

2.3 Wärmeliebende Fische auf dem Weg nach Norden

JOSÉ L. LOZÁN, DIETRICH SCHNACK, MICHAEL VOBACH, HEIN V. WESTERNHAGEN,
HEINO O. FOCK, MATTHIAS F. KLOPPMANN & CHRISTOPHER ZIMMERMANN

Wärmeliebende Fische auf dem Weg nach Norden: In den vergangenen 20 Jahren haben sich das Vorkommen und die Verbreitung von Meeresfischen dramatisch verändert. Sowohl kommerziell befischte als auch nicht befischte Bestände zeigen gegenüber der angestiegenen Meerestemperatur deutliche Reaktionen. In den meisten Fällen konnte eine Verschiebung ihres Verbreitungsgebietes nach Norden oder eine Veränderung ihres Tiefenvorkommens beobachtet werden. Zeitgleich wurden vermehrt Einwanderungswellen von südlich/mediterranean Arten wie Meeräsche, Sardelle und Sardine in den nordöstlichen Atlantik, und in Nord- und Ostsee registriert. Zunehmend werden darüber hinaus große Mengen von Jungfischen (5-10 cm) (Meeräschen, Sardellen) im Wattenmeer gefangen. Aus diesen Beobachtungen kann man schließen, dass einige der so genannten ‚südlichen Arten‘ dabei sind, in der Nordsee heimisch zu werden. Klimamodelle sagen voraus, dass die Oberflächentemperaturen der Nordsee bis 2050 um 1.0-2.5 °C und um 1.5-4.0 °C bis 2080 ansteigen werden. Die gegenwärtig beobachtete Veränderung in der Artenzusammensetzung der Nordsee Fischfauna wird weiter anhalten – in Abhängigkeit von geeignetem Habitat, Räuber-Beute-Beziehungen und der Fischereiintensität. Eine vergleichbare Entwicklung in der Ostsee wird eher von der Entwicklung der Niederschläge abhängen. Ein erhöhter Süßwassereintrag in die Ostsee und eine damit einhergehende Verringerung des Salzgehaltes könnte aber auch zu erwartende positive Effekte für die Clupeidenbestände die durch den Temperaturanstieg zu erwarten sind konterkarieren. Ganz allgemein kann man davon ausgehen, dass sich die Lebensbedingungen für Süßwasserfische zu Lasten derer von Meeresfischen wie z. B. Kabeljau (Dorsch), deutlich verbessern werden. Der Fischereidruck wird aber nach wie vor für alle Bestände und ihre Entwicklung der maßgebliche Parameter sein.

Warm water fish species are shifting northwards: The abundance and distribution of marine fish are changing rapidly since the last two decades. Exploited and not-exploited North Sea fish species show a marked response to the increase in sea temperature. Most of them show a northward shift or a shift in depth distribution. Simultaneously waves of immigration by exotic southern species like red mullet, anchovy and pilchard have been observed in the north-eastern Atlantic, the North Sea and the Baltic Sea. A high number of small-sized (5–10 cm) grey mullet, red mullet and anchovy were caught in the German Wadden Sea. The observations indicate that some of these southern species may soon become established there. Mean surface temperatures in the North Sea are predicted to increase by 1.0–2.5 °C by 2050 and 1.5–4.0 °C by 2080. The change in the composition of the fish fauna will continue, depending on the availability of suitable habitat for immigrating species as well as on the development of prey-predator-relationships and on fishing. For the Baltic Sea area a predicted increase in precipitation will become important, as it will lead to more freshwater input and a further decline in salinity. This will counterbalance to some extent temperature related positive effects for the clupeid populations. The conditions are expected to deteriorate for marine species, especially for cod, and to improve for freshwater-fish; but stock developments will largely depend on fishing pressure as well.

Im Nordatlantik lassen sich die physikalischen Prozesse im Zusammenhang mit der Klimaänderung in 3 Kategorien einteilen: (a) oberflächliche Wärmetransportprozesse aus dem äquatorialen Bereich nach Norden in Verbindung mit der ozeanischen Tiefenzirkulation, (b) lokale Erwärmungen besonders der flachen Schelfmeere durch atmosphärische Sonneneinstrahlung und (c) zyklische Klimaphänomene. Letztere sind für periodische Schwankungen mit einer Schwankungsbreite von durchschnittlich 0,5 ° verantwortlich. So war der Beginn des 20. Jahrhunderts durch eine Kaltperiode gekennzeichnet. Die Warmphase in den 1930er und 1940er Jahren wurde in den 1960er und 1970er Jahren durch eine erneute Kaltphase abgelöst, die Anfang der

1980er in die bis jetzt anhaltende erneute Warmphase überging. Die periodischen Schwankungen werden durch Änderungen in der globalen atmosphärischen Zirkulation hervorgerufen, die Veränderung in der Meereszirkulation und damit geänderte Wärmetransportprozesse im Golfstrom und Nordatlantischen Strom nach sich ziehen. Die atmosphärische Erwärmung, die sich besonders in den flachen Meeresgebieten und der Oberflächenschicht des Ozeans auswirkt, wird jedoch eine Änderung der Tiefenwasserbildung und damit eine Änderung des Wärmetransports im Nordatlantik nach sich ziehen, was im tiefen Ozean zu einer Verringerung des Süd-Nord Transportes und damit zu einer Stagnation der Temperaturerhöhung führen wird

(weniger Wasser aus dem äquatorialen Bereich, das nach Norden geführt wird) (KEENLYSIDE & LATIF 2008), während die Flachwasserbereiche sich weiter erwärmen werden. Regional wirkt sich die Erwärmung unterschiedlich aus. So ist sie in der Nordsee mit bis 1–2 °C durchschnittlichem Temperaturanstieg höher als in der Biskaya, wo Auftriebsgebiete den Einstrom kalten Wassers verursachen und damit der Erwärmungstendenz entgegenwirken. MACKENZIE & SCHIEDEK (2007) zeigen anhand einer Reihe von Langzeit-Datensätzen aus dem Nord- und Ostseeraum, dass eine ausgeprägte Erwärmung in den letzten 10–15 Jahren stattgefunden hat. Sie übertreffen die seit Beginn der Aufzeichnungen Mitte der 1880er Jahre beobachteten früheren Perioden der Erwärmungen und zeigen, dass die Erwärmung im Sommer deutlich höher ausgefallen ist als in den übrigen Jahreszeiten und im Jahresmittel (Abb. 2.3-1). Außerdem zeigen die Autoren auf, dass die Wahrscheinlichkeit für extrem warme Jahre sich in den letzten beiden Dekaden vervielfacht und für extrem kalte Jahre deutlich vermindert hat.

Änderungen in der Fischerei als Reaktion auf die zyklischen Klimaphänomene sind seit langer Zeit bekannt. Vor allem die Schwankungen genutzter Fischbestände wie die von Hering (*Clupea harengus*), Europäische Sardelle (*Engraulis encrasicolus*), Sardine (*Clupea pilchardus*), Makrele (*Scomber scombrus*), Kabeljau (*Gadus morhua*), Schellfisch (*Melanogrammus aeglefinus*) und anderen Arten wurden aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung gut dokumentiert (CUSHING 1982, ALHEIT & HAGEN 1997, WESTERNHAGEN & SCHNACK 2001 u.a.) (s. Kap. 4.12 v. WESTERNHAGEN & SCHNACK in diesem Buch). In der Bewertung dieser Phänomene müssen insbesondere auch die Auswirkungen von Räu-

ber-Beute-Beziehungen und die Einflüsse der Fischerei berücksichtigt werden, die sich nicht vollständig von den Klimaeinflüssen trennen lassen, mit denen sie in einer Wechselwirkung stehen (SCHNACK 2003).

Fische gehören zu den poikilothermen oder wechselwarmen Tieren. Ihre Lebensprozesse sind direkt von der Wassertemperatur abhängig. Die einzelnen Arten und in noch engerem Maße die einzelnen Bestände der Arten sind in ihrem Vorkommen auf bestimmte, unterschiedliche Temperaturbereiche begrenzt. Änderungen in der mittleren Wassertemperatur und im saisonalen Temperaturverlauf nehmen entsprechend Einfluss auf die Verbreitungsgebiete der Arten und Bestände. Thunfische stellen unter den Fischarten eine Ausnahme dar, da sie in der Lage sind, ihre Körpertemperatur relativ konstant zu halten. Sie unternehmen große Wanderungen und ihre geografische Verbreitung dürfte sich mit der Erwärmung der Meere noch erweitern.

Der vorliegende Beitrag versucht, einen kurzen Überblick über die möglichen Auswirkung des Klimawandels auf die Fischfauna der Nord- und Ostsee und benachbarte Gebiete zu geben.

Verbreitung der Fischarten und die Wassertemperatur

Entsprechend ihrer Anpassung an bevorzugte Temperaturbereiche kommen in den westeuropäischen Gewässern Formen der arktisch-borealen Fauna vor, wie z.B. Lodde (*Mallotus villosus*), ebenso Formen der borealen Fauna, wie Scholle (*Pleuronectes platessa*), Kabeljau und Hering für Gewässer von der südlichen Barents-See bis zur Biskaya, und Formen der mediterran-atlantischen Fauna (»Mittelmeerfische«), wie z.B. Meeräsche (*Mugil* spp.), Streifenbarbe (*Mullus surmuletus*), Europäische Sardelle und Sardine. Während in der Vergangenheit die nördliche Verbreitungsgrenze letzterer Formen bei Irland und dem Ärmel-Kanal lag (EKMAN 1967), treten diese Arten nun verstärkt in der Nordsee auf und erreichen die Gewässer vor West-Norwegen (POSTUMA 1978, BEARE et al. 2004, EHRICH & STRANSKY 2001, TER HOFSTEDÉ & RIJNSDORP 2011). Zugleich sind typisch boreale Arten wie Schellfisch in der südlichen Nordsee deutlich zurückgegangen (FOCK et al. 2014). Während der Rückgang im Verbreitungsgebiet neben klimatischen Ursachen auch durch die Fischerei mit beeinflusst werden kann (WORM & TRITENSOR 2011), kann die Nordverschiebung der wärmeliebenden Arten eindeutig als Klimaeffekt angesehen werden.

Unsere typische »mitteleuropäische« Fischfauna ist daher eine Kombination aus arktisch-borealen, borealen und mediterran-atlantischen Faunenelementen.

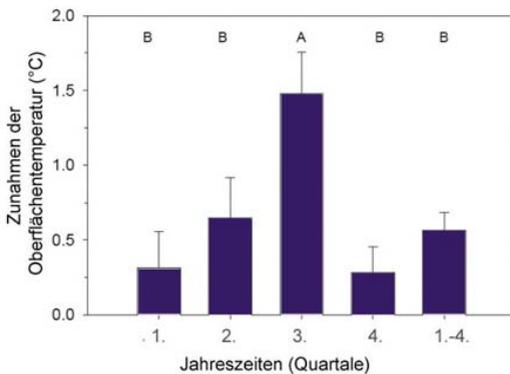


Abb. 2.3-1: Anstieg der Oberflächentemperatur seit 1985 bis zum nachfolgenden maximalen Jahreswert, Mittelwerte (+2 SD) aus 6 Datenserien für den Nord- und Ostseeraum (nach MACKENZIE & SCHIEDEK 2007). Der Anstieg im 3. Quartal (Juli-September) ist statistisch signifikant höher als in den anderen Quartalen und im Jahresdurchschnitt.

Reaktionsmechanismen bei neu einwandernden Arten

Bei der Etablierung neu einwandernder Arten lassen sich zwei Prozesse unterscheiden; einerseits die Einwanderung an sich, und andererseits die Ausbreitung innerhalb der neu besetzten ökologischen Zone. PETTIGAS et al. 2012 schreiben: Eine Erhöhung der Wassertemperatur erlaubt die Verschiebung von Verbreitungsgrenzen und das Eindringen in die Nordsee, wo erst das Öffnen sogenannter thermischer Fenster mit einem günstigen jahreszeitlichen Verlauf das Wachstum der Population und die Ausbreitung im neuen Verbreitungsgebiet ermöglicht. Dabei unternehmen die einzelnen lokalen Bestände innerhalb ihrer geografisch unterschiedenen Aufenthaltsräume mehr oder weniger ausgedehnte saisonale Wanderungen zwischen Laichplätzen und Weidegründen, und auch der Aufenthaltsraum der frühen Jugendstadien verändert sich im Laufe ihrer Entwicklung (HARDEN-JOHNES 1968). Für die Lage der Laichplätze und das Wanderverhalten spielen neben der Temperatur vor allem die Strömungsbedingungen, die hydrographischen und produktionsbiologischen Bedingungen, sowie die Struktur des Lebensraumes eine entscheidende Rolle. Eine Anpassung an veränderte Temperaturbedingungen ist für die einzelnen Bestände daher nur begrenzt möglich, wenn sich nicht andere wesentliche Bedingungen gleichzeitig verändern oder auch andere Gebiete sich unter den veränderten Bedingungen als geeignete Laichplätze für sie erweisen. In Grenzbereichen des Verbreitungsgebietes kann es zu temperaturbedingter Erhöhung oder Verminderung des Reproduktionserfolges einzelner Bestände kommen, und so zu einer entsprechenden Verschiebung in der Gesamtverbreitung einer Art. Daher tritt beim umgekehrten Vorgang erst die Verkleinerung des Verbreitungsgebietes ein, bevor dieses aufgegeben wird.

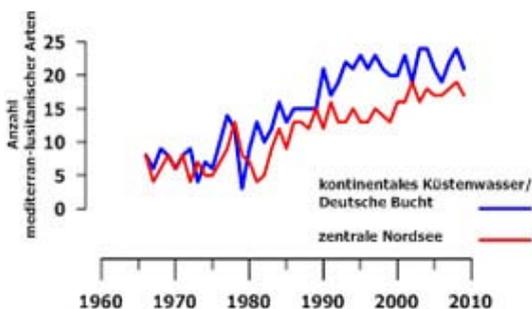


Abb. 2.3-2a: Anzahl südlicher Arten im Bodenfischmonitoring, Institut für Seefischerei, Hamburg (erweitert nach EH-RICH & STRANSKY (2001)).

Veränderungen in der Nordsee

In den letzten Jahrzehnten sind die so genannten »mediterran-atlantischen Arten« (CORTEN & VAN DE KAMP 1996) in der südlichen Nordsee häufiger geworden. Diese Ereignisse – auch wenn mit unterschiedlicher Intensität – sind seit langer Zeit in der Nordsee bekannt (z.B. Heincke 1894). Basierend auf Fangdaten von Fischereiforschungsschiffen kommen heute verschiedene Autoren, so auch BEARE et al. (2004), zu dem Schluss, dass es in der Nordsee zu tief greifenden und weiter fortschreitenden ökologischen Veränderungen der Habitatbedingungen (ecological shifts) gekommen ist. In deren Folge werden seit Mitte der 1990er Jahre vermehrt mediterran-atlantische (»lusitanische«) Arten gefangen.

Zu den typischen Neuankömmlingen gehören die Europäische Sardelle, Sardine, Meeräsche, Streifenbarbe, Goldlachs (*Argentina silus*) und Franzosendorsch (*Trisopterus luscus*). Daneben ist seit den 1990er Jahren in flachen Gebieten der südlichen Nordsee ein Anstieg in der Häufigkeit des Kleinen Petermännchens (Viperqueise, *Echiichthys vipera*) und in tiefen Randgebieten der nördlichen Nordsee des Blaumauls (*Helicolenus dactylopterus*) zu beobachten. Auch andere Arten wie Heringskönig (*Zeus faber*), Stöcker (*Trachurus trachurus*), Zwergdorsch (*Trisopterus minutus*), Makrele und Roter Knurrhahn (*Trigla lucerna*) zeigten Mitte und Ende der 1950er, Mitte der 1970er sowie gegenwärtig seit den 1990er Jahren eine mit dem Temperaturanstieg – besonders in den Sommermonaten – korrelierte Zunahme.

PERRY et al. (2005) untersuchten Daten von Forschungsreisen aus den Jahren 1978–2001 für 36 Nordsee-Fischarten und berechneten bei zwei Dritteln der Arten (21) eine klimatisch bedingte Verschiebung ihres Verbreitungsgebietes. Bei 13 Arten wurde eine geographische Verschiebung des Schwerpunktes ihrer Verteilung nach Norden festgestellt (z.B. Kabeljau, und Lammzunge, *Arnoglossus laterna*). Bei weiteren

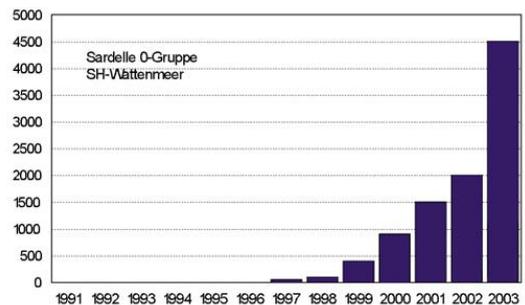


Abb. 2.3-2b: Auftreten von Sardellen in den Fängen der Hamenfischerei 1992–2003 im SH-Wattenmeer. Angegeben sind Mittelwerte aus 12 Hols (VORBERG 2003).

sechs Arten (u.a. Scholle) wurde nur eine Bewegung in tiefere Bereiche des gleichen Gebietes ohne eine Nord-Süd-Veränderung beobachtet.

Als Reaktion auf den Klimawandel berechnen PERRY et al. (2005) für die Zeit von 1978–2001 eine mittlere Verschiebung der Verbreitungsgrenze für Franzosendorsch, Blauer Wittling (*Micromesistius poutasou*), Kleines Petermännchen, Stintdorsch (*Trisopterus esmarkii*), Lammzunge und Rotzunge (*Glyptocephalus cynoglossus*) von 2,2 km/Jahr, wobei der küstennah lebende Franzosendorsch und der Blauer Wittling den deutlichsten Sprung nach Norden machten. Der Rückgang des Blauen Wittlings ist jedoch höchstwahrscheinlich nicht allein auf die Erwärmung sondern auch auf dichteabhängige Prozesse zurückzuführen. Die frühere starke Präsenz des Blauen Wittlings beruhte teilweise auf seine starken Jahrgängen 1996–2005, die bereits befischt wurden. Daher haben bei dieser Art die beobachteten nordwärtigen Verschiebungen mehrere Ursachen.

Bestandsbiomasse und Anlandungen an Kabeljau sind jedoch seit den 1980er Jahren kontinuierlich abgesunken und der Schwerpunkt des Verbreitungsgebietes dieser borealen Art hat sich nach Norden verschoben. Die Fänge vor der norwegischen Küste haben dementsprechend leicht zugenommen. Diese für die Nordsee negative Bestandsentwicklung muss vor dem Hintergrund einer geringen Überlebensrate der Eier und Larven unter den veränderten Umweltbedingungen in der Nordsee zu verstehen (s. Kap. 2.1 – SCHARFE et al. – in diesem Buch), denn das Fischereimanagement hat sich in allen Gebieten für die verschiedenen Kabeljaubestände stark verbessert.

Die Präsenz »mediterran-lusitanischer« Arten in der Nordsee ist vor allem in Küstennähe (Deutsche Bucht) stärker als in der zentralen Nordsee (Abb. 2.3-2a). An der nordfriesischen Küste werden derzeit zunehmend etwa 3 Monate alte Sardellen (5–6 cm) gefangen. Vom Auftreten weniger Exemplare im Jahr 1997 nahm die Anzahl bis auf ca. 4.500 Ind./Hol rapide zu (Abb. 2.3-2b; VORBERG 2003). Dieser ansteigende Trend hat sich zumindest bis 2007 fortgesetzt (mündl. Mittl. Ralf Vorberg). Danach wurde die Untersuchung nicht weiter geführt. Es ist aber wahrscheinlich, dass sich eine regionale Laichgemeinschaft gebildet hat, so wie auch von AURICH (1953) für die 1950er Jahre beschrieben wurde. PETITGAS et al. (2012) führten eine interdisziplinäre Untersuchung durch, um die Herkunft der heute in der Nordsee gefangenen Sardellen zu belegen. Da sie genetische Unterschiede zwischen der Nordsee- und der Biskaya Bucht-Sardellenpopulation feststellten, vermuten sie, dass die heutige Nordsee-Sardelle aus einem früherem Nordsee-Restbestand stammt. Aufgrund der

zurzeit herrschenden günstigen Bedingungen konnte sich dieser Restbestand stark vermehren und sein Verbreitungsgebiet innerhalb der südlichen Nordsee erweitern.

An der ostfriesischen Küste (Zentraler Jadebusen) werden gegenwärtig Hamenfänge zwischen Mai und August durchgeführt, um die aktuelle Zusammensetzung von Jungfischbeständen festzustellen. Erwähnenswert ist der Fang von Jungfischen der Länge 5–10 cm von Dicklippiger Meeräsche (*Chelon chelo*), Streifenbarbe, Sardelle und Wolfsbarsch (*Roccus labrax*) (DÄNHARDT & BECKER mündl. Mittl.). Aufgrund der geringen Größe dieser Fische liegt die Vermutung nahe, dass auch diese Arten ein Laichgebiet in der Nähe des Fangortes haben. Diese Beobachtungen können als erste Anzeichen einer Etablierung dieser mehr südlich orientierten Arten in der Nordsee bewertet werden.

Erwähnenswert ist das häufige Auftreten der Finte (*Alosa fallax*), die fast so oft in den Fängen auftritt wie z.B. der Stint. *Alosa fallax* stand lange Zeit auf der Liste gefährdeter Arten.

Veränderungen in der Ostsee

Generell weist die Ostsee als Brackgewässer mit etwa 100 Fischarten eine geringere Artenvielfalt und Biodiversität auf als die Nordsee, in der etwa 230 Arten vertreten sind (EEA 2002). Nur wenigen marinen Arten wie Hering, Sprotte, Flunder und bedingt auch Dorsch (*Gadus morhua*) gelingt es, bis weit in die östlichen und nördlichen Bereiche der Ostsee mit stark reduzierten Salzgehalten vorzudringen. Andere marine Arten wie Scholle und Kliesche können sich noch bis in die südliche zentrale Ostsee hinein erfolgreich fortpflanzen (TEMMING 1989), während die Seezunge auf den Kattegat und Beltsee-Bereich begrenzt bleibt, wo sie sich aber auch schon an der nördlichen Grenze ihres bevorzugten Temperaturbereiches aufhält (MUUS & NIELSEN 1999). Von der Ostseite können einige Süßwasserarten wie z.B. Flußbarsch (*Perca fluviatilis*), Zander (*Stizostedion lucioperca*), Maräne (*Coregonus lavaretus*) aus den Flüssen in die küstennahen Brackwasserzonen der Ostsee eindringen (VOIPIO 1981). Außerdem sind die im Süßwasser laichenden Wanderfischarten Atlantischer Lachs (*Salmo salar*) und Meerforelle (*Salmo trutta*) in der Ostsee heimisch und saisonal kommen Hornhechte (*Belone belone*) regelmäßig für einige Wochen zum Laichen in die Ostsee. Eine Reihe mariner Arten wie z.B. Makrelen, Schellfische und Wittlinge treten gelegentlich als Gäste aus der Nordsee auf, die vorübergehend Einfluss auf die Lebensgemeinschaften der westlichen Ostsee nehmen, sich dort aber nicht erfolgreich fortpflanzen können.

Viele Fischarten leben in der Ostsee im physiolo-

gischen Grenzbereich ihres Verbreitungsraumes und haben z.T. auch an die Brackwasserbedingungen spezifisch angepasste, genetisch differenzierte Bestände gebildet (NIELSEN et al. 2001; JØRGENSEN et al. 2005). Es ist daher zu erwarten, dass sie empfindlich auf klimatische Änderungen reagieren. Bei der Analyse von Klima-Einflüssen auf die Fischfauna ist es wichtig, nicht nur Veränderungen im durchschnittlichen Temperaturniveau zu betrachten, sondern auch Veränderungen im saisonalen Temperaturverlauf zu berücksichtigen sowie Prozesse, die den Salzgehalt und die Sauerstoffbedingungen beeinflussen.

Modellrechnungen (DÖSCHER & MEIER 2004; MEIER 2006) lassen für die Ostsee im Laufe des 21. Jahrhunderts einen Anstieg in der Oberflächentemperatur von 2–3 °C erwarten. Kleinräumig können die Werte z.B. für die zentrale Ostsee im Frühjahr-Sommer auch bei 3–4 °C liegen. Gleichzeitig werden saisonale Änderungen im Temperaturverlauf, erhöhte Niederschläge und Änderungen in Windrichtung und Stärke in Nord-europa erwartet. Damit wird sich auch der Salz- und Sauerstoffeintrag in die tiefen Becken der Ostsee verändern, und der Süßwasser- und Nährstoffeintrag wird über die Flüsse ansteigen. Es bestehen noch große Unsicherheiten über die kombinierte Wirkung z.T. gegenläufiger Effekte, die außerdem in starkem Maße von Veränderungen im Nährstoffeintrag durch den Menschen und vom Verhalten der Fischerei und ihrem Einfluss auf die Struktur der Lebensgemeinschaften und der Nahrungsbeziehungen abhängig sind. Generell sind neben einer Erwärmung parallel eine Reduktion im Salzgehalt und vermutlich auch eine Verminderung im Nahrungsangebot für die marinen Fischarten und deren Jugendstadien zu erwarten.

Die Wirkung klimarelevanter Faktoren auf die Fi-

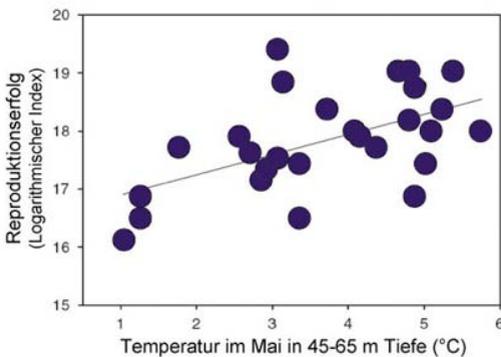


Abb. 2.3-3: Beziehung zwischen Wassertemperatur und Reproduktionserfolg von Sprotten in der Ostsee für den Zeitraum 1973–1999 (nach MACKENZIE & KÖSTER 2004). Die Regression ist statistisch signifikant und erklärt ca 30% der Streuung.

sche der Ostsee ist am besten untersucht für die drei wichtigsten Nutzfischarten Dorsch, Sprotte und Hering (SCHNACK 2003; MACKENZIE et al. 2007). Eine Temperaturerhöhung wird sich in diesem Seegebiet zunächst einmal positiv auf die Entwicklung des Sprottenbestandes auswirken, da dieser sich hier gegenwärtig in einem Bereich unterhalb seines Temperaturoptimums aufhält. Besonders kalte Winter haben zur Folge, dass unterhalb der sich im Frühjahr-Sommer aufwärmenden Wasseroberfläche eine kalte Zwischenwasserschicht bis weit ins Jahr hinein erhalten bleibt und die Sprotten ungünstige Bedingungen für die Entwicklung ihrer Eier vorfinden. Strenge Winter sind mit geringem Reproduktionserfolg der Sprotte verbunden und das Ausbleiben strenger Winter seit 1987 hat zu einem generell hohen Reproduktionserfolg in den 1990er Jahren geführt (MACKENZIE & KÖSTER 2004). Obwohl viele weitere Faktoren auf den Entwicklungserfolg eines Nachwuchsjahrganges wirken, lässt sich ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Anzahl jährlich überlebender Jungfische und der Temperatur im Zwischenwasser zur Laichzeit im Mai desselben Jahres aufzeigen (Abb. 2.3-3). Das Salzgehaltsniveau in den zentralen Ostseebecken, die als Laichraum genutzt werden, ist für die Sprotte gegenwärtig noch verträglich, da die Eier eine recht hohe Schwebfähigkeit besitzen (NISSLING et al. 2003) und die im Tiefenwassers auftretende Sauerstoffarmut daher noch kein besonderes Problem für sie darstellt. Bei einer Reduktion des Salzgehaltes durch erhöhte Niederschlagsmengen, kann das Gebiet für ein erfolgreiches Laichen jedoch deutlich eingeeengt werden. Der positive Klimaeffekt durch Temperaturerhöhung kann dann zumindest zum Teil durch den Effekt des gleichzeitig erwarteten erhöhten Niederschlags wieder aufgehoben werden.

Der Dorschbestand der Ostsee ist in seinem Reproduktionserfolg von einem ausreichenden hohen Salzgehalt (über 11‰) abhängig (WESTIN & NISSLING 1991), der in der zentralen Ostsee nur in den tiefen Becken in und unterhalb der permanenten Salzgehaltssprungschicht anzutreffen ist. Dies ist jedoch eine Tiefe in der gegenwärtig in einem weiten Bereich kein ausreichender Sauerstoffgehalt vorhanden ist. Geeignete Reproduktionsbedingungen für den Dorsch der zentralen Ostsee setzen daher häufige größere Einströme von salz- und sauerstoffreichem Wasser aus der Nordsee voraus, die in starkem Maße von den Windbedingungen abhängig sind. Die durch den Klimawandel zu erwartende Abnahme im Salzgehalt durch verstärkten Süßwassereintrag wird zu einer weiteren Reduktion des Reproduktionserfolges, eventuell auch zum Zusammenbruch des Dorschbestandes in der zentralen Ostsee führen, so wie dies bei den Schollen- und Klieschen-Bestän-

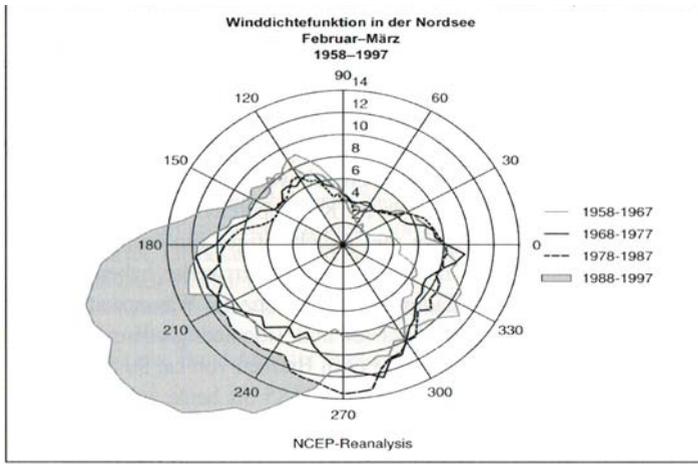


Abb. 2.3-4: Veränderung der Winde in der Nordsee bezüglich ihrer Richtung und Stärke. Dargestellt sind die winterlichen Dekadenmittel für die Monate Februar/März für die vier letzten Dekaden. Die Winddichte-Funktion ist das Produkt aus Häufigkeit des Auftretens und Windstärke für eine gegebene Windrichtung (Siegismund & Schrum 2001). Diese Feststellung bis 1997 gilt bis heute (Th. Pohlmann, mündl. Mittl. Mitt.).

den schon in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts aufgrund der für diese Arten ungünstigen hydrographischen Bedingungen geschehen ist (TEMMING 1989). Ein Ausgleich könnte nur durch erhöhten Zustrom von sauerstoffreichem Nordseewasser entstehen. Über die Nahrungsbeziehungen ist die Entwicklung des Dorschbestandes allerdings auch von der Entwicklung der Sprotten- und Heringsbestände abhängig. Ein starker Sprotten- und Jungheringsbestand sorgt zwar für eine gute Nahrungsbasis der erwachsenen Dorsche, gleichzeitig besteht aber die Gefahr einer erhöhten Zehrung von Dorscheiern durch die beiden Clupeidenarten, die sich bei ungünstigen Salz- und Sauerstoffbedingungen verstärkt in der Schwebtiefe der Dorscheier aufhalten; außerdem wird das Nahrungsangebot für die Dorschlarven durch die am Copepodenbestand zehrenden Clupeiden reduziert (KÖSTER et al. 2005).

Die erwarteten klimatischen Veränderungen können sich also für die Sprotte in der Ostsee durch Temperaturerhöhung günstig auswirken, wenn nicht die negativ wirkende Reduzierung des Salzgehaltes den positiven Trend wieder aufhebt. Die Heringe haben sich bisher relativ unabhängig von den anderen beiden Arten entwickelt. Sie können in den nördlichen und östlichen Teilen der Ostsee ebenfalls durch reduzierten Salzgehalt beeinträchtigt und durch Temperaturerhöhung gestützt werden. Hering und Sprotte stehen in einer Nahrungskonkurrenz zueinander (MÖLLMANN et al. 2004) und werden beide von der Zooplanktonproduktion abhängig sein, deren Entwicklung unter dem Klimawandel in der Ostsee nicht ausreichend eindeutig einzuschätzen ist. Adulte Heringe sind jedoch auch von der Verfügbarkeit größerer, an höhere Salzgehalte gebundene Organismen abhängig (RÖNKKÖNEN et al. 2004), so dass reduzierte Salz- und Sauerstoffbedingungen ihre Nahrungsgrundlage beeinträchtigen würden. Am ungünstigsten erscheint die Zukunft des Dorschbestandes in der zen-

tralen Ostsee, der sich bei Reduktion des Salzgehaltes und positiver Entwicklung des Sprottenbestandes kaum längerfristig erhalten kann. Der Bestandserhalt beim Dorsch kann nur durch verstärkten Einstrom von Nordseewasser und die Reduzierung des gegenwärtig sehr Fischereidrucks gewährleistet werden. Unter solchen Bedingungen könnte der Dorschbestand eine ausreichende Größe entwickeln, um den Sprottenbestand durch Zehrung in seiner Größe begrenzt zu halten und damit auch die Zehrung am Copepodenplankton zu begrenzen und so ein ausreichendes Nahrungsangebot der Dorschlarven zu garantieren.

Veränderungen in anderen Gebieten

Französische Wissenschaftler finden eine deutliche Zunahme tropischer Fische in der Biskaya Bucht (QUERO et al. 1998). SWABY & POTTS (1999) beobachten zum ersten Mal in britischen Gewässern 'sailfin dory' (*Zenopsis conchifer*) und schätzen, dass diese Art ihr Verbreitungsgebiet um etwa 60 km/Jahrzehnt nach Norden verschoben hat.

Auch STEBBING et al. (2002) berichten über das Auftreten von nahezu 20 völlig neuen Arten für die südlichen Gebiete der englischen Westküste (Cornish) in der Zeit von 1960 bis 2001. Neue Arten sind: Thunfisch (*Thunnus obesus*), Heringskönig (*Zeus faber*), Seeperdchen (*Hippocampus hippocampus*), europäischer Barrakuda (*Sphyaena barracuda*) und Pfeilhecht (*Sphyaena sphyraena*). Britische Fischer berichten, dass sich die Fischerei auf die Große Seespinne (*Maia squinado*) kontinuierlich nach Norden verschoben hat (ANON. 2003).

Im westlichen Mittelmeer sind die Sardine und Sardelle die wichtigsten Fischarten in der Ringwaden-Fischerei. Die Anlandungen beider Arten sind seit 15 Jahren rückläufig, während die Sprotte dort völlig aus der kommerziellen Fischerei verschwunden ist. Der

Rückgang der Sprotte hängt höchstwahrscheinlich mit der Erwärmung des Mittelmeeres um 1,1 °C seit Anfang der 1970er Jahre zusammen. Bei den Ursachen für den Rückgang für Sardine und Sardelle wird der Klimawandel neben der intensiven Fischerei als mögliche Ursache diskutiert. Gleichzeitig wird eine nordwärts gerichtete biogeographische Verschiebung des Verbreitungsgebietes von *Sardinella* (*Sardinella aurita*) korreliert mit der Änderung der Wassertemperatur und begünstigt durch den Rückgang von Sardine und Sardelle beobachtet (SABATÉS et al. 2006).

Schlussbetrachtung

Seit 1990 wird in der Nordsee und den benachbarten Gewässern eine rasante Veränderung in der Zusammensetzung der Fischfauna beobachtet. Diese ist korreliert mit der Zunahme der Wassertemperatur und wird begünstigt durch die Südwestwinde, die seit 1988 stärker und häufiger geworden sind (Abb. 2.3-4) (LOZÁN et al. 2003). In der Nordsee beobachten wir eine Verschiebung des Verbreitungsgebietes der borealen Arten nach Norden und gleichzeitig eine Zunahme der Anzahl der mediterran-atlantischen Arten. Einige davon pflanzen sich in der Nordsee bereits fort und zeigen Anzeichen einer Etablierung.

Nach Angabe des U.K. Climate Programs wird die Temperatur der Nordsee bis 2050 um 1,0–2,5 °C und bis 2080 um 1,5–4,0 °C weiter ansteigen. Die genauen Folgen der Erwärmung für die Fischgemeinschaft der Nordsee bis Ende dieses Jahrhunderts sind noch schwer abzuschätzen. PERRY et al. (2005) berechnen aufgrund der o.g. Temperaturprognose, dass beispielsweise der Blauer Wittling und der Rotbarsch (*Sebastes* sp.) um 2050 und 2080 völlig aus der Nordsee verschwunden sein werden. Das Ausmaß dieser Änderungen wird vor allem auch davon abhängig sein, wie sich die Räuber-Beute Beziehungen entwickeln. Insgesamt werden alle Änderungen in diesem Jahrhundert große Konsequenzen für die Nordseefischerei haben.

In der Ostsee spielen neben den Temperatur- und Windbedingungen die Veränderungen im Niederschlag und Süßwassereintrag eine entscheidende Rolle. Die erwartete Reduktion im Salzgehalt wird eine Ausweitung der Süßwasserarten in diesem Lebensraum ermöglichen und eine generell negative Wirkung auf die marinen Fischbestände haben, die einer z.T. positiven Wirkung der Temperaturerhöhung entgegenläuft. Das Schicksal der marinen Bestände in der Ostsee wird zum einen vom Grad der Aussüßung und der noch nicht einzuschätzenden Entwicklung der Planktonproduktion abhängig sein, zum anderen aber – insbesondere beim Dorsch – entscheidend vom Verhalten der Fischerei bestimmt werden.

Literatur

- ANON (2003): Lovelorn spider crabs invade the beaches but kill price. In: Oliver, T. (ed.). Fishing news. Heighway. London. 5 pp.
- AURICH, H. J. (1953): Verbreitung und Laichverhältnisse von Sardelle und Sardine in der südöstlichen Nordsee und ihre Veränderungen als Folge der Klimaänderung. Helgol Wiss Meeresunters 4, 175-204.
- ALHEIT, J. & E. HAGEN (1997): Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. Fish Oceanogr 6, 130-139.
- BEARE, D. J., BURNS, F., GREIG, A., JONES, E. G., PEACH, K., KIENZLE, M., MCKENZIE, E. & D. REID (2004): Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities. Mar Ecol Progr Ser 284, 269-278.
- CAMERON P. & WESTERNHAGEN H VON (1997): Malformation rates in embryos of North Sea fishes in 1991 and 1992. Mar Pollut Bull 34, 129-134.
- CORTEN, A. & G. VAN DE KAMP (1996): Variation in the abundance of southern fish species in the southern North Sea in relation to hydrography and wind. ICES J Mar Sci 53, 1113-1119.
- CUSHING, D. H. (1982): Climate and fisheries. Academic Press, London, 373 pp.
- EHRENBAUM, E. & W. MIELCK (1910): Eier und Larven der im Winter laichenden Fische der Nordsee, Fangtabellen. Helgol Wiss Meeresunters 9, 174-176.
- EHRICH, S. & C. STRANSKY (2001): Spatial and Temporal Changes in the Southern Species Component of North Sea Bottom Fish Assemblages. Senckenbergiana maritima 31, 143-150.
- EKMAN, S. (1967): Zoogeography of the Sea. Sidgwick & Jackson, London.
- FOCK, H. O., KLOPPMANN, M. W. & N. PROBST (2014): An early footprint of fisheries: changes for a demersal fish assemblage in the German Bight from 1902-1932 to 1991-2009. Journal of Sea Research 85, 325-335.
- HARDEN-JOHNES F. R. (1968): Fish Migration. Edward Arnold, London, 325 pp.
- HEINCKE, F. (1894): Beiträge zur Meeresfauna von Helgoland. I. Die Fische Helgolands. Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. Abt. Helgoland N.F. I, 95-120.
- ICES (2006): Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management, 2006. ICES Advice. Book 6, 310 pp.
- ICES, 2008a. Report of the Working Group on Ecosystem Effects of Fishing Activities (WGECO). ICES, Copenhagen.
- ICES, 2008b. Report of the Working Group on Fish Ecology (WGFE). Copenhagen.
- KEENLYSIDE, N. S. & M. LATIF (2008): Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector. Nature.
- LOZÁN, J. L., E. RACHOR, K. REISE, J. SÜNDERMANN & H. V. WESTERNHAGEN (2003): Überblick und Ausblick: Entwicklungen in der Nordsee. In Lozán, J.L., E. Rachor, K. Reise, J. Sündermann & H.v. West-

- ernhagen - Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer – Eine aktuelle Umweltbilanz. 11-18.
- MACKENZIE, B. R., H. GISLASON, C. MÖLLMANN & F. W. KÖSTER (2007): Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biol*, 13, 1348-1367.
- MUUS, B. J. & P. DAHLSTRÖM (1965): Meeresfische in Farben. BLV, München, 1-244.
- PERRY, A. L., LOW, P. J., ELLIS, J. R. & J. D. REYNOLDS (2005): Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308, 1912-1915.
- PETITGAS, P., AHLHEIT, J., PECK, M. A. et al. (2012): Anchovy population expansion in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 444, 1-13.
- POSTUMA, K. H. (1978): Immigration of southern fish into the North Sea. *Rapp. P Verb Réunion Cons Int Explor Mer* 171, 225-229.
- QUERO, J. C., M. H. DU BUIT & J. J. VAYNE (1998): The records of tropical fishes and the warming of the European Atlantic waters. *Oceanol Acta*, 21 (2), 345-351.
- RÖNKKÖNEN, S., E. OJAVEER, T. RAID & M. VIITASALO (2004): Long-term changes in Baltic herring (*Clupea harengus membrans*) growth in the Gulf of Finland. *Can J Fish Aquat Sci*, 61, 219-229.
- SABATÉS, A., P. MARTIN, J. LLORET et al. (2006): Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global Change Biol*, 12 (11), 2209-2219.
- SIEGISMUND, F. & C. SCHRUM (2001): Decadal changes in the wind forcing over the North Sea. *Climate Research*: 18: 39-45.
- SCHNACK, D. (2003): Ursachen großer Bestandsveränderungen bei Meeresfischen in der Ostsee. *Meer und Museum*, 17, 96-103.
- STEBBING, A.R.D., TURK, S.M.T., WHEELER, A., & K. R. CLARKE (2002): Immigration of southern fish species to south-west England linked to warming of the North Atlantic (1970-2001). *J. Mar. Biol. Ass. UK* 68, 177-180.
- SWABY, S. E. & G. W. POTTS (1999): THE SAILFIN DORY, A FIRST BRITISH RECORD. *J FISH BIOL*, 54 (6), 1338-1340.
- TER HOFSTEDÉ, R. & A. D. RIJNSDORP (2011): Comparing demersal fish assemblages between periods of contrasting climate and fishing pressure. *ICES J. Mar. Sci.* 68, 1189-1198.
- VORBERG, R. (2003): Sardelle wieder im deutschen Wattenmeer heimisch. *Der Fischwirt* 1/2003: 4-6.
- VOIPIO, A. (1981): The Baltic Sea. Elsevier, Amsterdam
- WESTERNHAGEN, H. VON & D. SCHNACK (2001): The Effect of Climate on Fish Population. In: Lozán J.L., Graßl H., Hupfer P. - Climate of the 21st Century: Change and Risks. Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg, 283-289.
- WESTERNHAGEN, H. VON, DETHLEFSEN, V., BADE, T. & W. WOSNIOK (2002): Species assemblages of pelagic fish embryos in the southern North Sea between 1984 and 2000. *Helgol. Mar. Res.* 55, 242-251.
- WESTIN, L. & A. NISLING (1991): Effects of salinity on spermatozoa motility, percentage of fertilized eggs and egg development of Baltic cod *Gadus morhua*, and implications for cod stock fluctuations in the Baltic. *Mar Biol*, 108, 5-9.
- WORM, B. & D. P. TITTENSOR (2011): Range contraction in large pelagic predators. *Proc. Nat. Ac. Sc. USA* 108, 11942-11947.

Kontakt:

Dr. Jose L. Lozán

Universität Hamburg - Wissenschaftliche Auswertungen

Dr. Hein v. Westernhagen

Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung

Prof. Dr. Dietrich Schnack

Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel

Michael Vobach

Dr. Heino O. Fock

Dr. Matthias F. Kloppmann

Thünen-Institut für Seefischerei, Hamburg

Dr. Christopher Zimmermann

Thünen Institut für Ostseefischerei, Rostock

Lozán, J. L., D. Schnack, M. Vobach, H. v. Westernhagen, H. O. Fock, M. F. Kloppmann & Chr. Zimmermann (2014): Wärmeliebende Fische auf dem Weg nach Norden. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 2.3) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.