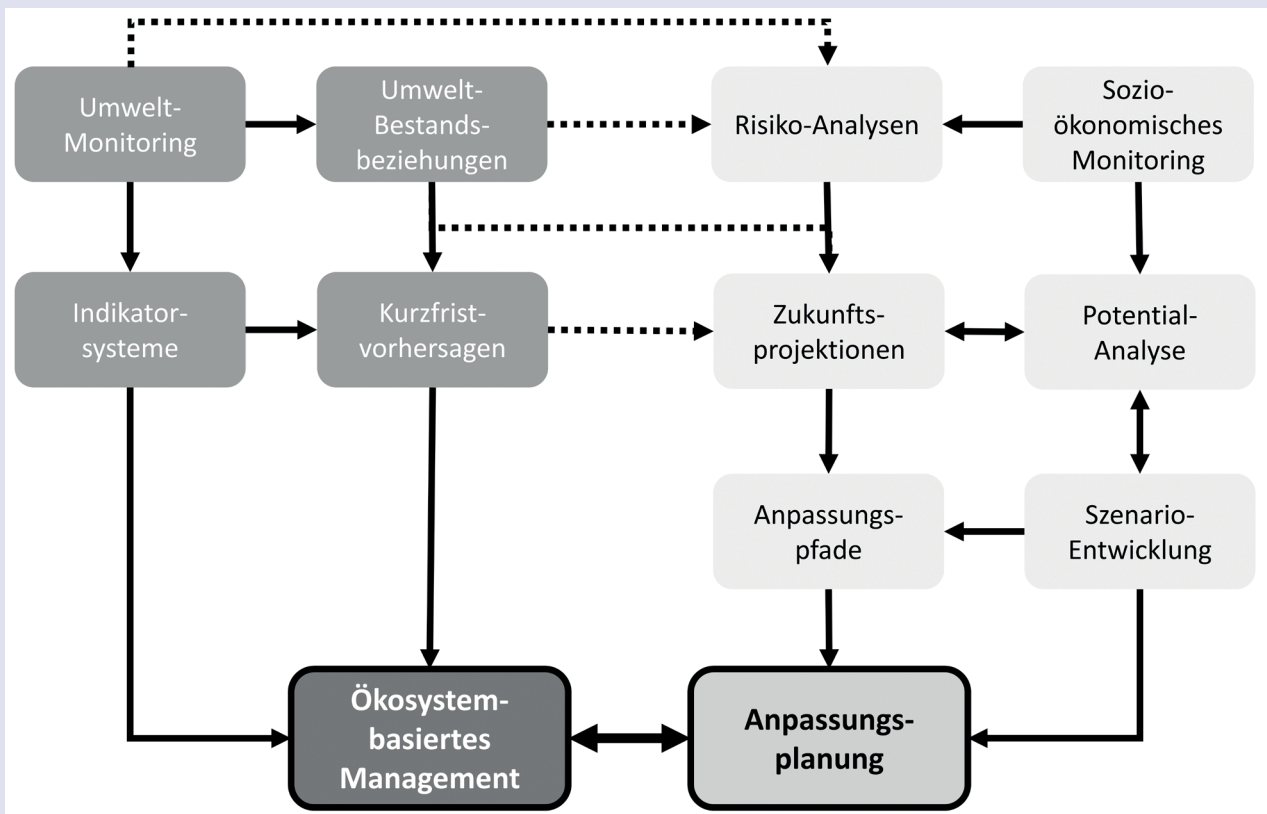
4. Überfischung oder Klimawandel? Überfischung und Klimawandel!

Der Faktencheck des Bundesinstituts macht uns des Weiteren zum Vorwurf, dass wir mit unserer Studie vom ei-

gentlichen Problem, der Überfischung, ablenken und stellt klar, dass die Politik das Überfischungsproblem längst erkannt und seit 2016 adäquat, nach wissenschaftlichen Empfehlungen umgesetzt habe. Richtig ist aber, dass wir in unserer Veröffentlichung angemerkt haben, dass der Bestand in der Vergangenheit und auch heute noch zu stark befischt wird. Die Fangquoten wurden, wie in unserer Veröffentlichung dargestellt, bis Mitte der 2010er Jahre oftmals über der wissenschaftlichen Empfehlung angesetzt. Wie das letzte Assessment zeigt (ICES, 2021), ist seitdem die Sterblichkeit durch die Fischerei nur marginal gesunken und wurde für das Jahr 2020 auf 0,88 geschätzt, deutlich über dem in der Gemeinsamen Fischereipolitik (GFP) der Europäischen Union festgesetzten Nachhaltigkeitsziel ($F_{MSY} = 0,26$) (Abb. 1d). F_{MSY} ist hierbei die Sterblichkeit, die theoretisch eine dauerhafte, den Bestand nicht gefährdende Befischung erlaubt (ICES, 2020). Zusätzlich konnte unsere Studie zeigen, dass der Fischereidruck insbesondere in Relation zur Produktivität des Bestandes (d. h. der Rekrutierung) deutlich zu hoch ist (Abb. 1e). Folglich erholt sich der Bestand nicht, wie vom Management und den Nutzern Jahr für Jahr wieder erhofft. Selbst der letzte etwas stärkere Nachwuchsjahrgang aus 2016 hat nicht wesentlich zur Bestandserholung beigetragen.

Unsere Studie liefert zusätzlich einen Hinweis auf einen negativen Einfluss des Klimawandels auf die Nachwuchsproduktion des Dorsches in der Westlichen Ostsee. Wie das Thünen-Institut auf seiner Internetpräsenz richtigerweise vermerkt, ist "wie die meisten marinen Fischbestände in der Ostsee ... auch der Dorsch in der Westlichen Ostsee stark von den Umweltbedingungen abhängig" (URL 4). Des Weiteren wird auch von leitender Stelle des Bundesforschungsinstituts angenommen, dass "Neben der jahrelangen Überfischung wahrscheinlich auch die Überdüngung der Ostsee und der Klimawandel eine Rolle" spielen (Kieler Nachrichten vom 13.09.2021).

Während auch ein möglicher negativer Einfluss der Eutrophierung der Ostsee auf die Nachwuchsproduktion weiter untersucht werden muss, gibt unsere Studie einen Hinweis darauf, dass gestiegene Wassertemperaturen, zusätzlich zur Überfischung, ein Grund für die niedrige Produktivität des Bestandes sein könnten. Ein Zusammenspiel von Überfischung und Erwärmung ist daher wahrscheinlich. Es ist außerdem in der Wissenschaft lange Konsens, dass überfischte Bestände stärker an den Folgen des Klimawandels leiden (BRANDER, 2005; BRANDER, 2007; RIJNSDORP et al., 2009). Der Bestandszusammenbruch des Dorsches der Westlichen Ostsee ist somit wesentlich durch Überfischung bedingt. Unsere Analyse deutet aber darauf hin, dass die ausgebliebene Erholung des Bestandes eine Folge der Kombination aus Fischereidruck und Klimawandel ist. Es ist also nicht die Frage, ob die Überfischung oder der Klimawandel die entscheidende Einflussgröße ist. Ein erfolgreiches Management muss in Zukunft neben der Fischerei auch Faktoren wie den Klimawandel und auch die Eutrophierung gemeinsam betrachten, auch wenn dies zu einer vorsorglichen weiteren Absenkung der Fangmöglichkeiten führen muss.

Box 1 – Komponenten eines ökosystembasierten Fischereimanagements und der Planung der Anpassung der Fischerei der Westlichen Ostsee an den Klimawandel


Komponenten des ökosystembasierten Managements (in dunklem Grau) umfassen eine bessere Nutzung von Daten aus bestehendem Umweltmonitoring (z.B. URL 5) zur Erstellung von statistischen Zusammenhängen zwischen Bestandsvariablen und der Umwelt (SAMHOURI et al., 2017), sowie von Indikatorsystemen zur Evaluierung des Umweltzustandes (OTTO et al., 2018; ZADOR et al., 2016; LINK et al., 2021; WILLIAMS et al., 2021). Indikatorsysteme und statistische Zusammenhänge informieren über die kurzfristigen Vorhersagen der Rekrutierung (TOMMASI et al., 2017; KIAER et al., 2021) als Grundlage für die Quotenbestimmung und repräsentieren so einen ersten Schritt zur Entwicklung eines ökosystembasierten Managements (KARNAUSKAS et al., 2021). Komponenten der Anpassungsplanung umfassen Analysen der Risiken für die Fischbestände und der Fischerei durch den Klimawandel (GAICHAS et al., 2014; HARE et al., 2016; HOLSMAN et al., 2017; SPENCER et al., 2019; BUENO-PARDO et al., 2021), welche Daten aus dem Umwelt- aber auch aus einem Monitoring von sozio-ökonomischen Daten nutzen (e.g. EUROSTAT, 2021). Eine Analyse des zukünftigen wirtschaftlichen Potentials der Fischerei nutzt sozio-ökonomische Daten und Zukunftsprojektionen der Entwicklung der Fischbestände und ihrer Nutzung (VOSS et al., 2019; HOLSMAN et al. 2020; HOWELL et al., 2021) und informiert so die Entwicklung von nachhaltigen Szenarien für die Anpassung der Fischerei an den Klimawandel (z. B. in Bezug auf die Menge und Zusammensetzung der Nutzungsarten). Dabei werden verschiedene Anpassungspfade für zu erwartende Klimaszenarien entwickelt, die gleichzeitig flexibel auf neuartige und unerwartete Entwicklungen reagieren können (HAASNOOT et al., 2013). Ökosystem-basiertes Management und Anpassungsplanungen interagieren und ergänzen sich dabei permanent (WOODS, 2021). Diese vielfältigen Instrumente des ökosystembasierten Managements und der Anpassungsplanung werden in anderen Meeresgebieten schon erfolgreich entwickelt und angewandt, um die Fischerei klima-resilient zu machen (HOLSMAN et al., 2019; KARP et al., 2019; LINK et al., 2021) und könnten auch für die Westliche Ostsee genutzt werden.

Wir möchten außerdem bemerken, dass die Situation des Dorsches der Westlichen Ostsee sehr stark an den Fall des Kabeljaus vor Neufundland (Northern cod) erinnert. Auch hier wurden nach dem Kollaps Anfang der 1990er Jahre Überfischung und Umweltveränderungen als jeweils ausschließliche Gründe für den katastrophalen Zustand des Bestandes diskutiert. Auch hier ist inzwischen unstrittig, dass ein zu hoher Fischereidruck ursprünglich den Kollaps herbeigeführt hat. Der so dezimierte Bestand wurde damit aber auch anfälliger für die beobachteten Umweltbedin-

gungen (HUTCHINGS, 2022). Die so jahrzehntlang ausgebliebene Erholung des Kabeljaus vor Neufundland zeigt zudem, dass Kipp-Punkte bei Fischbeständen überschritten werden können (PERÄLÄ et al., 2022). Wir finden folglich, dass die Existenz eines Kipp-Punktes auch beim Dorsch der Westlichen Ostsee ernst genommen werden sollte. Nur ein weiterer Schutz des Bestandes kann die Grundlage seiner Erholung sein. In der Zwischenzeit müssen Lösungen für die Fischerei gefunden werden, die sie in eine nachhaltige Zukunft führen können.

5. Einbindung von Umweltveränderungen in das Bestandsmanagement ist (nicht) möglich

Der Faktencheck aus Rostock moniert, dass die von uns angeregte Berücksichtigung von Umweltdaten im Bestandsmanagement des Dorsches der Westlichen Ostsee nicht umsetzbar sind, weil wir die Prozesse hinter der von uns gezeigten Korrelation von Nachwuchsproduktion und Temperatur nicht verstanden haben können. Wir stimmen zu, wie auch in unserer Studie angemerkt, dass der noch immer unzureichend verstandene Rekrutierungsprozess beim Westlichen Ostseedorsch dringend besser untersucht werden muss. Wir sehen hier eine dringende nationale Aufgabe, die alle in Deutschland in diesem Bereich forschenden Institute in Zusammenarbeit mit dem Thünen-Institut angehen sollten. Wir sind hier aber auch der Meinung, dass fehlendes Wissen ein vorausschauendes Handeln nicht verhindern sollte. Der Klimawandel, der sich auch klar in der Erwärmung der Ostsee widerspiegelt (MEIER et al. 2021), erfordert vorausschauende und vorbeugende Maßnahmen zur Erholung und langfristig zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Bestände. Dorschbestände (analog Kabeljaubestände im Nordatlantik) sind zudem Musterbeispiele für eine hohe Empfindlichkeit in Bezug auf den Klimawandel. Für eine Vielzahl von Dorsch- oder Kabeljaubeständen existieren Hinweise, dass der Klimawandel zu einer reduzierten Produktivität geführt hat (BEAUGRAND et al., 2003; MIESZKOWSKA et al., 2009; ENGELHARDT et al., 2014; PERSHING et al., 2015; DAHLKE et al., 2018; SGUOTTI et al., 2019; DENECHAUD et al., 2020; WINTER et al., 2020). Daher sind wir der Überzeugung, dass auch in der Westlichen Ostsee eine möglichst vorausschauende Anpassung des Managements notwendig ist. Auch wenn unsere Studie "nur" eine Korrelation zeigt, wäre es daher fahrlässig anzunehmen, dass die Erwärmung und möglicherweise die Versauerung (und auch die Überdüngung durch die Landwirtschaft) der Ostsee keinen Einfluss auf den Dorschbestand haben. Kürzlich veröffentlichte Studien geben schon jetzt Hinweise auf den Einfluss der Erwärmung auf das für den Dorsch in der Westlichen Ostsee zur Verfügung stehende Habitat (DINSEN et al., 2019; FUNK et al., 2020). Modellierungsstudien geben außerdem schon länger Hinweise auf die wahrscheinlich negativen Einflüsse des Klimawandels auf die Rekrutierung des Bestandes (STIASNY et al., 2016; VOSS et al., 2015; VOSS et al., 2019).

Wie das Rostocker Bundesinstitut hervorhebt, sollten schlüssige Hypothesen und gezielte Ursachenforschung, die beim Hering mit ähnlicher Problematik zehn Jahre gedauert haben, auch beim Dorsch entwickelt werden. Dem stimmen wir zu, denken allerdings, dass die Entwicklung eines ökosystembasierten Fischereimanagements des Dorsches (und der anderen Fischbestände der Ostsee), das Veränderungen in der Umwelt berücksichtigt, keine weiteren zehn Jahre warten kann. Denn selbst beim Hering ist dieses Wissen bisher leider nicht in das Bestandsmanagement eingeflossen. Wir sind im Gegen-

teil überzeugt, dass bereits jetzt wichtige Schritte hin zu einem ökosystembasierten Management gemacht werden müssen und können. Des Weiteren muss dringend eine Zukunftsplanung für die Fischerei der Westlichen Ostsee erfolgen, welche vorausschauend die möglichen und wahrscheinlichen Folgen des Klimawandels einbeziehen und so dem Sektor eine Zukunft geben kann. Konzepte und Methoden sowohl für ein ökosystembasiertes Management als auch für eine Anpassungsplanung sind vielfältig vorhanden (siehe Box 1) und werden in anderen Meeresgebieten schon erfolgreich angewandt (z.B. ANSTEAD et al., 2021).

Zusammenfassend ist es uns wichtig darauf hinzuweisen, dass auch in der Ostsee die Auswirkungen des Klimawandels bereits existieren und eines vorausschauenden und aktiven Managements bedürfen. Ein nachträgliches Anpassen von Referenzpunkten im Management ist nötig, ist aber möglicherweise ein Instrument, das zu spät kommt. Das Nicht-Handeln und ein Abwarten auf neues Wissen kann sowohl für den Bestand als auch für die davon abhängige Fischerei schnell das Ende bedeuten.

6. Ein anderes, antizipatives Management

Abschließend möchten wir hier klarstellen, dass es in keiner Weise unsere Intention ist, wie vom Thünen-Institut suggeriert, die Bewirtschaftung des Bestandes aufzugeben. Ein erfolgreiches Management zur Rettung des Bestandes und zur Aufrechterhaltung der Nutzungsmöglichkeiten (egal ob Berufs- oder Nebenerwerbsfischer:innen oder Angler:innen) wird aber insbesondere im Angesicht des Klimawandels immer schwieriger und daher deutlich kreativer und flexibler werden müssen. Das alljährliche "...hoffen, dass sich der Dorsch-Bestand erholt" (Kieler Nachrichten vom 13.09.2021) genügt nicht mehr. Die Rettung und Neuaufstellung insbesondere der Küstenfischerei braucht zwingend die Entwicklung eines wirklichen ökosystembasierten Managements und die Entwicklung eines Plans für die Anpassung der Fischerei an den Klimawandel (siehe Box 1).

Politik und Gesellschaft werden insbesondere die künftigen Fragen der Nutzung diskutieren müssen, beispielsweise wer wieviel Fisch entnehmen dürfen sollte und wie man den größten gesellschaftlichen Nutzen aus den gegebenen Fangmöglichkeiten ziehen kann. Diese Fragen sind unbequem, müssen unserer Meinung nach aber gestellt werden. Die Wissenschaft (und insbesondere das Thünen-Institut) muss hierfür die erforderlichen Daten, Konzepte und Instrumente zur Verfügung stellen. So müssen z. B. zusätzliche Managementoptionen wie Entnahmefenster, Schonzeiten und -gebiete sinnvoll eingesetzt werden, da die Fischerei u. a. durch räumliche Konflikte mit anderen Nutzungen (z. B. für die Gewinnung erneuerbarer Energien und den Meeresschutz)

schon jetzt vor weiteren Herausforderungen steht. All dies würden wir gerne in Zusammenarbeit mit den Nutzern (und auch dem Thünen-Institut) erarbeiten und wissenschaftlich begleiten.

7. Material und Methoden

7.1. Bestandsdaten

Für die Re-Analyse unseres auf der Katastrophentheorie basierenden Modelles ("stochastic cusp model - SCM"; MÖLLMANN et al., 2021; SQUOTTI et al., 2019) wurden Daten (Laicherbiomasse, Rekrutierung und Fischereiliche Sterblichkeit) des neuesten Assessments des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) zum Zustand des Dorsches der Westlichen Ostsee genutzt (ICES, 2021). Die Daten umfassen den Zeitraum von 1985 - 2020.

7.2. Temperatur

In der Re-Analyse wurde ein Temperaturdatensatz aus einer modell-basierten Re-Analyse der physikalisch-ozeanografischen Bedingungen in der Ostsee benutzt (Andreas Lehmann; GEOMAR Kiel). Im Gegensatz zu unserer Analyse in MÖLLMANN et al. (2021) wurde hier kein Jahresmittel der Oberflächentemperatur als ein sehr grober Indikator für die Temperaturentwicklung benutzt. Basierend auf neuesten Untersuchungen zur Verteilung des Dorsches haben wir hier die Temperatur im ersten Quartal eines Jahres (d. h. während der Laichzeit) in der Aufenthaltstiefe (d. h. >20 m) in die Modellierung eingebunden.

7.3. Statistische Modellierung

Das hier benutzte SCM erlaubt Untersuchungen zu Interaktionen von multiplen externen Einflussfaktoren auf z.B. ein ökologisches System, wie in unserem Fall die Dynamik der Laicherbiomasse des Dorsches der Westlichen Ostsee. Des Weiteren zeigt das SCM, wie diese Interaktionen zu Kipp-Punkten führen können. Für den Fall des Dorsches der Westlichen Ostsee haben wir die Interaktion zwischen dem Fischereidruck und der Temperatur untersucht. Dabei wurde der Fischereidruck als das Verhältnis der fischereilichen Sterblichkeit und der Rekrutierung berechnet und reflektiert damit ein Prinzip des ökosystembasierten Managements, dass der Fischereidruck der Produktivität eines Bestandes angepasst werden sollte (HOLSMAN et al., 2020).

Das SCM basiert auf der Katastrophentheorie und beschreibt abrupte Änderungen einer Zustandsvariablen (z_t)

als Ergebnis der Interaktion zwischen einer Asymmetrie-Variablen α und einer Bifurkations-Variablen β . Die kanonische Form der Potentialfunktion $V(z_t, \alpha, \beta)$ für das SCM ist gegeben durch:

Gleichgewichtspunkte in Gleichung (1) als Funktion von (α) und (β), sind Lösungen zu:

Gleichung (2) hat eine Lösung, wenn die sogenannte Cardan-Diskriminante $\delta=27\alpha-4\beta^3>1$ ist, und drei Lösungen, wenn $\delta<0$ ist. Projiziert man das 3D Modell auf eine 2D-Ebene, so beschreibt die Menge der Werte von α und β , für die $\delta=0$ ist, die sogenannte *cusp area* (graue Fläche in Abb. 2). Innerhalb der *cusp area* ist das System instabil, außerhalb stabil.

Die Anpassung des Modells an die Daten ist durch die sto-

$$-V(z_t, \alpha, \beta) = -\frac{1}{4}z_t^4 + \frac{1}{2}\beta_t^2 + \alpha z_t \quad (1)$$

chastische Differentialgleichung (die das SCM darstellt) möglich (GRASMAN et al., 2009; SQUOTTI et al., 2019):

$$\alpha + \beta z_t - z_t^3 = 0 \quad (2)$$

wobei der erste Teil von Gleichung (3) ein Driftterm, σ_z ein Diffusionsparameter und W_t ein Wiener-Prozess ist.

Die Parameter α und β sowie die Zustandsvariable (z_t) können mit Hilfe eines Likelihood-Ansatzes als lineare Funktionen von einer oder mehreren exogenen Variablen modelliert werden. In unserem Fall des Westlichen Ostseedorschs modellierten wir z_t als Funktion der Biomasse des Dorschlaichbestands (SSB), α als Funktion des fischereilichen Drucks (F/R), definiert als fischereiliche Sterblichkeit (F) unter Berücksichtigung der Jahrgangsstärke, d. h. der Rekrutierung (R), und β als Funktion der

$$dz_t = (-z_t^3 + \beta z_t + \alpha)dt + \sigma_z dW_t \quad (3)$$

Temperatur:

wobei α_0 , β_0 und ω_0 die Achsenabschnitte und α_1 , β_1 und ω_1 die Steigungen der linearen Modelle sind.

Der Modellansatz hat bekannte ungelöste methodologische Probleme wie die Klärung des Einflusses der Autokorrelation in den Eingangsdaten und die Anwendbarkeit von Bestimmtheitsmassen (DIKS & Wang, 2016). Folglich ist eine umfangreiche Validierung der Modelle notwendig (GRASMAN et al., 2009). Die Validierung des angepassten SCM erfolgte deshalb über (i) die Signifikanz von SSB im linearen Modell von z_t , (ii) Beweise für das Vorhandensein von

$$z_t = \omega_0 + \omega_1 SSB \quad (4a)$$

$$\alpha_t = \alpha_0 + \alpha_1 F/R \quad (4b)$$

$$\beta_t = \beta_0 + \beta_1 SST \quad (4c)$$

Bimodalität in z_t im Bereich *cusp area*, (iii) den Prozentsatz der Beobachtungen in der *cusp area* (mindestens 10 %), und (iv) die Güte der Anpassung des SCM unter Verwendung des Pseudo- R^2 von Cobb. Darüber hinaus wird die Validität des angepassten SCM mit alternativen linearen und logistischen Regressionsmodellen verglichen, die häufig verwendet werden, um lineare und kontinuierliche Dynamiken mit dem nichtlinearen Fall des diskontinuierlichen Regime Shift zu vergleichen (Grasman et al., 2009). Die Ergebnisse der Modellvalidierung sind in Tabelle 1 dargestellt.

8. Danksagung

Wir bedanken uns bei den zwei anonymen Gutachter:innen für Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes. Wir danken außerdem den Kolleg:innen der Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS) des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) für die Durchführung der Bestandsbewertung und die Bereitstellung der Bestandsdaten. Dieser Artikel basiert auf Arbeiten, die im Rahmen

der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekte marEEShift (Marine ökologisch-ökonomische Systeme in der Westlichen Ostsee und darüber hinaus – Wege zu einer nachhaltigen Nutzung; Förderkennzeichen 01LC1826) und balt_ADAPT (Anpassung der Küstenfischerei in der Westlichen Ostsee an den Klimawandel; Förderkennzeichen 03F0863) durchgeführt wurden.

Tabelle 1

Statistische Ergebnisse der Modellierung der Dynamik des Dorsches der Westlichen Ostsee mit dem "stochastic cusp modell" (SCM). Geschätzte Parameter und Modellkriterien (R^2 , AIC, % Cusp_{area}) und Standardfehler, z-Statistik und zugehörige Wahrscheinlichkeit; R^2 - und AIC-Werte für SCM und alternative lineare und logistische Modelle; % Cusp_{area} gibt den Prozentsatz der Beobachtungen in der instabilen "Cusp Area" (siehe Abb. 1) an (sollte >10 sein; siehe Material und Methoden).

Parameter/Modellkriterien	Geschätzte Werte	Standardfehler	Z-Wert	Wahrscheinlichkeit (p)
α_0	$-1,30 * 10^{-1}$	$2,83 * 10^{-1}$	-0,46	0,6473
α_1	$-9,93 * 10^{-2}$	$4,88 * 10^{-2}$	-2,04	0,0413
β_0	-4,13	4,34	-0,95	0,3412
β_1	$8,39 * 10^{-1}$	$6,63 * 10^{-1}$	1,27	0,2059
z_0	-2,81	$2,76 * 10^{-1}$	-10,19	< 0,001
z_1	$9,02 * 10^{-5}$	$1,10 * 10^{-5}$	8,18	< 0,001
R^2_{cusp}	0,52			
R^2_{linear}	0,22			
$R^2_{logistic}$	0,33			
AIC _{cusp}	91			
AIC _{linear}	754			
AIC _{logistic}	751			
% Cusp _{area}	53			

Literaturverzeichnis

- Anstead, K.A., Drew, K., Chagaris, D., Cieri, M., Schueller, A.M., McNamee, J.E., Buchheister, A., Nessler, G., Uphoff, J.H. Jr, Wilberg, M.J., Sharov, A., Dean, M.J., Brust, J., Celestino, M., Madsen, S., Murray, S., Appelman, M., Ballenger, J.C., Brito, J., Cosby, E., Craig, C., Flora, C., Gottschall, K., Latour, R.J., Leonard, E., Mroch, R., Newhard, J., Orner, D., Swanson, C., Tinsman, J., Houde, E.D., Miller, T.J., Townsend, H. (2021): The Path to an Ecosystem Approach for Forage Fish Management: A Case Study of Atlantic Menhaden. *Frontiers in Marine Science* 8:607657.
- Beaugrand, G., Brander, K.M., Lindley, J.A., Souissi, S., Reid, P.C. (2003): Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661-664.
- Brander, K.M. (2005): Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 339-343.
- Brander, K.M. (2007): Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104: 19709–19714.
- Bueno-Pardo, J., Nobre, D., Monteiro, J.N., Sousa, P.M., Costa, E.F.S, Baptista, V., Ovelheiro, A., Vieira, V.M.N.C.S., Chicharro, L., Gaspar, M., Erzini, K. (2021): Climate change vulnerability assessment of the main marine commercial fish and invertebrates of Portugal. *Scientific Reports* 11:2958.
- Dahlke, F.T., Wohlrab, S., Butzin, M., Pörtner, H.-O. (2018): Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science* 369: 65–70.
- Denechaud, C., Smoliński, S., Geffen, A.J., Godiksen, J.A., Campana, S.E. (2020): A century of fish growth in relation to climate change, population dynamics and exploitation. *Global Change Biology* 26: 5661–5678.
- Diks, C., Wang, J. (2016): Can a stochastic cusp catastrophe model explain housing market crashes? *Journal of Economic Dynamics and Control* 69: 68–88.
- Dinesen, G.E., Neuenfeldt, S., Kokkalis, A., Lehmann, A., Egekvist, J., Kristensen, K., Munk, P., Hüsey, K., Støttrup, J.G. (2019): Cod and climate: a systems approach for sustainable fisheries management of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in coastal Danish waters. *Journal of Coastal Conservation* (2019) 23: 943–958.
- Engelhard, G.H., Righton, D.A., Pinnegar, J.K. (2014): Climate change and fishing: a century of shifting distribution in North Sea cod. *Global Change Biology* 20: 2473–2483.
- EUROSTAT (2021). Gross domestic product (GDP) at market prices - annual data (from 1995 onwards) [Datafile]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tipsau10>.
- Funk, S., Krumme, U., Temming, A., Möllmann, C. (2020): Gillnet fishers' knowledge reveals seasonality in depth and habitat use of cod (*Gadus morhua*) in the Western Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 77: 1816–1829.
- Gaichas, S.K., Link, J.S., Hare, J.A. (2014): A risk-based approach to evaluating northeast US fish community vulnerability to climate change. *ICES Journal of Marine Science* 71: 2323–2342.
- Grasman, R.P.P.P., van der Maas, H.L.J., Wagenmakers, E.-J. (2009): Fitting the Cusp Catastrophe in R: A cusp Package Primer. *Journal of Statistical Software* 32: 1-27.
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J. (2013). *Global Environmental Change* 23: 485–498.
- Hare, J.A., Morrison, W.E., Nelson, M.W., Stachura, M.M., Teeters, E.J., Griffis, R.B., et al. (2016): A vulnerability assessment of fish and invertebrates to climate change on the Northeast U.S. Continental Shelf. *PLoS ONE* 11(2): e0146756.
- Holsman, K., Samhoury, J., Cook, G., Hazen, E., Olsen, E., Dillard, M., Kasperski, S., Gaichas, S., Kelble, C.R., Fogarty, M., Andrews, K. (2017): An ecosystem-based approach to marine risk assessment. *Ecosystem Health and Sustainability* 3(1):e01256.
- Holsman, K.K., Hazen, E.L., Haynie, A., Gourguet, S., Hollowed, A., Bograd, S.J., Samhoury, J.F., Aydin, K. (2019): Towards climate resiliency in fisheries management. – *ICES Journal of Marine Science* 76: 1368–1378.
- Holsman, K.K., Haynie, A.C., Hollowed, A.B., Reum, J.C.P. Aydin, K. Hermann, A.J., Cheng, W., Faig, A., Ianelli, J.N., Kearney, K.A., Punt, A.E. (2020): Ecosystem-based fisheries management forestalls climate-driven collapse. *Nature Communications* 11:4579.
- Howell, D., Schueller, A.M., Bentley, J.W., Buchheister, A., Chagaris, D., Cieri, M., Drew, K., Lundy, M.G., Pedreschi, D., Reid, D.G., Townsend, H. (2021): Combining ecosystem and single-species modeling to provide ecosystem-based fisheries management advice within current management Systems. *Frontiers in Marine Science* 7:607831.
- Hutchings, J.A. (2022): Tensions in the communication of science advice on fish and fisheries: northern cod, species at risk, sustainable seafood. – *ICES Journal of Marine Science*, fsab271, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab271>.
- ICES. 2020. Guide to ICES advisory framework and principles. In Report of the ICES Advisory Committee, 2020. ICES Advice 2020, section 1.1., <https://doi.org/10.17895/ices.advice.7648>.
- ICES. 2021. Cod (*Gadus morhua*) in subdivisions 22-24, western Baltic stock (western Baltic Sea). In Report of the ICES Advisory Committee, 2021. ICES Advice 2021, cod.27.22-24, <https://doi.org/10.17895/ices.advice.7744>.
- Karnauskas, M., Walter, J.F. III, Kelble, C.R., McPherson, M., Sagarese, S.R., Craig, J.K. Adyan Rios, Harford, W.J., Regan, S., Giordano, S.D., Kilgour, M. (2021): To EBFM or not to EBFM? that is not the question. *Fish and fisheries* 22: 646-651.

- Kiaer, C., Neuenfeldt, S., Payne, M.R. (2021): A framework for assessing the skill and value of operational recruitment forecasts. *bioRxiv preprint* doi: <https://doi.org/10.1101/2021.07.05.451182>
- Link, J.S., Karp, M.A., Lynch, P., Morrison, W.E., Peterson, J. (2021): Proposed business rules to incorporate climate-induced changes in fisheries management. – *ICES Journal of Marine Science*, fsab219, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab219>.
- Meier, H.E.M., Kniebusch, M., Dieterich, C., Gröger, M., Zorita, E., Elmgren, R., Myrberg, K., Ahola, M., Bartosova, A., Bonsdorff, E., Börgel, F., Capell, R., Carlén, I., Carlund, T., Carstensen, J., Christensen, O. B., Dierschke, V., Frauen, C., Frederiksen, M., Gaget, E., Galatius, A., Haapala, J. J., Halkka, A., Hugelius, G., Hünicke, B., Jaagus, J., Jüssi, M., Käyhkö, J., Kirchner, N., Kjellström, E., Kulinski, K., Lehmann, A., Lindström, G., May, W., Miller, P., Mohrholz, V., Müller-Karulis, B., Pavón-Jordán, D., Quante, M., Reckermann, M., Rutgersson, A., Savchuk, O. P., Stendel, M., Tuomi, L., Viitasalo, M., Weisse, R., and Zhang, W. (2021): Climate Change in the Baltic Sea Region: A Summary, *Earth Syst. Dynam. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/esd-2021-67>, in review, 2021.
- Mieszkowska, N., Genner, M.J., Hawkins, S.J., Sims, D.W. (2009): Effects of Climate Change and Commercial Fishing on Atlantic Cod *Gadus morhua*. *Advances in Marine Biology* 56: 213–273.
- Möllmann, C., Cormon, X., Funk, S., Otto, S.A., Schmidt, J.O., Schwermer, H., Sguotti, C., Voss, R., Quaas, M. (2021): Tipping point realized in cod fishery. *Scientific Reports* 11:14259.
- Otto, S.A., Kadin, M., Casini, M., Torres, M.A., Blenckner, T. (2018). A quantitative framework for selecting and validating food web indicators. *Ecological Indicators* 84: 619–631.
- Perälä, T., Hutchings, J.A., Kuparinen, A. (2022): Allee effects and the Allee-effect zone in northwest Atlantic cod. *Biology Letters* 18: 20210439.
- Pershing, A.J., Alexander, M.A., Hernandez, C.M., Kerr, L.A., Le Bris, A., Mills, K.E., Nye, J.A., Record, N.R., Scannell, H.A., Scott, J.D., Sherwood, G.D., Thomas, A.C. (2015): Slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery. *Science* 350: 809–812.
- Rijnsdorp, A., Peck, M., Engelhard, G., Möllmann, C., Pinnegar, J. (2009): Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science* 66: 1570–1583.
- Samhuri, J. F., K. S. Andrews, G. Fay, C. J. Harvey, E. L. Hazen, S. M. Hennessey, K. Holsman, M. E. Hunsicker, S. I. Large, K. N. Marshall, A. C. Stier, J. C. Tam, and S. G. Zador. 2017. Defining ecosystem thresholds for human activities and environmental pressures in the California Current. *Ecosphere* 8(6):e01860. 10.1002/ecs2.1860.
- Sguotti, C., Otto, S.A., Frelat, R., Langbehn, T.J., Ryberg, M.P., Lindgren, M., Durant, J.M., Stenseth, Chr. N., Möllmann, C. (2019): Catastrophic dynamics limit Atlantic cod recovery. *Proc. R. Soc. B* 286: 20182877.
- Spencer, P.D., Hollowed, A.B., Sigler, M.F., Hermann, A.J., Nelson, M.W. (2019): Trait-based climate vulnerability assessments in data-rich systems: An application to eastern Bering Sea fish and invertebrate stocks. *Global Change Biology* 25: 3954–3971.
- Stiasny, M.H., Mittermayer, F.H., Sswat, M., Voss, R., Jutfelt, F., Chierici, M., et al. (2016): Ocean Acidification Effects on Atlantic Cod Larval Survival and Recruitment to the Fished Population. *PLoS ONE* 11(8): e0155448.
- Tommasi, D., Stock, C.A., Alexander, M.A., Yang, X., Rosati, A., Vecchi, G.A. (2017): Multi-annual climate predictions for fisheries: An assessment of skill of sea surface temperature forecasts for large marine ecosystems. *Frontiers in Marine Sciences* 4:201.
- Voss, R., Quaas, M.F., Schmidt, J.O., Kapaun, U. (2015): Ocean acidification may aggravate social-ecological trade-offs in coastal fisheries. *PLoS ONE* 10(3): e0120376.
- Voss, R., Quaas, M.F., Stiasny, M.H., Hänsel, M., Pinto, G.A.S.J., Lehmann, A., Reusch, T.B.H, Schmidt, J.O. (2019): Ecological-economic sustainability of the Baltic cod fisheries under ocean warming and acidification. *Journal of Environmental Management* 238: 110–118.
- Williams, G.D., Andrews, K.S., Brown, J.A., Gove, J.M., Hazen, E.L., Leong, K.M., Montenero, K.A., Moss, J.H., Rosellon-Druker, J.M., Schroeder, I.D., Siddon, E., Szymkowiak, M., Whitehouse, G.A., Zador S.G., Harvey C.J. (2021): Place-based ecosystem management: Adapting integrated ecosystem assessment processes for developing scientifically and socially relevant indicator portfolios. *Coastal Management* 49: 46–71.
- Winter, A.-M., Richter, A., Eikeset, A.M. (2020): Implications of Allee effects for fisheries management in a changing climate: evidence from Atlantic cod. *Ecological Applications* 30: e01994.
- Woods, P. J. (2021): Aligning integrated ecosystem assessment with adaptation planning in support of ecosystem-based management. – *ICES Journal of Marine Science*, fsab124.
- Zador, S.G., Holsman, K.K., Aydin, K.Y., Gaichas, S.K. (2016): Ecosystem considerations in Alaska: the value of qualitative assessments. *ICES Journal of Marine Science* 74: 421–430.
- URL 1: https://www.deutscher-fischerei-verband.de/downloads/Pressemitteilung_20.08.2021a.pdf
- URL 2: <https://www.thuenen.de/de/infoteh/faktencheck/ist-der-westdorsch-noch-zu-retten/>
- URL 3: <https://www.ices.dk/community/groups/pages/wgbfas.aspx>
- URL 4: <https://www.fischbestaende-online.de/fischarten/kabeljau-dorsch/dorsch-westliche-ostsee>
- URL 5: <https://helcom.fi/baltic-sea-trends/>