

Marine Biodiversitätsforschung

Ein Strategiepapier für das Konsortium Deutsche Meeresforschung

Helmut Hillebrand^{1,2}, Christian Borowski³, Thomas Brey^{2,4,5}, Frank Oliver Glöckner⁶, Julian Gutt⁴, Klaus Jürgens⁷, Ingrid Kröncke^{1,8}, Ulf Karsten⁹, Birte Matthiessen¹⁰, Timo Moritz¹¹, Ulrich Sommer¹⁰

¹ Institut für Chemie und Biologie des Meeres, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg, Schleusenstraße 1, 26382 Wilhelmshaven

² Helmholtz Institut für Funktionelle Marine Biodiversität an der Universität Oldenburg

³ Max Planck Institute for Marine Microbiology, Celsiusstr. 1, 28359 Bremen

⁴ Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Alten Hafen 26, 27568 Bremerhaven

⁵ Universität Bremen, Fachbereich 2, Postfach 330440, 28335 Bremen

⁶ Jacobs University, Life Sciences & Chemistry, Campus Ring 1 28759 Bremen

⁷ Institut für Ostseeforschung, Warnemünde

⁸ Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Senckenberg am Meer, Abt. Meeresforschung, Südstrand 40, 26382 Wilhelmshaven

⁹ Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Angewandte Ökologie und Phykologie, Albert-Einstein-Strasse 3, 18059 Rostock

¹⁰ GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Meeresforschung Kiel, Düsternbrooker Weg 20, 24105 Kiel

¹¹ Deutsches Meeresmuseum, Katharinenberg 14 - 20, 18439 Stralsund

Die Autoren sind ihrem verstorbenen Kollegen, Prof. Dr. Michael Türkay † (Senckenberg Frankfurt a. M.), dankbar, dessen Zusammenstellung der Sammlungen im marinen Biodiversitätsbereich in dieses Dokument einfluss.

Inhalt

1.	Hintergrund	3
a.	Ziel dieses Papiers	3
b.	Eine kurze Definition des Forschungsgegenstandes	3
c.	Datengrundlage und Auswertung	4
2.	Status Quo und Herausforderungen	5
a.	Forschungsinhalte	7
b.	Taxonomischer und regionaler Fokus	8
c.	Verbundprojekte	10
d.	Infrastruktur	13
i.	Sammlungen.....	13
ii.	Datenbanken und Informationssysteme.....	17
iii.	Experimentelle Anlagen	19
e.	Langzeitbeobachtung	21
f.	Molekulare Techniken für die Biodivanalyse	24
g.	Ausbildung.....	25
h.	Interaktion mit der Gesellschaft.....	27
3.	Vergleich mit der internationalen Biodiversitätsforschung	30
4.	Fazit	32

1. Hintergrund

a. Ziel dieses Papiers

Das Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM) hat im März 2014 eine Strategiegruppe „Biodiversität“ eingerichtet (http://www.deutsche-meeresforschung.de/de/sg_biodiversitaet), um auf die Ergebnisse der Strukturanalyse der deutschen Meeresforschung im Jahr 2013 zu reagieren. Die internationale Gutachtergruppe dieser durch die Wissenschaftlichen Kommission Niedersachsen (WKN) koordinierten Begutachtung bestätigte dem Thema „Marine Biodiversität, Ökosystemforschung und Ökosystemdienstleistungen“ ein hohes Zukunftspotenzial, aber empfahl eine bessere Bündelung der Forschungsstärken in Deutschland zu diesem Thema.

“The Expert Committee is highly supportive of this research theme and the strategy outlined. This area of research is well supported by research groups at universities beyond Northern Germany. The Committee recommends establishing bioinformatics and “omics” technologies further. Experimental facilities should be used mutually in “modularized experimental networks”. The experts encourage the scientific community to intensify investigation of deep sea and polar marine biodiversity. Particular care needs to be given to coastal studies (...) involving ecosystem services in the context of anthropogenic pressures and coastal spatial planning. This extends into areas that have historically been viewed as coastal zone management (monitoring, long time series, pollution, habitat modification, local fisheries, aquaculture and risk assessment). The biodiversity constellations will be best poised to further initiate transdisciplinary research which should be actively encouraged through joint funding opportunities as is the case for German research in terrestrial biodiversity, which has an extremely strong international profile. Efforts to combine these research strengths should be actively encouraged.” [WKN 2013. Structural Analysis of Marine Research in Northern Germany. Hannover, D.]

Die Strategiegruppe versteht sich als offene Gruppe, die über die Mitglieder des KDM hinaus aktuelle und zukünftige Fragestellungen im Bereich der Biodiversitätsforschung diskutiert und integrative Forschungsaktivitäten in diesem Bereich katalysiert. Diese Aktivitäten beginnen mit einer systematischen Erhebung der nationalen Forschungslandschaft in der marinen Biodiversitätsforschung, die sich mehr als andere marine Forschungsfelder einer Beteiligung vieler universitärer Arbeitsgruppen über die etablierten marinen Forschungsinstitute hinaus erfreut. Ziel dieses Artikels ist es daher, die Biodiversitätsforschung im marinen Bereich in ihrem Entwicklungsstand darzustellen, zukünftige Herausforderungen zu benennen und daraus Desiderate der Biodiversitätsforschung ableiten.

b. Eine kurze Definition des Forschungsgegenstandes

Biodiversitätsforschung ist eine interdisziplinäre Forschungsrichtung innerhalb der Umweltwissenschaften. Biodiversitätsforschung beschreibt die Vielfalt der Lebensformen, von der genetischen Vielfalt innerhalb von Arten über die Vielfalt der Arten und ihrer Wechselwirkungen bis zur Vielfalt von Lebensgemeinschaften und -räumen. Dieser Beschreibung liegt die Analyse der evolutiven und ökologischen Mechanismen zugrunde, die zu den räumlichen und zeitlichen Mustern der Biodiversität auf der Erde führen. Diese Mechanismen reichen von der Artbildung und ihrer genetischen Basis bis hin zu Faktoren der räumlichen und zeitlichen Koexistenz. Relativ rezent ist

außerdem die Frage nach der funktionellen Rolle der Biodiversität hinzugekommen, die angesichts der dokumentierten und prognostizierten Veränderung der biologischen Vielfalt die Konsequenzen für biologische Prozesse in marinen Ökosystemen untersucht und auch die daran gekoppelten, von Menschen genutzten Ökosystem-Dienstleistungen („ecosystem goods and services“). So beruhen die Kohlenstofffixierung und Biomasseproduktion, der Transfer von Energie und Materie im Nahrungsnetz, sowie der Abbau biologischen Materials in Meeresökosystemen auf der Biodiversität der beteiligten Organismengruppen. Eng mit diesen Prozessen des Energie- und Materieflusses ist die menschliche Nutzung von Nahrung und Rohstoffen („goods“) gekoppelt, aber auch „services“ wie die Sauerstoffproduktion, die Aufnahme von Kohlendioxid und Schadstoffen, oder die Etablierung attraktiver Räume für Erholung und Tourismus.

Die marine Biodiversitätsforschung hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Aufgrund lückenhafter Datengrundlage vom Küstenbereich bis in die Tiefsee können Geschwindigkeit und Ausmaß von Biodiversitätsveränderungen bislang nur unzureichend erfasst werden. Es existieren nur punktuell kontinuierliche Langzeitbeobachtungen, um solche Veränderungen überhaupt zu dokumentieren. Die Einwanderung neuer Arten („Bio-invasion“), Übernutzung durch Fischerei, Habitatzerstörung, Klimaveränderung (Erwärmung, Ozeanversauerung) oder Eutrophierung und Sauerstoffverarmung sind die potenziell wichtigsten anthropogenen Treiber der Biodiversitätsveränderung, die sich auf globaler Ebene als Biodiversitätsverlust und auf lokalen und regionalen Ebenen als Folge von Einwanderung und Aussterben darstellt. Während die einzelnen Faktoren oft untersucht werden, sind die synergistischen Effekte auf die marine Biodiversität sowie Konsequenzen für Ökosystemfunktionen wenig untersucht und somit kaum verstanden.

c. Datengrundlage und Auswertung

Die Strategiegruppe begann im Herbst 2014 mit einer Befragung der Mitgliedseinrichtungen des KDM durch einen Fragebogen, der Kenndaten zum Umfang von Forschung und Lehre im Themenbereich marine Biodiversität abgefragt hat. Aus den eingegangenen Antworten wurde eine Konsolidierung des Fragebogens erarbeitet (siehe Anhang 1) und an einen weiteren Kreis von Einrichtungen versandt. Eine möglichst breite Streuung außerhalb des KDM wurde über die Nutzung der Verteiler der deutschen Fachgesellschaften (u. a. für Ökologie, Zoologie, Botanik) und den Abgleich mit Literaturrecherchen und der Datenbank *gepris* der Deutschen Forschungsgemeinschaft erreicht. Eingehende Fragebögen wurden in eine Datenbank gespeist, mehrfache Antworten auf Standortebene zusammengefasst und dann themenbezogen ausgewertet. Hierbei stand nicht die Leistungsfähigkeit einzelner Institute im Vordergrund, sondern eine Gesamtdarstellung der deutschen marinen Biodiversitätsforschung. Der Vergleich zur internationalen Wissenschaftsgemeinschaft wurde über eine systematische Literaturanalyse ermöglicht (Kapitel 3). *Die Autoren weisen außerdem daraufhin, dass die Angaben auf Selbstauskunft beruhen, die sich jeweils auf die Biodiversitätsforschung in den Instituten bezieht und nicht auf die Institute als Ganzes.* So kann ein global operierendes Institut dennoch in der marinen Biodiversitätsforschung einen regionalen Schwerpunkt haben.

2. Status Quo und Herausforderungen

Die marine Biodiversitätsforschung findet an mehr als 40 Einrichtungen in Deutschland statt, die sich über fast alle Bundesländer erstrecken, wenn auch mit einem deutlichen Schwerpunkt in den nördlichen Bundesländern (Abb. 1). Neben den Mitgliedseinrichtungen des KDM fallen besonders die Forschungsmuseen und die vielen universitären Arbeitsgruppen auf. Die überwiegende Zahl der Standorte wird von kleinen Forschungseinheiten bestehend aus 1-2 Arbeitsgruppen repräsentiert. (Abb.2).

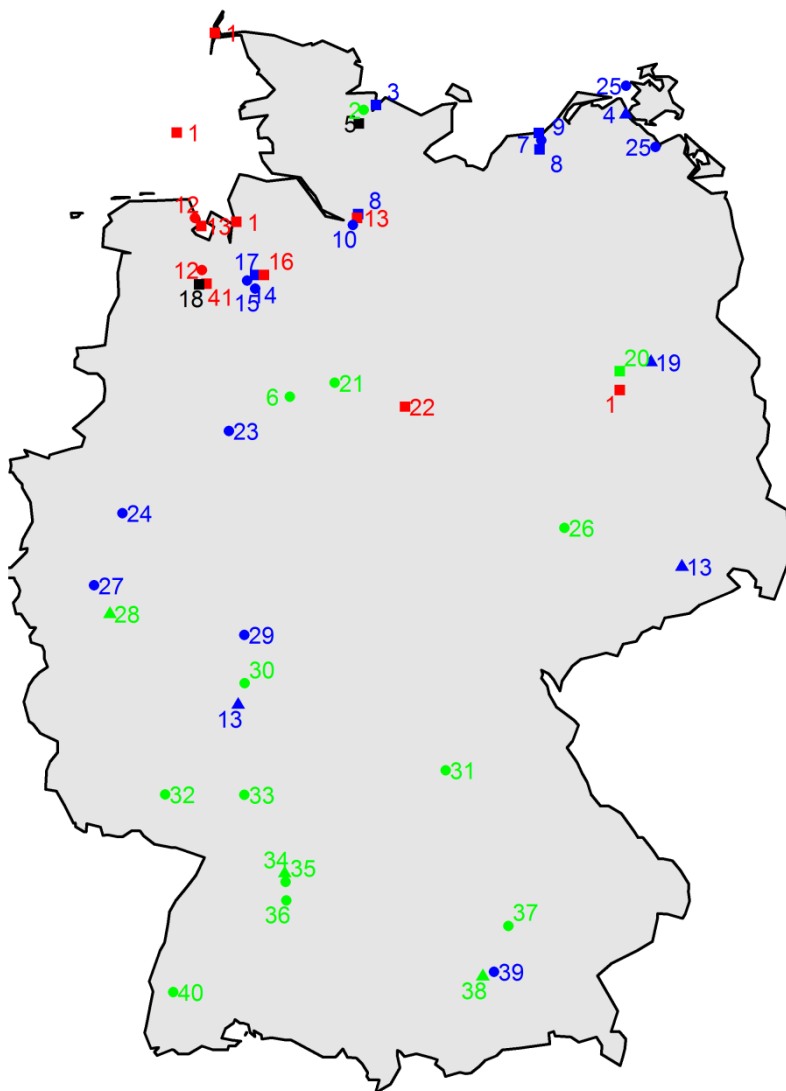


Abb. 1 Karte mit Standorten der Sammlungen (▲), Universitäten (●) und außeruniversitären Einrichtungen (■) mit eigenständiger mariner Biodiversitätsforschung in Deutschland. Farben beziehen sich auf Standorte mit hohem (rot), mittleren (blau) und geringem (grün) Umfang der Biodiversitätsforschung. Die Liste der Institutionen findet sich in Tabelle 1. Schwarz kennzeichnet Landesbehörden

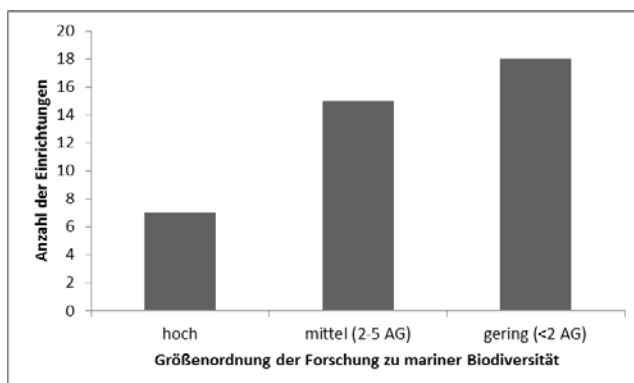


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der Selbstangabe zur Größe des Forschungsthemas am Standort (mögliche Antworten waren „einzelne WissenschaftlerInnen“, „einzelne Arbeitsgruppe“, „2-5 Arbeitsgruppen“ oder „zentrales Thema eines Instituts oder Fachbereichs“).

Tabelle 1: Liste der Institutionen mit mariner Biodiversitätsforschung in Deutschland. Der Index bezieht sich auf die Karte in Abb. 1, die Akronyme werden im gesamten Dokument verwandt.

Index	Akronym	Institution
1	AWI	Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung mit Standorten Bremerhaven, Potsdam, Sylt und Helgoland sowie der AWIPEV Forschungsbasis innerhalb der Stationen Ny Ålesund auf Spitzbergen (Arktis) und dem Dallmann-Labor innerhalb der Carlini-Station auf King George Island in der Antarktis
2	U Kiel	Universität Kiel
3	GEOMAR	GEOMAR, Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel
4	DMM	Deutsches Meeresmuseum, Stralsund
5	LLUR/LKN	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (inkl. Landesbetrieb Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz)
6	TiHo Hannover	Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
7	IOW	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
8	Thünen	Thünen-Institut, Aquatische Ressourcen, Rostock und Hamburg (zukünftig Bremerhaven)
9	U Rostock	Universität Rostock mit der Biologischen Station Zingst und der Zoologischen Sammlung
10	U Hamburg	Universität Hamburg mit Zoologischem Museum & Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften
11	BfN	Bundesamt für Naturschutz, Vilm
12	U Oldenburg	Universität Oldenburg mit Standort Oldenburg und Wilhelmshaven und Feldstation Spiekeroog
13	SGN	Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung mit Senckenberg am Meer Wilhelmshaven & Hamburg, Senckenberg Forschungsinstitute und Naturmuseen (Frankfurt a. M., Dresden, Görlitz, Weimar, Müncheberg)
14	JUB	Jacobs University Bremen
15	MARUM	Universität Bremen, Zentrum für Marine Umweltwissenschaften & Fachbereich 2
16	MPI-MM	Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, Bremen
17	ZMT	Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung, Bremen
18	NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Oldenburg
19	MfN Berlin	Museum für Naturkunde, Berlin
20	MPI-MP	Max-Planck Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie, Golm
21	U Hannover	Leibniz Universität Hannover
22	DSMZ	Leibniz-Institut DSMZ-Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig
23	U Bielefeld	Universität Bielefeld
24	U Bochum	Ruhruniversität Bochum
25	U Greifswald	Universität Greifswald mit der Biologischen Station Hiddensee
26	U Leipzig	Universität Leipzig
27	U Köln	Universität zu Köln
28	M König	Zoologisches Museum König, Bonn
29	U Giessen	Justus-Liebig-Universität Giessen
30	U Frankfurt	Goethe-Universität Frankfurt
31	FAU	Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
32	TU Kaiserslautern	Technische Universität Kaiserslautern
33	U Heidelberg	Universität Heidelberg
34	MfN Stuttgart	Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart
35	U Stuttgart	Universität Stuttgart
36	U Hohenheim	Universität Hohenheim
37	WZW	Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt (WZW) der Technischen Universität München (TUM)
38	ZSM	Zoologische Staatssammlung, München
39	LMU	Ludwig Maximilians Universität München
40	U Freiburg	Universität Freiburg
41	HIFMB	Helmholtz Institut für Funktionelle Marine Biodiversität an der Universität Oldenburg

Die überwiegende Mehrheit der Standorte arbeitet rein naturwissenschaftlich am Thema marine Biodiversität, etwa 20% beherbergen jedoch auch nicht-naturwissenschaftliche Expertise. Hierzu zählen Ökonomie (Kooperation GEOMAR – CAU Kiel in Rahmen des Exzellenzclusters „Future Ocean“), Sozialwissenschaften (z.B. in Bremen am ZMT und an der JUB), die interdisziplinäre Forschung zu marinem Naturschutz (z.B. am AWI und in Oldenburg) als auch die Interdisziplinäre Fakultät der Universität Rostock, welche Naturwissenschaftler, Agrarökologen, Ingenieure, Sozialwissenschaftler und Juristen im Department Maritime Systeme im Schwerpunkt „Küstenforschung“ vereinigt. Somit schließt die Biodiversitätsforschung in Rostock traditionell auch den unmittelbaren Küstenraum mit den inneren Küstengewässern (Bodden, Haffe), Salzwiesen, Dünen und Windwattgebieten ein. Aber auch Archäologie und Materialwissenschaften spielen an einigen Standorten eine Rolle.

Neben den eigentlichen Standorten der Institute gibt es eine Reihe von Feldstationen und Forschungsstandorte, die für die Biodiversitätsforschung genutzt werden. Im Küstenbereich sind dies vor allem die Biologischen Stationen Zingst (Rostock) und Hiddensee (Greifswald), das Forschungszentrum Wittbülten auf Spiekeroog (Oldenburg) sowie die AWI-Standorte Sylt und Helgoland. Das Alfred-Wegener-Institut betreibt Biodiversitätsforschung auch von der arktischen AWIPEV Forschungsbasis auf Spitzbergen und dem Dallmann-Labor auf King-George-Island in der Antarktis aus. Dabei geht es um überwiegend Taucher-gestützte Feldstudien und Versuche zum Biodiversitätswandel und dessen physiologischen Ursachen als Folge von Klimaänderungen. Das ZMT ist mit Forschungsstationen auf Indonesien (Pukowerto auf Java) und in Brasilien (Belem, Braganca) vertreten, Senckenberg in Bolivien (Chiquitos), Malawi (Karonga) und im Jemen (Sokotra).

a. Forschungsinhalte

Der Stellenwert verschiedener Forschungsfragen innerhalb der Biodiversitätsforschung wurde von den Institutionen in einer Selbsteinschätzung auf einer Skala von 0-3 eingeordnet (Tabelle 2 gibt die Fragen und ihre Kurztitel wieder). Der mittlere Stellenwert der Fragen ist konstant hoch, nur für die Verbindung der marinen Biodiversität zum Menschen findet sich derzeit ein deutlich geringerer Bearbeitungsgrad (Abb. 3). Dies reflektiert die oben beschriebene seltene Einbindung von Sozialwissenschaften in die marine Biodiversitätsforschung. Es fällt zudem auf, dass sich die höchste Forschungsintensität weiterhin für die Beschreibung der marinen Biodiversität ergibt, während die Erforschung der ihr zu Grunde liegenden Mechanismen und ihrer funktionellen Konsequenzen bislang nicht den gleichen Stellenwert erreicht..

Tabelle 2: Zentrale Fragen der Biodiversitätsforschung, die im Fragebogen hinsichtlich ihrer Bearbeitungsintensität abgefragt wurden.

Frage	Kurztitel
Welche Biodiversität auf der Ebene von Genen, Arten, Interaktionen und Habitaten befindet sich in bestimmten Lebensräumen?	Deskription
Welche evolutiven oder ökologischen Mechanismen führen zu den Mustern der Biodiversität, die wir beobachten?	Mechanismen
Welche Veränderungen der Biodiversität erwarten wir in Zeiten des globalen Wandels?	Veränderung
Welche Konsequenzen haben die Veränderungen der Biodiversität auf Ökosystemfunktionen?	Funktion
Welche Bedeutung haben diese Konsequenzen veränderter Biodiversität für den Menschen	Mensch

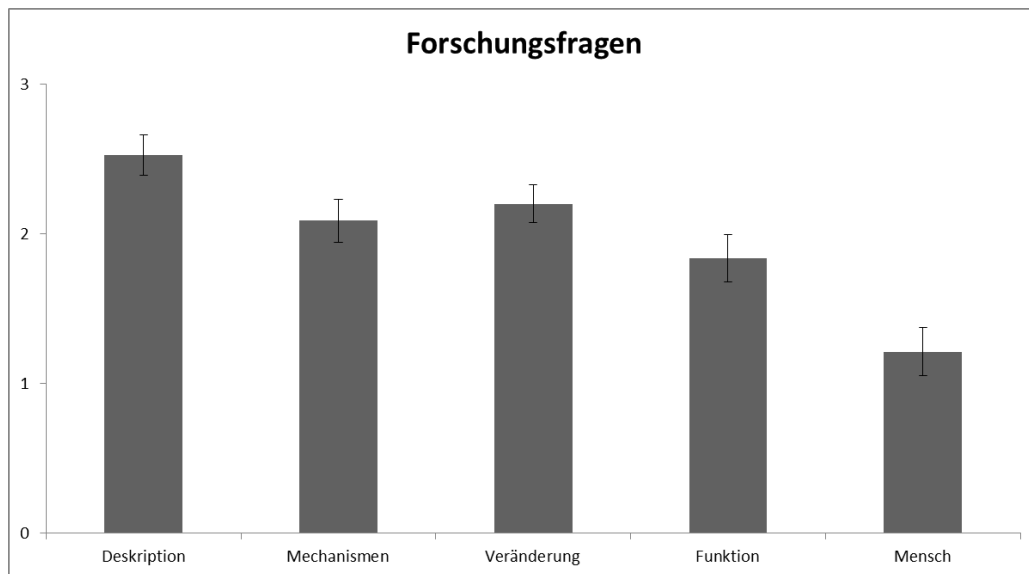


Abb. 3: Mittelwert und Standardabweichung der Antworten auf die Frage nach der Bedeutung zentraler Fragestellungen in der jeweiligen Institution.

Auf der Basis dieser Analyse ist eine besondere Zukunftsaufgabe der marinen Biodiversitätsforschung, die Einbindung der menschlichen Nutzung mariner Biodiversität in die Forschungsagenda zu fördern, sowie den direkten und indirekten menschlichen Einflusses auf die marine Biodiversität zu erforschen. Dies erfordert eine weitere Hinwendung zu interdisziplinären Herangehensweisen, wie sie exemplarisch an einigen Standorten bereits betrieben werden. Solche interdisziplinären Aspekte lassen sich jedoch nicht an allen kleinen Standorten verwirklichen.

b. Taxonomischer und regionaler Fokus

Hinsichtlich der untersuchten Taxa und Regionen ergänzen sich die Forschungseinrichtungen deutlich (Tabellen 3 und 4). Neben einigen Institutionen, die umfassend - ohne Spezialisierung auf eine oder mehrere Organismengruppen oder Regionen – arbeiten, gibt es Standorte mit institutionell verankertem Fokus auf einzelne Organismengruppen (z.B. MPI-MM Bremen auf Mikroorganismen [Tabelle 3]) oder Regionen (z.B. ZMT auf tropische Meeresgebiete [Tabelle 4]). Ebenfalls offensichtlich ist die Fokussierung auf wenige Taxa und/oder Regionen an den kleineren Standorten.

Aus der Gesamtsicht des Forschungsfeldes ist eine recht eindeutige Trennung zwischen Biodiversitätsforschung auf der Ebene der Vertebraten (Fische, Vögel, Säuger) auf der einen Seite und der Prokaryoten, Algen und Evertebraten auf der anderen Seite zu beobachten (Tabelle 3). Organismischer Fokus auf die Vertebraten schließt oft eine Betrachtung der unteren trophischen Ebenen aus (und vice versa). Dies erschwert potenziell eine Integration trophischer Dynamiken über die gesamte Bandbreite des Nahrungsnetzes und die daraus sich ergebenden Interaktionen.

Die an Deutschland grenzenden Meeresgebiete der Nord- und Ostsee werden von vielen Institutionen untersucht und bilden daher einen regionalen Schwerpunkt der deutschen Biodiversitätsforschung. Zusammen betrachtet decken die deutschen Forschungsaktivitäten aber alle marinen Lebensräume von den Polen bis in die Tropen ab (Tabelle 4). Die deutsche marine Biodiversitätsforschung bearbeitet küstennahe, ozeanische und Tiefsee-Artengemeinschaften des Pelagials, Benthos sowie der Avifauna. Damit hat sie hervorragendes Potenzial für eine integrative Entwicklung taxonomischer, ökologischer und evolutionärer Expertise.

Tabelle 3: Organismischer Fokus der Forschungsinstitutionen im Bereich mariner Biodiversitätsforschung.

Abkürzung	Prokar-yota	Protista	Phyto-plankton	Zoo-plankton	Fische	Phyto-benthos	Korallen, Schwämm	Zoo-benthos	Säugetiere , Vögel
AWI	•	•	•	•	•	•	•	•	•
DMM	-	-	-	-	•	-	•	-	•
DSMZ	•	-	-	-	-	-	-	-	-
FAU	-	-	-	-	-	-	•	•	-
GEOMAR	•	•	•	•	•	•	•	•	-
IOW	•	•	•	•	-	-	-	•	-
JUB	•	-	•	-	-	-	-	-	-
LMU	-	-	•	•	-	-	•	•	-
MfN	•	•	•	•	•	-	•	•	•
MK	-	-	-	-	•	-	-	-	-
MPI-MM	•	•	•	-	-	•	-	•	-
MPI-MP	-	-	•	-	-	-	-	-	-
NLWKN	-	-	•	•	•	•	-	•	-
U Bochum	-	-	-	-	-	-	•	-	-
U Bremen	•	•	•	•	-	•	•	-	-
U Frankfurt	-	•	-	•	•	-	-	•	•
U Gießen	-	-	-	-	•	-	•	•	•
U Greifswald	•	•	-	•	-	• ¹	-	•	-
U Hamburg	-	-	•	•	•	-	-	•	-
U Hannover	-	-	-	-	-	•	-	-	-
U Hohenheim	-	-	-	-	-	•	-	-	-
U Kiel	-	-	-	-	-	-	-	•	-
U Köln	-	•	•	-	-	-	-	-	-
U Oldenburg	•	•	•	•	•	•	•	•	-
U Rostock	•	•	•	•	•	•	-	•	-
U Stuttgart	-	•	-	-	-	-	•	-	-
SGN	•	•	•	•	•	•	•	•	•
SMNS	-	-	-	•	•	-	•	•	•
Thünen	-	-	-	•	•	-	-	•	-
TiHo Hannover	-	-	-	-	-	-	-	-	•
TU Kaiserslautern	-	•	-	-	-	-	-	-	-
ZMT	-	-	•	•	•	•	•	•	•
ZSM	•	•	-	•	•	-	•	•	•

¹ Inklusive Marine Pilze

Tabelle 4: Regionaler Fokus der Forschungsinstitutionen im Bereich mariner Biodiversitätsforschung.²

Abkürzung	Europa				Global				
	Nord-see	Ostsee	Mittel-meer	Atlantik	Tiefsee global	Offener Ozean	Küsten global	Tropen	Polarge-biete
AWI	•	-	-	-	•	-	-	-	•
DMM	-	•	-	-	-	-	-	-	-
FAU	-	-	-	-	-	-	•	-	-
GEOMAR	-	•	-	•	•	•	-	-	-
IOW	-	•	-	-	-	-	•	-	-
LLUR/LKN	•	•	-	-	-	-	-	-	-
LMU	-	-	•	-	•	•	-	-	-
MPI-MM	•	•	-	•	•	•	•	-	•
NLWKN	•	-	-	-	-	-	-	-	-
U Bremen	•	•	•	•	•	•	•	•	•
U Gießen	•	-	-	-	-	-	-	•	-
U Greifswald	•	•	-	-	-	-	-	-	-
U Hamburg	•	•	-	•	•	-	-	-	•
U Hannover	•	-	-	-	-	-	•	-	-
U Heidelberg	-	-	•	-	-	-	-	-	-
U Hohenheim	•	-	-	•	-	-	-	-	-
U Kiel	-	-	-	-	-	-	-	-	•
U Oldenburg	•	-	-	-	-	•	•	•	-
U Rostock	•	•	-	•	-	•	-	-	•
U Stuttgart	•	-	-	-	-	-	•	-	-
SGN	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Thünen	•	•	-	•	-	-	-	-	-
TiHo Hannover	•	•	-	-	-	-	-	-	•
ZMT	-	-	-	-	-	-	•	•	-

c. Verbundprojekte

Nationale und internationale Förderorganisationen finanzieren den Großteil der marinen Biodiversitätsforschung in Deutschland, auf der Skala von großen Verbundprojekten bis hin zu Einzelprojekten. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Volkswagenstiftung, und diverse Instrumente auf der Ebene der Europäischen Union fördern Verbundvorhaben im Bereich der marinen Biodiversitätsforschung. Da eine projektgenaue Auflistung im Rahmen dieses White Papers nicht zielführend sein kann (und bei Finalisierung immer bereits nicht mehr aktuell wäre), sollen hier nur einige generelle Schlussfolgerungen aus den Selbstangaben der Standorte zusammengefasst werden.

In einer Vielzahl der genannten Beispiele (und in vielen weiteren Projekten dieser Art) ist die marine Biodiversität nicht der alleinige oder der zentrale Aspekt des Forschungsvorhabens. Die generelle Interdisziplinarität der marinen Forschung reflektierend, sind organismische/biologische Fragestellungen oft in einen größeren, systemischen Kontext einbezogen. Verglichen mit der

² Hier wird explizit die Verortung der Biodiversitätskomponente der Forschung erfragt, nicht die gesamte Forschung des jeweiligen Institutes.

Situation zum Beispiel in der terrestrischen Biodiversitätsforschung ist eine integrative Betrachtung biologischer, physikalischer und (biogeo-)chemischer Aspekte innerhalb der Projekte weit fortgeschritten. Dieser systemische Ansatz ist ein besonders positives Charakteristikum der marinen Biodiversitätsforschung.

Im Rahmen der Exzellenzinitiative waren die Universitäten Kiel, Bremen und Hamburg erfolgreich, wobei das Thema marine Biodiversität vor allem im Cluster Future Ocean in Kiel und im Marum in Bremen bearbeitet wird. Beide sind zu Vollarträgen im Rahmen der aktuellen Förderlinie Exzellenzcluster aufgerufen.

Im Rahmen der DFG sind vor allem Schwerpunktprogramme ein viel genutztes Verfahren zur Förderung mariner Grundlagenforschung, da das Kooperationsgebot für viele außeruniversitäre marine Institute im Gegensatz zur DFG Sachbeihilfenförderung entfällt. Im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms 1704 (DYNATRAIT: Flexibility matters: Interplay between trait diversity and ecological dynamics using aquatic communities as model systems) nutzen ca. 35% der Projekte marine Modellsysteme (GEOMAR, AWI, HZG). In diesen Projekten wird die Rolle der Merkmalsdiversität (TraitDiversity) für die intrinsische Dynamik und die Anpassung von Ökosystemen an Umweltveränderungen untersucht. Das Infrastruktur SPP 1158 Antarktisforschung, zurzeit in Rostock koordiniert, bietet insbesondere marinen Biodiversitätsforschern/innen kleinerer Standorte die Möglichkeit, die Logistik des AWI und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) für Untersuchungen in den ansonsten schwer zugänglichen Polargebieten zu nutzen.

Neben der Beteiligung mariner Biodiversitätsforschender an diversen DFG Forschergruppen existiert zurzeit jedoch nur ein Sonderforschungsbereich mit marinem Biodiversitätsbezug, dies ist der Transregio TRR 51 Roseobacter, der von der Universität Oldenburg koordiniert wird. Auch im Bereich der DFG-Graduiertenkollegs sind Intercoast an der Universität Bremen und Transcoast in Rostock die einzig marinen Projekte.

Das BMBF fördert die marine Biodiversitätsforschung durch Verbundprojekte und Nachwuchsgruppen. Diesen Verbundprojekten (z.B. BIOACID, Koordination GEOMAR; SECOS, GENUS und SPACES, koordiniert am IOW, NOAH, koordiniert durch das Helmholtz-Zentrum Geesthacht) ist oft ein klarer Anwendungsbezug zu eigen. Als Beispiel kann das BMBF-Verbundprojekt "From Sediment to Top Predators" (STopP) dienen, dessen übergreifendes Ziel es ist, Indikatoren für die Fauna-Flora-Habitat-Direktive, die EU Vogel-Direktive und die Marine Strategy Framework Directive (MSFD) zu entwickeln, um damit den guten Umweltzustand ("good environmental status") zu bewerten. Schwerpunkte sind dabei die MSFD-Kenngrößen Meeresboden-Unversehrtheit, Nahrungsnetze und Biodiversität. Vergleichbare Projektstrukturen mit einer etwa 4-6 jährigen Laufzeit etabliert die VW-Stiftung, zum Beispiel im Rahmen des Projektes BEFMATE (Koordination U Oldenburg). Auf der Ebene der EU sind im Rahmen der Programme Biodiversa und BONUS Biodiversitätsprojekte finanziert worden.

Die großen außeruniversitären Forschungsgemeinschaften (MPG, HGF, Leibniz) nutzen ihre institutionelle Förderung zum Aufbau von Forschungsstrukturen, die eigenständig (zum Beispiel über das HGF Format Virtuelles Institut, HGF Nachwuchsgruppen oder im Rahmen der Leibniz-Allianz Biodiversität) oder im Zusammenschluss mit weiteren Förderinstrumenten marine Biodiversitätsforschung vorantreiben. Als Beispiel für einen solchen Zusammenschluss sei das AWI HAUSGARTEN-Projekt in der arktischen Tiefsee genannt, das in das BMBF-Verbundprojekt WTZ RUS "System Laptev-See: Transdrift" (2013-2016) eingebunden ist.

Deutsche Wissenschaftler/innen haben sich federführend am "Census of Marine Life" (CoML) beteiligt, einer internationalen Initiative, die in der Öffentlichkeit als "Volkszählung" der marinen Lebewesen bekannt wurde. Der Schwerpunkt der deutschen Beiträge lag dabei auf den Unterprogrammen für die Antarktis (CAML), Arktis (ArcOD) und Tiefsee (CeDAMar). Die Ergebnisse des CoML in Form einer Vielzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen sowie umfangreichen biogeografischen Datensätzen und eines umfangreichen Biogeografischen Atlas für den Südlichen Ozean stellen ein nachhaltiges und wertvolles Erbe für nachfolgende Generationen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern dar.

Den Bezug zum marinen Naturschutz entwickeln diese Projekte oft nur in ausgewählten Regionen, als Beispiel können hier die Polargebiete zählen. Traditionell haben deutsche Beteiligungen an internationalen ökologisch ausgerichteten Biologie-Projekten in der Antarktis eine erhebliche Biodiversitäts-Komponente, z.B. in den derzeitigen Programmen "Antarctic Thresholds – Ecosystem Resilience and Adaptation" (AnT-ERA) und "Status of the Antarctic Ecosystem" (AntEco) des Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). Ähnliches gilt für internationale Forschungsprioritäten mit starken Biodiversitäts-Bezug in der Arktis, wie z.B. im Rahmen der „3rd International Conference on Arctic Research Planning“ (ICARP III; 2016) des International Arctic Science Committee (IASC) oder des „Circumpolar Biodiversity Monitoring Program“ (CBMP) der Biodiversitäts-Arbeitsgruppe „Conservation of the Arctic Flora and Fauna“ (CAFF) des Arktischen Rats.

Aus diesem Zustandsbericht ergeben sich nach Ansicht der Strategiegruppe Herausforderungen vor allem im Bereich von größeren biodiversitätszentrierten Verbundprojekten und im Bereich Interdisziplinarität. Der insgesamt hohe Infrastrukturaufwand bei marinen Projekten führt dazu, dass ein erheblicher Teil der Meeresforschung in außeruniversitären Instituten stattfindet, so dass hier bei DFG Verbundformaten wie SFB und Forschergruppen das Primat universitärer Arbeitsgruppen nicht immer leicht einzuhalten ist. Eine kritische Masse für ortsgebundene Verfahren wie Sonderforschungsbereiche existiert in Deutschland selten, daher sind für die marine Biodiversitätsforschung vor allem ortsverteilte Ansätze erstrebenswert.

Eine Erweiterung der sehr effizienten terrestrischen Exploratorienstruktur (<http://www.biodiversity-exploratories.de/startseite/>) um aquatische (limnische und marine) Standorte wäre aus Sicht der Strategiegruppe eine sehr zielführende Maßnahme. Solche Exploratorien erlauben eine enge Verbindung zwischen Experten für Organismengruppen und langfristigen ökologischen Arbeiten zu globalem Wandel und den entsprechenden Ergebnissen. Ein solcher Forschungsverbund könnte im marinen Bereich in ein globales Netzwerk von Forschungsstationen eingebunden werden, da die marinen Institutionen in Deutschland weltweit über Kooperationen Zugang zu marinen Standorten etabliert haben.

Im Bereich Interdisziplinarität sind viele Weichen für zukünftige interdisziplinäre Projekte gestellt, aber gegenwärtig sind solche Projekte zu wenig vertreten. Besonders, aber nicht nur, für kleinere Institute ergeben sich Probleme (kritische Masse für Verbundprojekte) aber auch Chancen (breites Feld an vielen, auch gerade nicht auf Meeresbiologie spezialisierte Universitäten) hinsichtlich interdisziplinärer Zusammenarbeit. In Begutachtungen haben es monodisziplinäre Ansätze in ihrer eigenen Community immer noch leichter zur Förderung vorgeschlagen zu werden. Hier scheint es sinnvoll vor allem in der programmatischen Förderung direkte Anreize zu setzen.

Besonders zu nennen ist an dieser Stelle der Wegfall der Auswerteprogramme für Ausfahrten. Zwar ist zum einen einzusehen, dass die Auswertung der schiffsgestützten Daten der gleichen stringenten Begutachtung unterliegen muss wie andere Forschungsvorhaben. Zum anderen ist aber das Erheben

von Daten ohne ihre Auswertung zweckfrei. Hier empfiehlt die Strategiegruppe über Konzepte nachzudenken, wie Daten aus schiffsgestützten Expeditionen wissenschaftlich ausgewertet werden sollen.

d. Infrastruktur

Der marinen Biodiversitätsforschung steht eine große Bandbreite an Forschungsinfrastruktur zur Verfügung, von der Nutzung der Forschungsflotte und damit assoziierter seegängiger Technologie (von der CTD-Sonde bis zum Tiefsee-ROV) bis zu Langzeitbeobachtungsstationen. Diese Infrastruktur ist oft die primäre Voraussetzung, um Probenmaterial zu sammeln und an Kontextinformation zu gelangen. Darüber hinaus verfügen die Institutionen der marinen Biodiversitätsforschung über eine große Anzahl analytischer Großgeräte (z.B. Elektronenmikroskopie, NanoSIMS, Massenspektrometer verschiedener Prägung, Durchflusszytometer, molekulare Techniken („omics“)). Diese Infrastruktur wird weitgehend von den Biodiversitätsforschenden genutzt, ist aber nicht für das Forschungsfeld spezifisch. In diesem Kapitel begrenzen wir uns daher auf drei Aspekte der Infrastruktur, die eine besondere Bedeutung in der Biodiversitätsforschung haben: Sammlungen, Biodiversitätsdatenbanken und experimentelle Anlagen.

Bevor diese im Einzelnen vorgestellt werden, sei auch hier explizit auf die große Bedeutung kleinerer Standorte für die marine Biodiversitätsforschung und ihren Bedarf, Zugang zur Infrastruktur zu erhalten, hingewiesen. Insbesondere kleinere Institutionen machen regelmäßig davon Gebrauch, z.B. für "Polarstern"-Expeditionen mit Biodiversitätsschwerpunkt neben Vollarträgen auch viel weniger aufwändige Nebennutzeranträge zu stellen. Hier wäre zu überlegen, ob solche Nebennutzeranträge auch für andere große und mittelgroße Forschungsschiffe möglich sein können. Um den Bedarf abzuschätzen und für Fälle, wo spätes „Aufspringen“ auf geplante Fahrten oft inhaltlich oder logistisch nicht machbar ist, empfiehlt die Strategiegruppe über Formate zur Bildung von Netzwerken nachzudenken, über die Ausfahrten koordiniert und gemeinsame Interessen bekundet werden können.

i. Sammlungen

Marine Sammlungen von Tieren, Pflanzen und anderen Organismen stellen Archive der Biodiversität dar, an denen man Änderungen in verschiedenster Hinsicht untersuchen kann. Zum einen wird durch sie ermöglicht, frühere Vorstellungen und Ergebnisse neu zu interpretieren und damit Kontinuitäten in der Deutung von Lebensraumbesonderheiten zu ermöglichen, zum anderen aber auch bei gleicher Interpretation historische Vorkommen zu überprüfen und mit heutigen zu vergleichen. Sammlungen sind außerdem die Grundlage der taxonomischen Forschung, die ihrerseits auch die Grundlage von Lebensraumbeschreibungen bildet. Aus diesem Grund werden solche Objekte und Sammlungen an Fachinstitutionen archiviert, langfristig betreut und zugänglich gehalten. Größere marine Objektsammlungen gibt es im gesamten Land. Es handelt sich bei der Konservierung des Forschungsmaterials um eine nationale Aufgabe. Folgende Institute beherbergen langfristig größere marine Sammlungen:

- Deutsches Meeresmuseum, Stralsund
- Hustedt Zentrum für Diatomeenforschung am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
- Leibniz-Institut DSMZ-Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig
- Museum für Naturkunde, Berlin
- Senckenberg Forschungsinstitute und Naturmuseen (Frankfurt a. M. und Dresden)

- Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart
- Universität Hamburg, Centrum für Naturkunde, Zoologisches Museum
- Zoologisches Museum der Universität Kiel
- Zoologische Staatssammlung, München
- Zoologische Sammlung der Universität Rostock

Die Bestände sind unterschiedlich groß, aber aufgrund der Geschichte der Häuser sehr verschiedener Herkunft und daher auch von historischer Bedeutung. Sie bilden die Grundlage zu zahlreichen bedeutenden Publikationen über unwiederbringliche historische Materialbestände. Grundsätzlich sind in allen genannten Sammlungen Objekte aus der Fauna aller Weltregionen vertreten. Besondere Schwerpunktgebiete mit einer höheren Sammelaktivität sind einerseits die europäischen Meere (NE-Atlantik, Nordsee, Ostsee, Mittelmeer), andererseits ehemalige Kolonialgebiete in Afrika und in der Südsee, wie auch nahöstliche Meere (z. B. das Rote Meer, aus dem alle Institute größere oder kleinere Aufsammlungen besitzen). Hinzu kommen bei einigen Instituten ostasiatische Sammlungen. Insbesondere in den Hamburger Sammlungen bilden Belege aus den Südkontinenten („Gondwanaland“) einen besonderen Schwerpunkt. Diese Bestände werden zunehmend digital erfasst und sind mittlerweile zum Teil über Internetportale (z. B. GBIF, Global Biodiversity Information Facility) recherchierbar.

Während Küstenaufsammlungen weitgehend zerstreut sind und abhängig von der jeweiligen Historie und Tradition in unterschiedlichen Instituten vorgehalten werden, ist dies bei den meisten größeren ozeanographischen Unternehmungen anders. Deutschland unternahm in der Zeit nach der Reichsgründung 1871 bis zum Ersten Weltkrieg mehrere große Forschungsreisen, deren Material in bestimmten Instituten konzentriert lagert:

- Expeditionen zur Erforschung deutscher Meere ab 1871: Diese später auch als „Terminfahrten“ (1901-1912) bezeichneten Nord- und Ostseefahren fanden jährlich in regelmäßigen Abständen statt und wurden von der 1870 gegründeten „Commission zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Meere“ organisiert. Aus heutiger Sicht sind sie von unschätzbarem Wert, da sie die Benthosfauna in der Periode vor dem Ersten Weltkrieg gut dokumentieren und damit eine Vergleichsbasis für Faunenveränderungen bieten. Das Material, das während dieser Unternehmungen gesammelt wurde, befindet sich im Zoologischen Museum der Universität Kiel.
- Expedition SMS „Gazelle“ 1874-76 (Weltumseglung): Überwiegend Untersuchung der Meeresbodenstruktur und der Strömungen. Das Zoologische Sammlungsmaterial befindet sich im Museum für Naturkunde in Berlin.
- Die Plankton-Expedition der Humboldt-Stiftung 1889: Das auf dieser Expedition gesammelte Material befindet sich im Museum für Naturkunde in Berlin.
- Die Deutsche Tiefsee-Expedition 1898/99: Das Hauptmaterial lagert am Berliner Museum für Naturkunde, Doubletten wurden aber von der Expeditionsleitung weit in Deutschland verteilt, so dass sie heute auch in mittleren und kleineren Häusern und universitären Präparatesammlungen ohne spezialisierte marine Sammlungen zu finden sind.
- Die Deutsche Südpolar-Expedition: Das unterwegs gesammelte Material sowie auch einige Küstenaufsammlungen befinden sich im Museum für Naturkunde in Berlin.
- Bei den modernen meeresbiologischen Expeditionen mit größeren nationalen Forschungsschiffen wurde allein für „Meteor“ ein bundesweites Aufbewahrungs- und Verteilungssystem geschaffen, bei dem bestimmte Institute und Museen für bestimmte Tiergruppen zuständig sind. Das "Meteor Material Archiv" wird am Deutschen Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung (DZMB), Senckenberg am Meer, in Wilhelmshaven koordiniert.

Bezüglich der übrigen größeren Forschungsschiffe existieren entsprechende Regelungen nicht, so dass im Einzelfall geprüft werden muss, wo das gesammelte Material untergebracht wurde. Eine interinstitutionelle Absprache existierte lediglich zwischen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (heute Thünen-Institut für Seefischerei) und dem Zoologischen Museum Hamburg bezüglich des Materials von FFS „Walther Herwig“ soweit es von der BfA (bzw. Thünen-Institut) gesammelt wurde.

Die Größe und die Verteilung der marinen Sammlungsobjekte werden in Tabelle 5 dargestellt. Insgesamt sind an deutschen Sammlungsinstitutionen etwa 1,2 Millionen Zähleinheiten aufbewahrt. Als „Zähleinheiten“ werden sowohl Einzelstücke (z.B. bei Vertebraten oder großen Objekten) als auch Serien von Objekten vom gleichen Fundort, mit gleichem Datum und gleicher Identität bezeichnet. Insofern handelt es sich dabei nicht um Individuenzahlen, die im Schnitt um etwa ein zehnfaches höher liegen dürften. Die größten marinen Sammlungen befinden sich an den vier großen Museen Frankfurt, Berlin, Hamburg und München. Bezüglich der Tiergruppen stehen die artenreichen Gastropoden an der Spitze, gefolgt von Fischen, Crustaceen und Muscheln. Im Detail ergeben sich aus der jeweiligen Tradition der Institution heraus deutliche Unterschiede. Größe bedeutet auch nicht, dass alles historisch wertvolle und wichtige Material in den größten Sammlungen lagert. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Kieler Sammlungen des Materials der „Terminfahrten“ in Nord- und Ostsee. Für isolierte und kultivierte Mikroorganismen ist darüber hinaus das DSMZ und die Friedrich-Hustedt Sammlung für Diatomeen am AWI von größter Bedeutung. Die Gesamtheit aller dieser Sammlungen sollte also stets als wichtige Infrastruktur und Dokumentation der biologischen Meeresforschung in Deutschland und darüber hinaus angesehen werden. Darüber hinaus wird an einigen Institutionen marines Probenmaterial tiefgefroren (-80°C) gelagert, welches für spätere molekulargenetische Untersuchungen, v.a. an Mikroorganismengemeinschaften (z.B. Sequenzierung extrahierter DNA), genutzt werden kann. Am IOW werden z.B. seit etwa 10 Jahren regelmäßig an ausgewählten Langzeitbeobachtungsstationen Wasserproben abfiltriert und eingefroren. Dieses dient v.a. der molekularbiologischen Erfassung von Mikroorganismengemeinschaften. Es gibt derzeit keine genaue Übersicht des eingefrorenen und für molekulare Analysen geeigneten Probeninventars an den deutschen Meeresinstitutionen.

Zur besseren Nutzung dieser zerstreuten aber weltweit einzigartigen Expertise (s. Kapitel 4, Vergleich mit der internationalen Forschung) empfiehlt die Strategiegruppe Expertenprofile der maritimen Taxonomie in einem Atlas zu bündeln und so in ihrer Gesamtheit darzustellen. Wir empfehlen weiterhin, klassische taxonomische Ansätze mit molekularen, akustischen und optischen Erfassungsmethoden zu koppeln und Förderlinien für die reine Grundlagenerfassung der Biodiversität vorzusehen, vor allem im Rahmen BMBF-geförderter Maßnahmen. Einen Ausbau der Biodiversitätsgrundlagen und ihrer evolutionären Einordnung in die Pflichtbereiche von grundständigen Curricula ist zu fördern.

Tabelle 5: Zusammenstellung marin biologischer Objekte (Zähleinheiten) an deutschen Sammlungsinstitutionen und Museen (Stand März 2015).³

Taxa	AWI	DMM	DSMZ	MfN	SGN	SMNS	ZMH	ZMK	ZSM	ZSRo	Summe
Bacteria & Archaea			1310								
Bacillariophyta	140.000										140.000
Fungi & Hefen			12								
Protozoa				1.000	60			750	15	100	1.865
Porifera		90		12.500	10.837		2.557	100	600	100	26.784
Cnidaria		3.050		15.000	15.769	350	4.875	180	7.470	50	46.744
Ctenophora				430	120		8	10	15	5	588
Entoprocta				10			10		1	5	26
Platyhelminthes				1.500	46		150	10	60	30	1.796
Nemertea				426	71		330		110	50	987
Nematoda				50	149		900	20		10	1.129
Cephalorhyncha				100			17			10	127
Acanthocephala				526	4		10				540
Rotifera				515				80		100	695
Gastrotricha				12			6	100			118
Echiura				49	26		36	5	12	5	133
Sipuncula				354	237		258	25	120	10	1.004
Polychaeta		100		7.334	18.914	250	27.175	4.000	600	5.000	63.373
Clitellata		20		4.314	2		50	100	20	200	4.706
Chelicerata		30		430	1.600		1.140	250	1.150	2.500	7.100
Crustacea		3.700		30.000	62.200	500	44.286	7.000	14.500	2.000	164.186
Tardigrada					33		42		1		76
Brachiopoda				2.500	277		155	5	280	50	3.267
Bryozoa				2.800	20.500		1.540	500	500	50	25.890
Phoronida				10	9		7			10	36
Gastropoda		6.440		100.000	155.000	54.000	24.000	8.000	90.000	12.000	449.440
Bivalvia		2.610		20.000	54.000	9.000	11.500	5.000	5.000	3.000	110.110
Cephalopoda		200		1.000	400	150	3.250	150	500	20	5.670
Mollusca Diversa				4.000	1.200	300	1.500	100	4.500	50	11.650
Xenacoelomorpha							10				10
Hemichordata				50	32		11	150	6		249
Echinodermata				7.500	4.531	50	5.850	1.900	5.500	100	25.431
Chaetognatha				286	49		560	20	50	10	975
Chordata Diversa				100					50		150
Tunicata				4.000	2.006	75	1.750	100	350	20	8.301
Pisces		4.000		23.000	26.750	14.200	52.000	1.200	5.100	750	127.000
Tetrapoda		880			161	50		200		20	1.311
Summe	140.000	21.120		239.796	374.923	78.925	183.983	29.955	136.510	26.255	1.091.425

³ Abkürzungen: AWI: Hustedt Zentrum für Diatomeenforschung am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung; DMM = Deutsches Meeresmuseum Stralsund; DSMZ = Leibniz-Institut DSMZ, Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, MfN = Museum für Naturkunde, Berlin; SGN = Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung; SMNS = Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart; ZMH = Zoologisches Institut und Museum der Universität Hamburg; ZMK = Zoologisches Museum der Universität Kiel; ZSM = Zoologische Staatssammlung, München; ZSRo = Zoologische Sammlung der Universität Rostock.

ii. Datenbanken und Informationssysteme

Die Biodiversitätsinformatik ist ein besonders wichtiger Baustein der zukünftigen Biodiversitätsforschung im Meer. Dies lässt sich sowohl mit der Massierung von Datenmengen durch molekulare und semi-automatisierte Erfassungsmethoden begründen, als auch mit der zunehmenden Bedeutung historischer Daten zur Analyse von Langzeittrends.

Das vom AWI und Marum betriebene Publikations- und Archivsystem für Daten der Erdsystemforschung (PANGAEA) erfasst seit 20 Jahren Ergebnisse der meeresforschenden Einrichtungen in Deutschland. Bezüglich Daten der Biodiversität liegt der Schwerpunkt auf der Ablage von Artvorkommen in einem konsistenten Format, eingeordnet in Zeit und Raum: Jeder der ca. 1,2 Milliarden biodiversitätsrelevanten Datenpunkte zu ca. 35 000 Arten ist georeferenziert.

Mit dem Schwerpunkt funktioneller Aspekte werden im AWI für die Arktis, Nordsee und Antarktis auf großen räumlichen und langen zeitlichen Skalen überwiegend benthische Biodiversitätsmuster untersucht. Dabei erlaubt ein einheitlicher methodischer Ansatz den Aufbau und das Management georeferenzierter Wissenssysteme, um große Datenbestände aus den verschiedenen Regionen systematisch zu sichern, allgemein verfügbar zu machen und wissenschaftlich zu nutzen.

PANGAEA beherbergt auch Tausende von georeferenzierten Fotos des Meeresbodens und Videos mit Metadaten, die als Primärdaten eine große Fülle an Biodiversitätsinformationen beinhalten. Der Fokus liegt hier insbesondere auf räumlichen oder zeitlichen Habitatsmustern, die von den auf dem Sediment siedelnden und abgebildeten Organismen sowie abiotischen Sedimentparametern geprägt werden. Walflossen werden zum Studium von innerartlicher Biodiversität fotografiert. Die Fotos werden in internationalen Katalogen aufgenommen und sind über das Portal der Southern Ocean Research Partnership (IWC-SORP) erreichbar. Unterseeische akustische Aufnahmen liefern Informationen zur Diversität, zum Vorkommen und Verhalten von marinen Säugern. PANGAEA beherbergt solche Wal- und Robbenrufe, die in der Antarktis nahe der deutschen Neumayerstation von dem PALAOA Observatorium (Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean) und küstenfern entlang des Greenwich Meridians und im Weddellmeer aufgenommen wurden.

Die SeSam-Datenbank erschließt die bei Senckenberg vorhandenen Sammlungsobjekte und die einiger anderer Museen. Aktuell wird an der Umstellung der Sammlungs- und Datenverwaltung auf ein neues WMS unterstütztes Datenbanksystem mit Suchfunktion namens AQUILA gearbeitet.

Das SILVA rRNA Datenbank-Projekt wird in einer Zusammenarbeit der Microbial Genomics and Bioinformatics Group am Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen, der Jacobs University und der Firma Ribocon GmbH in Bremen betrieben. Sequenzierung und Analyse der ribosomalen RNA Gene ist gegenwärtig das Mittel der Wahl für die phylogenetische Rekonstruktion von mikrobieller Diversität. Für die Rekonstruktion der Eukaryoten-Phylogenie ist sie neben der klassischen, auf taxonomischer Analyse basierenden, Systematik unverzichtbar geworden. SILVA stellt eine umfassende Online-Ressource für qualitätskontrollierte ribosomale RNA-Sequenz-Daten im fertigen „Alignment“ für alle drei Domänen des Lebens zur Verfügung (Bacteria, Archaea und Eukarya). SILVA bezieht seine Datenbasis aus internationalen Sequenzdatenbanken wie NCBI, EMBL/EBI-ENA und GenBank und bereitet diese für die phylogenetische Analyse vor (Qualitätskontrolle der Sequenzen, Alignment, Zusammenstellung von Metadaten). Das SILVA-Projekt bietet Datensätze und Tools zur phylogenetischen Analyse von rDNA-Sequenzen und der Klassifikation von Sequenzdaten an. Die Bereitstellung von qualitätskontrollierten rDNA Datensätzen

zusammen mit einer manuell gepflegten Taxonomie sowie Analyse-Tools und Pipelines stellt eine weltweit einzigartige Ressource für die molekulare Biodiversitätsforschung dar (www.arb-silva.de).

Seit Ende 2013 bilden 12 deutsche Universitäten, sieben deutsche Museen- und Sammlungsarchive sowie ausgewählte molekular-biologische Archive und Dienste den von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten GFBio Verbund (www.gfbio.org). Die von GFBio generierte nationale Dateninfrastruktur ist kollaborativ, dienstleistungsorientiert und nachhaltig. Sie ist in der Lage heterogene Daten aus verschiedensten Disziplinen zu archivieren und zu integrieren. Damit ermöglicht sie die effiziente Zusammenstellung und Nutzung von großen und komplexen Datenprodukten für innovative Ansätze und die effiziente Nachnutzung großer Datenmengen im Bereich der Biodiversitätsforschung.

Die steigende Menge, Qualität und Vielseitigkeit biologischer Daten erfordert stetige Verbesserung des Forschungsdatenmanagements, bei dem drei Aspekte entscheidend sind:

1. Standards

Standards sind für die Ökosystembiologie essentiell, da sie den maschinellen Austausch und damit die großflächige Integration von Daten erst ermöglichen. Zur Förderung von Standards in der Molekularbiologie wurde 2005 das *Genomic Standards Consortium* (GSC) gegründet. Die derzeit mehr als 100 Mitglieder haben das Ziel, die Auffindbarkeit, Vergleichbarkeit und Integration von Daten durch Beschreibung der Mindestanforderungen für Metadaten bei der wissenschaftlichen Veröffentlichung von Genomen, Metagenomen und Marker-Genen zu verbessern.

2. FAIR Daten

Die Möglichkeit verschiedene Datentypen (z.B. molekulare Biodiversitätserfassung mit biologischen und abiotischen Umweltdaten) zu verschneiden ist neben der Standardisierung der Metadaten in erster Linie eine Frage der Datenzugänglichkeit. Basierend auf dem weltweit zunehmenden Bewusstsein über die Bedeutung von integrativen Studien wurden die folgenden „FAIR“ Prinzipien für das Management von Forschungsdaten aufgestellt: Forschungsdaten müssen auffindbar (**F**indable), zugänglich (**A**ccessible), interoperabel (**I**nteroperable) und wiederverwendbar (**R**e-usable) sein.

3. Infrastrukturen

Ökosystemare Forschung braucht für die großvolumigen Daten (Big Data) nachhaltige und effiziente Speicher- und Datenmanagement-Lösungen, um diese mittels bioinformatischer Methoden integrieren und analysieren zu können. Somit sind leistungsfähige „Big Data“-Infrastrukturen von zentraler Bedeutung. Dies wird derzeit durch leistungsfähige nationale und europäische Infrastrukturen realisiert. Neben GFBio sind das unter anderem das Deutsche Netzwerk für Bioinformatik Infrastruktur (de.NBI, www.denbi.de) und die europäische Infrastruktur ELIXIR (www.elixir-europe.org).

Trotz der intensiven Bemühungen von Forschungsförderern und anderen nationalen und internationalen Organisationen, das Forschungsdatenmanagement als essentiellen Bestandteil des Datenlebenszyklus in der wissenschaftlichen Praxis zu etablieren, gibt es bis heute ein Vollzugsdefizit. Um dem entgegenzuwirken, ist der Aufbau einer nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) geplant.

Die Strategiegruppe empfiehlt eine aktive Rolle des KDM bei der Standardisierung und Kontextualisierung von Forschungsdaten sowie bei der Bereitstellung von Anreizen, um die Bereitschaft zu erhöhen, Forschungsdaten zu publizieren, öffentlich zugänglich zu machen und die Datenpublikation als essentiellen Bestandteil jedes Forschungsprojektes zu etablieren.

iii. Experimentelle Anlagen

Funktionelle Veränderungen im Ökosystem aufgrund einer Veränderung der Biodiversität sowie die Mechanismen der Koexistenz von Arten lassen sich empirisch besonders gut unter Zuhilfenahme von experimentellen Studien analysieren. Konsequenterweise haben Institutionen mit einem starken Bezug zur marinen Biodiversitätsforschung erheblich in den Aufbau von experimentellen Anlagen investiert, die in-situ oder ex-situ eine kontrollierte Manipulation von Biodiversität und ihren Treibern auf relevanten ökologischen Skalen von Raum und Zeit ermöglichen (Abb. 4). Im Rahmen dieses Kapitels beschreiben wir eine Auswahl dieser experimentellen Infrastruktur. Während jede einzelne dieser Infrastrukturen in einen oder mehrere internationale Verbünde eingebracht wird, findet auf nationaler Ebene bisher kaum Koordination zu diesen experimentellen Infrastrukturen statt. Die untenstehende Zusammenstellung ist also beispielhaft zu verstehen.

International gibt es bereits sehr weitgehende Koordination von beobachtender Infrastruktur (ILTER, GeoBON) und auch – oft zeitlich begrenzte, da projektbasierte – Ansätze zur Koordination von Experimentinfrastruktur (MesoAqua, Aquacosc). Eine entsprechende Koordination deutscher Plattformen für experimentelle Biodiversitätsforschung wäre wünschenswert, um gerade Forschenden an kleineren Standorten den Zugang zu diesen Anlagen zu ermöglichen. Ein sehr viel versprechender Weg für experimentelle Forschung ergibt sich aus modularisierten Experimenten, die eine Fragestellung an mehreren Standorten untersuchen oder übergreifend and verschiedenen Organismengruppen bearbeiten und dadurch zu generellen Ergebnissen kommen können. Solche modularisierten Ansätze wurden sehr erfolgreich in terrestrischen Ökosystemen durch das Nutrient Network (www.nutnet.org) und in marinen Systemen durch das Zostera Experimental Network (<http://zenscience.org/>) und das primär aus der internationalen Masterausbildung stammende GAME-Projekt (www.geomar.de/forschen/fb3/fb3-eoe/fb3-eoe-b/game/) etabliert.

Das KOSMOS System (Kiel Off-Shore Mesocosms for Ocean Simulations) des GEOMAR (Abb. 4 oben links) ist eine seegehende, mobile Experimentierplattform bestehend aus 10 freitreibenden Mesokosmen. In einem flexiblen Kunststoffschlauch von 2 Meter Durchmesser und bis zu 25 Meter Länge umschließt jeder Mesokosmos ein Wasservolumen von 65.000 Litern inklusive der darin enthaltenen natürlichen Planktongemeinschaft. Die Anlage kann sowohl verankert wie auch freitreibend im Meer eingesetzt werden. Regelmäßiges Reinigen des Schlauches verhindert die Bildung von Wandaufwuchs und ermöglicht die Durchführung von Langzeitexperimenten. In den abgeschlossenen Welten (Mesokosmen = mittelgroße Welten) können zukünftige Bedingungen im Ozean simuliert und die Reaktionen mariner Lebensgemeinschaften auf Veränderungen der Umwelt untersucht werden. Das KOSMOS System wurde bereits erfolgreich in der Nord- und Ostsee, in der Arktis vor Spitzbergen und im subtropischen Atlantik vor Gran Canaria sowie im Pazifik vor Hawai'i eingesetzt.



Abb. 4: Einige Experimentalanlagen für die marine Biodiversitätsforschung. oben links) Plankton Mesokosmen des GEOMARs (www.bioacid.de); oben mitte) Benthische Mesokosmen am GEOMAR (www.geomar.de); oben rechts) Indoor Mesokosmen (1300L) des GEOMAR. unten links) Mesokosmenanlage des AWI auf Sylt. unten mitte) Plankotronanlage des ICBM in Wilhelmshaven (12 Behälter zu 600L, www.planktotrons.de); unten rechts) Aquarienanlage U Giessen.

Die Kieler Benthokosmen (GEOMAR) bestehen aus 6, in je 2 Untereinheiten geteilte, auf ein Floß montierte Becken (Abb. 4 oben Mitte), in denen CO₂-Zufuhr, Temperatur, Nährstoffzugabe und Zusammensetzung der experimentellen Lebensgemeinschaften manipuliert werden können. Bisher wurden *Fucus*- und Seegras-Gemeinschaften als experimentelle Systeme genutzt und im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes BIOACID vor allem Fragen der Kombinationswirkung von Versauerung mit anderen Stressoren (Erwärmung, Eutrophierung, Hypoxie) untersucht.

Die Indoor Mesokosmenanlage am GEOMAR dient vor allem der experimentellen Analyse der Reaktion von Planktongemeinschaften auf Umweltveränderungen auf der Zeitskala von Wochen bis einigen Monaten (Abb. 4 oben rechts). Sie besteht aus 12 Mesokosmen (1400L) in 4 Kulturräumen. Licht, Temperatur und CO₂-Zufluss können gesteuert werden. Dabei sind sowohl die Einstellung konstanter Niveaus als auch von diurnalen und saisonalen Verläufen möglich. Die Anlage wurde bisher vor allem für Gruppenexperimente im Rahmen der DFG-Schwerpunktprogramme AQUASHIFT (abgeschlossen, Schwerpunkt auf Effekten der Klimaerwärmung) und DYNATRAIT (laufend, Schwerpunkt auf der Rolle der Merkmals-Diversität), des EU-Projekts MESOAQUA und des BMBF-Verbundprogramm BIOACID (Schwerpunkt auf Kombinationseffekten von Erwärmung und Versauerung) eingesetzt.

Die Sylter Mesocosms (Abb. 4 unten links) bestehen aus 12 unabhängigen Einheiten mit je 1800 Liter Volumen. Jede Einheit besitzt eine Gezeiten-Simulation. Je zwei Kosmen teilen sich ein Multiparameter-Messsystem, das pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit und Sauerstoff misst und aufzeichnet. Zusätzliche Parameter wie Licht, Nährstoffe, gelöster und partikulärer Kohlenstoff, Chlorophyll a, Alkalinität und Spurenelemente werden separat erfasst. Um die Ozeanversauerung zu simulieren, ist die Anlage mit einer CO₂-Mischanlage verbunden. Im Rahmen des REEPON Projektes wurde im Freiland vor Helgoland ein experimentelles Riff (REEF) etabliert. Große Teichanlagen (POND) sind zurzeit in Planung (anvisiert ~400 m³). Dort wird es möglich sein, komplette Gemeinschaften unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen.

Die Planktotrone (Abb. 4 unten Mitte) des ICBMs in Wilhelmshaven sind eine 2014 in Betrieb genommene Versuchsanlage, die mit 12 Behältern zu 600 L die experimentelle Analyse von Biodiversität und ihren Treibern erlaubt. Die Einheiten können temperaturkontrolliert, inklusive einer Sprungschicht, betrieben werden und erlauben die unabhängige Manipulation von Lichtquantität und -qualität sowie die Zufuhr mineralischer Ressource. Weiterhin erlauben sie einen Betrieb mit Sedimentbedeckung des Bodens. Ein Impeller mit Silikonlippe verhindert den Wandbewuchs, so dass mehrmonatige Experimente möglich sind. Die einzelnen Einheiten können im Durchfluss betrieben oder zu Metagemeinschaften verbunden werden.

e. Langzeitbeobachtung

Mehrere der genannten Institutionen betreiben Langzeitbeobachtungen an verschiedenen Organismengruppen. Solche Untersuchungen sind zwingend notwendig, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität mariner Organismen zu dokumentieren, und ermöglichen erst so die Analyse komplexer Langzeitveränderungen in den entsprechenden Ökosystemen sowie deren sozio-ökonomischen Folgen.

In der Nordsee betreibt Senckenberg am Meer das LTER (Long-Term Ecological Research) Nordsee Benthos Observatorium, das acht Langzeituntersuchungen der Endo- und Epifaunagemeinschaften von den Küstengebieten bis in die nördliche Nordsee beinhaltet (Abb. 5). Die ältesten Langzeituntersuchungen in der Jade und im Inselvorfeld von Norderney begannen 1970 bzw. 1978, andere in den 1980er und 1990er Jahren. Im LTER Nordsee Benthos Observatorium wurden parallel zu den Benthosproben Sedimentproben für die Analyse von Korngrößen, Kohlenstoffgehalt etc. erhoben.

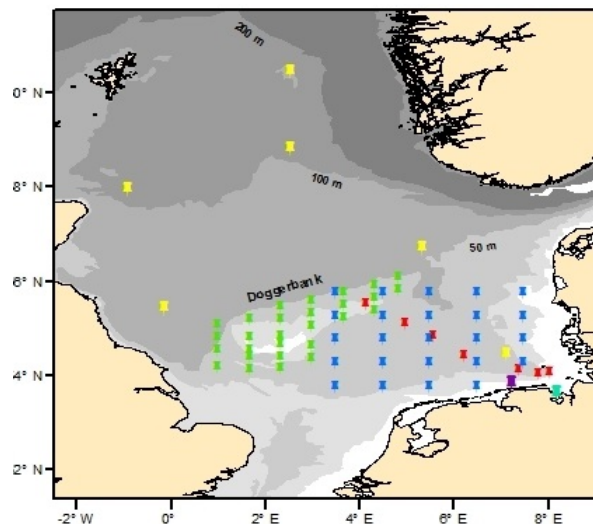


Abb. 5. Lage der Stationen des LTER Nordsee Benthos Observatoriums durchgeführt von Senckenberg am Meer.

Das AWI führt in der Nordsee Langzeitmessungen biologischer Parameter durch. Die längsten Zeitreihen sind die des Phytoplanktons (bei Helgoland seit 1962 und bei Sylt seit 1992), die des Zooplanktons (an beiden Standorten seit ca. 1975) und die Makrobenthoszeitreihe an vier Standorten in der Deutschen Bucht (seit 1969). Von Helgoland ausgehend werden darüber hinaus seit über 30 Jahren drei Transekte beprobt, die Daten über physikalische und chemische Parameter sowie zu Chlorophyllkonzentrationen und zur Zusammensetzung des Planktons in der Deutschen Bucht liefern. In Sylt wird außerdem seit 1992 Primärproduktion gemessen. Die erhobenen

Ergebnisse bilden zusammen ein Nordseeobservatorium, dessen Datenpool Wissenschaftler(innen) und politischen Stakeholdern weltweit zur Verfügung steht, z.B. im Rahmen der Meeresstrategierahmenrichtlinie (MSRL). Alle beteiligten Zeitserien sind international gut vernetzt, besonders im International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Am AWI werden neue Technologien für die Erstellung von Zeitserien entwickelt und eingesetzt. Beispiele dafür sind das passiv-akustische Monitoring von Meeressäugern (s.o.) sowie die Erfassung des Zooplanktons mit optischen Methoden, z.B. anhand geschleppter Plattformen mit Kamerasystemen und weiteren Sensoren.

Am Standort Helgoland, als einem der wenigen weltweit, werden seit 1962 auch mikrobiologische Daten erhoben. Proben vom Standort werden seit 2001 regelmäßig vom MPI für Marine Mikrobiologie molekularbiologisch untersucht und die mikrobielle Diversität erfasst. In den letzten acht Jahren wurde innerhalb des Projekts MIMAS (http://www.mimas-project.de/mimas/index.php/project_tp3.html) die Frühjahrsblüte mit genomischen und proteomischen Methoden untersucht. Mehrere Kampagnen mit verschiedenen Kultivierungsansätzen resultierten in Tausenden von Kultivaten, die viele unbeschriebene, aber häufige Bakterienarten in Reinkultur gebracht haben. Die erhobenen Daten sind von öffentlichen Repositorien abrufbar (EMBL, PANGAEA, DSMZ).

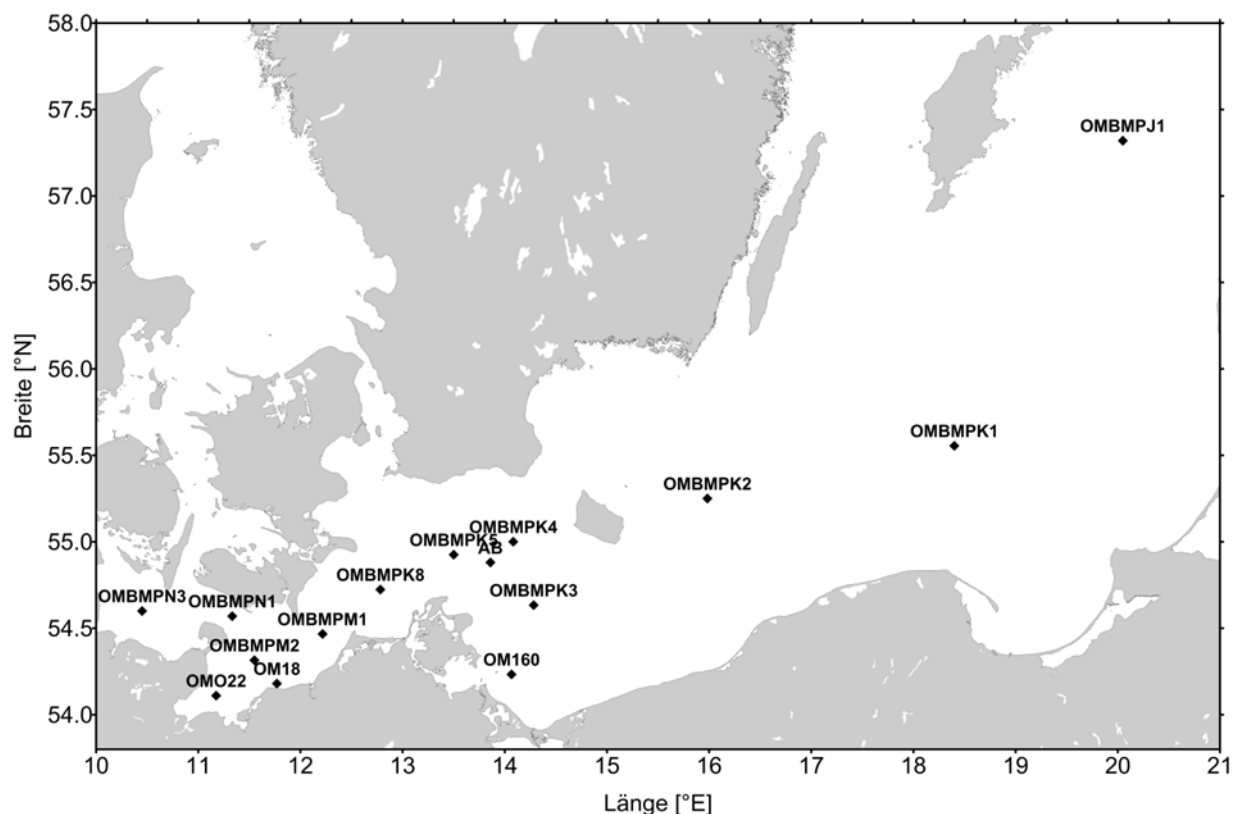


Abb.6: Lage der Stationen für das biologische HELCOM-Monitoring des IOW in der südlichen Ostsee

Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) erfüllt im Auftrage des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg und Rostock (BSH) den deutschen Beitrag zur Überwachung der Meeresumwelt der Ostsee im Rahmen des Helsinki-Abkommens (HELCOM). Die gewonnenen Daten werden für regelmäßige nationale und internationale Zustandseinschätzungen der Ostsee genutzt, welche vom IOW in den "Meereswissenschaftlichen Berichten" veröffentlicht und vom BSH seit 2004 online verfügbar gemacht werden. Die Untersuchungen beinhalten u.a. auch

das Langzeitmonitoring zur Biodiversität des Phyto- und Zooplanktons sowie des Makrozoobenthos seit 1979. Untersuchungen im Plankton finden 3-9mal pro Jahr an 10 Stationen und zum Zoobenthos 1mal jährlich an 8 Stationen statt (Abb. 6). Neben den Untersuchungen innerhalb der deutschen AWZ gibt es auch vom IOW erfasste Langzeitbeobachtungsstationen im nördlichen Teil der Ostsee (dänische, schwedische, lettische Gewässer), welche ebenfalls Diversitätsdaten zum Phyto- und Zooplankton enthalten. Die biologischen Daten werden durch die Aufnahme physiko-chemischer Daten ergänzt (Salzgehalt, Temperatur, Sauerstoff, Chlorophyll, Nährstoffe; im Sediment: Korngrößenanalyse). Seit 2013 gibt es außerdem ein von BSH und IOW durchgeführtes, mehrjähriges Programm zur hochauflösenden, sonargestützten Kartierung des Meeresbodens in der deutschen Ostsee, welches durch ein gemeinsames Projekt von BSH und BfN zur flächendeckenden Sedimentkartierung in der deutschen AWZ ergänzt wird.

Die Biologische Station Zingst verfügt als Dauermessstation über die längsten biologischen Datenreihen in der südlichen Ostsee, insbesondere den inneren Küstengewässern. So existieren Phytoplanktondaten seit 1969 von verschiedenen Stationen innerhalb der Darß-Zingster Boddenkette, welche seit 1991 mindestens monatlich genommen werden. Zooplankton Proben liegen seit 1982 vor. Weiterhin gibt es seit 30 Jahren regelmäßige Untersuchungen zu den Fischen, seit 1972 zu den Makrophyten, sowie Datensätze zum Zoobenthos, die seit 1993 durch das IOW erhoben werden. Weitere Langzeit-Datenreihen der Ostsee existieren an der Biologischen Station Hiddensee, welche teilweise bereits öffentlich zugänglich sind, während andere noch digital aufbereitet werden müssen.

Seit den 1970iger Jahren führt das Deutsche Meeresmuseum das Totfund-Monitoring für Meeressäuger an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns durch. Der erhobene Probenumfang richtet sich nach dem Erhaltungszustand der Kadaver und ist im Verlauf der letzten Jahre stark angewachsen. Asserviert werden Schädel, Brustbein und Beckenknochen, bisher von mindestens 250 Robben und ca. 700 Schweinswalen aus der deutschen Ostsee. Sie werden dauerhaft in die Sammlung des Deutschen Meeresmuseums archiviert. Weitere Proben verschiedener Gewebe werden für (destruktive) Untersuchungen vorgehalten. Seit 2002 zeichnen PODs (porpoise detectors, Schweinswaldetektoren) die Echoortungs- und Kommunikationslaute von Schweinswalen an 12-42 Positionen in der deutschen Ostsee auf. Die Daten dieses akustischen Monitorings werden am Deutschen Meeresmuseum ausgewertet, archiviert und es werden auf Grundlage der Beobachtungen Trendabschätzungen vorgenommen.

Das AWI betreibt Langzeitbeobachtungen auch in den Polarmeeren. So werden am LTER (Long-Term Ecological Research) Observatorium HAUSGARTEN in der Framstraße seit 1999 in Wassertiefen zwischen 250 und 5500 m alljährlich in den Sommermonaten Probennahmen durchgeführt. Der ganzjährige Einsatz von Verankerungen und Freifallgeräten, die als Observationsplattformen am Meeresboden dienen, ermöglicht in Kombination mit einem ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug die Erfassung saisonaler Variationen des Phyto- und Zooplanktons sowie der Abundanz und Zusammensetzung des Tiefseebenthos.

Zur Biodiversität antarktischer Fische sowie benthischer wirbelloser Tiere und Lebensgemeinschaften sind in den vergangenen Jahrzehnten umfangreiche Datensätze erhoben und in Datenbanken (PANGAEA und ANTABIF) eingepflegt worden. Sie stammen sowohl aus Gebieten mit Effekten eines fortschreitenden Klimawandels, z.B. an der Antarktischen Halbinsel, als auch aus einem derzeit eher stabilen Ökosystem im südwestlichen Weddellmeer. Die Nahrungsbeziehungen der

Lebensgemeinschaft des SW Weddellmeer-Schelfs wurden am AWI besonders intensiv untersucht. Dabei wurde ein Modell eines Nahrungsnetzes entwickelt, das fast 500 Arten umfasst und u.a. in grundlegende Arbeiten der theoretischen Biodiversitätsforschung Eingang gefunden hat. Ein in Kooperation zwischen dem AWI und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ entwickeltes Modell zum Einfluss von Störungen auf benthische Biodiversität am Beispiel antarktischer Eisbergstrandungen steht in PANGAEA für Wissenschaft und Lehre öffentlich zur Verfügung (<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.842757>).

Das Tauchverhalten von Weddellrobben und Seeelefanten im Südlichen Ozean wird vom AWI seit 1996 mittels Satellitentransmittern im internationalen Verbund untersucht. Die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse zur Reaktion funktioneller Biodiversität an der Spitze des marinen Nahrungsgefüges auf mittelfristige Umweltveränderungen. Robbenzählungen tragen maßgeblich zu einer internationalen zirkumpolaren Bestandserhebung bei.

Langzeiterhebungen der marinen Biodiversität sind also im Bereich der deutschen Meeresinstitute vorhanden und von hohem wissenschaftlichem Wert. Um diesen jedoch systematisch zu nutzen, hält die Strategieguppe den Aufbau von Informationsplattformen zu Langzeittrends der marinen Biodiversität für ein unabdingbares Muss, um für die Forschung und die Interaktion mit der Gesellschaft die grundlegende Information bereit zu halten, die Veränderung der Biodiversität zu analysieren und die bisher nur sehr sporadisch und oberflächlich vorhandenen Zukunftsprognosen zu entwickeln. Konkrete mittel- oder langfristige Prognosen eines zukünftigen Biodiversitätswandels sind für marine Ökosysteme selten. Eine methodische Interkalibration ist dabei unausweichlich.

Die Strategieguppe empfiehlt trotzdem die Nutzung unterschiedlicher Datenformate für die Analyse von Biodiversitätstrends. Im Rahmen des WIMO Projektes wurden Wissenschaftliche Monitoring-Konzepte für die Deutsche Bucht entwickelt, zu denen hydroakustische und optische Fernerkundungsverfahren in Verbindung mit benthologischer und sedimentologischer „Ground-truth“ gehören, die zukünftig Veränderungen in benthischen Gemeinschaften auf großräumiger Skala erlauben sollen. Ferry Box /CPR Systeme können hierbei mit genutzt und um semi-automatisierte molekulare (eDNA) sowie optische oder akustische Methoden erweitert werden, um die Informationsdichte zu erhöhen.

f. Molekulare Techniken für die Biodivanalyse

Molekularbiologische Methoden zur Analyse der Biodiversität werden zwar schon seit über zwei Jahrzehnten angewendet, vor allem zu Untersuchung von Mikroorganismengemeinschaften (Prokaryonten, mikrobielle Eukaryonten), nehmen aber derzeit rasant in der Bedeutung und im Anwendungsspektrum zu. Dies liegt u.a. an der Einführung von Hochdurchsatz-Sequenzierungsverfahren (NGS, *next generation sequencing*) und kontinuierlich sinkenden Sequenzierungskosten. Für die Erfassung der Diversität von mikrobiellen Gemeinschaften ist die Analyse der ribosomalen RNA (16S rRNA für Prokaryonten, 18S rRNA für mikrobielle Eukaryonten) als phylogenetischer und taxonomischer Marker etabliert und durch umfangreiche Referenzdatenbanken (z.B. SILVA, s.o.) unterstützt. Für höhere Eukaryonten werden oft mitochondriale genetische Marker verwendet. Hier ist die Vorgehensweise, DNA-Sequenzen zur taxonomischen Einordnung von Organismengemeinschaften zu verwenden, unter dem Begriff „DNA-Metabarcoding“ bekannt geworden. Standardisierte DNA barcodes werden u.a. im Rahmen des „international Barcode of Life project“ (iBOL) und der assoziierten Referenzdatenbanken entwickelt

(BOLD, <http://www.boldsystems.org>; GenBank/EMBL). DNA-Metabarcoding in Kombination mit NGS liefert große Mengen an taxonomischen Daten in kurzer Zeit und wurde z.B. zur Erfassung der Diversität mariner, benthischer Gemeinschaften eingesetzt. Noch weiter geht die Analyse von Umwelt-DNA (eDNA, *environmental DNA*), bei der nicht nur die intakten Organismen in der jeweiligen Probe analysiert werden, sondern auch die DNA aus Organismenbestandteilen oder extrazellulärer DNA. Hiermit kann theoretisch die Biodiversität im größeren Lebensraum erfasst und auch neu eingewanderte Arten detektiert werden.

Neben der Genomsequenzierung von isolierten und kultivierten Organismen, werden sogenannte „omics-Techniken“ immer mehr routinemäßig angewendet, um für komplexe natürliche (zumeist mikrobielle) Gemeinschaften die Biodiversität mit einer Funktionsanalyse zu verbinden. Dies kann das gesamte genetische Potential von Lebensgemeinschaften (Metagenomik), die Analyse der exprimierten Gene (Metatranskriptomik) oder der Proteine (Metaproteomik) umfassen.

Molekularbiologische Laboratorien sind an den meisten meereskundlichen Instituten und Universitäten vorhanden. Insgesamt ist der Bedarf an spezieller Labor-Infrastruktur relativ gering, da die Sequenzierungen meistens extern durch verschiedene Firmen ausgeführt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass in den nächsten Jahren die Automatisierung verschiedener Analyseverfahren (z.B. zur Erfassung der eDNA) stark ansteigt und auch vermehrt für das Biodiversitäts-Monitoring verwendet wird. Aufgrund des exponentiell ansteigenden Datenvolumens wird der Bedarf an Rechnerkapazität und bioinformatischer Expertise immer größer und bei beiden Punkten gibt es vielerorts Engpässe. Die Strategiegruppe hält daher den Aufbau von Plattformen zur marinen Bioinformatik für ein wichtiges Anliegen der nächsten Jahre.

g. Ausbildung

Viele Standorte in Deutschland bieten vereinzelte marin-biologische Studienangebote, wenige jedoch bilden einen Schwerpunkt in diesem Bereich (Tabelle 6).

Spezialisierte Masterstudiengänge mit einem ausschließlichen Fokus auf mariner Biodiversität existieren in Deutschland nicht. Jedoch gibt es verschiedene Masterstudiengänge, die marine Biodiversität als einen von mehreren Schwerpunkten ausweisen, an den Universitäten in Bremen (Marine Biology & International Studies in Aquatic Tropical Ecology, Marine Microbiology), Hamburg (Marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften), Kiel (Biological Oceanography), Oldenburg (Marine Umweltwissenschaften, Microbiology, Biologie) und Rostock (Meeresbiologie, Integrative Zoologie), in denen marine Biodiversität im Rahmen wählbarer Module belegt werden kann. Vergleichbare Studiengänge mit Biodiversitäts-Anteilen, aber eher an terrestrischen Ökosystemen orientiert, gibt es z.B. in Göttingen und an der LMU München (Ecology, Evolution and Systematics). Die Technische Universität Dresden bietet in Zusammenarbeit mit dem Internationalen Hochschulinstitut Zittau und dem Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz einen Masterstudiengang „Biodiversity and Collection Management“ an.

Einen auf marine Biodiversität spezialisierten grundständigen Studiengang gibt es in Deutschland nicht, spezialisierte Angebote im BSc Bereich gibt es jedoch in Bremen (Profilmodule zu Meeresbiologie), Rostock (BSc Biowissenschaften im Pflicht-/Wahlbereich), und Oldenburg (BSc Biologie und BSc Umweltwissenschaften). An der Universität Göttingen wird ein BSc „Biologische Diversität und Ökologie“ mit einem Fokus auf terrestrische Ökosysteme.

Tabelle 6: Umfang der Lehre zum Thema marine Biodiversität an deutschen Universitäten.

Standort	Bachelor	Masterprogramm	Graduiertenausbildung
AWI	einzelne Kurse in Oldenburg und Bremen	einzelne Kurse in Oldenburg und Bremen	POLMAR
Geomar	Kurse in Kiel	Kurse in Kiel	
Goethe U	einzelne Kurse	einzelne Kurse	einzelne Kurse
Jacobs U Bremen	einzelne Kurse	einzelne Kurse	
JLU Giessen	einzelne Kurse: Biologie	Schwerpunkt Marine Biologie im M Sc Biologie	GGL, CEMarin, PRIDE
LMU	einzelne Kurse: Biologie; Geowissenschaften	Schwerpunkt im MSc EES (Evolution, Ecology & Systematics)	
MPI-MM		Schwerpunkt im MSc-Programm Marine Microbiology (MarMic)	einzelne Dissertationen (MarMic)
TiHo Hannover		einzelne Kurse MSc Animal Biology and Biomedical Sciences	
TU Kaiserslautern	einzelne Kurse	Schwerpunkt	
TU München	einzelne Kurse	einzelne Kurse im M.Sc. LÖN	
U Bielefeld	einzelne Kurse		einzelne Dissertationen
U Bochum	einzelne Kurse: Exkursionen	einzelne Kurse: Exkursionen	
U Bremen	einzelne Kurse in Biologie und Geowissenschaften	Schwerpunkt im EMBC+, einzelne Kurse in ISATEC, Marine Biology	GLOMAR; MARES, GRADE, Intercoast, MarMic, IMPRS, POLMAR
U Greifswald		Biodiversität & Ökologie	
U Hamburg		Marine Ökosysteme und Fischereiwissenschaften einzelne Kurse	MARmaED (EU; 2014-2018)
U Hannover		einzelne Kurse	
U Heidelberg	einzelne Kurse: Biowissenschaften	einzelne Kurse: Biowissenschaften	
U Hohenheim	einzelne Kurse	einzelne Kurse	
U Jena		einzelne Kurse	
U Kiel	Schwerpunkt	einzelne Kurse im M Sc Biological Oceanography	ISOS
U Köln	einzelne Kurse	einzelne Kurse	einzelne Kurse
U Oldenburg	einzelne Kurse: Biologie Schwerpunkt im B.Sc. Umweltwissenschaften	Schwerpunkt Biologie/Ökologie im M Sc Mar.ine Umweltwissensch. einzelne Kurse M.Sc. Biologie	OLTech
U Rostock	einzelne Kurse: Biowissenschaften	Schwerpunkt	Transcoast

Insgesamt ist die Ausbildung in der marinen Biodiversität nur punktuell verankert und selten ein Pflichtbereich des Studiums. In der marinen Ausbildung spiegelt sich dementsprechend auch die allgemeine Reduktion klassischer Themen der Biologie in der Lehre, so dass entsprechende gezielte taxonomische Ausbildung oft fehlt und eine Reduktion in der Artenkenntnis zu beobachten ist. Wir empfehlen eine Kopplung klassischer Ansätze zur Didaktik der Artenkenntnis mit entsprechenden molekularen Methoden. Diese Kurse sollten eine verpflichtende Grundlage im BSc Studiengängen bilden, da Artenkenntnis insbesondere für Berufsbilder außerhalb der Forschung wichtig ist

(behördlicher/außerbehördlicher Naturschutz, Gutachtertätigkeit, Umweltbildung). Hier sind die Studiengänge angehalten, eine Bedarfsanalyse über die Forschung hinaus durchzuführen.

Angesichts der insgesamt schwindenden Kapazitäten in der grundlegenden Biodiversitätslehre sollte überlegt werden, Curricula an verschiedenen Universitäten zu koordinieren, um ortsübergreifend spezialisierte Kurse für taxonomische, formenorientierte Inhalte und Systemkenntnis anzubieten, ggf. im Rotationsprinzip. Dieses Verschneiden von Studiengängen erfordert ein hohes Maß an Koordination um Durchlässigkeit und Studierbarkeit zu gewähren. Dass dies möglich ist, zeigen sehr überzeugend europäische Distributed Master Programs.

h. Interaktion mit der Gesellschaft

Die Interaktion mit der Gesellschaft ist im Bereich der marinen Biodiversitätsforschung Mandat und Desiderat zugleich. Internationale Abkommen wie die Meeresstrategierahmenrichtlinie, die Wasserrahmenrichtlinie, HELCOM und OsPar beinhalten einen gesetzlichen Auftrag zum Biodiversitätsmonitoring und zur Bewertung der Biodiversitätsveränderung im internationalen Kontext. Biodiversitätsfachwissen ist notwendig für dieses Monitoring, aber auch in der Bewertung der Fischerei und für das Erkennen invasiver Arten.

Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beteiligen sich als Lead-Autoren an dem globalen Assessment der "Intergovernmental Science-Policy Platform for Biodiversity and Ecosystem Services" (IPBES), des Internationalen Weltbiodiversitätsrats, und am "World Ocean Assessment". Bei beiden handelt es sich um Produkte der Vereinten Nationen, die den Austausch von Erkenntnissen zwischen Wissenschaftlern und Nutzern entsprechender Informationen sowie gesellschaftlicher Entscheidungsträger fördern, z.B. Politiker, Journalisten und Bildungseinrichtungen.

Das AWI hat den "Arktis-Dialog" für den Informationsaustausch zwischen Arktisforschung und Arktispolitik initiiert, insbesondere um den an Arktisfragen interessierten Bundesministerien Erfahrung und internationale Kontakte gezielt zur Verfügung zu stellen. Die halbjährlich stattfindenden Informationsveranstaltungen, die gemeinsam vom AWI und einem gastgebenden Ministerium organisiert werden, behandeln aktuelle Fragen der deutschen und internationalen Arktisforschung und -politik, einschließlich Themen zur marinen Biodiversität und ihrer Ökosystemdienstleistungen.

Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beteiligen sich im Rahmen der "Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources" (CCAMLR) innerhalb des Antarktisvertragssystems (ATS) federführend an der Vorbereitung eines marinen Schutzgebietes im Weddellmeer. Es werden auch Beiträge zum "Antarctic Environments Portal" geliefert, einer Plattform zum Wissenstransfer insbesondere zu Themen des Umweltwandels.

EU-PolarNet ist das weltgrößte Konsortium für die Expertise und Infrastruktur von Polarforschung, das sich als Instrument versteht, um Wissenschaft und Gesellschaft näher zusammenzubringen. Unter Leitung von AWI-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wird es auf EU-Ebene bis 2020 einen strategischen Rahmen und Mechanismen zur Priorisierung von Wissenschaft zum Nutzen der Gesellschaft entwickeln. Bezüglich Biodiversitätsforschung baut EU-PolarNet auf dem Circumpolar Biodiversity Monitoring Programme (CBMP) des Arctic Councils (AC) und auf der Arbeit der Commission on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR) des ATS auf.

Neben diesen Beispielen internationaler Interaktion zwischen Biodiversitätsforschung und Umweltmanagement stehen die unter e) aufgeführten Langzeitdatenserien als Beispiel der Übernahme nationaler Monitoring-Aufgaben. Für die Zugänglichkeit der entsprechenden Informationen – auch für die breite Öffentlichkeit - gibt es eine Reihe von Formaten. Grundsätzlich sollten wissenschaftliche Informationsplattformen an Datenbanken so angekoppelt werden, dass ein nutzerfreundlicher Gebrauch gesichert ist. Dies betrifft sowohl das Abrufen als auch das Eingeben neuer Daten, auch online. Ein wichtiger, für die Biodiversitätsforschung spezifischer Aspekt ist, dass verfügbare Rohdaten ohne entsprechende taxonomische Kenntnisse nicht auswertbar sind, und in gleichem Maße die Qualitätssicherung biologischer Daten eine besondere Herausforderung darstellt, da die taxonomische Expertise die Genauigkeit der Daten massiv beeinflusst.

Die "Earth System Knowledge Platform" (ESKP) mit ihrem Projekt „Climate change & biodiversity - Threats and opportunities for local actors of the North Sea“ hat sich zum Ziel gesetzt, wissenschaftliche Erkenntnisse über zukünftige Verschiebungen von Verbreitungsmustern und Biodiversität in der Nordsee zusammenzustellen. Diese sollen lokalen Nutzern und anderen Interessierten zugänglich gemacht werden und diesbezüglich zukünftige Bedrohungen aber auch Möglichkeiten herauszustellen. Eine Ausweitung auf die Verfügbarkeit von Daten aus Arktis und Antarktis über eine gemeinsame online-Plattform wird vorbereitet.

Neben diesem Modell der Forschung als Auftragnehmer der Gesellschaft ist auch die Beteiligung der Gesellschaft an der Forschung ein immer wichtigerer Aspekt aktueller Forschung.

In dem Citizen-Science Projekt „PlanktonID“ (Exzellenz Cluster Future Ocean, Kiel) können Bürgerwissenschaftler/innen durch Teilnahme an einem Spiel aktiv zur Plankton-Identifikation beitragen und unterstützen dabei die Erforschung der Verteilung und Funktion von Protisten in Auftriebsgebieten. Durch die Teilnahme an dem Spiel werden die mit einer Unterwasserkamera (Underwater Vision Profiler (UVP5)) bis in 6000 m Tiefe gemachten Bilder von Planktonorganismen sortiert und für wissenschaftliche Auswertung bereit gestellt. Die Bürger/innen können auf der Website <https://planktonid.geomar.de> neben dem Spiel auch einiges über Plankton Funktionen und Vielfalt erfahren und einen Einblick in die aktuelle Forschung bekommen.

Der internationale „Ocean Sampling Day“ ist ein Projekt des Max-Planck-Instituts für Marine Mikrobiologie und einer Reihe internationaler Forschungsinstitute, das sich an interessierte Menschen wendet, um deren Wissen über die Ozeane zu vermehren. Unter wissenschaftlicher Anleitung entnehmen an diesem Tag „Citizen Scientists“ genannte Laien Wasserproben aus Meeresküsten- und Ästuarregionen mit dem leicht zu bedienenden „MyOSD Sampling Kit“. Die Proben werden an das Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen geschickt und dort auf die enthaltenen Bakterien analysiert. Neben den „Citizen Scientists“ beteiligen sich Wissenschaftler aus ganz Europa, Nordamerika, Australien, Asien sowie einige Forschungsstationen in der Antarktis. Die Ergebnisse werden open-access veröffentlicht. Der Ocean Sampling Day ist aus dem EU-Projekt [Micro B3](#) (2012-2015) mit 32 beteiligten europäischen Instituten entstanden, das zum Ziel hatte, die marine Mikrobiologie in den Bereichen Biodiversität, Biotechnologie und Bioinformatik voranzutreiben. Ocean Sampling Days finden seit dem 21. Juni 2014 jährlich und mit stetig wachsender Beteiligung statt. 2015 haben allein 192 „Citizen Scientists“ Proben in 19 verschiedenen Ländern gesammelt (www.my-osd.org).

Das Deutsche Meeresmuseum führt seit 2010 eine Langzeitdatenreihe fort, die bereits 2002 begonnen wurde: Segler und andere Wassersportler nehmen die Positionen von Schweinswalen, Kegelrobben und Seehunden in Deutschland, aber auch Dänemark, Schweden und Polen auf und melden sie per Webseite (www.meeresmuseum.de/sichtungen) oder per Smartphone App „Ostseetiere“. Das Projekt verknüpft so die Bildung von Langzeitdatenbanken, Öffentlichkeitsarbeit und wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn über die in der Ostsee vorkommenden Wal- und Robbenarten.

Die Verbreitung von Plastikmüll wird in weiteren Citizen Science Projekten mit Biodiversitätsbezug an deutschen Meeresforschungsinstituten behandelt, z.B. in Oldenburg (<http://portal.macroplastics.de/index.php?page=home>) und Kiel (<http://www.forschungswerkstatt.de/aktuelles/citizen-science-projekt-dem-plastikmuell-auf-der-spur/>). Auch in der Meeresoptik sind Citizen Science Projekte aktiv (<http://eyeonwater.org/>).

3. Vergleich mit der internationalen Biodiversitätsforschung

Basierend auf einer Analyse des ISI® Web of Science vom 10. Oktober 2017 lassen sich Gemeinsamkeiten und Unterschiede der deutschen und der nicht-deutschen Forschungslandschaft im Bereich mariner Biodiversitätsforschung erkennen. Im Zeitraum 2001 – 2017 ist ein exponentieller Anstieg von wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Zitierungen zu beobachten, die dem Suchkriterium „Biodivers* or species richness or evenness or diversity“ entsprechen (Abb. 8 A, B). Deutsche Veröffentlichungen (D) nehmen dabei in gleicher Rate zu wie alle Veröffentlichungen weltweit (W). In beiden Fällen ist der Anstieg im terrestrischen Bereich jedoch größer als im marinen (marin* or ocean* or polar or coast*). Die kontinuierlich hohe Qualität der deutschen Biodiversitätsforschung wird besonders deutlich, wenn man die jährlichen Zitierungen im Verhältnis zu den in den jeweiligen Jahren erschienenen Veröffentlichungen betrachtet (Abb. 8C): Deutsche Arbeiten werden mit konstant steigender Rate zitiert, während der relative Zuwachs an Zitierungen weltweit in den letzten 6-8 Jahren stagniert. In diesem Zeitraum liegt der Impact deutscher Arbeiten mit jährlich durchschnittlich >4 Zitaten über dem Durchschnitt der ökologischen Journale in ISI. Auch

trägt die dt. Forschung allein eine erhebliche Anzahl von „highly-cited articles“ in diesem Feld bei. Diese Kategorie wird erst seit 2007 von ISI ausgewiesen (Abb. 8D). Bei ca 50 terrestrischen und 25 marinen Artikeln weltweit ist der deutsche Beitrag (ca 15 terrestrisch, ca 5 marin) bedeutend, aber auch hier ist die terrestrische Biodiversitätsforschung sichtbarer als die marine. Dies wird auch deutlich, wenn man die Anzahl der Artikel aus D als Prozent der Artikel aus W aufträgt (Abb. 8E) sowie vergleichbar die Zitate für Artikel aus Deutschland als % der weltweiten Zitate (Abb. 8F). Beides steigt linear an und erreicht in den letzten Jahren etwa 15%, was die stetig höhere Präsenz der deutschen Biodiversitätsforschung in den letzten Jahren zeigt. Allerdings ist der deutsche Beitrag zu Output und Zitaten für die terrestrische Forschung größer und der zeitliche Trend steiler als im marinen Bereich.

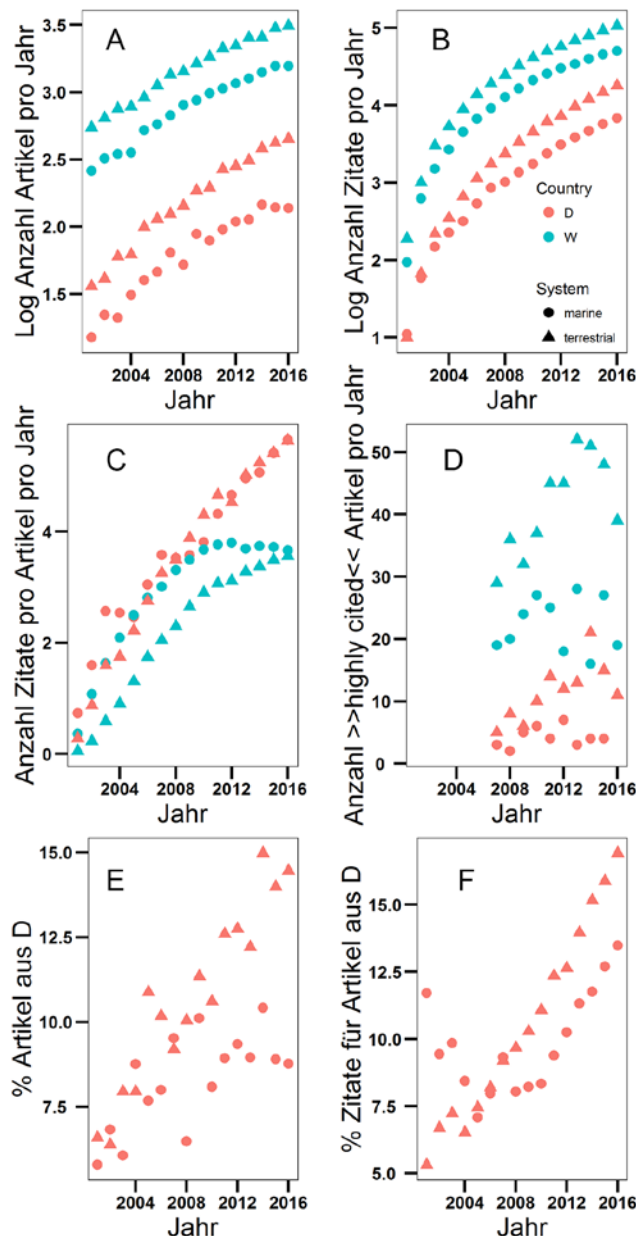
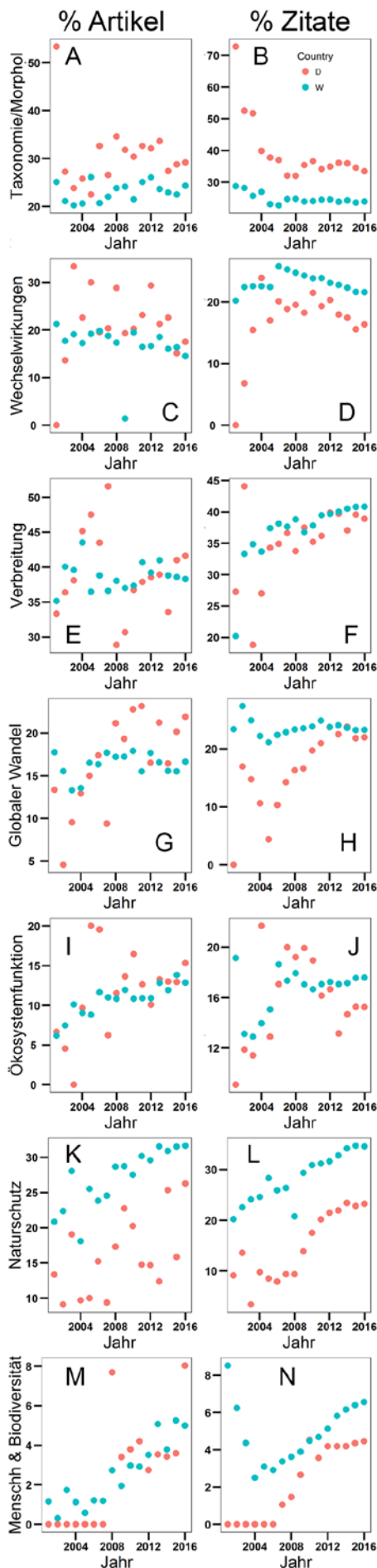


Abb. 8: Literaturanalyse zur Biodiversitätsforschung in Deutschland und der restlichen Welt für marine und terrestrische Systeme. Details, siehe Text.



Die deutsche marine Biodiversitätsforschung weist im internationalen Vergleich eine Reihe von inhaltlichen Unterschieden auf (Abb. 9). Im Folgenden sind für die marinen Biodiversitätsartikel aus dem oben beschriebenen ISI Datensatz die Anteil der Artikel bzw. Zitate mit bestimmten inhaltlichen Schlüsselwörtern gekennzeichnet. Da ein Artikel und ein Zitat oft mehreren Bereichen zugeordnet werden kann, summieren sich die Prozentzahlen nicht zu 100%.

Die traditionelle deutsche Stärke in der Taxonomie und Morphologie schlägt sich – im Vergleich zur internationalen Artikeln – in höheren inhaltlichen Anteilen bei Artikeln und Zitaten wieder (Abb. 9 A,B). Der Anteil taxonomischer Artikel liegt konstant bei ca 30%, diese machen aber über die Zeit einen immer geringeren Anteil an den Zitaten aus.

Klassische ökologische Themen wie Artwechselwirkungen (Abb. 9C-D) und räumliche Verbreitung (Abb. 9E-F) sind in deutschen und internationalen Artikeln etwa gleich häufig vertreten und zitiert. Eine etwas geringere Zitierhäufigkeit deutscher Arbeiten bei "Wechselwirkungen" legt ein gewisses Defizit in diesem Bereich nahe. Ebenfalls sehr ähnliche Wichtungen national wie international ergeben sich für die Beschäftigung mit Biodiversität im globalen Wandel (Abb. 9G-H) und der Konsequenz von Biodiversitätswandel auf Ökosystemfunktion (Fig. 9 I-J).

Einen deutlichen Unterschied zwischen nationaler und internationaler Biodiversitätsforschung gibt es in den Themenbereichen Naturschutz sowie Mensch & Biodiversität, die in Deutschland einen deutlich kleineren Anteil an der Biodiversitätsforschung ausmachen als im Rest der Welt. Im Schnitt sind >25% der Artikel und der Zitate international mit Naturschutz beschäftigt, national aber nur ca 10-20%.

Abb. 9: Verteilung der Inhalte in der marinen Biodiversitätsforschung aus Deutschland und dem Rest der Welt (siehe Text für Details)

4. Fazit

Die deutsche marine Biodiversitätsforschung verteilt sich auf über 40 Institutionen, die in fast allen Bundesländern beheimatet sind. Gemeinsam decken diese Einrichtungen eine beeindruckende Breite hinsichtlich der organismischen, regionalen und inhaltlichen Ausrichtung ihrer Forschungsthemen ab. Die wissenschaftliche Leistung in diesem Bereich zeichnet sich durch eine hohe Anzahl von Publikationen aus, deren Qualität sich in hohe Zitationsraten widerspiegelt. Gleichzeitig wird die Synergie, die sich aus diesen vielfältigen Ansätzen ergibt, kaum ausgeschöpft. Hierzu bedarf es einer Netzwerkbildung zu besserer Verknüpfung experimenteller und analytischer Infrastrukturen, einer Integration verschiedener Standorte und Methoden zur Bewertung von Langzeittrends der Biodiversität, und erweiterten Bemühungen in der Zugänglichkeit und Qualitätskontrolle von Daten.

Mit ihrer starken taxonomischen Tradition fußt die deutsche Biodiversitätsforschung auf einer soliden Basis in der Beschreibung und dem Erkennen von Arten. Diese Tradition ist durch zurückgehende Lehrkapazität in der organismischen Ökologie an vielen Universitäten gefährdet. Der zunehmende Bedarf an Forschung mit Bezug zur menschlichen Gesellschaft und zum marinen Naturschutz erfordert eine deutliche Steigerung von interdisziplinären Projekten und naturschutzrelevanter Veröffentlichungen.