

4.11 Die Biodiversität der Ostsee: Erkenntnisse der Vergangenheit und Perspektiven für die Zukunft

FRANCISCO R. BARBOZA & MARKUS FRANZ

Die Biodiversität der Ostsee: Erkenntnisse der Vergangenheit und Perspektiven für die Zukunft: Dieses Kapitel bietet dem Leser eine Einleitung in die Biodiversität der Ostsee mit Schwerpunkt auf den vorherrschenden Trends und den umweltbedingten sowie anthropogen-verursachten Stressoren, die das marine Leben dieser Region beeinflussen. Eine intensive Literaturrecherche zeigt die übereinstimmende Auffassung über die schädlichen Folgen des globalen Wandels, der Eutrophierung, biologischer Invasionen, der Zerstörung von Lebensräumen und der Überbeanspruchung kommerziell genutzter Arten für die Biodiversität dieser Region. Interaktionen dieser Umweltbelastungen, sowie die äußerst variablen Umweltbedingungen auf regionaler und lokaler Ebene und die heterogenen Toleranzen der vorkommenden Arten beeinträchtigen eine Abschätzung über die Folgen des Biodiversitätsverlustes für marine Ökosysteme. Dies wird zusätzlich durch Wissenslücken zum aktuellen Status der Biodiversität erschwert. Deshalb soll in diesem Kapitel ein kritischer Blick auf fehlende Informationen und deren Gründe geworfen werden, um Impulse für die Priorisierung künftiger ökologischer Studien zu setzen, welche effektive Strategien für den Erhalt und die nachhaltige Nutzung der Ostsee in Zeiten des globalen Wandels ermöglichen sollen.

The biodiversity of the Baltic Sea: insights from the past and perspectives for the future: The present chapter will introduce the reader to the biodiversity of the Baltic Sea, paying special attention to the trends currently described and the environmental and human stressors that affect marine life. An intensive revision of the available scientific bibliography showed a general agreement on the detrimental effects that global warming, eutrophication, biological invasions, habitat destruction and overexploitation have on the biodiversity in this region. The interactions between these human pressures, highly variable environmental conditions at regional and local scales, and the heterogeneous tolerances of resident species prevent the prediction of the potential consequences that the loss of biodiversity could have on marine ecosystems. Knowledge gaps on the current state of biodiversity increase the uncertainty. In this context, the present chapter will give a critical look towards missing information and its causes, highlighting what the priorities of ecological research should be, in order to generate effective conservation strategies for the biodiversity of the Baltic Sea in a century of dramatic changes.

Die Biodiversität beschreibt die Vielfalt des Lebens auf allen Ebenen biologischer Organisation (SCHOLES et al. 2008). Sie ist für die Struktur, Funktion und Stabilität der Ökosysteme und somit auch für die Leistungen, die diese erbringen, verantwortlich (LOREAU et al. 2001, CARDINALE et al. 2012). Die Zerstörung natürlicher Ökosysteme durch den dramatischen Anstieg des anthropogenen Einflusses innerhalb des letzten Jahrhunderts (siehe VITOUSEK et al. 1997 für eine umfassende Betrachtung) hat zu einem verstärkten Verlust von Genotypen, Populationen, Arten, und funktionalen Gruppen geführt, welcher das regional evolvierte Gleichgewicht zwischen Biodiversität und Funktionalität von Ökosystemen gefährdet (DÍAZ et al. 2006). Diese Verknüpfung und die möglichen dramatischen Folgen eines Biodiversitätsverlustes für die Bereitstellung essentieller Güter und Dienste für die Menschheit hat Wissenschaftler, politische Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit angeregt, Biodiversität besser zu verstehen, um sie zu erhalten (BAILLIE et al. 2008). Jenseits des allgemeinen Problembewusstseins und 24 Jahre nach der Biodiversitäts-Konvention, in welcher mehr als 190 Länder für eine gemeinsame Lösung der Biodiversitätskrise stimmten, beschreiben verfügbare Indikatoren einen weiter zunehmenden Anstieg menschlicher Einflüsse und bislang keine Verringerung der globalen Verlustrate (BUTCHART et al. 2010, TITTENSOR et al. 2014). Bis zum Ende der

Dekade erwarten TITTENSOR et al. (2014) auf Basis von 55 Indikatoren (politischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Natur) keine Verbesserung des aktuellen Trends. Hinsichtlich des Biodiversitätsschwundes und der damit verbundenen Konsequenzen ist eine Entwarnung also noch nicht in Sicht.

Auch die Ostsee ist weit davon entfernt, eine Ausnahme in diesem Gesamtbild darzustellen. Die Biodiversität dieses Lebensraumes erfuhr in letzten Jahrzehnten eine drastische anthropogene Beeinträchtigung (HELCOM 2009). Mit einem Einzugsgebiet, welches sich über 13 Länder erstreckt und von 85 Mio. Menschen besiedelt ist und genutzt wird (DUCROTOY & ELLIOTT 2008), wurde und wird das Leben in der Ostsee einer großen Vielfalt anthropogener Einflüsse ausgesetzt. Die zahlreichen Interaktionen zwischen den anthropogenen Einflüssen, den variablen und z.T. stressigen Umweltbedingungen auf regionaler und lokaler Ebene sowie den unterschiedlichen Toleranzen der Arten (OJAVEER et al. 2010) tragen zu einer beträchtlichen Unsicherheit in der Vorhersage von Ausmaß und Folgen des aktuellen Biodiversitätsverlustes in der Ostsee bei. Wie auch in anderen marinen Systemen scheint eine systematische Überwachung der Biodiversität, menschlicher Aktivitäten und abiotischer Faktoren in Kombination mit empirischen Erkenntnissen zur Wirkungsweise der Diversität-Ökosystem-Beziehung die einzig wirksame Strategie, die not-

wendige Wissensbasis zu liefern, um dramatische Veränderungen zu erkennen und zu verhindern. Obwohl die Ostsee zu den bestuntersuchten Meeresgebieten der Welt zählt und ihr ökologischer Zustand durch die Helsinki-Kommission geschützt werden soll, bestehen immer noch große Wissenslücken zur Ökologie dieses Lebensraumes. Das vorliegende Kapitel soll daher die Biodiversität der Ostsee thematisieren, mit besonderem Augenmerk auf den ökologischen Mustern und den menschlichen Einflüssen, die auf die Flora und Fauna der Ostsee einwirken. Über eine simple Zusammenstellung der vorhandenen Literatur hinausgehend soll außerdem ein kritischer Blick auf Wissenslücken und deren Gründe geworfen werden, um künftige Prioritäten ökologischer Forschung zum Zweck des effektiven Erhalts der Vielfalt in der Ostsee herauszustellen.

Die Ostsee: ein junges, dynamisches und heterogenes Meer

Die Ostsee ist ein Binnenmeer, geformt durch den Rückgang des Eisschildes vor 12.000 Jahren, welcher Nordeuropa während der letzten Eiszeit bedeckte (BJÖRCK 1995). Seit seiner Entstehung durchlebte das Ostseebecken mehrere drastische Wechsel zwischen Süßwasser- und Salzwasserbedingungen. Dieser Wechsel zwischen hohen und niedrigen Salzgehalten führte stetige strukturelle Veränderungen zwischen marinen und limnischen Gemeinschaften herbei, welche sich in fossilen Überlieferungen nachweisen lassen (BERGLUND et al. 2005). In ihren heutigen Umweltbedingungen bzgl. Salzgehalt und klimatischen Ge-

gebenheiten besteht die Ostsee seit etwa 3.000 Jahren (BONSDORFF 2006 inkl. Referenzen).

Mit einer Oberfläche von 415.000 km² und einem Volumen von 21.700 km³ stellt die Ostsee einen der größten Brackwasserkörper der Welt dar (KAUTSKY & KAUTSKY 2000). Die Verbindung mit der Nordsee im Westen durch die enge Kattegatregion sowie zahlreiche Flussmündungen v.a. in östlichen Küstenregionen erzeugen einen starken und abnehmenden Salzgehaltsgradienten von Südwesten nach Osten und Nordosten (OJAVEER et al. 2010). Die Oberflächen-Salinität reicht von etwa 30 PSU im Norden Dänemarks bis weniger als 1 PSU im finnischen und im bottnischen Meerbusen, mit intermediären Bereichen von 6-8 PSU in den zentralen Bereichen der Ostsee (Abb. 4.11-1) (KAUTSKY & KAUTSKY 2000, BONSDORFF 2006). Die Nordatlantische Oszillation (NAO) beeinflusst entscheidend den Wasseraustausch mit der Nordsee sowie den Eintrag durch Flüsse und ist damit für Salinitätsschwankungen in der gesamten Ostsee verantwortlich (HAGBERG & TUNBERG 2000). Ähnlich dem Salzgehalt findet sich in der Ostsee ein Temperaturgefälle von Südwesten nach Nordosten, welches dem Übergang von gemäßigter in die subarktische Klimazone entspricht (OJAVEER et al. 2010). Dieser klimatische Übergang spiegelt sich ebenso in der winterlichen Eisbedeckung wider, deren Dauer von Süden nach Norden zunimmt (HELCOM 2009).

Die dynamische geologische Entwicklung der Ostsee erzeugte eine Bandbreite an Lebensräumen. Die Küste des Bottnischen und Finnischen Meerbusens wird durch zahlreiche Archipele und exponiertes

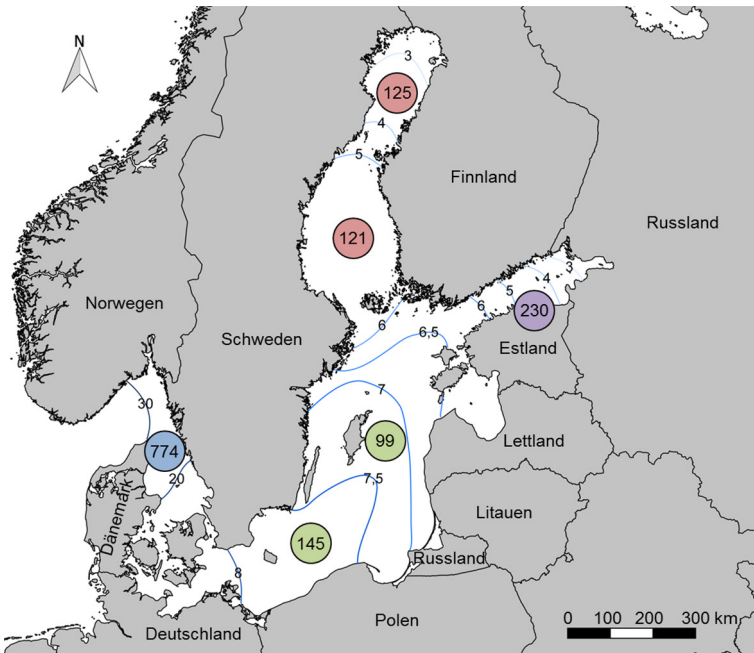


Abb. 4.11-1: Übersichtskarte der Ostsee. Werte in Kreisen zeigen die Anzahl der limnischen und marinen Makrofauna-Arten nach OJAVEER (2010). Farben der Kreise stehen für die Ostseeregionen: **Blau**= Kattegat, **Grün**= Zentrale Ostsee, **Rot**= Bottn. Meerbusen, **Violett**= Finn. Meerbusen. Isohalinen des Oberflächenwassers mit Werten in PSU nach BONSDORFF (2006).

Grundgestein dominiert, welche erheblich zur Länge und Komplexität der Küste beitragen. Dadurch bietet diese Regionen Lebensräume für viele benthische und pelagische Arten (KAUTSKY & KAUTSKY 2000). In der zentralen Ostsee finden sich überwiegend Sandstrände und Steilküsten, entstanden aus abgelagerten Sedimenten und Geschieben. Küstenfernere Bereiche zeichnen sich durch Sandflächen und Steinfelder aus, welche als Laichgründe von Fischen und als Lebensraum von Wirbellosen genutzt werden. Weiter in Richtung der Nordsee wechselt das Bild der Küste in der Kattegatregion zu Fjorden und fjordartigen Buchten, welche durch die glaziale Erosion geformt wurden (KAUTSKY & KAUTSKY 2000, HELCOM 2009).

Die komplexe geologische Entstehungsgeschichte sowie ihre steilen physikochemischen Gradienten machen die Ostsee zu einem anspruchsvollen Lebensraum für Flora und Fauna. Die Struktur und Funktionsweise der Gemeinschaften wird nicht nur durch die Umweltbedingungen sondern auch durch menschliche Einwirkungen stark beeinflusst und besteht deshalb aus Arten unterschiedlichster Lebensräume.

Biodiversität in einer anspruchsvollen Umwelt

Die Ostsee befindet sich in einem noch andauernden Stadium der postglazialen Sukzession. Da die Besetzung ökologischer Nischen noch nicht abgeschlossen ist, bietet die Ostsee Raum für die Ausbreitung nicht-einheimischer Arten aus marinen und Süßwasser-Systemen (PAAVOLA et al. 2005). Im Vergleich zu anderen, rein marinen oder älteren brackigen Systemen wird die Ostsee als artenarm bezeichnet (KAUTSKY & KAUTSKY 2000). Die steilen Umweltgradienten dieses Ökosystems begünstigen die Vorkommen von Arten mit eher breiten Toleranzbereichen für Salinität, Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt (OJAVEER et al. 2010). OJAVEER et al. (2010) beziffern in einer umfassenden Metaanalyse zur Biodiversität der Ostsee das Arteninventar (Plankton und makroskopische Organismen) auf mehr als 6.000 Vertreter, anmerkend dass die reale Anzahl sehr wahrscheinlich höher ausfällt. Ausnahmen von der allgemeinen Annahme einer artenarmen Ostsee finden sich insbesondere in planktischen Gesellschaften, welche bisweilen eine hohe Diversität aufweisen (TELESH et al. 2011). Die Artzusammensetzung der zahlreichen Ostseebecken unterscheidet sich substanziiell in Quantität, aber z.T. auch Identität der vorhandenen Arten, mit einer abnehmenden Anzahl mariner Arten vom Kattegat über die südwestliche Ostsee bis in den Bottnischen Meerbusen (BONSDORFF 2006, OJAVEER et al. 2010). Gleichzeitig steigt die Anzahl der limnischen Arten an, was auf den Salinitätsgradienten zurückzuführen ist (Abb. 4.11-1). Dieser Zusammenhang wurde be-

reits im Jahr 1934 von Adolf Remane in seiner Theorie über das »Artenminimum« beschrieben (REMANE 1934). Demzufolge sind die geringsten Artenzahlen in den Brackwasserbereichen der Ostsee zu finden, in welchen sowohl marine als auch Süßwasserarten einem beträchtlichen osmotischen Stress ausgesetzt sind (REMANE 1934, TELESH & KHLEBOVICH 2010). Ausnahmen vom »Artenminimum« wurden jedoch insbesondere für Planktongemeinschaften nachgewiesen (TELESH et al. 2011), nicht zuletzt da Remanes' Studie hauptsächlich auf Beobachtungen zum Makrozoobenthos basierten. In der Charakterisierung der Biodiversität bestehen neben der reinen Anzahl an Arten weitere Ebenen unter als auch über dem Artenreichtum, welche für das Funktionieren von Ökosystemen von Bedeutung sind (DÍAZ et al. 2006). Zwei dieser Ebenen, die genetische und die funktionale Diversität, sollen im folgenden Absätzen betrachtet werden.

Die genetische Diversität einer Population unterstützt ihre Fähigkeit, auf neue Selektionsprozesse wie den globalen Wandel und andere Störungen der Umwelt flexibel zu reagieren (JOHANNESON & ANDRÉ 2006). Folglich gefährden die Dominanz von Populationen mit niedriger genetischer Vielfalt die Entwicklung und Resilienz eines Ökosystems (JOHANNESON & ANDRÉ 2006); diese beide Autoren vergleichen die genetische Vielfalt von 29 Arten zwischen Populationen der Nord- und Ostsee und konnten zeigen, dass die Ostsee über eine geringere genetische Vielfalt verfügt. Diese Muster zeigten auch viele ökologisch relevante Vertreter wie etwa die habitatbildenden Arten *Zostera marina* (Seegras), *Fucus vesiculosus* (Blasentang) und *Mytilus edulis* (Miesmuschel), was die potentielle Empfindlichkeit des Ostsee-Ökosystems unterstreicht. Für einige Arten (z.B. *M. edulis*, *Macoma balthica*) scheint die Ostsee allerdings über seltene Genotypen zu verfügen, welche nicht im Atlantik zu finden sind. Daher kann sie auch als ein Refugium für besondere genetische Zusammensetzungen einzelner Arten angesehen werden (JOHANNESON & ANDRÉ 2006).

Die funktionale Diversität beschreibt die Vielfalt von Aufgaben, welche von den verschiedenen Arten in einem Ökosystem erfüllt werden. Man vereint Arten mit ähnlichen funktionalen Eigenschaften (z.B. Wuchsform) zu funktionalen Gruppen, welche bestimmte Ökosystemleistungen liefern (HELCOM 2009). Die Artenanzahl innerhalb einer solchen Gruppe (funktionale Redundanz) legt dabei fest, wie sensibel die funktionale Gruppe auf eine Umweltstörung reagiert: Je zahlreicher, desto leichter können Störungen abgedefert werden, da der Verlust einzelner Arten durch andere, robustere Arten mit ähnlichen funktionalen Eigenschaften ausgeglichen werden kann (ökol. Versicherungshypothese) (YACHI & LOREAU 1999). Die

funktionale Diversität der Ostsee folgt nur bedingt den geographischen Trends ihrer Artenvielfalt. In einer Auswertung benthischer Infauna-Probennahmen aus dem gesamten Ostseeraum konnten TÖRNROOS et al. (2014) zeigen, dass der Gradient der taxonomischen Vielfalt nicht zu einer Abnahme an funktionalen Gruppen führt, sondern die gleichen funktionalen Gruppen im Bottnischen Meerbusen wie auch im Kattegat vorkommen können. Dieser Effekt wird möglich, da in den Regionen mit niedriger Artenvielfalt wenige Taxa einen Großteil der Funktionen wahrnehmen. Diese Abnahme funktionaler Redundanz hebt die ökologische Bedeutung der einzelnen Arten in der Ostsee hervor, da bereits das Verschwinden einer Spezies den Verlust einer Ökosystemfunktion nach sich ziehen kann (HELCOM 2009). Einschränkung muss festgestellt werden, dass die funktionale Diversität der Ostsee nur für Weichbodengemeinschaften dokumentiert wurde und abweichende Ergebnisse für andere Lebensgemeinschaften nicht ausgeschlossen werden können, was die Notwendigkeit weiterer Studien unterstreicht. Festzustellen bleibt, dass ein fortschreitender Verlust von Arten die Aufrechterhaltung essentieller Ökosystemfunktionen und -dienste in Zeiten steigenden Stresses zunehmend gefährdet.

Menschliche Einflüsse auf die Biodiversität

Die große Anzahl der Menschen, welche im Einzugsgebiet der Ostsee leben, bewirkt zahlreiche Beeinträchtigungen dieses Ökosystems (HELCOM 2009). Die zeitlichen und geografischen Skalen, wie auch die ökologischen Ebenen, auf welchen diese Einflüsse wirken, variieren erheblich. Es gibt lokal und zeitlich sehr begrenzt wirkende Faktoren wie die Bejagung einzelner Arten und andererseits Belastungen wie die Eutrophierung mit weit reichenden Konsequenzen für Mensch und Natur (siehe Abb. 4.11-2). Im Folgenden

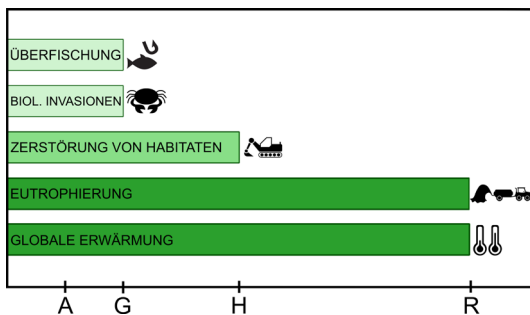


Abb. 4.11-2: Vorherrschende anthropogene Einflüsse auf die verschiedenen Ebenen und Skalen der Biodiversität der Ostsee. Abkürzungen: A= Art (Gene), G= Gemeinschaften, H= Habitate, R= Regionen. Modifiziert nach HELCOM (2009).

sollen die wichtigsten Einflussnahmen des Menschen auf die Ostsee vorgestellt werden: (1) Globaler Wandel, (2) Eutrophierung, (3) biologische Invasionen, (4) Zerstörung von Lebensräumen und (5) Überbeanspruchung von kommerziell genutzten Arten.

Die Emission von Treibhausgasen hat in den letzten Jahrzehnten eine drastische Zunahme erfahren und zu einer globalen Erwärmung der Atmosphäre und Gewässer geführt (RHEIN et al. 2013). Als Binnenmeer ist die Ostsee besonders stark von dem globalen Temperaturanstieg betroffen, da die umgebenden Landmassen eine Erwärmung begünstigen (BELKIN 2009). So betrug der Anstieg der sommerlichen Oberflächentemperatur der Ostsee für den Zeitraum 1985-2006 0,5 °C pro Dekade, was der dreifachen globalen Rate entspricht (BELKIN 2009). Dieser Temperaturanstieg hat diverse direkte und indirekte Folgen für das Klima und das Ökosystem der Ostseeregion. Direkte Effekte umfassen die geografische Verschiebung von Artvorkommen und die potentielle Veränderung der gesamten Phänologie (saisonale Populationsdynamiken) des Ökosystems. Verringerte Salzwassereinträge aus der Nordsee, beruhend auf erwärmungsbedingten Veränderungen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) (BELKIN 2009) gehören zu den indirekten Folgen der Klimaerwärmung. Schon jetzt wurde zudem in der nördlichen Ostsee eine Verkürzung der jährlichen Eisbedeckung festgestellt, und zukünftig werden stärkere Niederschläge und eine damit verbundene Aussüßung der Ostsee erwartet (HELCOM 2009). Die genannten Faktoren und zahlreiche weitere, können einen gravierenden Einfluss auf die Biodiversität der Ostsee ausüben. Eine Verschiebung von spezifischen Verbreitungsgebieten einheimischer Arten in kühlere Breiten ist in der Ostsee oftmals aufgrund des steilen Salinitätsgradienten natürlicherweise eingeschränkt. Das Zusammentreffen von bestehendem osmotischem und zunehmendem thermischem Stress könnte zahlreiche Arten gänzlich aus der Ostsee verschwinden lassen (HELCOM 2009).

Eutrophierung bezeichnet die Anreicherung von Nährstoffen in einem Ökosystem. Der verstärkte Eintrag von vorwiegend Stickstoffverbindungen und Phosphaten aus kommunalen Abwässern, durch landwirtschaftliche Aktivitäten und über die Atmosphäre hat zahlreiche ökologische Folgen. Seit den 1950er Jahren haben die Nährstoffeinträge in die Ostsee stark zugenommen (KARLSON et al. 2002). Da die Ostsee aus zahlreichen Becken mit starker Stratifizierung des Wasserkörpers besteht, reagiert sie empfindlich auf erhöhte Nährstoffeinträge (HELCOM 2009). Die direkten Folgen machen sich durch eine gesteigerte Primärproduktion in Form von massiven Phytoplanktonblüten und das vermehrte Auftreten filamentöser Algenarten (Algenmatten) in den

flacheren Bereichen bemerkbar (KARLSON et al. 2002). Die aufgebaute Biomasse wird früher oder später in die Bodenregionen transportiert und dort von heterotrophen Organismen konsumiert. Dieser Prozess zieht einen erhöhten Sauerstoffverbrauch und damit die Ausbreitung von lebensfeindlichen hypoxischen bzw. anoxischen Regionen nach sich (KARLSON et al. 2002). Eine Erwärmung begünstigt dieses Phänomen noch zusätzlich, da mit erhöhter Temperatur Abbauprozesse schneller ablaufen und die Stratifizierung des Wasserkörpers unterstützt wird. Des Weiteren führt das vermehrte Auftreten von Plankton zu einer höheren Wassertrübung, wodurch die Tiefenverbreitungsgrenzen wichtiger Makrophyten wie Seegras (*Z. marina*) und Blasenlang (F. *vesiculosus*) in flachere Bereiche verschoben werden (HELCOM 2009). Aufgrund des überregionalen Auftretens der Eutrophierung hat diese Störung einen negativen Einfluss auf fast die gesamte Ostsee-Biodiversität. Insbesondere die Artenvielfalt des Benthos ist von den Auswirkungen betroffen, da diese Organismen stark von der Erneuerung des sie umgebenden Wasserkörpers abhängen und nur begrenzte Möglichkeiten besitzen, ungünstigen Umweltbedingungen zu entkommen (KARLSON et al. 2002, HELCOM 2009). Deshalb ist es notwendig, ostseeweite Maßnahmen unter Einschluss der Einzugsgebiete zur Verringerung des Nährstoffeintrages zu treffen, um zukünftig weitere Verluste der Artenvielfalt zu verhindern.

Als nicht-einheimische Arten werden Organismen außerhalb ihres natürlichen Vorkommens bezeichnet. Verursachen solche Arten nach ihrer Ankunft ökologische Schäden, werden sie als invasiv klassifiziert (MACK et al. 2000, HELCOM 2009). Die ökologischen Auswirkungen umfassen die Konkurrenz um Raum und Nahrungsgrundlage, Veränderungen der biologischen und physikalischen Bedingungen in Habitaten und Verschiebungen in den Nahrungsnetzen, welche im schlimmsten Falle die Verdrängung anderer Arten zur Folge hat (LEPPÄKOSKI & OLENIN 2001). Dennoch können nicht-einheimische Arten nützliche Effekte mit sich bringen, wenn sie beispielsweise eine Nahrungsgrundlage für einheimische kommerziell genutzte Arten bilden (HELCOM 2009) oder die funktionale Diversität der neuen Umgebung erhöhen (REISE et al. 2006). Die Ostsee hat eine lange Geschichte der biologischen Invasionen, da die meisten einheimischen Arten nach der letzten Eiszeit einwanderten (PAAVOLA et al. 2005). Seit Beginn der Aufzeichnungen um 1800 wurden ca. 120 nicht-einheimische Arten in der Ostsee entdeckt (HELCOM 2009). Arten wie die Brackwasser-Seepocke (*Balanus improvisus*) und die chinesische Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis*) und die Meerwalnuss (*Mnemiopsis leidyi*) sind heutzutage in vielen Regionen der Ostsee allgegenwärtig (HELCOM 2009). Die Hauptvektoren für die Einführung nicht-einheimischer

Arten sind Schifftransport (Bewuchs des Rumpfes, Ballastwassertanks), künstliche Wasserwege und die bewusste Etablierung samt Mit-Verschleppung (z.B. für Aquakulturen) (LEPPÄKOSKI & OLENIN 2001). Obwohl die Ostsee eine große Zahl neu zugewanderter Arten aufweist, wurden bisher keine einheimischen Arten durch jene verdrängt. Eine Garantie, dass diese Entwicklung in der Zukunft so weiter geht, ist jedoch nicht gegeben (HELCOM 2009).

Die physische Zerstörung von Lebensräumen der Ostsee findet vorwiegend durch die Entnahme und das Verbringen von Sedimenten statt (Baggergut). Beide Maßnahmen stehen oft in Verbindung miteinander, da entnommenes Sediment an anderer Stelle verbracht werden muss, falls es nicht als Baumaterial (Sand, Kies) verwendet werden soll. Als direkte Folgen werden die benthischen Lebewesen an den betroffenen Stellen ausgelöscht. Weiterführend erhöhen sich Wassertrübung, Versandungsprozesse und die Freisetzung von Nährstoffen und umweltschädlichen Substanzen aus den Sedimenten. Die benthischen Lebensräume, welche durch Entnahme/Verbringung von Baggergut einmal gestört wurden, erholen sich oft nur sehr langsam, falls sie überhaupt ihre ursprüngliche Artenzusammensetzung wiedererlangen. Auch wenn die negativen Auswirkungen von Sedimentextraktionen und Verklappungen auf die Biodiversität längst bekannt sind, scheint die Anzahl solcher Aktivitäten in der Ostsee zuzunehmen (HELCOM 2009). Deshalb wurden u.a. durch die Helsinki-Kommission Empfehlungen zur Reduzierung dieser Maßnahmen veröffentlicht, um die nachhaltige Nutzung der Ostsee für die Zukunft zu gewährleisten.

Die kommerzielle Nutzung von Arten in der Ostsee beschränkt sich fast ausschließlich auf Fischbestände. Der Hauptfokus liegt dabei auf den Arten Dorsch (*Gadus morhua callarias*), Hering (*Clupea harengus membras*) und Sprotte (*Sprattus sprattus*) (HELCOM 2009). Seit den 1980er Jahren wurde der Dorschbestand um fast 80% reduziert. Durch die Entnahme des natürlichen Prädators der Sprotte stiegen die Anlandungen dieser Fischart stetig an, was die potentiellen kaskadenartigen Effekte der exzessiven Befischung auf das Nahrungsnetz hervorhebt. Die weite Verbreitung der Grundschleppnetzfisherei bedroht insbesondere bodenlebende Organismen. Erfahren diese Gemeinschaften eine zu häufige Störung, verschiebt sich ihre Artenvielfalt zu Gunsten von »opportunistischen« Arten mit hohen reproduktiven Umsatzraten. Die Auswirkungen der Befischung beschränken sich jedoch nicht auf die unteren trophischen Ebenen. Seevögeln und Meeresäußern wird die Nahrungsgrundlage streitig gemacht und außerdem verfangen sich diese Tiere regelmäßig in Netzen (HELCOM 2009). Neben den offensichtlichen

Einflüssen bleibt es bisher sehr schwierig, die indirekten Effekte der Überfischung auf die Artenvielfalt (nicht kommerziell genutzter Arten) zu evaluieren, da diese Auswirkungen durch überregionale Belastungen wie Eutrophierung maskiert werden.

Die Biodiversität der Ostsee wird auf allen Ebenen durch zahlreiche Stressoren anthropogenen Ursprungs beeinflusst (siehe Abb. 4.11-2). Dennoch sind nur wenige, geographisch verstreute Informationen zu den Auswirkungen auf die Diversität der Ostseegemeinschaften verfügbar. Diese Wissenslücken müssen zukünftig geschlossen werden, um die ökologischen Folgen der menschlichen Beeinträchtigungen abzuschätzen und eine nachhaltige Nutzung der Meeresumwelt zu gewährleisten.

Wissenslücken, ihre Gründe und künftige Richtungen ökologischer Studien

Wie zu Beginn angemerkt, wurde die Ostsee bereits in zahllosen Studien beschrieben. Langzeit-Beobachtungen hydrografischer und biologischer Variablen gehen bis in das frühe 19. Jahrhundert zurück (OJAVEER et al. 2010 inkl. Referenzen). Solche Informationen sind jedoch meist nur für einige Regionen, Perioden und Themen verfügbar. Wirtschaftliche Interessen, technische Schwierigkeiten und nicht zuletzt die Interessengebiete der Wissenschaftler und ihrer Förderer haben Datenerhebungen und Experimente zu Gunsten bestimmter Taxa beeinflusst. Die wohl umfassendsten Dokumente, welche die Biodiversität der Ostsee thematisieren (siehe HELCOM 2009, OJAVEER et al. 2010) zeigen die eindeutig höhere Verfügbarkeit von Daten zu wirtschaftlich genutzten Fischarten und pelagischer Makrofauna (Meeressäuger und Seevögel), gefolgt von Weichboden-Makrofauna und habitatbildenden Arten (*F. vesiculosus*, *Z. marina*, *Mytilus* sp.). Informationen zur Diversität der Hartsubstrat-, Meiofauna- und Planktongemeinschaften sind, falls überhaupt verfügbar, temporär und räumlich sehr fragmentiert.

Oft wird die Biodiversität einzig als die Vielfalt der Arten in bestimmten Regionen angesehen und die Vielfalt auf anderen biologischen Organisationsebenen außer Acht gelassen. So wurden die genetische und phänotypische Diversität, jene Voraussetzungen für evolutive Selektions- und Anpassungsprozesse, generell in Gutachten zur Biodiversität der Ostsee nicht berücksichtigt (OJAVEER et al. 2010). Nur wenige Artikel charakterisieren die intraspezifische Diversität von Arten für die gesamte Ostseeregion und noch weniger untersuchen dabei die dafür verantwortlichen geografischen und umweltbedingten Prozesse (JOHANNESSON & ANDRÉ 2006). Die innerartliche Variabilität funktioneller Eigenschaften bildet die Basis für Koexistenz und Gemeinschaftsbildung

verschiedener Arten, da bspw. Nahrungskonkurrenzen durch eine breite Spanne an funktionellen Eigenschaften abgeschwächt werden können (VIOLE et al. 2012 inkl. Referenzen). Zusätzlich haben der fehlende Konsens über die Wichtigkeit der zu messenden funktionellen Eigenschaften und der zeitliche Aufwand der Studien eine bisherige Berücksichtigung in wissenschaftlichen Publikationen beeinträchtigt.

Viele der bestehenden Wissenslücken zur Biodiversität der Ostsee stehen mit der Art und Weise in Zusammenhang, wie die Fachrichtung der Ökologie den untersuchten Systemen begegnet. Ausgehend von reinen Beobachtungen der Umwelt und der daraus resultierenden Hypothesen und Theorien Anfang des 19. Jahrhunderts, entwickelte sich in der Ökologie eine mehrheitlich theoretisch-experimentelle Herangehensweise. Hier werden Hypothesen durch mathematische Konzeptualisierungen der ökologischen Systeme gebildet und schließlich unter experimentellen Bedingungen oder anhand vorhandener Daten getestet (SAGARIN & PAUCHARD 2012). Dieser Wechsel von holistischen zu reduktionistischen Ansätzen unterstützte das fortschreitende Desinteresse der Wissenschaftler an beobachtungsgebundenen Studien, welches das Einwerben finanzieller Unterstützungen von Monitorings in der heutigen Zeit erschwerte (UNDERWOOD et al. 2000). Auch wenn die Wichtigkeit von Studien zur Überwachung der Biodiversität über zeitliche und räumliche Skalen wiederholt als Grundlage für Schutzmaßnahmen betont wird (PEREIRA & COOPER 2006, SCHOLLES et al. 2008), scheint die Ökologie eine andere wissenschaftliche Richtung einzuschlagen. Ökologen müssen Feldstudien als Ausgangspunkt für Thesen und realistische Experimente wiederentdecken, um die Folgen des Biodiversitätsverlustes der Ostsee besser einschätzen zu können. Nur so können zweckmäßige Informationen kleinskaliger Versuche generiert werden, welche auf regionale Skalen extrapoliert werden können und somit für Interessenvertreter und politische Entscheidungsträger nützlich sind.

Schlussfolgerungen

Drastische Veränderungen der Umweltbedingungen auf räumlicher und zeitlicher Ebene machen die Ostsee zu einem anspruchsvollen Lebensraum für Meeres- und Süßwasserlebewesen. Hinzu kommt der Anstieg der menschlichen Aktivitäten im letzten Jahrhundert, welcher die Biodiversität dieser Region negativ beeinflusst. Die komplexen Interaktionen dieser Stressoren sowie lückenhafte Informationen zur Ökologie erschweren eine Vorhersage der Folgen des derzeitigen Biodiversitätsverlustes auf die Ökosystemleistungen und -dienste dieses Lebensraumes. Ein Großteil der bestehenden Wissenslücken lässt sich auf die Art und Weise der ökologischen Betrachtung des

jeweiligen Systems zurückführen. Die derzeitige Methodik hat reine Beobachtungsdaten als Mittel zur Bewertung der Ostsee-Biodiversität verbannt und bietet daher politischen Entscheidungsträgern wenig Unterstützung in der Entwicklung adäquater Schutzstrategien. Zukünftige Studien des Ökosystems der Ostsee sollten traditionelle Monitoring-Strategien mit realistischen Experimenten kombinieren, um die Konsequenzen des Rückgangs der Biodiversität besser zu verstehen.

Literatur

- BAILLIE, J. E. M., B. COLLEN, R. AMIN, H. R. AKCAKAYA et al. (2008): Toward monitoring global biodiversity. *Conserv Lett* 1:18-26.
- BELKIN, I. M. (2009): Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Prog Oceanogr* 81:207-213.
- BERGLUND, B. E., P. SANDGREN, L. BARNEKOW, G. HAN-NON et al. (2005): Early Holocene history of the Baltic Sea, as reflected in coastal sediments in Blekinge, southeastern Sweden. *Quat Int* 130:111-139.
- BJÖRCK, S. (1995): A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. *Quat Int* 27:19-40.
- BONSDORFF, E. (2006): Zoobenthic diversity-gradients in the Baltic Sea: Continuous post-glacial succession in a stressed ecosystem. *J Exp Mar Bio Ecol* 330:383-391.
- BUTCHART S.H.M., WALPOLE M., COLLEN B., STRIEN A. Van, SCHARLEMANN J.P.W., ALMOND R.E.A., BAILLIE J.E.M., BOMHARD B., BROWN C., BRUNO J. et al. (2010): Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* 328:1164-1168.
- CARDINALE, B. J., J. E. DUFFY, A. GONZALEZ, D. U. HOOPER et al. (2012): Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59-67.
- DÍAZ, S., J. FARGIONE, F. S. CHAPIN & D. TILMAN (2006): Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biol* 4:1300-1305.
- DUCROTOY, J. P. & M. ELLIOTT (2008): The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: Natural history, present threats and future challenges. *Mar Pollut Bull* 57:8-21.
- HAGBERG, J. & B. G. TUNBERG (2000): Studies on the Covariation between Physical Factors and the Long-Term Variation of the Marine Soft Bottom Macrofauna in Western Sweden. *Estuar Coast Shelf Sci* 50:373-385.
- HELCOM (2009): Biodiversity in the Baltic Sea. *Balt Sea Environ Proc*:188.
- JOHANNESSON, K. & C. ANDRÉ (2006): Life on the margin: genetic isolation and diversity loss in a peripheral marine ecosystem, the Baltic Sea. *Mol Ecol* 15:2013-29.
- KARLSON, K., R. ROSENBERG & E. BONSDORFF (2002): Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen deficiency on benthic fauna in Scandinavian and Baltic Waters - a review. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 40:427-489.
- KAUTSKY, L. & N. KAUTSKY (2000): The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay. In: *Seas at the millennium: an environmental evaluation: 1. Regional chapters: Europe, The Americas and West Africa*. p 121-133.
- LEPPÄKOSKI, E. & S. OLENIN (2001): The Meltdown of Biogeographical Peculiarities of the Baltic Sea: The Interaction of Natural and Man-made Processes. *AMBIO A J Hum Environ* 30:202-209.
- LOREAU, M., S. NAEEM, P. INCHAUSTI, J. BENGTTSSON et al. (2001): Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science* 294:804-8.
- MACK, R. N., D. SIMBERLOFF, W. M. LONSDALE, H. EVANS et al. (2000): Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, global Consequences, and Control. *Ecol Appl* 10(3): 689-710.
- OJAVEER, H., A. JAANUS, B. R. MACKENZIE, G. MARTIN et al. (2010): Status of biodiversity in the Baltic sea. *PLoS One* 5:1-19.
- PAAVOLA, M., S. OLENIN & E. LEPPÄKOSKI (2005): Are invasive species most successful in habitats of low native species richness across European brackish water seas? *Estuar Coast Shelf Sci* 64:738-750.
- PEREIRA, H. M. & H. D. COOPER (2006): Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends Ecol Evol* 21:123-129.
- REISE, K., S. OLENIN & D. W. THIELTGES (2006): Are aliens threatening European aquatic coastal ecosystems? *Helgol Mar Res* 60:77-83.
- REMANE, A. (1934): Die Brackwasserfauna. *Zool Anz* 7 (Suppl):34-74.
- RHEIN, M., S. R. RINTOUL, S. AOKI, E. CAMPOS et al. (2013): Observations: Ocean. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- SAGARIN, R. & A. PAUCHARD (2012): *Observation and Ecology*. Island Press/Center for Resource Economics, Washington, DC.
- SCHOLES, R. J., G. M. MACE, W. TURNER, G. N. GELLER et al. (2008): ECOLOGY: Toward a Global Biodiversity Observing System. *Science* 321:1044-1045.
- TELESH, I. V. & V. V. KHEBOVICH (2010): Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review. *Mar Pollut Bull* 61:149-155.
- TELESH, I. V., H. SCHUBERT & S. SKARLATO (2011): Revisiting Remane's concept: evidence for high plankton diversity and a protistan species maximum in the horohaliniacum of the Baltic Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 421:1-11.
- TITTENSOR, D. P., M. WALPOLE, S. L. L. HILL, D. G. BOYCE et al. (2014): A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science* 346:241-244.
- TÖRNROOS, A., E. BONSDORFF, J. BREMNER, M. BLOMQUIST et al. (2014): Marine benthic ecological functioning over decreasing taxonomic richness. *J Sea Res* 98:49-56.
- UNDERWOOD, A. J., M. G. CHAPMAN & S. D. CONNELL (2000): Observations in ecology: You can't make progress on processes without understanding the patterns. *J Exp Mar Bio Ecol* 250:97-115.
- VIOLE, C., B. J. ENQUIST, B. J. MCGILL, L. JIANG et al. (2012): The return of the variance: Intraspecific variability in community ecology. *Trends Ecol Evol* 27:244-252.
- VITOUSEK, P. M., H. A. MOONEY, J. LUBCHENCO & J. M. MELLILO (1997): Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* (80-) 277:494-499.
- YACHI, S. & M. LOREAU (1999): Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proc Natl Acad Sci USA* 96:1463-1468.

Kontakt:

M.Sc. Francisco Barboza

M.Sc. Markus Franz

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

mfranz@geomar.de

Barboza, F. & M. Franz (2016): Die Biodiversität der Ostsee: Erkenntnisse der Vergangenheit und Perspektiven für die Zukunft. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 277-283. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.45.