

3.23 Klimatisch bedingte Veränderungen der Verbreitung von Fischbeständen. Beispiel: Sardelle und Sardine

JÜRGEN ALHEIT

*Climatically induced changes in distribution of fish populationens. Example: anchovies and sardines: European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) are southern Lusitanian species needing warmer temperatures than boreal ones. After about 40 years of absence, they were observed again in increasing quantities in the North and Baltic Sea, apparently driven by climate variability. Sardines re-invaded the North Sea around 1990, probably as a response to warmer temperatures associated with the strengthening of the North Atlantic Oscillation (NAO) in the late 1980s. However, surprisingly, increasing numbers of anchovy eggs, larvae, juveniles and adults were recorded only since the mid-1990s, indicating that the temperature rise in the winter months due to the NAO was not sufficient for triggering the re-appearance and spawning of this species in more northern waters. Presumably, changes in current structures and increased summer temperatures since the mid-1990s, in association with the contraction of the subpolar gyre, were responsible for the expansion of the anchovy distributional range into the North Sea. We discuss, which atmospheric (e.g., AMO, NAO) and oceanographic (e.g. contraction of subpolar gyre) drivers might be responsible for the occurrence of anchovies and sardines in North and Baltic Seas and other changes observed in fish populations at the same time.*

Marine Ökosysteme sind dem Einfluss von Klimavariabilität und globalem Klimawandel ausgesetzt. Während Klimavariabilität, die auf natürlichen Ursachen beruht, auf dekadischen und größeren Zeitskalen seit Jahrmillionen wirkt, ist die globale Erwärmung ein rezentes Phänomen anthropogenen Ursprungs. Es ist außerordentlich schwierig, die Effekte von Klimavariabilität und globaler Erwärmung voneinander zu trennen. Dazu werden in der Regel Vergleiche mit vergangenen Klimaperioden herangezogen. Vermutlich beeinflusst die globale Erwärmung inzwischen auch die Variabilität des Klimas.

Heringsartige Schwarmfische

Die ergiebigste Informationsquelle über langfristige Veränderungen auf der Dekadenskala in marinen Ökosystemen sind historische Daten der großen Bestände der kleinen heringsartigen (clupeiformen) Fische: Hering (*Clupea harengus*), Sardine (*Sardina pilchardus*, *Sardinops sagax*), Sardelle (*Engraulis spec.*) und Sprotte (*Sprattus sprattus*). Ihre spezifischen Eigenschaften eignen sich hervorragend zur Untersuchung des Klimaeinflusses auf marine Ökosysteme. Heringsartige Schwarmfische stellen ungefähr 20–25% des jährlichen Gesamtertrages der Weltfischerei. Sie sind weitverbreitet und kommen in allen Ozeanen vor. Sie bilden weltweit die Grundlage wichtiger Fischereien, und der wirtschaftliche Erfolg vieler Länder beruht auf ihnen. Sie reagieren schnell und deutlich auf Änderungen im gekoppelten Ozean-Klimasystem. Sie können ihre großskaligen Wanderrouten schnell verändern. Als Planktonfresser stehen sie vergleichsweise niedrig in den Nahrungsketten. Sie haben kurze Lebensspannen (3–7 Jahre), produzieren enorme Mengen an Eiern und laichen, in einigen Fällen, über das ganze Jahr hinweg. Auf Grund dieser biologischen Eigenschaften rea-

gieren sie durch hochvariable rapide Schwankungen in ihrer Populationsgröße sehr sensibel auf Umweltveränderungen. Abundanzänderungen um den Faktor 1.000 in einem Zeitraum von 20 Jahren sind charakteristisch, und bekannte Beispiele sind Sardinen in japanischen Gewässern oder vor Kalifornien, Sardellen im Humboldtstrom vor Peru und Chile oder Heringe in europäischen Gewässern. Das drastische Auf und Ab ihrer Fangerträge hat dramatische Konsequenzen für ganze Regionen und sogar Länder, wie oft auch in geschichtlichen Quellen festgehalten oder in der Literatur verankert (z.B. »Die Straße der Ölsardinen« von John Steinbeck). Für die betroffenen Ökosysteme waren die Folgen nicht weniger dramatisch, bilden die heringsartigen Schwarmfische doch die wichtigste Nahrungsgrundlage für große Raubfische, Seevögel und eine Reihe von Seesäugetieren, wie Robben und Delfine. Der Zusammenbruch der Fischpopulationen verursachte daher oft den Kollaps von Seevogel- und Robbenbeständen. Folglich sind drastische Veränderungen in den Abundanzen heringsartiger Fischbestände meistens mit umfangreichen Änderungen ihrer jeweiligen Ökosystemstruktur verbunden. Daher sind die heringsartigen Schwarmfische ideale Indikatoren des Einflusses der Klimavariabilität auf marine Ökosysteme.

Klimavariabilität

Zwei Klimasignale, die insbesondere auf den Nordatlantik starken Einfluss ausüben, sind die Nordatlantische Oszillation (NAO) und die Atlantische Multi-dekaden-Oszillation (AMO). Das stärkste Klimasignal über dem Nordatlantik ist die NAO. Der NAO-Index (Abb. 3.23-1) fußt auf den Luftdruckunterschieden zwischen dem isländischen Tief und dem Azorenhoch. Bei positivem Index ist der Luftdruck des isländischen Tiefs sehr niedrig und der Luftdruck des Azorenhochs

sehr hoch. Dieses führt im Winter zu starken West/Südwestwinden über Mittel- und Nordeuropa, wobei relativ milde Temperaturen und starker Niederschlag charakteristisch sind. Bei anhaltendem negativen Index wird der Einfluß der westlichen Winde vom Atlantik zurückgedrängt und verstärkter Einfluß des sibirischen Hochs führt zu kalten Perioden. Die Niederschlagshäufigkeit im Norden Europas nimmt ab, während sie gleichzeitig im Mittelmeerraum ansteigt. Langzeitdaten der Wassertemperaturen in Nord- und Ostsee sind folglich signifikant für definierte Perioden mit dem NAO-Index korreliert. Die NAO kann nicht vorhergesagt werden. In den 1980ern befand sich die NAO in einer vorwiegend negativen Phase, wechselte dann ziemlich abrupt am Ende der 1980er in eine stark positive Phase und befindet sich seit Mitte der 1990er Jahre in einem vorwiegend neutral bis negativen Zustand. Der NAO-Index wird häufig zu Korrelationen mit biologischen Langzeitreihen herangezogen, um Klimaeffekte auf Populationen oder Ökosysteme nachzuweisen. Dabei wird meist übersehen, dass der Index statisch ist, d.h. dass er zwischen zwei fixen Meßpunkten bestimmt wird, z.B. Island und den Azoren, wobei außer acht

gelassen wird, dass sich die Aktionszentren der NAO in den letzten Jahrzehnten nach Nordosten verschoben haben (ZHANG et al. 2008). Es ist daher nicht verwunderlich, dass solche Korrelationen zumindest seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr funktionieren.

Ein weiterer wichtiger klimatischer Index des Nordatlantiks, der im Unterschied zur atmosphärisch bedingten NAO auf ozeanographischen Messungen beruht, ist die Atlantische Multidekaden-Oszillation (AMO) (SUTTON & HODSON 2005), die aus den langfristigen Schwankungen der Oberflächentemperaturen des Nordatlantik abgeleitet ist. Warm- und Kaltphasen folgen aufeinander, wobei die Periodenlänge 50–70 Jahre währt. Die entsprechenden gemessenen Temperaturwerte der letzten 150 Jahre zeigen Warmphasen im späten 19. Jahrhundert und von 1925 bis 1965 (Abb. 3.23-2). Eine weitere Warmphase seit ca. Mitte der 1990er Jahre dauert zur Zeit noch an. Kaltphasen wurden beobachtet von 1900 bis 1925 und von den 1960er Jahren bis ca. 1990. Analysen von Baumringen und Eisbohrkernen erlauben eine Darstellung der AMO über die letzten 500–600 Jahre. Langfristige Voraussagen über die AMO-Entwicklung sind zur Zeit nicht möglich.

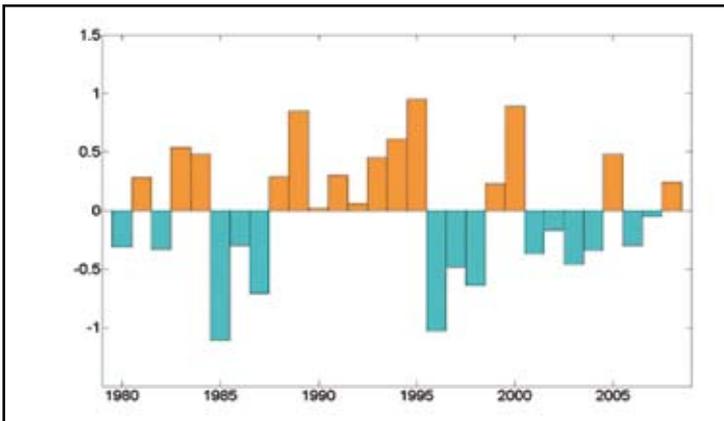


Abb. 3.23-1: Winter-Index der Nordatlantischen Oszillation (NAO).

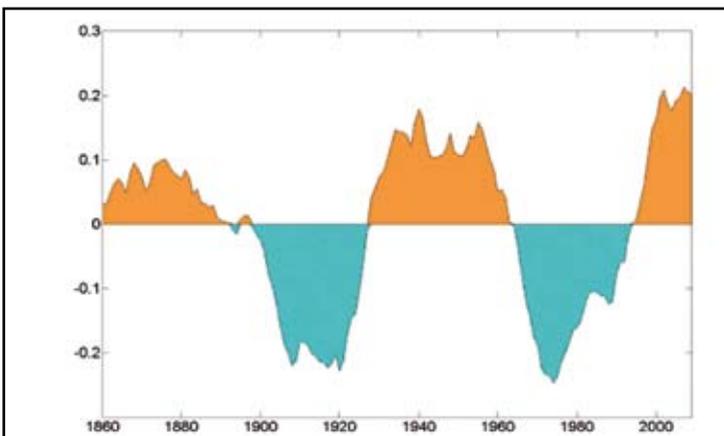


Abb. 3.23-2: Index der Atlantischen Multidekaden-Oszillation (AMO).

Rezentes Auftreten von Sardinen und Sardellen in Nordsee

Eine Reihe nationaler und internationaler mariner Monitoringprogramme und Forschungsprojekte beobachtete in den 1990er Jahren eine vermehrte Zunahme von Sardinen und Sardellen, Fischarten südlicher Affinität, in Nord- und Ostsee (z. B. BEARE et al. 2004), Gebieten, in denen sie seit 30–40 Jahren nur noch äußerst sporadisch als »Streuner« aufgetreten waren. Alle Lebensstadien beider Arten wurden angetroffen: Eier, Larven, Juvenile und Adulte, bei denen sämtliche Fortpflanzungsstadien festgestellt wurden (ALHEIT et al. 2010). Verblüffenderweise tauchten Sardinen bereits seit ca. 1990 auf, während Sardellen erst seit etwa 1995 dazu stießen, wie die zeitliche Abfolge des Auftretens von Fischlarven aus der »Wulf Greve Collection of Helgoland Roads Zooplankton« aus den Gewässern um Helgoland zeigt (Abb. 3.23-3). Erste Vermutungen, dass das Vorkommen dieser südlichen Arten eine direkte Folge der globalen Erwärmung der Meere ist, bestä-

tigten sich nicht, da das Studium älterer wissenschaftlicher Literatur offenbarte, dass beide Arten bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in größeren Mengen in der Nordsee angetroffen worden waren. Deutsche, holländische und englische Fischereiwissenschaftler berichten in einer Serie von Veröffentlichungen eine Zunahme von Sardellen und Sardinen in der Zeit zwischen etwa 1860 und 1900. Ähnliches ist belegt für den Zeitraum von etwa 1930–1965. Die Fangmengen waren offensichtlich so hoch, dass deutsche und englische Wissenschaftler am Ende beider Perioden den Aufbau einer kommerziellen Sardinen-, bzw. Sardellenfischerei empfohlen hatten. Höchst aufschlußreich ist eine Veröffentlichung von H.J. Aurich in 1953 mit dem bezeichnenden Titel »Verbreitung und Laichverhältnisse von Sardelle und Sardine in der südöstlichen Nordsee und ihre Veränderungen als Folge der Klimaänderung« (AURICH 1953). Ein Vergleich zwischen 1951 und 2003 zeigt, dass die Verteilung der Fischbrut beider Arten in der Deutschen Bucht fast identisch ist (Abb. 3.23-4).

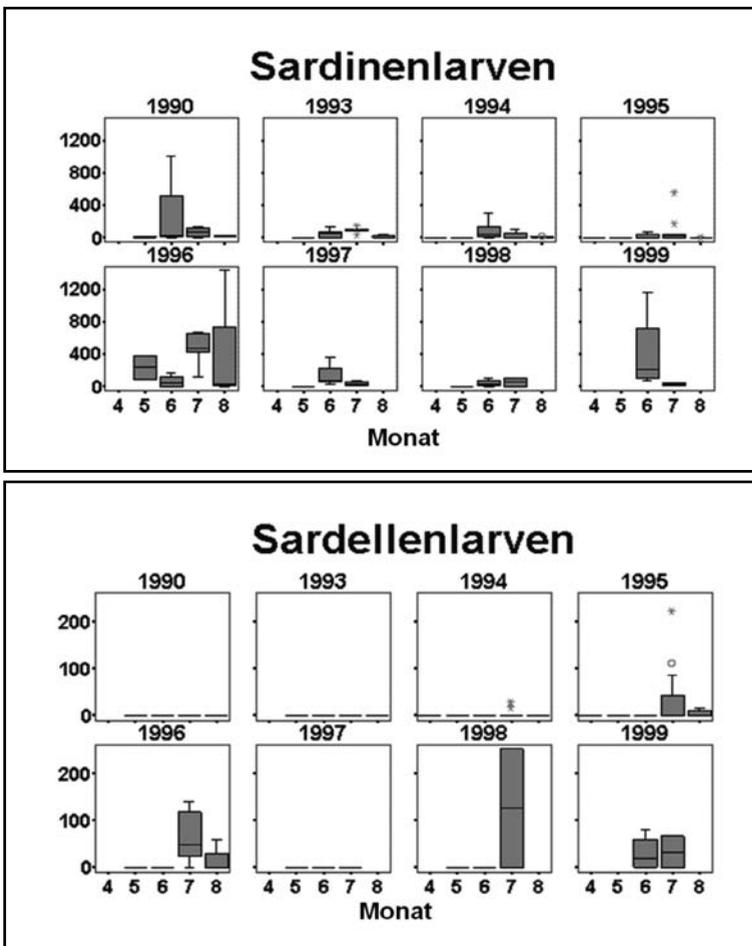
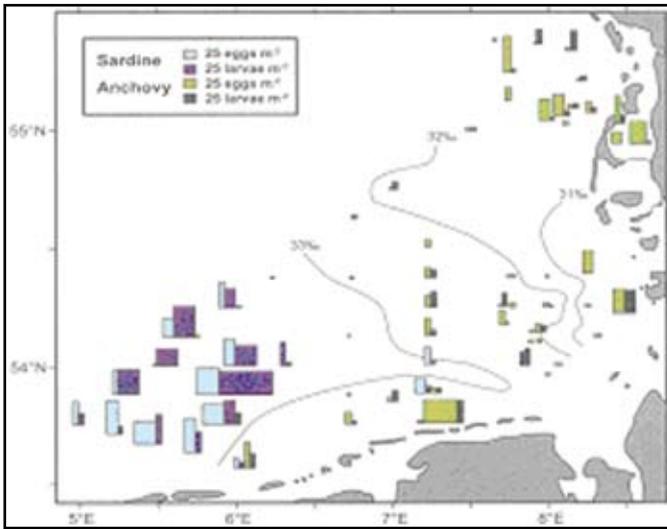
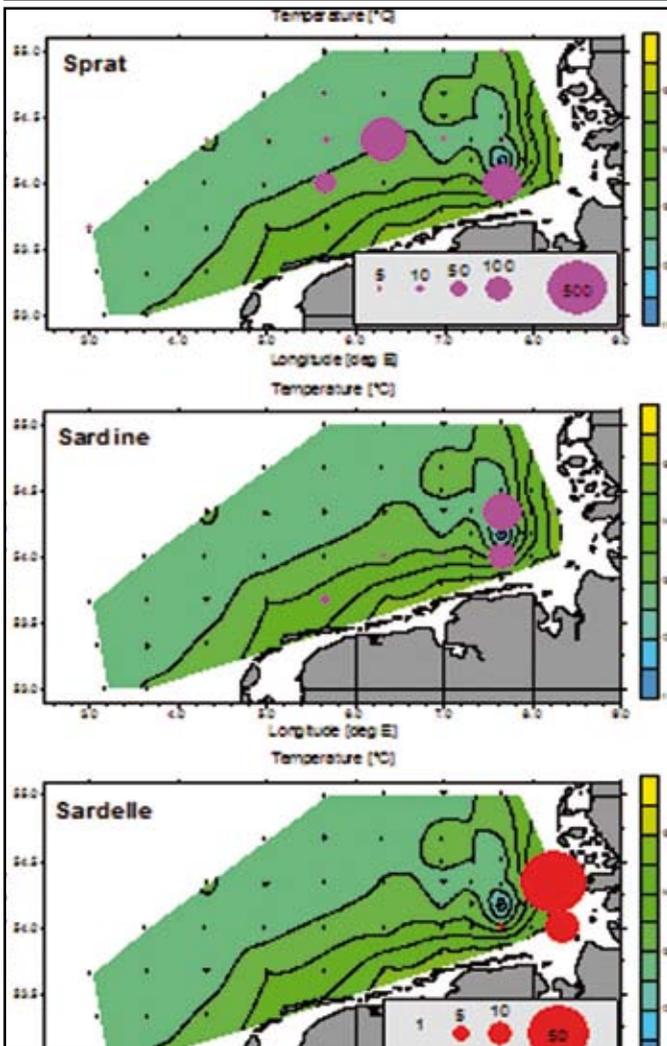


Abb. 3.23-3: Auftreten und Abundanz von Fischlarven in den Gewässern um Helgoland.



a



b

Abb. 3.23-4: Vergleich der Verteilung von Fischbrut in der Deutschen Bucht, Nordsee. a) 1951. **Blaue Rechtecke:** Sardineneier und -larven, **Grüne Rechtecke:** Sardeleneier und -larven. Isohalinen sind angegeben (AURICH 1953). b) 2003. Isothermen sind angegeben.

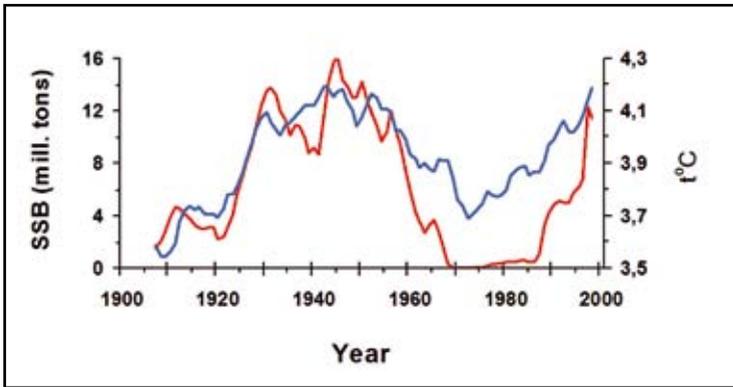


Abb. 3.23-5: Biomasse des Laichbestands des norwegischen Frühjahrslaicherhering: rote Linie. Wassertemperatur: blaue Linie. Nachdruck aus TORESEN & ØSTVEDT (2000), mit freundlicher Genehmigung von John Wiley and Sons.

Sardellen laichen im wärmeren küstennahen Bereich, während Eier und Larven der Sardine hauptsächlich in kälterem und tieferem Wasser angetroffen wurden.

Klimatischer Antrieb von Fischbestandsgrößen und -verbreitungsgrenzen

Ein Vergleich der Sardinen-/Sardellenperioden in der Nordsee mit den positiven Phasen der AMO zeigt eine bestechende Übereinstimmung. Sardinen und Sardellen wurden immer dann in größeren Mengen angetroffen, wenn die AMO in einem positiven Zustand war, d.h. wenn die Wassertemperaturen des Nordatlantik höhere Werte aufwiesen. Bei angestiegenen Temperaturen erweiterten die im englischen Kanal angesiedelten Sardinen und Sardellen ihre nördliche Verbreitungsgrenzen in die Nord- und Ostsee. Eine ähnliche Periodizität ist auch bei anderen marinen Arten beobachtet worden. Der weltweit größte Heringsbestand, der norwegische Frühjahrslaicherhering, der vor Norwegens Küsten laicht, hatte zwischen 1925 und 1960 eine außerordentlich hohe Biomasse – bis zu 16 Mio. t (Abb. 3.23-5) (TORESEN & ØSTVEDT 2000). Der Bestand brach in den 1960er Jahren, einer Zeit extrem scharfer Befischung des Herings, zusammen, woraufhin verschiedene restriktive Maßnahmen zur Eindämmung der Heringsfischerei verhängt wurden. Der Bestand begann, sich gegen Ende der 1980er Jahre wieder zu erholen und erreichte seit Mitte der 1990er Jahre wieder hohe Bestandswerte. Mit zunehmender Größe expandierte der Bestand. In den 1950er Jahren wanderte dieser Hering von Norwegen bis fast nach Island und Jan Mayen, um an den dortigen großen Zooplanktonbeständen zu fressen und zu überwintern. Diese weiträumigen jährlichen Wanderungen wurden in den Jahrzehnten nach dem Zusammenbruch völlig eingestellt, und der Bestand hielt sich dann hauptsächlich in norwegischen Gewässern auf. Seit einigen Jahren hat er jedoch wieder die ursprünglichen Wanderungen Richtung Island

aufgenommen. Die Erholung des Bestands wird wegen der in den 1970er Jahren verhängten Sanktionen oft als »erfolgreiches« Fischereimanagement gelobt. Vermutlich ist die Bestandserholung jedoch auch klimatischem Einfluß zu verdanken.

Eine synchrone Dynamik in Verbreitung und Biomasse mit der AMO ist auch für andere Fischarten und Gebiete gezeigt worden. So verschoben Kabeljau und Schellfisch während der Warmphase 1925–1960 ihre nördlichen Verbreitungsgrenzen weit nach Norden, wobei der westgrönländische Kabeljau 1.200 km weiter nach Norden vorstieß (DRINKWATER 2006). Südliche (lusitanische) und nördliche (boreale) Fisch- und Zooplanktonarten wechselten sich im AMO-Rhythmus im Englischen Kanal ab (Russel Cycle), wie das seit über 100 Jahren dort betriebene Monitoringprogramm nachwies, und Organismen des Felswatts wie Seepocken zeigten dieselbe Dynamik (HAWKINS et al. 2003).

Während der Einfluß der AMO auf marine Ökosysteme und Populationen erst in den letzten Jahren erkannt wurde, ist die Einwirkung der NAO bereits seit Mitte der 1990er Jahre bekannt und durch eine große Anzahl wissenschaftlicher Artikel belegt (z.B. ALHEIT & HAGEN 1997). Besonders intensiv wurde der NAO-Einfluß auf Plankton- und Fischpopulationen in Nord- und Ostsee untersucht. Dabei wurde für das Ende der 1980er Jahre, als der NAO-Index drastisch anstieg (Abb. 3.23-1), eine starke, abrupte Veränderung in beiden Ökosystemen festgestellt (z.B. ALHEIT et al. 2005).

Seit Anfang der 1960er Jahre lag die nördliche Verbreitungsgrenze der Sardinen im Englischen Kanal und die der Sardellen im südöstlichen Ausgang der Nordsee, vor der holländischen Küste. Ende der 1980er Jahre nahmen die Luftdruckunterschiede zwischen dem Islandtief und dem Azorenhoch stark zu und starke westliche/südwestliche Winde brachten mildes Winterklima nach Zentral- und Nordeuropa. Die – besonders im Winter – angestiegenen Wassertemperaturen erlaubten es der Sardine, in die Nordsee einzuwandern,

sich dort erfolgreich fortzupflanzen und den gesamten Lebenszyklus in der Nordsee abzuschließen. Der Anstieg der Wintertemperaturen reichte jedoch nicht aus, um eine Einwanderung der Sardelle zu induzieren. Mitte der 1990er Jahre endete die positive Phase des NAO-Index, der seitdem eher im neutralen bis negativen Zustand pendelte (Abb. 3.23-1). Obwohl in der Folge keine durch NAO-Einfluß verursachten milden Winter mehr auftraten, blieben, mit Ausnahme des Winters 1995/96, die Nordseetemperaturen im Winter relativ hoch, während sich nun jedoch vorwiegend die Sommertemperaturen erhöhten. Unter diesem Szenario drang die Sardelle in die Nord- und Ostsee vor und begann im küstennahen Bereich und im Wattenmeer im Hochsommer abzulaichen. Die Sardelle benötigt höhere Laichtemperaturen als die Sardine. Wieso trotz Abfall des NAO-Index seit Mitte der 1990er Jahre hohe Temperaturen im Nordostatlantik vorherrschen, ist nicht geklärt. Mehrere Konstellationen des gekoppelten Ozean-Klimasystems können als Erklärung herangezogen werden. Mitte der 1990er Jahre kontrahierte sich der subarktische Wirbel im Nordatlantik und warme, subtropische Wassermassen strömten weiter nach Norden und Nordosten (HÁTÚN et al. 2005). Diese Erwärmung nördlicherer Wassermassen wurde bis in die nordischen Meere hinein gemessen und führte zu Veränderungen in Verbreitung und Abundanz von Zooplankton-, Fisch- und Walpopulationen. Zur gleichen Zeit wurde auch ein starker Anstieg der AMO verzeichnet (Abb. 3.23-2). Ebenfalls stellte man eine weitere Verschiebung der Positionen von Islandtief und Azorenhoch nach Nordosten fest (ZHANG et al. 2008).

Schlussbetrachtung

Marine Ökosysteme, Organismengemeinschaften und Populationen können mit dramatischen Änderungen in Verbreitung und Abundanz auf Klimavariabilität und globalen Klimawechsel reagieren, wie am Beispiel der Einwanderung von Sardellen und Sardinen in die Nordsee dargestellt wurde. Beide Arten sind in den letzten 20 Jahren weit in Nord- und Ostsee eingedrungen und führen jetzt ihren ganzen Lebenszyklus in der Nordsee durch, obwohl sie zuvor über 30–40 Jahren dort kaum anzutreffen waren. Eine Reihe atmosphärischer und hydrographischer Prozesse haben zu einer Zunahme der Wassertemperatur in der Nordsee geführt, so dass thermische Toleranzschwellen beider Arten erreicht wurden. Ob und wie diese komplexen Prozesse des gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Systems miteinander zusammenhängen und welchen Einfluss der Globale Klimawandel dabei hat, ist völlig ungeklärt. Folglich

lassen sich keine Voraussagen über künftige Bestandsgrößen und Verbreitungsgrenzen von Sardinen und Sardellen treffen. Ähnliches gilt wohl auch für andere Fischbestände.

Literatur

- ALHEIT J. & E. HAGEN (1997): Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. *Fish. Oceanogr.* 6, 130-139.
- ALHEIT J., C. MÖLLMANN, J. DUTZ, G. KORNILOVS, P. LOEWE, V. MOHRHOLZ & N. WASMUND (2005): Synchronous ecological regime shifts in the central Baltic and the North Sea in the late 1980s. *ICES J. mar. Sci.* 62, 1205-1215.
- ALHEIT J., T. POHLMANN, M. CASINI, W. GREVE, R. HINRICHS, M. MATHIS, K. O'DRISCOLL, A. SELL, R. VORBERG & C. WAGNER (2010): Climate variability drives anchovies and sardines into North and Baltic seas. *ICES CM* 2010/S:14.
- 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.
- BEARE D., BURNS, F., GREIG, T., JONES, E., PEACH, K., KIENZLE, M., MCKENZIE, E., REID, D. (2004): Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 284: 269-278.
- DRINKWATER K.F. (2006): The regime shift of the 1920s and the 1930s in the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.* 68, 134-151.
- HÁTÚN H., M.R. PAYNE, G. BEAUGRAND, P.C. REID, A.B. SANDØ, H. DRANGE, B. HANSEN, J.A. JACOBSEN & D. BLOCH (2005): Large bio-geographical shifts in the north-eastern Atlantic Ocean: From the subpolar gyre, via plankton, to blue whiting and pilot whales. *Prog. Oceanogr.* 80, 149-162.
- HAWKINS S.J., A.J. SOUTHWARD & M.J. GENNER (2003): Detection of environmental change in a marine ecosystem – evidence from the western English Channel. *Sci. Total Env.* 310, 245-256.
- SUTTON R.T. & D.L.R. HODSON (2005): Atlantic ocean forcing of North America and European summer climate. *Science* 2309, 115-118.
- TORSEN R. & O.J. ØSTVEDT (2000): Variation in abundance of Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus*, Clupeidae) throughout the 20th century and the influence of climatic fluctuations. *Fish. Fish.* 1, 231-256.
- ZHANG X., A. SORTEBERG, J. ZHANG, R. GERDES & J.C. COMISO (2008): Recent radical shifts of atmospheric circulations and rapid changes in Arctic climate system. *Geophys. Res. Lett.* 35, L22701.

Dr. Jürgen Alheit

Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Seestr.16 - 18119 Warnemünde

juergen.alheit@io-warnemuende.de