

FKZ 03F0655
BMBF Projekt BIOACID Phase II
Abschlussbericht
(1. September 2012 – 30. September 2015)

Zusammengestellt von Ulf Riebesell und Michael Meyerhöfer

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Wischhofstr. 1-3

24148 Kiel

Telefon: 0431 600 – 4444, Fax: -4446

uribesell@geomar.de

mmeyerhoefer@geomar.de

Inhalt

Liste der Kontakt – PI's der BIOACID Phase II- Partnerinstitutionen	2
Liste der Work Package Leiter	3
Einleitung.....	5
GEOMAR KIEL (FKZ 03F0655A)	9
AWI BREMERHAVEN (FKZ 03F0655B)	101
MPI BREMEN (FKZ 03F0655C)	183
UNIVERSITÄT OLDENBURG (FKZ 03F0655D)	193
IGB BERLIN (FKZ 03F0655E).....	201
IOW WARNEMÜNDE (FKZ 03F0655F).....	209
HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT (FKZ 03F0655G).....	237
INSTITUT FÜR WELTWIRTSCHAFT KIEL (FKZ 03F0655H).....	243
UNIVERSITÄT BREMEN (FKZ 03F0655J).....	251
UNIVERSITÄT DÜSSELDORF (FKZ 03F0655K).....	261
UNIVERSITÄT ROSTOCK (FKZ 03F0655L).....	269
UNIVERSITÄT KIEL(FKZ 03F0655M).....	279

Liste der Kontakt – PI's der BIOACID Phase II- Partnerinstitutionen

Förderkennzeichen (FKZ)	Institution	Name	E-Mail
03F0655A	GEOMAR Kiel	Michael Meyerhöfer	mmeyerhoefer@geomar.de
03F0655B	AWI Bremerhaven	Felix Mark	Felix.Christopher.Mark@awi.de
03F0655C	MPI Bremen	Dirk de Beer	dbeer@mpi-bremen.de
03F0655D	Uni Oldenburg	Thorsten Dittmar	thorsten.dittmar@uni-oldenburg.de
03F0655E	IGB Berlin	Hans-Peter Grossart	hgrossart@igb-berlin.de
03F0655F	IOW Warnemünde	Maren Voss	maren.voss@io-warnemuende.de
03F0655G	Helmholtz-Zentrum Geesthacht	Kai Wirtz	kai.wirtz@hzg.de
03F0655H	IfW Kiel	Katrin Rehdanz	katrin.rehdanz@ifw-kiel.de
03F0655J	Uni Bremen	Kai Bischof	kbischof@uni-bremen.de
03F0655K	Uni Düsseldorf	Christopher Bridges	bridges@uni-duesseldorf.de
03F0655L	Uni Rostock	Ulf Karsten	ulf.karsten@uni-rostock.de
03F0655M	Uni Kiel	Birgit Schneider	bschneider@gpi.uni-kiel.de

Liste der Work Package Leiter

Work Package Nummer	Name	Institution	E-Mail
0.1	Ulf Riebesell	GEOMAR, Kiel	uribesell@geomar.de
0.2	Dirk Fleischer	GEOMAR, Kiel	dfleische@geomar.de
0.2	Stephane Pesant	MARUM Bremen	spesant@marum.de
0.3	Detlef Schulz-Bull	IOW, Warnemünde	detlef.schulz-bull@io-warnemuende.de
1.1	Ulf Riebesell	GEOMAR, Kiel	uribesell@geomar.de
1.2	Dedmer van de Waal	AWI, Bremerhaven	Dedmer.van.de.Waal@awi.de
1.3	Kai Schulz	GEOMAR, Kiel	kschulz@geomar.de
1.4	Maren Voss	IOW, Warnemünde	maren.voss@io-warnemuende.de
1.5	Hans-Peter Grossart	IGB, Berlin, Neu Globsov	hgrossart@igb-berlin.de
1.6	Nicole Aberle-Malzahn	AWI, Bremerhaven	Nicole.Aberle-Malzahn@awi.de
1.7	Arne Malzahn	AWI, Bremerhaven	arne.malzahn@awi.de
1.8	Thorsten Dittmar	ICBM, Uni. Oldenburg	tdittmar@mpi-bremen.de
1.9	Ulrich Sommer	GEOMAR, Kiel	usommer@geomar.de
1.10	Juan Carlos Molinero	GEOMAR, Kiel	jmolinero@geomar.de
1.11	Anja Engel	GEOMAR, Kiel	aengel@geomar.de
1.12	Klaus Jürgens	IOW, Warnemünde	klaus.juergens@io-warnemuende.de
1.13	Thorsten Reusch	GEOMAR, Kiel	treusch@geomar.de
1.14	Maarten Boersma	AWI, Bremerhaven	Maarten.Boersma@awi.de
1.15	Markus Schartau	HZG, Geesthacht	markus.schartau@gkss.de
2.1	Ragnhild Asmus	AWI, Bremerhaven	ragnhild.asmus@awi.de
2.2	Ruth Schmitz-Streit	Universität Kiel	rschmitz@fam.uni-kiel.de
2.3	Birte Matthiessen	GEOMAR, Kiel	bmatthiessen@geomar.de
2.4	Ulf Karsten	Universität Rostock	ulf.karsten@uni-rostock.de
2.5	Inken Kruse, Martin Wahl	GEOMAR, Kiel	ikruse@geomar.de, mwahl@geomar.de

Work Package Nummer	Name	Institution	E-Mail
2.6	Michael Böttcher	IOW, Warnemünde	michael.boettcher@io-warnemuende.de
3.1	Dirk de Beer	MPI-MM, Bremen	dbeer@mpi-bremen.de
3.2	Alban Ramette	MPI-MM, Bremen	aramette@mpi-bremen.de
3.3	Claudio Richter	AWI, Bremerhaven	crichter@awi.de
3.4	Frank Melzner	GEOMAR, Kiel	fmelzner@geomar.de
3.5	Jan Fietzke	GEOMAR, Kiel	jfietzke@geomar.de
3.6	Armin Form	GEOMAR, Kiel	aform@geomar.de
3.7	Gisela Lannig	AWI, Bremerhaven	glannig@awi.de
3.8	Kai Bischof	Universität Bremen	kbischof@uni-bremen.de
4.1	Rainer Knust	AWI, Bremerhaven	rknust@awi-bremerhaven.de
4.2	Felix Mark	AWI, Bremerhaven	fmark@awi.de
4.3	Magnus Lucassen	AWI, Bremerhaven	mlucassen@awi-bremerhaven.de
4.4	Daniela Storch	AWI, Bremerhaven	daniela.storch@awi.de
4.5	Catriona Clemmesen	GEOMAR, Kiel	ccllemmesen@geomar.de
4.6	Christian Bock	AWI, Bremerhaven	Christian.Bock@awi.de
4.7	Christopher Bridges	Universität Düsseldorf	bridges@uni-duesseldorf.de
4.8	Barbara Niehoff	AWI, Bremerhaven	Barbara.Niehoff@awi.de
4.9	Silke Lischka	GEOMAR, Kiel	slischka@geomar.de
5.1	Wolfgang Koeve	GEOMAR, Kiel	wkoeve@geomar.de
5.2	Birgit Schneider	Universität Kiel	bschneider@gpi.uni-kiel.de
5.3	Andreas Oschlies	GEOMAR, Kiel	aoschlies@geomar.de
5.4	Katrin Rehdanz	IWF Kiel	katrin.rehdanz@ifw-kiel.de
5.5	Martin Quaas	Universität Kiel	quaas@economics.uni-kiel.de
5.6	Stefan Gößling-Reisemann	Universität Bremen	sgr@uni-bremen.de

Einleitung

Seit Beginn der Industrialisierung haben die Ozeane fast die Hälfte des in die Atmosphäre freigesetzten fossilen Kohlendioxids (CO₂) gebunden und nehmen zurzeit etwa ein Viertel der heutigen CO₂-Emissionen auf. Das vom Ozean aufgenommene CO₂ reagiert mit dem Meerwasser zu Kohlensäure, die zu Hydrogenkarbonat und H⁺-Ionen dissoziiert und in der Folge Karbonationen konsumiert und den Säuregrad des Meerwassers erhöht. Dieser Prozess wird als *Ozeanversauerung* bezeichnet. Er hat dazu geführt dass der Säuregrad in den mit der Atmosphäre im Austausch stehenden oberen Schichten der Ozeane heute um 30% höher ist als in vorindustrieller Zeit. Wenn die CO₂-Emissionen sich unvermindert fortsetzen, wird die marine Lebewelt noch vor Ende dieses Jahrhunderts einem Säuregrad ausgesetzt sein, den sie während ihrer Evolutionsgeschichte der vergangenen 55 Millionen Jahre noch nicht erfahren hat.

Die wachsende Erkenntnis über mögliche biologische Konsequenzen der Ozeanversauerung legt nahe, dass sich hieraus eine ernsthafte Bedrohung für Meeresorganismen und –ökosysteme entwickeln kann. Trotz einer Fülle von Information über spezifische Effekte der Versauerung und damit verbundener Änderungen der Meerwasserchemie auf die Physiologie einer Vielzahl von Arten bestehen weiterhin viele Unsicherheiten. Da die Mehrzahl der vorliegenden Studien auf Laborexperimente mit isolierten Organismen beruht, war zu Beginn von BIOACID 2 wenig bekannt über mögliche Konsequenzen für natürliche Lebensgemeinschaften, Nahrungsnetze und Ökosysteme. Nur wenige Studien hatten die Wechselwirkungen zwischen zeitgleich stattfindenden Umweltveränderungen untersucht, wie Ozeanversauerung, Erwärmung, sinkende Sauerstoffgehalte und Änderungen der Stratifizierung und des Nährstoffeintrags. Das Potential zur evolutionären Anpassung an Ozeanversauerung war weitgehend unerforscht. Um den Weg für eine umfassendere Abschätzung zukünftiger biologischer Reaktionen auf Ozeanwandel und seine möglichen sozio-ökonomischen Konsequenzen zu ebnen, hat sich das BIOACID Konsortium für seine zweite Projektphase als zusätzliche Ziele gesetzt

- die Integration innerhalb des BIOACID Forscherverbunds weiter zu stärken, um realistischere Experimente an Lebensgemeinschaften und Feldstudien durchzuführen,
- ein stärkeres Augenmerk auf Wechselwirkungen durch multiple Stressoren zu legen,
- den Bereich der evolutionären Biologie auszubauen, um das Potential zur Anpassung an Ozeanversauerung anhand von Schlüsselorganismen zu untersuchen,
- sozio-ökonomische Abschätzungen in das Projekt einzubinden und die Beteiligung von Interessensvertretern zu gewährleisten.

Ziel von BIOACID II sollte sein, **die Kette von biologischen Mechanismen, über Reaktionen von Organismen, zu deren Auswirkungen auf Nahrungsnetze und Ökosysteme, bis hin zu den ökonomischen Konsequenzen zu erfassen und besser zu verstehen.**

Ausgehend von den neuen Themenschwerpunkten und zusätzlichen Aufgaben wurde die Struktur des Konsortiums überarbeitet (Abb. 1). Eingebunden durch die projektübergreifenden Aktivitäten wie Projektkoordination, Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit, Kapazitätsbildung, und Datenmanagement standen die Forschungsschwerpunkte, gegliedert nach fünf Themenbereichen: Pelagische Ökosysteme, benthische Gemeinschaften, natürliche CO₂-reiche Standorte, Arteninteraktionen und Ökosystemdienstleistungen.

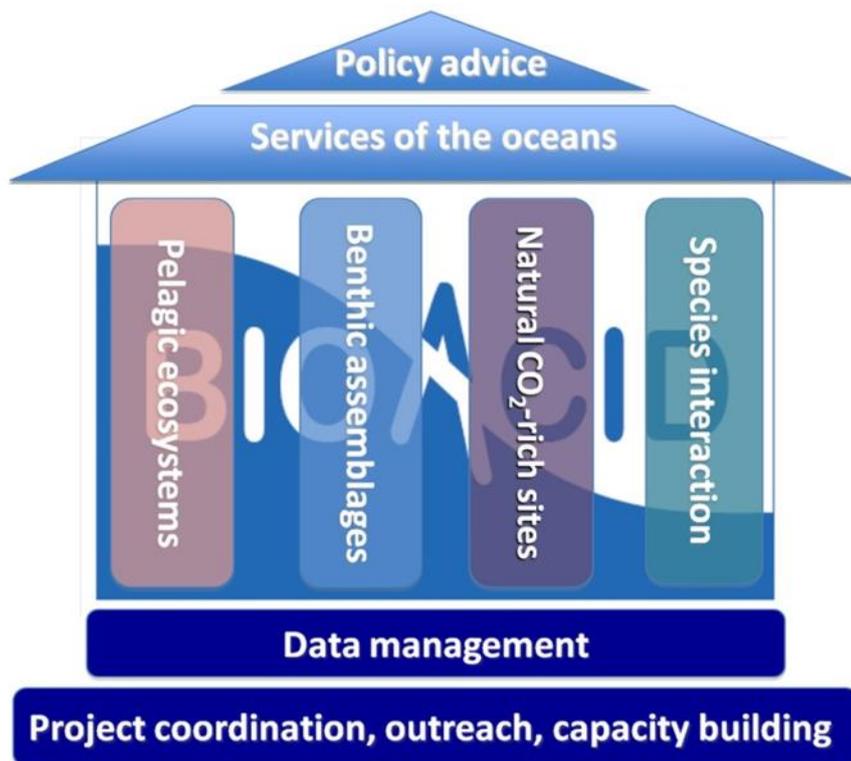


Abb. 1: Projektstruktur, mit übergreifenden Aktivitäten (Projektkoordination, Öffentlichkeitsarbeit, Aufbau von Kapazitäten und Datenmanagement) der fünf Themenschwerpunkte (1) *Pelagische Ökosysteme unter Versauerung der Ozeane: ökologische, biogeochemische und evolutionäre Reaktionen*, (2) *Reaktion der benthischen Gemeinschaften auf interaktiven Stress*, (3) *Natürliche CO₂-reiche Riffe als Fenster in die Zukunft: Akklimatisation des marinen Lebens auf langfristige Versauerung der Ozeane und Konsequenzen für die biogeochemischen Kreisläufe*, (4) *Auswirkungen der Versauerung der Meere in einem sich erwärmenden Klima auf Interaktionen zwischen den Arten an den Verteilungsgrenzen: Mechanismen und Konsequenzen auf Ökosystem-Ebene*, (5) *Dienstleistungen der Ozeane*. Die übergeordnete Aktivität "Politikberatung" umfasst Beiträge zu hochrangigen Berichten für Entscheidungsträger und Zwei-Wege-Kommunikation mit Interessensvertretern unterschiedlicher gesellschaftlicher Sektoren.

Wie in dem hier vorgelegten Schlussbericht umfassend dargestellt, wurden die für BIOACID Phase 2 gesteckten Ziele in allen Bereichen erfolgreich umgesetzt und substantielle Fortschritte in unserem Verständnis über die Folgen der Ozeanversauerung auf marine Organismen, Lebensgemeinschaften und den von ihnen getriebenen Stoffkreisläufen erzielt. Des weiteren ist es gelungen, sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Komponenten in das Konsortium zu integrieren. Auch konnte die internationale Kooperation weiter ausgebaut werden und wesentliche Beiträge zu internationalen Initiativen und Koordinationsaktivitäten geleistet werden, so u.a. zum Ocean Acidification International Coordination Centre (OA-ICC), zur Ocean Acidification International Reference User Group (OAIRUG) und zum Global Ocean Acidification Observing Network (GOA-ON). Gemeinsam mit anderen internationalen Partnern war BIOACID aktiv vertreten bei den United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Konferenzen in Doha 2012, Warschau 2013, Lima 2014 und

in Paris 2015. Durch vielfältige Mitarbeit auf verschiedenen Ebenen hat BIOACID darüber hinaus aktiv an der Erstellung des fünften IPCC-Sachstandberichts mitgewirkt und darauf hingewirkt, dass das Thema Ozeanversauerung erstmals prominent im IPCC-Bericht vertreten ist.

Dank der erfolgreichen Arbeit in allen Themenbereichen von BIOACID 2 konnte ein Datensatz über den Einfluss der Ozeanversauerung auf die marine Lebewelt erstellt werden, der in Umfang, wissenschaftlicher Breite und im Grad der Vernetzung weltweit einmalig ist. Dieser Datensatz bietet vielfältige Möglichkeiten für weiterführende Datenanalysen sowie für eine übergreifende Synthese der daraus gewonnenen Erkenntnisse. Dieser Aufgabe wird sich BIOACID in seiner dritten und letzten Phase widmen, mit dem Ziel eine integrierende Bewertung der zu erwartenden Auswirkungen der Ozeanversauerung im Wechselspiel mit anderen Umweltveränderungen zu erstellen. Für dieses ambitionierte Ziel haben die in BIOACID 2 geleisteten Arbeiten die bestmöglichen Voraussetzungen geschaffen.

GEOMAR Kiel (FKZ 03F0655A)

- WP 0.1: Projektmanagement und -koordination
- WP 0.2: Datenmanagement
- WP 1.1: Auswirkungen der Ozeanversauerung und -erwärmung auf biogeochemische Kreisläufe
- WP 1.3: Einschätzung und Verständnis der Reaktionen von natürlichen Gemeinschaften von Coccolithophoriden auf steigende atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen – ein Vergleich von eutrophen und oligitrophen Gemeinschaften
- WP 1.9: Auswirkungen der Ozeanversauerung und -erwärmung auf das Phytoplankton der Ostsee
- WP 1.10: Auswirkungen der Ozeanversauerung und -erwärmung auf das Zooplankton der Ostsee
- WP 1.11: Kombinierte Effekte der Ozeanversauerung Versauerung und -erwärmung auf den mikrobiellen Umsatz von organischen Stoffen
- WP 1.13: Anpassung des Phytoplanktons adaptation in einer "high CO₂ world"
- WP 2.3: Restrukturierung und Refunktionalisierung von Mikrophytobenthos dominierten Biofilmen auf Makrophyten.
- WP 2.5: Interaktionen zwischen innerartlicher genetischer Diversität und Umweltstress bei frühen Lebensstadien von Makroalgen
- WP 3.4: Speed of adaptation and competition along CO₂ gradients in temperate bivalve reefs
- WP 3.5: Structural and chemical changes on the biogenic carbonates under naturally occurring exposure to high pCO₂
- WP 3.6: Physiologische Reaktionen der azooxanthellaten Kaltwasserkoralle *Lophelia pertusa* auf synergistische Effekte des Klimawandels
- WP 4.5: Effects of ocean acidification on the early life stages of cod - from hatching to metamorphosing larvae
- WP 4.9: Effects of CO₂ and temperature changes on the quantity and quality of Atlantic and Arctic pteropods as food for cod species
- WP 5.1: Skill assessment of global biogeochemical models used in Ocean Acidification Research (Untersuchung zur Befähigung globaler biogeochemischer Modelle die im Rahmen der Ozean Versauerungsforschung Verwendung finden)
- WP 5.3: Model-based assessment of the potential interactions of OA impacts and the management of ocean services



GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Wischhofstr. 1-3

24148 Kiel

Telefon: 0431 600 – 4444, Fax: -4446

uriebesell@geomar.de

mmeyerhoefer@geomar.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 0.1:

Die BIOACID - Koordination unterstützt die BIOACID - Teilprojekte bei der Klärung wissenschaftlicher, finanzieller und organisatorischer Fragen, die zur erfolgreichen Durchführung der Projektarbeit erforderlich sind. Die BIOACID-Koordination ist ferner verantwortlich für das Berichtswesen von BIOACID.

WP 0.2:

Das BMBF Verbundprojekt BIOACID II hat sich dem Ziel verschrieben die Forschungsdaten aus den in BIOACID durchgeführten Experimenten und Feldobservationen über die Projektlaufzeit hinaus der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich zu machen. Die Projektteilnehmer haben sich dazu verpflichtet alle Daten innerhalb des Projektes für die abschließende Synthesephase und die wissenschaftliche Gemeinschaft über Projektlaufzeit ihre Daten im Forschungsdatenarchiv PANGAEA langfristig zu archivieren.

WP 1.1:

Ziel dieses Teilprojektes war es, die Reaktionen natürlicher Planktongemeinschaften auf Ozeanversauerung und deren Auswirkungen auf biogeochemische Stoffkreisläufe im Pelagial mithilfe von *in situ* Mesokosmenstudien zu untersuchen. Aufbauend auf bereits durchgeführte Mesokosmenstudien in anderen Großprojekten (EPOCA, MESOAQUA, SOPRAN) galt es insbesondere zwei wesentliche Lücken in den existierenden Datensätzen zu schließen: (1) eine Langzeitstudie in temperierten Breiten welche die saisonale Sukzession vom Beginn der Planktonentwicklung im Winter/Frühjahr bis zur Klarwasserphase im Sommer abdeckt, und (2) eine Studie in tropisch/subtropischen oligotrophen Gewässern. Für die Langzeitstudie bot sich der Gullmarfjord an der Westküste Schwedens als Untersuchungsgebiet an. Für die Studie in oligotrophen Gewässern wurden die Kanarischen Inseln als ideales Untersuchungsgebiet ausgewählt. Besonderes Augenmerk bei diesen Studien wurde auf die enge Verzahnung von ökophysiologischen, ökologischen, evolutionsbiologischen und biogeochemischen Fragestellungen gelegt. Darüber hinaus sollten interagierende Effekte von Ozeanversauerung, Erwärmung und Änderungen der Lichtintensitäten bei Coccolithophoriden in Kulturexperimenten in in-door Mesokosmenexperimenten untersucht werden.

WP 1.3:

Ziel dieses Teilprojektes war es, den Einfluss von Ozeanversauerung auf natürliche Phytoplanktonlebensgemeinschaften zu untersuchen. Besonderes Augenmerk war hierbei auf Coccolithophoriden gerichtet. Es sollte verstanden werden welche Arten im besonderen Maße von der Ozeanversauerung betroffen sind. Außerdem sollte untersucht werden welche physiologischen Mechanismen diesen Veränderungen zu Grunde liegen.

WP 1.9:

Ziel dieses Teilprojektes war es, die Auswirkung der Ozeanversauerung und Erwärmung auf das Phytoplankton der Ostsee in faktoriell kombinierten Mesokosmos-Experimenten zu untersuchen. Der Meskosmen-Ansatz wurde gewählt, um das Phytoplankton in vollständige Planktongemeinschaften einzubetten und in Kooperation mit anderen den WPs des Plankton-Konsortiums die Auswirkungen die Übertragung von Phytoplankton-Effekten auf andere Komponenten des planktischen Nahrungsnetzes und deren Rückwirkungen auf das Phytoplankton zu untersuchen.

Eine Besonderheit des Ostsee-Phytoplanktons besteht im Fehlen von kalzifizierenden Phytoplanktern. Darüber hinaus ist das Plankton der Ostsee schon jetzt starken Schwankungen des CO₂-Gehalts und des pH-Werts ausgesetzt, so dass keine oder nur eine geringe Sensitivität gegenüber CO₂-Anreicherung zu erwarten war. Eher war ein moderat eutrophierender Einfluss CO₂ zu erwarten.

WP 1.10:

Ziel dieses Teilprojektes war es, die Auswirkung der Ozeanversauerung und Erwärmung auf das Mesozooplankton der Ostsee in faktoriell kombinierten Mesokosmos-Experimenten zu untersuchen. Der Meskosmen-Ansatz wurde gewählt, um das Zooplankton in vollständige Planktongemeinschaften einzubetten und in Kooperation mit anderen den WPs des Plankton-Konsortiums die Auswirkungen die Übertragung von Zooplankton-Effekten auf andere Komponenten des planktischen Nahrungsnetzes und deren Rückwirkungen auf das Zooplankton zu untersuchen.

Eine Besonderheit des Ostsee-Zooplanktons besteht im Fehlen von kalzifizierenden Organismen (z.B. Flügelschnecken). Darüber hinaus ist das Plankton der Ostsee schon jetzt starken Schwankungen des CO₂-Gehalts und des pH-Werts ausgesetzt, so dass keine oder nur eine geringe Sensitivität gegenüber CO₂-Anreicherung zu erwarten war.

WP 1.11:

Teilprojekt 1.11 beschäftigt sich mit den kombinierten Effekten der Ozeanversauerung und Ozeanerwärmung auf marine Bakterien und den mikrobiellen Kohlenstoffkreislauf. Insbesondere soll die Produktion und der Abbau organischen Materials unter erhöhten CO₂- und Temperaturbedingungen untersucht werden.

WP 1.13:

Ziel des Teilprojektes 1.13 war es zu untersuchen, welche Bedeutung den Prozessen der evolutionären Anpassung in natürlichen Phytoplanktonpopulationen bei Ozeanversauerung zukommt. Dieses Forschungsvorhaben wurde maßgeblich durch die Ergebnisse von WP 1.1.4 in BIOACID Phase I (Lohbeck et al. 2012, Lohbeck et al. 2013) motiviert. Für die angestrebten Untersuchungen sollte der bereits erprobte Modellorganismus *Emiliana huxleyi* herangezogen werden um Änderungen der Genotypenfrequenzen und der damit verbundenen phänotypischen Konsequenzen in natürlichen Populationen in replizierten Mesokosmen unter Ozeanversauerung zu untersuchen. Hierzu war ein mehrstufiger Ansatz, bestehend aus automatisierter Zellsortierung mittels Durchflusszytometrie, genetischen Analysen zur Identifizierung von Punktmutationen sowie komplementären Laborexperimenten zur Bestimmung der evolutionären Fitness und weiteren

phänotypischen Merkmalen vorgesehen. Die so gewonnenen Ergebnisse sollten dabei helfen Aufschluss über die relative Bedeutung von physiologischen, ökologischen und evolutionären Prozessen bei der Anpassung von natürlichen Phytoplanktonpopulationen an Ozeanversauerung zu gewinnen (De Mazancourt et al. 2008, Post & Palkovacs 2009, Collins & Gardner 2009).

WP 2.3:

Ziel dieses Teilprojektes war es, die gleichzeitige Erhöhung der Temperatur sowie des CO₂ Gehalts des Meerwassers auf die Struktur und Funktion der Epibionten (Epiphyten und Bakterien) vom habitatbildenden Blasentang *Fucus vesiculosus* in der Ostsee zu untersuchen. Insbesondere die Epiphyten spielen für habitatbildende Makrophyten, wie *Fucus* und Seegrass, eine Schlüsselrolle, da sie zum einen mit ihnen um Licht und Nährstoffe konkurrieren, und zum anderen die Basis des assoziierten Nahrungsnetzes sind. In anderen Worten hängen *Fucus* assoziierte Weidegänger (Schnecken und Crustaceen) sowie deren Räuber von den Epiphyten als Futterquelle ab, und stellen gleichzeitig durch das Abweiden sicher, dass die *Fucus* Thalli nicht überwachsen werden. Um die Veränderung der Gemeinschaftsstruktur und Funktion der Epibionten und die daraus resultierenden Konsequenzen für dieses fragile Gleichgewicht im *Fucus* System zu untersuchen wurden insgesamt sechs Benthokosmosexperimente über verschiedene Jahreszeiten durchgeführt. Dabei wurde die Gemeinschaftsstruktur sowie die Biomasse der Epiphyten, die Abundanz der assoziierten Bakterien und die Abundanz und Biomasse der wichtigsten der assoziierten Weidegänger in Antwort an erhöhte Temperatur und CO₂ Konzentrationen untersucht.

WP 2.5:

Der Effekt des Klimawandels auf die Makroalge *Fucus vesiculosus* hängt von der Interaktion verschiedener Faktoren sowie von dem durch genetische Diversität bestimmten Anpassungspotential der Populationen ab. Die hohe Sterblichkeit in den Jungstadien der Makroalgen führt zu einer erhöhten Sensitivität gegenüber Umweltstress und zu umweltbedingten Selektionsprozessen. Die genetische Diversität der *F. vesiculosus* Populationen in Teilen der Ostsee ist verglichen mit anderen, z.B. atlantischen Populationen verringert. Diese Verringerung der genetischen Diversität begrenzt womöglich das Anpassungspotential dieser Populationen gegenüber Umweltveränderungen im Zuge des Klimawandels. In diesem Projekt wurden sechs Hypothesen untersucht, die im Projektantrag wie folgt formuliert waren:

- (1) Verschiedene Familien (Geschwisterscharen) unterscheiden sich in ihrer Sensitivität gegenüber einzelnen und kombinierten Stressoren
- (2) Keimlinge, die unter Stresseinfluss selektiert wurden, unterscheiden sich von nicht stressselektierten Populationen im Hinblick auf:
 - a – die phänotypische Effizienz (Wachstum und Photosynthese)
 - b – die Sensitivität gegenüber einzelnen oder kombinierten Stressoren
 - c – die genetische Diversität
 - d – den epibiotischen Biofilm
- (3) Die genetische Diversität zeigt einen Effekt auf
 - a – die phänotypische Effizienz (Wachstum und Photosynthese)

b – die Sensitivität gegenüber einzelnen oder kombinierten Stressoren

c – die Beta-Diversität des epibiotischen Biofilms

- (4) Es gibt Interaktionen zwischen den Hypothesen 2 und 3
- (5) Umweltstress verursacht selektive Mortalität, was in gestressten Populationen zu einer erhöhten Proportion bestimmter Allele verglichen mit ungestressten Populationen führt.
- (6) Die Verbreitung von stresstoleranten Genotypen in natürlichen Populationen unterscheidet sich zwischen Nord- und Ostseepopulationen

WP 3.4:

Das Teilprojekt befasste sich mit den Auswirkungen erhöhter Seewasser CO₂ Konzentrationen auf Miesmuscheln und deren evolutives Anpassungspotential. Miesmuschelbänke sind wichtige Ökosysteme, die vielen anderen Tier und Pflanzenarten ein wertvolles Habitat bieten. Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Feld- und Laborexperimente sowie Monitoringprojekte im Feld durchgeführt. Insbesondere wurde zum ersten Mal ein 3 Jahre dauerndes Selektionsexperiment im Labor erfolgreich durchgeführt. Natürliche Schwankungen im CO₂ Gehalt zwischen der Nordsee (Sylt) und der Ostsee (Kieler Förde) wurden genutzt, um langfristige (Dekaden – Jahrhunderte) Anpassung von Muscheln (Lokale Adaptation) an Ozeanversauerung zu untersuchen.

WP 3.5:

Anhand von Proben mariner kalzifizierender Organismen aus einem Habitat mit natürlich erhöhtem pCO₂ (PNG) sollten strukturelle und chemische Veränderungen in den Karbonatskeletten in Abhängigkeit zum pH untersucht werden. Daraus sollte abgeleitet werden, inwieweit die betroffenen Organismen ihre für die Kalzifikation relevanten physiologischen Prozesse diesen Umweltbedingungen anpassen können. Daraus sollten Aussagen bezüglich Akklimatisation bzw. Adaptation und damit Prognosen für die künftige Performance dieser Organismen unter weiter fortschreitender Ozeanversauerung abgeleitet werden.

WP 3.6:

Im Rahmen des Teilprojekts 3.6 wurden zwei Langzeit-Laborexperimente mit einer der verbreitetsten Kaltwasserkorallen – *Lophelia pertusa* – durchgeführt, in denen die Auswirkungen des Klimawandels (steigende Temperaturen und erhöhte CO₂-Konzentrationen im Meerwasser) auf diese Art untersucht wurden. *Lophelia pertusa* kommt in den meisten Weltmeeren vor und bildet sehr große Riffe, die in ihrer Ausprägung massiver Strukturen ähnlich denen zu tropischen Korallenriffen sind. Die Riffe beherbergen eine Vielzahl (über 2700 Arten bekannt) anderer Meeresbewohner, die in, um und mit den Kaltwasserkorallen leben. Heute sind die Riffe bedroht durch diverse anthropogene Aktivitäten wie Fischfang, Verschmutzung, und Tiefseebergbau. Aber auch indirekte Auswirkungen durch steigende Kohlenstoffdioxid-Emissionen in der Atmosphäre beeinflussen die Tiere. Ihre empfindlichen Skelette sind aus Kalziumkarbonat aufgebaut, dessen chemische Struktur sich in Karbonat-untersättigtem Meerwasser aufzulösen beginnt. Einhergehend mit den erhöhten CO₂-Konzentrationen und damit verbundenem sinkenden Karbonatgehalt (Ozeanversauerung) im Wasser erwärmen sich die Atmosphäre und somit auch die Meere. Die Auswirkungen, die diese Erwärmung

und die Ozeanversauerung des Meeres auf diese sensiblen Organismen haben, wurden in zwei Laborexperimenten mit unterschiedlichen Fragestellungen untersucht.

Zudem wurden Feldstudien unternommen zu den Riffen in Norwegischen Gewässern, in denen die Korallen für die Laborexperiment gesammelt wurden, um die erhobenen Daten im Labor mit natürlichen Raten vergleichen zu können und die Umweltparameter zu erfassen, unter denen die Korallen leben.

WP 4.5:

Ziel dieses Teilprojektes war die vergleichende Analyse des Einflusses von Ozeanversauerung auf verschiedene Dorsch- bzw. Fischbestände unter besonderer Berücksichtigung der larvalen Stadien. Dazu fanden Laborexperimente in Kristineberg/Schweden von Anfang April bis Ende Juni 2013 mit Dorschlarven des Bestandes aus der westlichen Ostsee, die bei CO₂ Gehalten von 400 ppm und 1000 ppm (Szenario für das Jahr 2100) und zwei Temperaturen (7°C und 9°C) unter Zugabe von Naturplankton gehältert wurden, statt (Masterarbeit, Martina Stiasny 2013).

Während der KOSMOS-Experimente in Kristineberg/Schweden in 2013 ist uns der erstmalige Einsatz von Fischlarven (Heringe) in pelagischen Mesokosmen unter Bedingungen, wie wir sie für den Ozean der Zukunft erwarten, gelungen. Parallel dazu fanden Laborexperimente mit Heringslarven bei vergleichbaren CO₂ Gehalten und Futterbedingungen wie in den Mesokosmen statt (Dissertation, Michael Sswat). Dies ermöglicht jetzt vergleichende Untersuchungen zum direkten Einfluss von CO₂ auf die Fischlarven im Laborexperiment und zum indirekten Einfluss über mögliche Veränderungen in der Nahrungskette.

Bei Laborexperimenten in Tromsø in 2014 und 2015 mit Dorschlarven eines Wildbestandes aus der Barentssee stand der direkte Einfluss von CO₂ auf das Wachstum und die Sterblichkeit der Larven im Fokus. Die Bedeutung der Energiezufuhr, die den Larven über die Nahrungsmenge angeboten wurde, sollte in Bezug auf die Stresstoleranz gegenüber CO₂ durch zwei unterschiedliche Futterangebote (hoch – niedrig) an die Larven untersucht werden. Um das Adaptationspotential auf CO₂- Stressoren zu untersuchen, wurden Elterntiere vor der erwarteten Laichzeit sowohl bei CO₂ Gehalten von heute (400 ppm) als auch bei 1200 ppm gehältert, um zu prüfen inwieweit die Larven eine Anpassung an den Stressor über die Vorbehandlung der Elterntiere erfahren können (transgenerationale Anpassung, Dissertation, Felix Mittermayer).

WP 4.9:

Ziel dieses Teilprojektes war, thecosome Pteropoden (*Limacina helicina* und *L. retroversa*), die für den atlantischen und polaren Dorsch (*Gadus morhua*, *Boreogadus saida*) wichtiger Nahrungsbestandteil sein können, hinsichtlich ihrer Sensitivität gegenüber Ozeanerwärmung und –versauerung (OWA, aus dem englischen: **O**cean **W**arming and **A**cidification) zu untersuchen, um Ökosystemfolgen, die aus einer möglichen Verschlechterung der Quantität und/oder Qualität dieser Nahrungskomponente resultieren könnten, besser abschätzen zu können. Durch Laborexperimente unter erhöhten Temperaturen und CO₂ Partiladrücken (*p*CO₂) sollten zum einen der quantitative (Reproduktionserfolg, Mortalität), zum anderen der qualitative (Nährwert bzw. Lipidgehalt und –zusammensetzung, C/N Gehalt) Aspekt untersucht werden. Geplant waren auch Fraßexperimente mit unter Normal- bzw. veränderten Temperatur- und *p*CO₂-Bedingung gehälterten Pteropoden, die an die Dorscharten verfüttert werden sollten, um Rückschlüsse auf den Energietransfer zu ziehen.

WP 5.1:

Globale biogeochemische Modelle stellen ein zentrales Werkzeug zur Untersuchung und Vorhersage globaler Effekte von Ozeanversauerung und Erwärmung auf Produktion, Export und Auflösung von CaCO_3 dar. Neben der Entwicklung verbesserter Parameterisierungen dieser Prozesse für die genannten Modelle ist die datenbasierende Evaluation der Modelle eine wesentliche Voraussetzung für verlässliche Vorhersagen. Zentrales Thema dieses Projektes war die Untersuchung und Entwicklung von Evaluationswerkzeugen für globale Ozeanmodelle unter Berücksichtigung der verfügbaren globaler Datensätze. Weiterhin sollten die entwickelten Verfahren exemplarisch auf Modelle des Coupled Model Intercomparison Projectes (CMIP5) angewendet werden.

WP 5.3:

Ein erstes Ziel dieses Arbeitspakets ist eine Beurteilung potentieller Auswirkungen versauerungsinduzierter Änderungen auf das Phytoplankton C:N Verhältnis. In diesem Zusammenhang sollen mögliche Änderungen in der Qualität und Struktur des Zooplankton Nahrungsnetzes, auf potentiellen Fischereiertrag und Kohlenstoff-Export in die Tiefe des Ozeans untersucht werden. Mit Hilfe von Modellsimulationen werden vor allem mögliche Konsequenzen quantitativer Art die durch Änderungen des Phytoplankton C:N Verhältnisses verursacht werden in einer Reihe von anthropogenen CO_2 -Emissionsszenarien untersucht.

Ein zweites Ziel ist eine modellbasierte Untersuchung möglicher Rückkoppelungsprozesse auf das marine Ökosystem die durch den Eingriff der Fischerei ausgelöst werden. Durch die extensive Fischerei ändert sich der Druck auf die Zooplankton Sterblichkeit, welches wiederum einen Einfluß auf die Phytoplankton-Biomasse und die biologische Pumpe des Meeres hat. Derzeit ist nicht klar, in welchem Umfang Rückkopplungsprozesse existieren und inwieweit eine Wechselwirkung zwischen Versorgung (Fischerei) und Regelung (CO_2 -Aufnahme des Ozeans) besteht. Zur quantitativen Erfassung dieser hypothetischen Rückmeldungen werden eine Reihe von Sensitivitätsexperimenten in einem Biogeochemischen-Zirkulationsmodell für unterschiedliche Formulierungen der Zooplankton Sterblichkeit durchgeführt.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 0.1:

Zur Gewährleistung eines effizienten Projektmanagements wurde ein Projektmanager (PM) in Vollzeit eingestellt. Das Projekt wird durch ein Management - Team betreut, welches unter anderem Informationsaustausch, Einsatz von Forschungsschiffen, projektübergreifende Experimente, Datenmanagement, internationale Kooperation und die Organisation von Workshops beinhaltet.

Die Unterstützung der zentralen Verwaltung des GEOMAR wurde als Eigenleistung in das Projekt eingebracht.

Die Position des Projektmanagers (PM) wurde von Dr. Michael Meyerhöfer eingenommen, der diese Position schon in der dreijährigen ersten Phase von BIOACID ausfüllte und enorm zur Vorbereitung aller BIOACID – Anträge beigetragen hat.

WP 0.2:

Die in BIOACID II durchgeführten Experimente und Feldkampagnen und die resultierenden Forschungsdaten sind die Basis für wissenschaftliche Publikationen. Diese Forschungspublikationen werden Projektphasenübergreifend wiederverwendet und in weiterführenden Synthesen verarbeitet.

Die Zusammenführung des Datenmanagements an den Standort Kiel zur Projektkoordination war eine pragmatische Umstellung von der ersten zur zweiten BIOACID Projektphase. Aufgrund der direkteren Kommunikation zwischen diesen beiden Teilprojekten sollte die Wichtigkeit der Datenarchivierung für alle Projektpartner deutlich unterstrichen werden. Dies war nicht nur im Hinblick auf die Langzeitarchivierung ausgerichtet, sondern auch auf die Datennutzung in einer möglichen dritten Synthesephase vorausgeplant.

WP 1.1:

Mit den Kiel Off-Shore Mesocosms for Future Ocean Simulations (KOSMOS) stand dem Teilprojekt ein erprobtes und erfolgreich eingesetztes mobiles Mesokosmensystem zur Verfügung. Neben der technischen Expertise zum Einsatz und Betrieb der Mesokosmen-Plattform hat das KOSMOS Team in vorangegangenen Projekten auch die Expertise für die logistische Umsetzung sowie die Einbindung und Betreuung der zahlreichen an den Studien beteiligten Arbeitsgruppen anderer Institute aufgebaut. Dazu zählte auch die Anbahnung und der Auf-/Ausbau wissenschaftlicher Kooperationen mit lokalen Forschergruppen an den jeweiligen Untersuchungsstandorten. Wichtige Grundlage für die erfolgreiche Verwertung der umfangreichen Datensätze bestand darin, einen offenen und effizienten Datenaustausch zu ermöglichen, eine disziplinübergreifende Dateninterpretation zu initiieren, eine gemeinschaftliche Publikationsstrategie zu entwerfen und zu realisieren, sowie die dauerhafte Datenverfügbarkeit und Datenarchivierung sicher zu stellen. Die hierfür notwendige Expertise hat das KOSMOS Team bei vergleichbaren Projekten über die vergangenen Jahre auf- und sukzessive weiter ausgebaut.

WP 1.3:

Das Team um Kai Schulz und Björn Rost ist auf physiologische und ökologische Untersuchungen an Phytoplankton (insbesondere Coccolithophoriden) spezialisiert. Die exzellente experimentelle Infrastruktur am GEOMAR in Form der KOSMOS offshore Mesokosmen und des Membraneinlass-Massenspektrometer-Labors am AWI haben sicher gestellt, dass die oben genannten Fragestellungen sowohl unter naturnahen und das gesamte System umfassenden als auch unter kontrollierten Labor-Bedingungen bearbeitet werden konnten.

WP 1.9:

Infrastrukturelle Voraussetzung für das Vorhaben war die im Zuge des DFG-Schwerpunktprogramm „AQUAHIFT“ s aufgebaute Mesokosmenanlage in vier Kulturräumen des GEOMAR, die insgesamt 12 parallele Mesokosmen mit einer Temperatursteuerung über die Temperatur der Kulturräume und eine individuelle Lichtsteuerung ermöglicht. Die Anlage wurde durch ein System zur Zufuhr verschiedener, steuerbarer Luft-CO₂-Gemische ergänzt. Im Rahmen von AQUASHIFT hat die AG von U. Sommer umfangreiche Erfahrungen in der Durchführung Mesokosmenversuchen zu den Effekten der Klimaerwärmung auf das Plankton erworben. Mesokosmos-Experimente mit einer Kombination von Temperatur- und CO₂-Manipulationen lagen weder in Kiel noch anderswo vor.

WP 1.10:

Infrastrukturelle Voraussetzung für das Vorhaben war die im Zuge des DFG-Schwerpunktprogramm „AQUAHIFT“ s aufgebaute Mesokosmenanlage in vier Kulturräumen des GEOMAR, die insgesamt 12 parallele Mesokosmen mit einer Temperatursteuerung über die Temperatur der Kulturräume und eine individuelle Lichtsteuerung ermöglicht. Die Anlage wurde durch ein System zur Zufuhr verschiedener, steuerbarer Luft-CO₂-Gemische ergänzt. Im Rahmen von AQUASHIFT hat die AG von U. Sommer umfangreiche Erfahrungen in der Durchführung Mesokosmenversuchen zu den Effekten der Klimaerwärmung auf das Plankton erworben. Mesokosmos-Experimente mit einer Kombination von Temperatur- und CO₂-Manipulationen lagen weder in Kiel noch anderswo vor.

Eine weitere Motivation bestand in den in der AG von U. Sommer durchgeführten Arbeiten von D. Rossoll, der zeigte, dass der Zooplankter *Acartia* zwar nicht auf CO₂-Anreicherung des Wassers reagierte, aber bei Fütterung mit der Kieselalge *Thalassiosira* eine niedrigere Eiproduktion aufwies, wenn diese unter CO₂-reichen Bedingungen kultiviert worden war. Das wurde auf einen niedrigeren Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren der solcherart kultivierten Futteralge zurückgeführt. Allerdings verschwand dieser Effekt bei Fütterung mit natürlichem Mischplankton, weshalb generell ein dämpfender Effekt von Biodiversität erwartet wurde.

WP 1.11:

Die Arbeitsgruppe um A. Engel am GEOMAR verfügte über die notwendige Expertise in der Durchführung von Experimenten zur Ozeanversauerung durch vorhergehende Labor- und Freiland-Studien (z.B. Engel 2002; Engel *et al.* 2005; Engel *et al.* 2008). Die vorhandene Infrastruktur erlaubte eine detaillierte Untersuchung von Veränderungen im organischen Material (organischer Kohlenstoff, Kohlenhydrate, Aminosäuren) sowie im Wachstum und in der Aktivität mariner Bakterien. Die PostDoc-Stelle wurde zum 1.11.2012 mit Frau Sonja Endres besetzt, die ihre Dissertation im Rahmen des BIOACID I Projektes durchgeführt hatte und exzellente Vorkenntnisse für die erfolgreiche Durchführung der Arbeiten in Phase II hatte.

WP 1.13:

Die Rahmenbedingungen zur Durchführung von Teilprojekt 1.13 am GEOMAR - Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel wurden durch eine enge Zusammenarbeit von Prof. Dr. Thorsten Reusch (Evolutionsoökologie) und Prof. Dr. Ulf Riebesell (Biologische Ozeanographie) geschaffen.

WP 2.3:

Das Team um Birte Matthiessen ist darauf spezialisiert die Konsequenzen für Ökosystemfunktionen durch sich verändernde Gemeinschaftsstrukturen und Diversität zu untersuchen und hat dies bereits in verschiedenen biologischen Systemen (Periphyton, Phytoplankton) erfolgreich gezeigt. Die exzellente experimentelle Infrastruktur am GEOMAR in Form der Benthokosmen hat sicher gestellt, dass diese Fragestellung in einer naturnahen und das gesamte System umfassenden experimentellen Umgebung bearbeitet werden konnte.

WP 2.5:

Innerhalb des Konsortiums "Benthische Ökosysteme" wurde das Vorhaben in dem Zeitraum 1. September 2012 – 30. August 2015 durchgeführt. Zur Simulation verschiedener Klimawandelfaktoren wurde die Infrastruktur „Kieler Benthokosmen“ genutzt. Dort wurden gemeinsame Experimente mit den anderen Teilgruppen dieses Konsortiums unternommen. Für alle Untersuchungen wurden Laboratorien mit den notwendigen Geräten des GEOMAR genutzt: für genetische Analysen die Molekularlabore des Instituts der Benthosökologie, sowie des Forschungsbereichs 3 „Marine Ökologie“; zur Durchführung von Experimenten unter kontrollierten Bedingungen, den „Indoor Experimenten“, eine Klimakammer mitsamt einer CO₂ Anlage. Das Projekt wurde von Balsam Al-Janabi (Doktorandin) unter der Betreuung von Inken Kruse und Martin Wahl durchgeführt.

WP 3.4:

Die Projektarbeit wurde in enger Zusammenarbeit von F. Melzner und J. Thomsen vom GEOMAR durchgeführt und beinhaltete eine Kooperation mit Teilprojekt 3.7 (G. Lannig, L. Stapp, AWI). Des Weiteren widmete MTA Ulrike Panknin (AG Melzner) 50% ihrer Arbeitszeit den aufwendigen Aufzuchtexperimenten während des 3 Jahresexperimentes. Auch wurden diverse Hilfswissenschaftler und Masters Studenten in die Arbeiten einbezogen. Die Arbeiten basierten auf Expertise, die im Rahmen von Bioacid I sowie einer Juniorforschergruppe im Rahmen des Exzellenzclusters ‚Future Ocean‘ (F. Melzner, 2007-2013) erworben worden war (z.B. Thomsen et al. 2010, Melzner et al. 2011). Monitoring Equipment (HydroC CO₂ Sensor) zur kontinuierlichen Bestimmung des CO₂ Partialdrucks in der Kieler Förde konnte über ein anderes Projekt finanziert werden (KIMOCC, Future Ocean, F. Melzner), war aber für die Durchführung dieses Projektes extrem wichtig.

Das 3 Jahres Multigenerationsexperiment konnte nur aufgrund der sehr guten technischen Ausstattung der GEOMAR Kulturräume durchgeführt werden. Diese zeichnen sich durch präzise Temperatursteuerung, direkte Versorgung mit Ostseewasser (2000 Liter / Tag), sowie eine präzise CO₂ Steuerungsanlage aus. Notwendig war auch die Etablierung einer Algenkultur (14 Liter Produktion / Tag) zur Aufzucht der Muscheln. Weitere Labore der AG Melzner (Physiologie und Molekularbiologische Laboratorien; Respirometrie Equipment, Coulter Counter, Muffelofen, Karbonatchemie Analyse) sowie des Fachbereichs Marine Ökologie waren für die Durchführung des Vorhabens notwendig.

WP 3.5:

Das Vorhaben war Teil des Konsortiums 3 („Natürliche CO₂-reiche Riffe...“; tropisches Teilkonsortium). Proben stammten sowohl von der australischen Projektpartnerin Dr. K. Fabricius (AIMS) als auch von 2 Expeditionen nach Papua-Neuguinea während der Laufzeit von BIOACID-Phase 2. Für die Arbeiten im Projekt war für 18 Monate eine Post-Doc-Stelle bewilligt, welche mit Dr. Marlene Wall für die Zeit 01/2013-06/2014 besetzt wurde. Durch Abteilungsmittel (GEOMAR FB2-FE MG) konnte zusätzlich 2 Personalmonate (11/2012-12/2012) für das Projekt gewonnen werden, so dass Dr. M. Wall bereits vorzeitig mit ihren Arbeiten in BIOACID beginnen konnte. Darüber hinaus konnte durch Unterstützung seitens WP 3.4 (PI Dr. Frank Melzner) 2 zusätzliche Personalmonate (07/2014-08/2014) genutzt werden, so dass Dr. M. Wall insgesamt 22 Monate für BIOACID tätig sein konnte.

WP 3.6:

Die Laborexperimente wurden in dem bereits vorhandenen, aber für die gewünschten Experimentbedingungen modifizierten Kaltwasserkorallen-Hälterungssystem (geschlossene Kreislaufanlage) in einem klimatisierten Kulturraum am GEOMAR durchgeführt.

Die Laborexperimente und Feldstudien konnten nur durch die bei der DFG beantragten Forschungsreisen (POS455 und POS473) 2013 und 2014 mit dem Forschungsschiff POSEIDON durchgeführt werden. Diese Reisen dienten nicht nur zum Sammeln der Organismen für die Experimente, sondern auch zum Ausbringen und wieder Einholen der Tiefseeobservatorien und *in-situ* Experimenten (siehe hierzu auch Zwischenberichte).

WP 4.5:

Durch die gute Zusammenarbeit innerhalb des BIOACID consortiums und der Vernetzung innerhalb der jeweiligen Fach-Netzwerke konnte das Vorhaben effizient und mit großem Erfolg durchgeführt werden.

WP 4.9:

WP 4.9 baute auf den umfangreichen Vorerfahrungen auf, die die beiden Teilprojektleiter Silke Lischka und Martin Graeve durch vorangegangene Arbeiten an thecosome Pteropoden vorweisen können. Im Rahmen von BIAOCID I WP 3.2.1 konnte S. Lischka weitreichende Erfahrungen mit Laborexperimenten an Pteropoden unter veränderten Temperatur und pCO₂-Bedingungen sammeln, die in zwei Publikationen mündeten (Lischka et al. 2011, Lischka und Riebesell 2012). M. Graeve verfügt über langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der Lipidanalytik an marinen Organismen einschließlich Pteropoden (z.B. Gannefors et al. 2005, Böer et al. 2007).

WP 5.1:

Das Vorhaben wurde im Rahmen von BIOACID vom BMBF über die Projektlaufzeit (36 Monate) mit insgesamt 20 Mann-Monaten für eine Wissenschaftlerstelle gefördert. Die Arbeiten wurden durch den Antragsteller selbst durchgeführt.

Die Arbeitsgruppe des Antragstellers verfügt über umfangreiche Erfahrungen im Bereich der marinen biogeochemischen Modellierung sowie der Evaluierung biogeochemischer Modelle. Vorarbeiten standen u.a. aus WP 5.2 von BIOACID I zur Verfügung. Hierzu gehören insbesondere die Modelle mit denen die Evaluationsmethoden getestet werden sollten. Hierbei handelt sich insbesondere um globale 3D-Modelle, die die sogenannte Transport Matrix Methode (TMM) verwenden. Dabei wird ein parallelisiertes Offline-Verfahren verwendet, das in der Lage ist, Gleichgewichtssimulationen (6-10.000 Modelljahre) eines globalen biogeochemischen Modelles in sinnvoller horizontaler Modellauflösung (z.B. $1 \times 1^\circ$, 26 Tiefenschichten) mit vertretbarem Zeit und Ressourcenaufwand zu rechnen. Für die Modellarbeiten standen Rechenzeit und umfangreiche Datenspeicherkapazitäten durch eine Zusammenarbeit zwischen GEOMAR und der CAU-Kiel auf dem Linux-Rechencluster des Rechenzentrums der Universität zur Verfügung.

Bzgl. der Anwendung der Evaluationsverfahren auf Modelloutput von CMIP5 wurde auf öffentlich zugängliche Daten (ESGF-Grid) zugegriffen. Für das Postprocessing und die allgemeine Modelldatenauswertung stand Rechnerkapazität am GEOMAR zur Verfügung. Die Vorstellung der Projektergebnisse auf mehreren internationalen Kongressen wurde durch Grundausstattungsmitel GEOMAR finanziert.

WP 5.3:

Die Arbeitsgruppe um Prof. A. Oschlies am GEOMAR verfügt über umfangreiche Erfahrungen im Bereich der marinen biogeochemischen Modellierung. Das in der Gruppe etablierte Erdsystem Model UVic 2.9 konnte daher für die Arbeiten in diesem Teilprojekt genutzt werden. Zusätzlich wurde durch die Arbeitsgruppe die Infrastruktur, die für die Modellsimulationen notwendig war, zur Verfügung gestellt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 0.1:

siehe Aufgabenstellung

WP 0.2:

Aufgrund einer schleppend verlaufenden Datenarchivierung in der ersten BIOACID Projektphase wurde die Durchführung deutlich stringenter geplant. Als erster Schritt wurde in die halbe Stelle für die gesamte Projektphase verblockt auf eine Vollzeitstelle für die zweiten Hälfte der zweiten Projektphase von BIOACID. Dennoch war Datenmanagement bei allen BIOACID II Treffen als Programmpunkt mit Präsentationszeit und Berichten vertreten. In der ersten Hälfte wurden durch institutionelle Unterstützung des GEOMAR Datenmanagement-Teams und der GEOMAR Bibliothek deutliche Änderungen am Informationsmanagement auf den Weg gebracht. Publikationen von BIOACID wurden ab Beginn der zweiten Phase durch die GEOMAR Bibliothek verwaltet und im

GEOMAR OceanRep nachgewiesen. Das OceanRep stellte von diesem Zeitpunkt an die gesamte BIOACID -Publikationsliste für die Website (www.bioacid.de) zur Verfügung.

Basierend auf der aktuell geführten Publikationsliste war es möglich die Arbeitsgruppen und Autoren zu identifizieren, die zu diesem Zeitpunkt noch keine supplementären Daten zu ihren Publikationen oder Experimenten veröffentlicht hatten. Darauf zurückgreifend wurden mit der Besetzung der Vollzeitstelle wiederholte Datenanfragen an die Ansprechpartner der jeweiligen Publikationen generieren bzw. die Arbeitsgruppenleiter angeschrieben. Mit Hilfe dieser Datenanfragen wurden Publikationsbezogene Daten eingesammelt und in PANGAEA archiviert.

Mittels des PANGAEA Editorial-Systems wurden die Informationen zur erfolgreichen Archivierung eines Datensatzes zusammengetragen und notwendige Rückfragen und Anpassungen an den Datensets dokumentiert.

WP 1.1:

WP1.1 hat in BIOACID Phase 2 die folgenden Aktivitäten durchgeführt:

- (1) Ausrichtung einer Langzeitmesokosmenstudie mit dem KOSMOS System im Gullmarfjord an der Westküste Schwedens von Januar bis Juli 2013.
- (2) Ausrichtung eine Mesokosmenstudie mit dem KOSMOS System in subtropischen oligotrophen Gewässern vor Gran Canaria in 2014. Da die für Februar bis April vorgesehene Studie im ersten Anlauf aufgrund eines Sturmereignisses vorzeitig abgebrochen werden musste, wurde das Experiment von Oktober bis Dezember 2014 erfolgreich wiederholt. Dies wurde durch eine Aufstockung der Mittel durch das BMBF ermöglicht.
- (3) Teilnahme an in-door Mesokosmen-Experimenten zu kombinierten Effekten von Ozeanversauerung und Erwärmung unter Federführung von WP1.9.
- (4) Kulturexperimente im Labor mit dem Ziel, interagierende Effekte von Ozeanversauerung, Erwärmung und Änderungen der Lichtintensität bei Coccolithophoriden zu ermitteln.
- (5) Eine umfassende Analyse des gegenwärtigen Kenntnisstandes über die Sensitivitäten von Coccolithophoriden gegenüber Ozeanversauerung und die Entwicklung eines allgemeingültigen Konzeptes, das die beobachteten Sensitivitäten mechanistisch erklären kann.

WP 1.3:

Insgesamt wurden zwei Mesokosmenexperimente und etliche physiologische Studien mit Coccolithophoriden durchgeführt. Die physiologischen Studien wurden maßgeblich von Lennart Bach (Post Doktorand), Scarlett Sett (Doktorand), Yong Zhang (Doktorand), Dorothee Kottmeier (Doktorandin) und Sebastian Rokitta (Post Doktorand) mit geplant und durchgeführt. Hierbei war es Ziel, ein Verstaendnis zu gewinnen wie einzelne Parameter des Karbonatsystems den Coccolithophoridenmetabolismus beeinflussen. Außerdem wurde untersucht, wie andere Faktoren (Licht und Temperatur) die Reaktion auf Veränderungen in der Karbonatchemie modifizieren. Die physiologischen Studien wurden weitestgehend zwischen den Mesokosmenstudien bewerkstelligt. Die Mesokosmenstudien wurden maßgeblich vom W.P. 1.1 Team (Team Riebesell) und Lennart Bach geplant und durchgeführt. Die Studie in Schweden (Teil von W.P. 1.1) begann im Januar 2013 und dauerte bis Juli 2013. Die Studie in Gran Canaria begann im Januar 2014 und dauerte zunächst bis April 2014. Da sie jedoch auf Grund von technischen Schwierigkeiten wiederholt werden musste

begann der zweite Versuch im September 2014 und endete im Dezember des gleichen Jahres. Die Zeitabläufe sind in Tabelle 1 zusammen gefasst.

WP 1.9:

Insgesamt wurden 3 Mesokosmos-Experimente durchgeführt. Ein Herbstexperiment (2012), in dem die Reaktion des in dieser Jahreszeit üblicherweise von Diatomeen und Dinoflagellaten kodiominierten Phytoplanktons und daraus resultierende Effekte auf andere Komponenten des Planktons untersucht werden sollten, und zwei Spätsommer-Experimente (2013, 2014) in denen die selbe Fragestellung für Planktongemeinschaften untersucht werden sollte, in denen stickstoff-fixierende Cyanobakterien einen wesentlichen Anteil an der Biomasse ausmachen. Ursprünglich war nur ein derartiges Experiment geplant, da jedoch 2013 wesentlich weniger Cyanobakterien anzutreffen waren, als jahreszeitlich zu erwarten war, wurde das Experiment 2014 mit Planktongemeinschaften wiederholt, die zusätzlich mit dem Cyanobakterium *Nodularia spumigena* angereichert waren. Das WP 1.9 konzentrierte sich auf die Analyse der Reaktionen des Phytoplanktons.

-2012-

Im ersten Experiment (19.10.-12.11.2012) wurden 2 Temperaturen (9 und 15°C) und 2 CO₂-Konzentrationen (440 und 1040 µatm) faktoriell gekreuzt, jede Temperatur-CO₂-Kombination wurde 3-fach repliziert. Das Volumen der Mesokosmen betrug 1400 L.

Kernergebnisse waren:

1. Erwärmung führt zu einer niedrigeren Phytoplanktonbiomasse,
2. CO₂-erhöhte die Phytoplanktonbiomasse in den warmen Meskosmen
3. Die Entwicklung des Picoplanktons wird durch Erwärmung gefördert.,
4. Erwärmung führt zu einer geringeren Zellgröße des Phytoplanktons. Dieser Effekt beruht sowohl auf der Zellgröße der meisten Arten als auch auf einer Verschiebung von großen zu kleineren Arten.
5. CO₂-Anreicherung führte zu größeren Phytoplanktern
6. Erwärmung führte zu einer niedrigeren Biomasse der heterotrophen Nanoflagellaten, während CO₂ keinen Effekt hatte.
7. Die Zellgröße der heterotrophen Nanoflagellaten nahm mit der Erwärmung ab und reagierte nicht auf das CO₂.

Aus dem Experiment gingen 2 bereit erschienene (Paul et al. 2015, Sommer et al. 2015) und eine Publikation im Begutachtungsstadium hervor (Moustaka-Gouni et. al. under review).

-2013-

Im zweiten Experiment (14.8.-13.9.2013) wurden in 12 1400 L-Mesokosmen 2 Temperaturen (16.5 und 22.5°C) und 6 CO₂-Konzentrationen (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 µatm) kombiniert. Entgegen der Erwartung war im Ausgangsmaterial nur ein geringe Biomasse (<1%) an Cyanobakterien zu finden. Auch die Zugabe von *Nodularia spumigena* aus Reinkulturen konnte daran nichts ändern, da keien ausreichenden Mengen gezüchtet werden konnten.

Kernergebnisse waren:

1. Höhere Phytoplankton-Biomasse bei niedrigeren Temperaturen.
2. CO₂ erhöhte bei der niedrigeren Temperatur die Phytoplankton-Biomasse (nicht signifikant für Gesamtbiomasse, signifikant für die von Copepoden fressbare Fraktion).
3. Die taxonomische Zusammensetzung zeigte nur schwache Effekte, insbesondere eine Zunahme des Cyanobakterien-Anteils mit der Temperatur.
4. Die chemische Nahrungsqualität der Phytoplanktons, definiert als C:N:P-Verhältnis und als Fettsäuregehalt und -zusammensetzung reagiert nicht auf die experimentellen Manipulationen.
5. CO₂ ist für das Ostsee-Phytoplankton kein Stressor, sondern hat allenfalls einen moderat eutrophierenden Effekt.

Die Ergebnisse des Experiments 2013 führten bisher zu 1 akzeptierten Publikationen (Paul, 2016).

-2014-

Wegen des geringen Cyanobakterien-Anteils im Experiment 2013 wurde ein außerplanmäßiges Experiment mit kleineren experimentellen Einheiten (200L), den Temperaturen 13 und 19°C und denselben 6 CO₂-Konzentrationen wie 2013 vom 1.-26.9.2014 durchgeführt.

Kernergebnisse waren:

1. Die Phytoplankton-Biomassen nahmen sowohl mit der Temperatur als auch mit dem CO₂-Gehalt zu.
2. Temperatur und CO₂ veränderten die taxonomische Zusammensetzung. Während der Anteil an Cyanobakterien mit steigendem CO₂ stieg, sank der Anteil der Flagellaten mit steigender Temperatur und steigendem CO₂ Gehalt ab.
3. Die C:N:P Verhältnisse in der Biomasse veränderten sich weder mit der Temperatur noch mit dem CO₂.
4. Der Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäurezusammensetzung änderte sich weder mit der Temperatur noch mit dem CO₂ Levels, obwohl der Gehalt einzelner essentieller Fettsäuren auf die Temperatur reagierte.
5. CO₂ ist für das Ostsee-Phytoplankton kein Stressor, sondern hat einen moderat eutrophierenden Effekt.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Experiments 2014 und 2013 hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung des Phytoplanktons ist Gegenstand eines Manuskripts, das demnächst eingereicht werden wird (Paul, in prep.).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass CO₂-Effekte auf das Phytoplankton der Ostsee stark kontext-abhängig sind (Temperatur und jahreszeitliche Veränderung der Artenzusammensetzung), und viele Effekte treten erst jenseits von 1000 µatm CO₂. Die erwartete generelle Verschlechterung der Futterqualität für das herbivore Zooplankton konnte nicht gefunden werden. Für das Ostsee-Phytoplankton ist eine CO₂-Zunahme kein Stressor. Sie kann jedoch leicht eutrophierend wirken. Ein potentielle negativer Effekt könnte jedoch in der Förderung von Cyanobakterien, insbesondere der toxischen Art *Nodularia spumigena* liegen.

WP 1.10:

Insgesamt wurden 3 Mesokosmos-Experimente durchgeführt. Ein Herbstexperiment (2012), in dem die Reaktion des in dieser Jahreszeit üblicherweise von Diatomeen und Dinoflagellaten dominierten Phytoplanktons und daraus resultierende Effekte auf andere Komponenten des Planktons untersucht werden sollten, und zwei Spätsommer-Experimente (2013, 2014) in denen die selbe Fragestellung für Planktongemeinschaften untersucht werden sollte, in denen stickstoff-fixierende Cyanobakterien einen wesentlichen Anteil an der Biomasse ausmachen. Ursprünglich war nur ein derartiges Experiment geplant, da jedoch 2013 wesentlich weniger Cyanobakterien anzutreffen waren, als jahreszeitlich zu erwarten war, wurde das Experiment 2014 mit Planktongemeinschaften wiederholt, die zusätzlich mit dem Cyanobakterium *Nodularia spumigena* angereichert waren. Das WP 1.9 konzentrierte sich auf die Analyse der Reaktionen des Phytoplanktons.

-2012-

Im ersten Experiment (19.10.-12.11.2012) wurden 2 Temperaturen (9 und 15°C) und 2 CO₂-Konzentrationen (440 und 1040 µatm) faktoriell gekreuzt, jede Temperatur-CO₂-Kombination wurde 3-fach repliziert. Das Volumen der Mesokosmen betrug 1400 L.

Kernergebnisse waren:

1. Höhere Zooplankton-Biomasse bei niedrigeren Temperaturen, bei höherer Temperatur leichte Biomassezunahme bei CO₂-Anreicherung
2. Körpergröße des Zooplanktons auf Artniveau und Entwicklungsstadium nimmt mit Erwärmung ab und mit CO₂-Anreicherung zu
3. Niedrigerer prozentualer Anteil von essentiellen Fettsäuren an der gesamt Menge von Fettsäuren bei steigenden Temperaturen
4. CO₂ hat moderat eutrophierenden Effekt von und ist kein Stressor für Ostsee-Zooplankton

Aus dem Experiment gingen 2 bereit erschienene (Paul et al. 2015, Sommer et al. 2015) und eine Publikation im Begutachtungsstadium hervor (Moustaka-Gouni et. al. under review).

-2013-

Im zweiten Experiment (14.8.-13.9.2013) wurden in 12 1400 L-Mesokosmen 2 Temperaturen (16.5 und 22.5°C) und 6 CO₂-Konzentrationen (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 µatm) kombiniert. Entgegen der Erwartung war im Ausgangsmaterial nur ein geringe Biomasse (<1%) an Cyanobakterien zu finden. Auch die Zugabe von *Nodularia spumigena* aus Reinkulturen konnte daran nichts ändern, da keine ausreichenden Mengen gezüchtet werden konnten. Als Modell-Zooplankter wurde der Copepode *Acartia tonsa* zugesetzt.

Kernergebnisse waren:

6. Höhere Mesozooplankton-Biomasse bei niedrigeren Temperaturen.
7. CO₂ hat einen negativen Effekt auf die Biomasse des Mesozooplanktons

8. Dieser Effekt ist im Wesentlichen durch die höhere Sterblichkeit von Nauplien zu erklären. Das stimmt mit der physiologischen Literatur überein, die eine große pH-Toleranz der Adulten und eine Empfindlichkeit der Nauplien berichtet.
9. Die chemische Nahrungsqualität der Phytoplanktons, definiert als C:N:P-Verhältnis und als Fettsäuregehalt und -zusammensetzung reagiert nicht auf die experimentellen Manipulationen. Daher kann Nahrungsqualität als indirekter, negativer CO₂-Effekt ausgeschlossen werden.
10. Die Ressourcen-Nutzungseffizienz (Resource Use Efficiency) des Zooplanktons CO₂ ist bei niedrigen Temperaturen und hohen CO₂-Gehalten am niedrigsten.
11. Der positive Effekt des CO₂ auf das Phytoplankton kann tw. Durch einen geringeren Fraßdruck durch die Zooplankter erklärt werden.

Die Ergebnisse des Experiments 2013 führten bisher zu 1 akzeptierten Publikationen (Paul et al., 2016).

-2014-

Wegen des geringen Cyanobakterien-Anteils im Experiment 2013 wurde ein außerplanmäßiges Experiment mit kleineren experimentellen Einheiten (200L), den Temperaturen 13 und 19°C und denselben 6 CO₂-Konzentrationen wie 2013 vom 1.-26.9.2014 durchgeführt.

Kernergebnisse waren:

6. Die Phytoplankton-Biomassen nahmen sowohl mit der Temperatur als auch mit dem CO₂-Gehalt zu.
7. Temperatur und CO₂ veränderten die taxonomische Zusammensetzung. Während der Anteil an Cyanobakterien mit steigendem CO₂ stieg, sank der Anteil der Flagellaten mit steigender Temperatur und steigendem CO₂ Gehalt ab.
8. Die C:N:P Verhältnisse in der Biomasse veränderten sich weder mit der Temperatur noch mit dem CO₂.
9. Der Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäurezusammensetzung änderte sich weder mit der Temperatur noch mit dem CO₂ Levels, obwohl der Gehalt einzelner essentieller Fettsäuren auf die Temperatur reagierte.
10. CO₂ ist für das Ostsee-Phytoplankton kein Stressor, sondern hat einen moderat eutrophierenden Effekt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass CO₂-Effekte auf das Phytoplankton der Ostsee stark kontext-abhängig sind (Temperatur und jahreszeitliche Veränderung der Artenzusammensetzung), und viele Effekte treten erst jenseits von 1000 µatm CO₂. Die erwartete generelle Verschlechterung der Futterqualität für das herbivore Zooplankton konnte nicht gefunden werden. Für das Ostsee-Phytoplankton ist eine CO₂-Zunahme kein Stressor. Sie kann jedoch leicht eutrophierend wirken. Ein potentielle negativer Effekt könnte jedoch in der Förderung von Cyanobakterien, insbesondere der toxischen Art *Nodularia spumigena* liegen.

WP 1.11:

Im Verlauf des Projektes fanden zwei Indoor-Meskosmos-Studien am GEOMAR in Kiel statt. Das erste Experiment wurde im Oktober/November 2012 durchgeführt. Das ursprünglich für 2014 angesetzte zweite Experiment wurde auf August/September 2013 vorgezogen. In beiden Studien wurden zwölf 1400L-Tanks mit Ostseewasser befüllt und durch Zugabe von CO₂-gesättigtem Wasser auf verschiedene CO₂-Konzentrationen zwischen 500 und 3000 µatm gebracht. Die Tanks wurden bei zwei verschiedenen Temperaturen ($\pm 3^\circ$ *in-situ* Temperatur) inkubiert. Anschließend wurden über mehrere Wochen dreimal wöchentlich Proben genommen. Bakterienzellzahlen, bakterielle Biomasseproduktionsraten, Enzymaktivitäten und die Konzentration und Zusammensetzung des organischen Materials wurden untersucht.

Zusätzlich wurden von Februar bis Juni 2013 ausgewählte Proben während des Langzeit-Meskosmos-Experiments in Kristineberg (Schweden) genommen, um eine mögliche Anpassung extrazellulärer Enzyme an Hoch-CO₂-Bedingungen zu untersuchen. Dafür waren drei einwöchige Aufenthalte an der Forschungsstation in Kristineberg nötig. Die pH-Optimumskurven bedeutender Enzyme des mikrobiellen Abbaus wurden bestimmt.

WP 1.13:

Der Ablauf von WP 1.13 ist deutlich von der ursprünglichen Planung abgewichen. Der Grund hierfür war die Tatsache, dass 2013 keine ausreichenden *E. huxleyi* Zellzahlen in den Meskosmen der KOSMOS2013 Kampagne vorahnden waren. Auch wenn mit *E. huxleyi* in diesen Gewässern zu rechnen war, sind solche Arbeiten mit natürlichen Populationen immer mit einem gewissen Risiko verbunden. Da das Forschungsvorhaben durch die benötigten genetischen Ressourcen an diese Art gebunden war, konnte keine alternative Phytoplanktonart herangezogen werden. Stattdessen wurde der aus diesem Teilprojekt finanzierte Doktorand/Post-Doc in ein Projekt zur evolutionären Anpassung von Diatomeen an Ozeanversauerung mit eingebunden und konnte so dennoch einen wichtigen Beitrag zur Untersuchung evolutionärer Anpassung an Ozeanversauerung in natürlichen Phytoplanktonpopulationen leisten. Aus dieser erfolgreichen Zusammenarbeit ist bereits eine Publikation hervorgegangen. Des Weiteren konnte sich der Doktorand/Post-Doc sehr intensiv mit der weiteren Auswertung der umfassenden genregulatorischen und genomischen Daten aus dem CO₂ Selektionsexperiment der BIOACID Phase 1 beschäftigen. Eine Studie zur Genexpression an Ozeanversauerung angepasster *E. huxleyi* Populationen ist bereits veröffentlicht. Die Auswertungen der Genomsequenzierung, sowie die Arbeiten an diversen daraus entstandenen Folgeprojekten sind noch im Gange und werde in absehbarer Zeit zu weiteren wissenschaftlichen Publikationen führen.

WP 2.3:

Insgesamt wurden sechs Meskosmosstudien (Core Experimente (CE) 1-6) in der Benthokosmosanlage durchgeführt. Diese wurden maßgeblich von Franziska Werner (Doktorandin im Teilprojekt) mit geplant und durchgeführt. Vorangegangen an die experimentelle Serie CE 1-6 ist ein Pilotexperiment, bei welchem unerwartete auftretende ‚Kinderkrankheiten‘ des neuen Benthokosmossystems identifiziert und beseitigt wurden. Weiterhin hat Frau Werner zwei vorangehende Laborexperimente mit insgesamt zwölf einzelligen Mikroepiphyten- und filamentösen Makroepiphyten-Arten durchgeführt, um die Effektivität und -stärken der Faktoren Temperatur

und CO₂ ohne Interaktionen mit anderen Arten (*Fucus*, andere Epiphyten, Weidegängern) im Vorfeld abschätzen zu können.

- Oktober 2012 bis Februar 2013

Durchführung der oben genannten Laborexperimente mit faktoriell gekreuzten Temperatur- ($\Delta 5^\circ\text{C}$) und CO₂ ($\Delta 600 \mu\text{atm}$)-Behandlungen, um die Reaktion von einzelnen Epiphytenarten auf erhöhte Temperatur und CO₂ Konzentration zu untersuchen und somit Hypothesen für die folgenden Benthokosmosexperimente unter natürlichen Bedingungen machen zu können.

Durchführung des Benthokosmos Pilotexperiments mit 2x2 faktoriell gekreuzten Temperatur- ($\Delta 5^\circ\text{C}$) und CO₂ ($\Delta 600 \mu\text{atm}$)-Behandlungen. Dieses Design resultierte in insgesamt 12 je dreifach replizierten Becken. Jedes Becken umfasste 1.4 m³ und wurde mit 20 *Fucus* Thalli bestückt. Da die Weidegänger als Konsumenten einen maßgeblichen Einfluß auf die Epiphytenbiomasse haben, wurde vor dem Bestücken der Becken mit *Fucus* sicher gestellt, dass die verschiedenen Weidegängerarten (*Littorina littorea*, *Gammarus spp.* und *Idotea spp.*) in gleichen Abundanzen (in natürlichen vorkommenden Dichten) in die Becken gesetzt wurden. Dazu wurden die *Fucus* Thalli nach dem Sammeln in der Kieler Förde für einige Sekunden in Frischwasser getaucht, wodurch die Weidegänger die Thalli losließen und eingesammelt, gezählt und in gleichen Abundanzen auf die Becken verteilt werden konnten.

- März 2013 bis April 2014

Durchführung der vier Benthokosmos Core-Experimente (CE1-4) mit dem Ziel, alle vier Jahreszeiten mit oben beschriebenen experimentellen Design aus gekreuzten Temperatur- und CO₂-behandlungen abzudecken. Jedes der vier Experimente lief über eine Zeit von 6-11 Wochen. Die genauen experimentellen Laufzeiten und abgedeckten Jahreszeiten der einzelnen Experimente sind aus Tabelle 1 zu entnehmen. Das Bestücken der Becken mit *Fucus* Thalli und Weidegängern entspricht der oben genannten Beschreibung bei Erklärung des Pilotexperiments.

Die Epiphytengemeinschaftstruktur und –biomasse sowie die Bakterienabundanzen wurden pro Experiment jeweils 4-6 Mal beprobt. Außerdem wurden in der gleichen Frequenz partikuläre C, N, und P sowie Fettsäureproben der Epiphyten genommen. Die Abundanzen der Weidegänger wurden am Anfang und Ende eines jeden Experiments bestimmt.

Tabelle 1

Experiment	Treatments	Von -bis	Dauer insgesamt (Wochen)	Abgedeckte Jahreszeit
CE1	Temp+CO ₂	4.4.-20.6.2013	11	Frühjahr/Sommer
CE2	Temp+CO ₂	4.7.-17.9.2013	11	Spätsommer
CE3	Temp+CO ₂	10.10.-17.12.2013	10	Winter
CE4	Temp+CO ₂	16.01.-2.4.2014	11	Frühjahr
CE5	Temp/CO ₂ +Nutr	9.7.-19.8.2014	6	Sommer

CE6	Temp/ Grazer	5.3.-15.4.2015	6	Frühjahr
-----	--------------	----------------	---	----------

Die Ergebnisse der Experimente CE1 bis 4 wurden in der Fachzeitschrift *Oecologia* veröffentlicht.

Ausserdem wurden sie beim BIOACID Annual Meeting 2013, 2014 (jeweils Teilergebnisse) und beim Aquatic Sciences Meeting 2015 der American Association of Limnology and Oceanography (ASLO) in Granada Spanien vorgestellt.

- Juli/August 2014

Mit dem Ziel herauszufinden wie die ‚globalen‘ Temperatur- und CO₂ Veränderungen mit lokal variierenden Umweltbedingungen wie Nährstoffeintrag auf das *Fucus*-System zusammen wirken, wurde ein weiteres Experiment (CE5, Tabelle 1) im Hochsommer 2014 durchgeführt. Diese Jahreszeit wurde gewählt, da aus dem vorangegangenen Jahresgang der Experimente CE1 bis 4 hervorgegangen war, dass der Hochsommer in Kombination mit den manipulierten Umweltfaktoren eine kritische Jahreszeit für das *Fucus*-System darstellt. Da die Effekte von CO₂ und Temperatur vorangegangen ausgiebig getestet und verstanden waren und das Benthokosmossystem auf 12 Becken limitiert ist, wurde für CE5 eine kombinierte Temperatur/CO₂-Behandlung faktoriell mit einer Nährstoffbehandlung gekreuzt. Die kombinierte Temperatur/CO₂-Behandlung entsprach der oben beschriebenen mit $\Delta 5^{\circ}\text{C}$ und $\Delta 600 \mu\text{atm CO}_2$. Die Nährstoffbehandlung beinhaltete eine Verdoppelung der vorhandenen inorganisch gelösten Makronährstoffe (Nitrat, Ammonium, Ortho-Phosphat und Silikat) des Fördewassers zu dieser Jahreszeit, welche aus einem Mittel der vergangenen sieben Jahre errechnet wurde. Da die gelöste Nährstoffkonzentration im Hochsommer in der Ostsee natürlicherweise gering und das System stickstofflimitiert ist, war die realisierte erhöhte Nährstoffbehandlung mit einer Konzentration von $1 \mu\text{mol L}^{-1} \text{NO}_3$, $0.55 \mu\text{mol L}^{-1} \text{PO}_4$, $17.05 \mu\text{mol L}^{-1} \text{SiO}_4$ im Juli bzw. $1.7 \text{NO}_3 \mu\text{mol L}^{-1}$, $1.15 \mu\text{mol L}^{-1} \text{PO}_4$, $32.05 \mu\text{mol L}^{-1} \text{SiO}_4$ im August moderat.

Die Experimentbestückung, -dauer (Tabelle 1) und Probenahmefrequenz der einzelnen Antwortvariablen entsprachen den vorangegangenen beschriebenen.

Die Ergebnisse dieser Studie wurden als Manuskript bei der Zeitschrift *Limnology and Oceanography* eingereicht und befindet sich in der Begutachtung.

Ausserdem wurden sie beim Aquatic Sciences Meeting 2015 der American Association of Limnology and Oceanography (ASLO) in Granada Spanien und beim finalen BIOACID Annual Meeting 2015 in Kiel vorgestellt.

-2015-

Aufgrund der Tatsache, dass Temperatur sich in den vorangegangenen fünf Experimenten (CE1 -5) als signifikant wichtigere Einflußgröße auf das *Fucus* System herausgestellt hat als CO₂, es gleichzeitig aber offen blieb, zu welchem Grad die Temperatur direkt oder indirekt über den veränderten Fraßdruck auf die Epiphyten wirkt, wurde ein sechstes Experiment (CE6, Tabelle 1) entworfen. In diesem wurde die Temperatur (mit $\Delta 5^{\circ}\text{C}$) faktoriell mit der An- oder Abwesenheit der Weidegänger gekreuzt.

Das Bestücken der Becken mit *Fucus* Thalli und Weidegängern entspricht der oben genannten Beschreibung bei Erklärung des Pilotexperiments mit der Ausnahme, dass Weidegänger nur in die

Hälfte der Becken gesetzt wurden. Das Experiment lief über sechs Wochen, die Epiphyten und Weidegänger wurden hier nur am Anfang und am Ende beprobt.

Die Ergebnisse dieser Studie wurden als Manuskript bei der Zeitschrift Marine Ecology Progress Series eingereicht. Das Manuskript befindet sich in der Begutachtung.

WP 2.5:

Das Vorhaben wurde in verschiedenen Phasen durchgeführt (Abweichungen gegenüber dem ursprünglichen Projektinhalt wurden im Juni 2014 dem Projektträger kund getan und von diesem gebilligt):

Simulierung von Erwärmung und Versauerung im säsonalen Vergleich, 2013

Um den Effekt der beiden Faktoren Erwärmung (+5°C) und Versauerung (1000 ppm CO₂) im säsonalen Vergleich zu untersuchen, wurden vier säsonale Experimente von Frühling 2013 bis Frühling 2014 durchgeführt. Genetisch verschiedene experimentelle Populationen von *F. vesiculosus* Keimlingen wurden erstellt, um die Reaktion (1) verschiedener Geschwisterscharen und (2) verschiedener Diversitätslevel zu untersuchen. Phänotypischen Antwortvariabeln waren Wachstum, Überleben und Photosynthese-Effizienz.

Effekte von Erwärmung, Versauerung, Nährstoffanreicherung und hypoxischem Upwelling, 2014

Die 2013 erfassten Ergebnisse zeigten, dass erhöhtes CO₂ einen schwächeren Effekt als Erwärmung hatte. Im Folgejahr wurden genetisch verschiedene Geschwisterscharen und verschiedene genetische Diversitätslevel von *F. vesiculosus* einer festen Kombination beider Faktoren Temperatur&CO₂ (als ‚heutige Umgebungsbedingungen‘ versus ‚erhöhte Zukunfts-Bedingungen‘) gekreuzt mit dem Faktor Nährstoffe (als ‚heutige Umgebungsbedingungen‘ versus ‚Nährstoffanreicherung‘) im Sommer (Juni – September 2014) ausgesetzt. Abschließend wurden alle vorbehandelten Gruppen der *F. vesiculosus* Keimlinge einem lokalen “Upwelling” (3d) ausgesetzt um die Sensitivität gegenüber Hypoxie zu testen. In allen Experimenten waren Wachstum und Überleben die Antwortvariablen.

Korrelationen der Sensitivitäten gegenüber der Einzelstressoren

Da Global Change multifaktoriell ist, wird der Gesamteffekt durch Interaktionen zwischen Einzelfaktor-Effekten bestimmt. Positive Korrelationen zwischen Sensitivitäten beschleunigen die Adaptation and Globalen Wandel, negative erschweren sie.

Einfluss der Versauerung auf *F. vesiculosus* Keimlinge und Zygoten, Indoor Experiment, 2013/ 2014

In einem “Indoor” Experiment in einer Klimakammer des GEOMAR wurden *F. vesiculosus* Populationen drei verschiedenen CO₂ Bedingungen ausgesetzt: Heutige Bedingungen (ca 400 µatm), und Zukunftsbedingungen (1100 µatm und 2400 µatm), bei konstantem Licht- und konstanter Temperatur. Bei verschiedenen Geschwisterscharen und Diversitätsleveln wurden über 12 Monate regelmäßig Wachstum, Überleben und Photosynthese Effizienz gemessen.

Genetische Diversität der *F. vesiculosus* Population Bülk, 2014

In Kooperation mit WP 2.4 wurde die genetische Diversität der adulten experimentellen Population von *F. vesiculosus* in den Kieler Benthokosmen untersucht, um sicherzustellen, dass eine

hinreichende genetische Variabilität zwischen den Individuen vorhanden war und die Ergebnisse der phänotypischen Reaktionen nicht durch nur einen dominanten Genotypen bestimmt wurden. Dafür wurden die insgesamt 42 Individuen, welche von Frühling 2013 bis 2014 in den Experimenten der Kieler Benthokosmen untersucht wurden, genotypisiert.

WP 3.4:

Vorbereitungen: Die Postdoktorandenstelle konnte mit Dr. Jörn Thomsen wie geplant besetzt werden. Dr. Thomsen hatte bereits seine Doktorarbeit in der AG Melzner verfasst (Bioacid I) und war mit dem Modellsystem bestens vertraut. Die Untersuchungen zur Beantwortung der übergeordneten Projektfragestellung konnten wie geplant durchgeführt werden.

1) *Langzeit – und Multigenerationsexperiment:* Ein Langzeitexperiment (1 Jahr) Dauer wurde mit Miesmuscheln aus der Kieler Förde durchgeführt (Hüning et al., in Begutachtung). Bei diesem Experiment wurden Tiere bei vier verschiedenen CO₂ Partialdrücken vom Juvenilstadium bis zum Adultstadium aufgezogen und dann Energiebudgets, Schalenstabilität und Mantelgewebe Proteome untersucht. Die Planung und Durchführung des Multigenerationsexperiments (2012-2014, in Zusammenarbeit mit G. Lannig, WP 3.7) entsprach den Vorgaben des WP-Antrags. Die Tiere wurden bei 3 unterschiedlichen OA Szenarien (Kontrolle, Medium-OA, Hoch-OA) aufgezogen. Dabei zeigten sich familienspezifische Unterschiede in der Toleranz gegenüber erhöhten CO₂-Konzentrationen und die Familien konnten in „tolerante“ und „sensitive“ Gruppen unterteilt werden. Nach 12monatiger Aufzucht der juvenilen Muscheln erfolgte die Probennahme für spätere biochemische und enzymatische Analysen und die Untersuchungen zum zellulären Energiestoffwechsel (WP 3.7). Die Daten zum Energiehaushalt auf Organismen- und Zellebene wurden ausgewertet und in einem Manuskript aufbereitet (Stapp et al., ms 1, in Vorbereitung). 2013 wurde dann eine F2 Generation gekreuzt, um zu testen, ob tolerante F1 Familien ihre besonderen Eigenschaften auf die folgende Generation übertragen können. Es zeigte sich, dass Selektion und langfristige Akklimierung der F1 Generation an hohe pCO₂ Werte einen positiven Effekt auf die frühe Entwicklung und Kalzifizierung der Schale der F2 Larven hatte. Im Gegensatz dazu war die Überlebensrate am Ende der F2 Larvalphase nicht signifikant erhöht gegenüber niedrig CO₂ akklimierten Tieren. Dieses Ergebnis wurde durch eine erneute Kreuzung der F1 Tiere in der folgenden Reproduktionsphase (2014) bestätigt, nachdem die F1 Tiere ein weiteres Jahr lang unter den beschriebenen abiotischen Bedingungen gehalten worden waren (Thomsen et al. 2016, in Begutachtung).

2) *Populationsvergleich:* Eine Vergleichsstudie zweier Muschelpopulationen von *M. edulis* aus unterschiedlichen Habitaten (Ostsee vs. Nordsee) wurde durchgeführt. Diese Gebiete unterscheiden sich hinsichtlich der natürlichen Schwankungen im Seewasser pH Wert und CO₂-Partialdruck (pCO₂). Im Gegensatz zur Nordseepopulation erfährt *M. edulis* aus der Kieler Bucht (Ostsee) jahreszeitliche Schwankungen, mit teilweise pCO₂ Werten von über 2000 µatm (Thomsen et al. 2010). Muscheln aus der Kieler Förde und Sylter Muscheln wurden 5 Monate lang in Netzkäfigen im Sylter Hafen akklimiert und danach zum Ablachen gebracht. Die Larven wurden unter zwei verschiedenen OA Szenarien aufgezogen. Dann wurden Wachstumsraten und Mortalität der Larven untersucht. (Thomsen et al. 2016, in Begutachtung).

3) *Besiedlungsplattenexperimente entlang des pH Gradienten:* Die natürlicherweise auftretenden CO₂ Schwankungen in der Kieler Förde (Thomsen et al. 2010) sollten in einem Feldversuch genutzt werden, um den Einfluss von Futterverfügbarkeit auf die CO₂ Toleranz detailliert zu untersuchen. In einem ersten Pilotversuch zeigte sich, dass Futterverfügbarkeit im Vergleich zu Versauerung einen stärkeren Einfluss auf Muschel Kalzifizierung und Wachstum hatte (Thomsen et al. 2013). Dieses

Experiment wurde im Jahr 2013 mit einem erweiterten Stationsnetz (6 Stationen) wiederholt. Trotz unerwartet niedriger $p\text{CO}_2$ Werte während des Versuchszeitraumes konnte bestätigt werden, dass der Besiedlungserfolg juveniler Miesmuscheln weitestgehend von der Futtermittelverfügbarkeit abhängt und Seewasser $p\text{CO}_2$ eine geringere Rolle spielt. Des Weiteren wurden im Zuge des Experiments gesammelte Proben bezüglich des Mikrobioms untersucht (Kooperation mit WP 3.2, C. Hassenrück). Die Ergebnisse des Versuchs werden noch ausgewertet und zur Publikation vorbereitet (Schade et al., in Vorbereitung).

WP 3.5:

Probenmaterial von unterschiedlichen Korallenarten wurde von mehreren Lokationen mit jeweils unterschiedlichen lokalen pH gewonnen. Durch den natürlichen Gradienten an den CO_2 -Seeps in PNG ließen sich Korallen aus folgenden mittleren pH-Umgebungsbedingungen beproben: „Control Site“ (pH=8.1), „Intermediate Site“ (pH=7.9), „Low Site“ (pH= 7.6) und „Extreme Site“ (pH=7.4). Die Variabilität der jeweiligen pH-Werte wurde während der Expeditionen vor Ort zusammen mit anderen Parametern des Karbonatsystems bestimmt. Abweichend von der ursprünglichen Planung nahm Dr. M. Wall an beiden Expeditionen nach PNG (5-6/2013 und 4/2014) teil, um personelle Engpässe (Anzahl verfügbarer Forschungstaucher) innerhalb des Konsortiums aufzufangen.

Die geplanten Untersuchungen zur Skelett-Struktur und –Zusammensetzung fokussierten sich im Wesentlichen auf Proben der Korallenart *Porites*, welche als einzige an allen vier untersuchten Sites vorkommt. Darüber hinaus wurden Proben der Arten *Pocillopora* und *Acropora* bearbeitet, welche an der „Extreme Site“ nicht vorkommen. Die Spurenelement-Zusammensetzung der diversen Proben wurde mittels ICP-OES und LA-ICP-MS bestimmt. Schwerpunkt der Analysen stellte die orts aufgelöste Bestimmung der Bor-Isotopen-Zusammensetzung (und deren räumlicher Variabilität) mittels LA-MC-ICP-MS dar, um daraus den internen pH bei der Aragonitbildung zu rekonstruieren und dessen Beziehung zum Umgebungs-pH des Meerwassers am jeweiligen Standort zu untersuchen. Letzteres sollte und konnte genutzt werden, um die physiologische Kontrolle („up-regulation“) und damit den Reaktionsmechanismus bzw. Anpassungsstrategien der Korallen auf variable pH-Umweltbedingungen zu untersuchen.

WP 3.6:

Wie im Erfolgskontrollbericht unter Punkt 6 beschrieben, konnten die geplanten Langzeit-Laborexperimente zeitlich und finanziell weitestgehend wie geplant durchgeführt werden. Lediglich die Ergebnis-Auswertung sowie der angegebene Publikationszeitraum haben sich verschoben. Wie im zweiten Zwischenbericht geschildert, mussten aufgrund einer Verschiebung des Ausfahrtszeitraumes allerdings inhaltlich relevante Veränderungen bei der Durchführung des zweiten Experiments gemacht werden, die die im Projektantrag beschriebenen Fragestellungen aber dennoch beantworten können.

WP 4.5:

Das Vorhaben konnte größtenteils wie geplant durchgeführt werden, allerdings mussten bei den KOSMOS- Experimenten in Kristineberg/Schweden in 2013 Heringslarven an Stelle der vorgesehenen Dorschlarven eingesetzt werden (Dissertation in prep., Michael Sswat). Da innerhalb der

Arbeitsgruppe eine Vielzahl von Vergleichsdaten auch für Heringe vorliegt, ist eine Überprüfung des Einflusses der Ozeanversauerung in der Nahrungskette auch durch Nutzung eines anderen Modellorganismus, wie des Herings, möglich.

Die Laborexperimente in Kristineberg/Schweden von Anfang April bis Ende Juni 2013 mit Dorschlarven des Bestandes aus der westlichen Ostsee, die bei CO₂ Gehalten von 400 ppm und 1000 ppm (Szenario für das Jahr 2100) und zwei Temperaturen (7°C und 9°C) unter Zugabe von Naturplankton gehältert wurden, konnten wie geplant stattfinden (Masterarbeit, Martina Stiasny 2013).

Zur Untersuchung des Einflusses von CO₂ auf Fischlarven in der Nahrungskette wurde zusätzlich zu den KOSMOS Mesokosmen-Experimenten in Kristineberg in 2013, ein Experiment mit den pelagischen Mesokosmen in offenen Ozean vor Gran Canaria durchgeführt (Dissertation in prep., Michael Sswat). Leider konnte der Einsatz der Fischlarven in das System nicht wie geplant erfolgen, da unerwartete Schwierigkeiten auftraten.

Entgegen der ursprünglichen Planungen fand das Dorschlarvenexperiment in 2014 nicht in landgestützten Mesokosmen in Bergen/Norwegen in 2014 statt, sondern wurde nach Tromsø/Norwegen verlagert. Dort fand ein groß angelegtes Experiment von Mitte März bis Ende Mai 2014 fand in Zusammenarbeit mit WP 4.4. (Storch et al.) und WP 4.7. (Bridges et al.) statt. Bei diesen Laborexperimenten mit Dorschlarven eines Wildbestandes aus der Barentssee stand der direkte Einfluss von CO₂ auf das Wachstum und die Sterblichkeit der Larven im Fokus. Die Bedeutung der Energiezufuhr, die den Larven über die Nahrungsmenge angeboten wurde, sollte in Bezug auf die Stresstoleranz gegenüber CO₂ durch zwei unterschiedliche Futterangebote (hoch – niedrig) an die Larven untersucht werden. Um das Adaptationspotential auf CO₂- Stressoren zu untersuchen, wurden parallel zu den Experimenten mit Wild-Barentssee-Dorsch, Eier und Larven von Barentssee-Dorschen, die bereits in dritter Generation in der Aquakultur als Zuchtfische verwendet wurden, unter CO₂ Stress und Futterlimitation in Tromsø/Norwegen untersucht. Neu war hierbei, dass die Elterntiere 4 Wochen vor der erwarteten Laichzeit sowohl bei CO₂ Gehalten von heute (400 ppm) als auch bei 1200 ppm gehältert wurden, um zu prüfen, inwieweit die Anpassung an einen Stressor durch die Vorbehandlung der Elterntiere erfolgen kann. Da dieses Experiment mit Aquakulturfischen, die bereits Schwankungen in den pCO₂ Gehalten bedingt durch Aufzuchtbedingungen im Labor erlebt haben könnten, durchgeführt wurde, erfolgte ein weiteres Experiment, zusätzlich zu den ursprünglichen Planungen von Oktober 2014 bis Juni 2015 in Zusammenarbeit mit WP4.7 (Bridges et al.) und dem Cod breeding center in Tromsø unter Beteiligung des WTSH Projektes Fineaqua. Ziel war es den Langzeiteffekt (20 Wochen) einer CO₂ Behandlung von 1200ppm auf die Gonadenreifung und die Ei – und Larvenentwicklung des Dorsch-Wildbestandes aus der Barentsee zu untersuchen. Fokus war, zu untersuchen, ob die parentale Adaptation an erhöhte CO₂-Gehalte, Einfluss auf die Wachstums- und Überlebensraten der Larven bei unterschiedlichen CO₂ Gehalten haben (Dissertationen in prep., M. Stiasny, Felix Mittermayer).

Eine Masterarbeit (Listmann 2014) zum Einfluss von Temperatur und CO₂ auf die Genexpressionsanalyse von Atlantischen Heringslarven (*Clupea harengus*) wurde zusätzlich zu den ursprünglichen Planungen durchgeführt. Damit wurde eine hervorragende Grundlage für die im Weiteren geplante vergleichende Analyse des Einflusses von Ozeanversauerung auf die Genexpressionsmuster in Herings- und Dorschlarven gelegt.

Während der KOSMOS Experimente in Bergen/Norwegen im Frühjahr 2015 beteiligten wir uns an der Untersuchung des Einflusses erhöhter CO₂ Gehalte (2200 ppm) auf die Entwicklung der Knochenstrukturen von Heringslarven (Masterarbeit in prep., Henrike Wunderow).

WP 4.9:

Für das erste Projektjahr waren die experimentellen Untersuchungen zu Auswirkungen von Temperatur- und pCO₂-Veränderungen auf die Qualität und Quantität der Pteropoden als Nahrung für die Dorscharten geplant (Sommer 2013). Diese Untersuchungen fanden im Kongsfjord/Ny Ålesund auf Spitzbergen statt. Wie in den Vorjahren berichtet, konnte nicht wie ursprünglich geplant mit adulten Tieren gearbeitet werden, da die Reproduktion verfrüht aufgetreten war und keine adulten Tiere mehr vorkamen („höhere Gewalt“). Aus diesem Grunde mussten einige der angestrebten Ziele fallen gelassen werden (z.B. Gonadenentwicklung und Eiproduktion in Abhängigkeit von Temperatur und pCO₂, s. Bericht 2015). Stattdessen konnten Experimente mit Veligerlarven und juvenilen Pteropoden durchgeführt werden. Trotz der extrem geringen Größe der Larvenstadien und der daraus folgenden Schwierigkeit, analytisch messbare Lipidmengen zu erhalten, konnte jedoch die Abhängigkeit der Lipidzusammensetzung von den betrachteten Stressfaktoren erfolgreich untersucht werden. Das für 2014 geplante Experiment in Bergen (Fraßexperimente mit Dorschlarven) konnte aus wissenschaftlichen Gründen von den Konsortiumskollegen der anderen Teilprojekte nicht in dieser Form durchgeführt werden (vgl. entsprechende Zwischenberichte). Alternative Experimente der Kollegen z.B. in Tromsø erlaubten keine Zusammenarbeit mit diesem WP (4.9). Seitens der Finanzierung standen hierfür im Rahmen von BIOACID II keine Mittel zur Verfügung und hätten ggf. von anderer Seite eingeworben werden sollen.

Die Lipidanalytik (Lipidklassen, Fettsäurezusammensetzung) an unter veränderten Temperatur- und CO₂-Bedingungen inkubierten juvenilen thecosomen Pteropoden (*Limacina* spp.) wurde Ende 2013 abgeschlossen. Im Anschluss an einige notwendig gewordene Kontrollanalysen in den ersten Monaten 2014 sowie der Messungen der Begleitparameter zur Bestimmung des Karbonatsystems (Alkalinität, gelöster inorganischer Kohlenstoff, pH), erfolgte zunächst die Aufarbeitung der Rohdaten bis zum Ende der verfügbaren Personalmittel dieses Teilprojektes (31.03.2014). Derzeit wird die Datenanalyse abgeschlossen und ein Manuskript zur Publikation in einem internationalen Fachjournal vorbereitet.

WP 5.1:

Der Ablauf des Vorhabens entsprach den Planungsvorgaben des Teilprojekt Antrages. Die Anstellung des Drittmittelbeschäftigten (in Personaleinzeit Antragsteller) erfolgte zum 1. September 2012. Mitarbeiter war bis zum Ende des Förderzeitraums im Projekt beschäftigt.

Arbeiten zu Evaluationsmethoden: Im ersten Projektjahr wurde insbesondere eine Arbeit zur Methodik der Evaluation von CaCO₃-Modulen in biogeochemischen Modellen (TA*-Methode) erstellt und zur Veröffentlichung bei *Geosci. Model. Dev.* (1) eingereicht. Weiterhin wurde ein wissenschaftlicher Artikel zur Evaluation der AOU (apparent oxygen utilization) als quantitatives Maß der biologischen Pumpe bei Biogeosciences eingereicht, nach Begutachtung revidiert und veröffentlicht (2). Im zweiten Projektjahr wurden Arbeiten zu Aspekten der 14C-Altersmethode als integratives Maß der Zirkulationsintensität in biogeochemischen Modellen zur Publikationsreife gebracht und zur Veröffentlichung bei *Geosci. Model. Dev.* eingereicht (3). Im letzten Projektjahr wurden Erkenntnisse aus den drei genannten Arbeitspaketen zu einer Studie zur Quantifizierbarkeit der Ozeanrespiration mittels AOU und Altertracer kombiniert; die Arbeit ist bei *Global Biogeochemical Cycles* zur Veröffentlichung eingereicht (4).

Parallel zu den Arbeiten zur Evaluationsmethodik wurden Modelldaten der CMIP5 Modelle ausgewertet. Eine erste Teilanalyse unter Verwendung der TA* Methode wurden im ersten Jahr durchgeführt. In der Folge wurden Anmerkungen aus dem Begutachtungsprozess zur ersten Veröffentlichung aufgenommen und die Analysen auf eine in der CMIP5 Community häufig verwendete Methode (ALK-DIC) erweitert. Im dritten Jahr wurde ein entsprechendes Manuskript fertig gestellt.

WP 5.3:

Der Ablauf des Vorhabens entsprach den Planungsvorgaben aus dem WP-Antrag. Zur Ausführung der Arbeiten wurde Dr. J. Getzlaff für die gesamte Laufzeit des Projektes angestellt.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*

WP 0.1:

Trifft nicht zu

WP 0.2:

Das PANGAEA Editorial-System zur Dokumentation von Dateneinreichungen und notwendiger Aufgabenverteilung innerhalb des GEOMAR Datenmanagement Teams.

WP 1.1:

Die von WP 1.1 koordinierten Studien nutzen die Kiel Off-Shore Mesocosms for Future Ocean Simulations (KOSMOS). Das System hatte sich bereits in früheren Studien dieser in anderen Großprojekten (SOPRAN, MESOAQUA, EPOCA) bewährt und wurde im Laufe der Jahre sukzessive weiter entwickelt und optimiert. Neben der technischen Anlage wurde darüber hinaus die für die Durchführung der Studie erforderliche Hardware (Boote, Tauchausrüstung, Meßsensorik, Probenahmegeräte, Sicherheitsausrüstung) für die beteiligten Wissenschaftlergruppen zur Verfügung gestellt.

WP 1.3:

WP 1.3 stützte sich auf die am GEOMAR entwickelte Technologie der KOSMOS-offshore Mesokosmen und auf Standardmethoden der biologischen Ozeanographie sowie das Membran-Inlet-Massenspektrometer am AWI

WP 1.9:

WP1.9 stützte sich auf die am GEOMAR entwickelte Technologie der Indoor-Mesokosmen und auf Standardmethoden der biologischen Ozeanographie.

WP 1.10:

WP1.9 stützte sich auf die am GEOMAR entwickelte Technologie der Indoor-Mesokosmen und auf Standardmethoden der biologischen Ozeanographie.

WP 1.11:

Unsere Studien während BIOACID I und frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl steigende Meerwassertemperaturen als auch abnehmender pH-Wert (a) die extrazelluläre Freisetzung von Phytoplankton (Engel 2002, Engel et al. 2004a, b), (b) die enzymatische Hydrolyse von organischem Material (Piontek et al. 2009, 2010), und (c) die mikrobielle Umsatz von Nährstoffen (Endres et al. 2013) beschleunigen. Eine sich verstärkende Interaktion von Ozeanversauerung mit Ozeanerwärmung erschien daher wahrscheinlich, und damit eine Beschleunigung des mikrobiellen Umsatz organischer Substanzen und der natürlichen Freisetzung von CO₂ aus marinen Ökosysteme. Ein stärkere Aufteilung der Massenflüsse hin zu den mikrobiellen Konsortien könnten zukünftig das Gleichgewicht zwischen der klassischen Nahrungskette und dem ‚Microbial Loop‘ auf Kosten der organischer Exportflüsse und höherer tropischen Ebenen verschieben.

Engel, A, (2002) Direct relationship between CO₂ uptake and transparent exopolymer particles production in natural phytoplankton, *Journal of Plankton Research*, 24,(1): 49-53

Engel A, Delille B, Jacquets S, Riebesell U, Rochelle-Newall E, Terbrüggen A, Zondervan I (2004a) Transparent exopolymer particles and dissolved organic carbon production by *Emiliana huxleyi* exposed to different CO₂ concentrations: a mesocosm experiment. *Aquat Microb Ecol* 34:93-104

Engel, A, Thoms, S., Riebesell, U., Rochelle-Newall, E., Zondervan, I. (2004b) Polysaccharide aggregation as a potential sink of marine dissolved organic carbon, *Nature*, 428: 929-932

Piontek J, Händel, N, Langer, G, Wohlers J, Riebesell U, Engel A (2009) Effects of rising temperature on the formation and microbial degradation of marine diatom aggregates. *Aquat Microb Ecol* 54: 305-318.

Piontek J, Lunau M, Händel N, Borchard C, Wurst M, Engel A (2010) Acidification increases microbial polysaccharide degradation in the ocean. *Biogeosciences* 7: 1615-1624.

Endres, S., Unger, J., Wannicke, N., Nausch, M., Voss, M. und Engel, A. (2013) Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂ – Part 2: Exudation and extracellular enzyme activities *Biogeosciences* (BG), 10 . pp. 567-582. DOI 10.5194/bg-10-567-2013

WP 1.13:

nicht zutreffend

WP 2.3:

WP 2.3 stützte sich auf die am GEOMAR entwickelte Technologie der Outdoor-Benthokosmen und auf Standardmethoden der biologischen Ozeanographie.

WP 2.5:

Infrastruktur Kieler Benthokosmen

Alle Experimente wurden an der Infrastruktur "Kieler Benthokosmen" durchgeführt. Dieses System erlaubt es, die natürlichen Bedingungen der Kieler Förde mithilfe eines Durchflusssystems beizubehalten. Gleichzeitig können in einer Deltabehandlung Bedingungen simuliert werden. Die Erwärmung wird durch eine automatische Erhöhung der Temperatur um + 5°C erreicht, CO₂ wurde automatisch in der Atmosphäre über den Tanks, unter luftdichten Hauben, angereichert. Die Nährstoffanreicherung konnte manuell durchgeführt werden, während andere Prozesse, wie der Zufluss des Tiefenwassers, durch Pumpen gesteuert wurden. Regelmäßige automatisierte Messungen der abiotischen Faktoren wurden durchgeführt. Diese Anlage und ihre Funktionsweise sind im Detail in Wahl et al. (2015) beschrieben.

WP 3.4:

Die Inkubationsexperimente mit Miesmuscheln erfolgten in Durchfluss Aquakultursystemen am GEOMAR. Die Bestimmung der Wasserparameter und Karbonatchemie (Temperatur, Salinität, pH und Gesamtalkalität bzw. DIC) wurden standardgemäß und in Anlehnung an den „Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting“ (Riebesell et al. 2010) durchgeführt. Es wurde ein zentral-gesteuertes spezielles CO₂-Mischsystem (Linde Gas & HTK Hamburg) benutzt, welches in Bioacid I am GEOMAR in Betrieb genommen wurde (Details siehe Thomsen et al. 2010). Die F1-Generation von *M. edulis* wurde nach einem reduzierten North Carolina I Kreuzungsdesign erzeugt. Die organismischen Sauerstoffverbrauchsdaten zur Bestimmung des Energieumsatzes wurden mit präzisen Sauerstoff-Messgeräten durchgeführt (Precision Sensing GmbH). Des Weiteren wurden diverse präzise Verfahren zur Bestimmung von Algen Zelldichte (Coulter Counter) und Larvengröße (Leica M165 FC Stereomikroskop und Leica Software), sowie Standard Laborgeräte und Verfahren benutzt.

WP 3.5:

Nicht zutreffend.

WP 3.6:

Zum Zeitpunkt des Projektantrages waren hauptsächlich Kurzzeitexperiment mit Kaltwasserkorallen bekannt, die im Hinblick auf Klimawandel auch nur einen Parameter (meist CO₂ oder Temperatur) beinhalteten, der in Richtung zukünftiger Bedingungen manipuliert wurde. In BIOACID Phase I wurde in einem Langzeit-Experiment mit *L. pertusa* der Einfluss der Ozeanversauerung auf diese sensiblen Organismen untersucht. In BIOACID II war man daher bestrebt, multifaktorielle Langzeit-Experimente durchzuführen.

WP 4.5:

Basierend aus den Erfahrungen aus der ersten Phase im BIOACID Projekt waren die technischen Voraussetzungen und die wissenschaftlichen Fragestellungen definiert und wichtige grundlegende Ergebnisse bereits erzielt. Dies ermöglichte dann die Erweiterung der geplanten Experimente um neuen Ansätze, die in der ursprünglichen Planung nicht vorgesehen waren und damit zu einer weitreichenden Bearbeitung der Fragestellung unter zusätzlicher nationaler wie auch internationaler Beteiligung geführt haben.

Es wurden keine besonderen Konstruktionen, Verfahren oder Schutzrechte für die Durchführung des Vorhabens benutzt.

WP 4.9:

In wissenschaftlicher Hinsicht wurde insbesondere an Vorerfahrungen der beiden PI's dieses Teilprojektes (Dr. S. Lischka, Dr. M. Graeve) hinsichtlich der Hälterung der Pteropoden und Lipidanalytik angeknüpft. Dabei wurden für die Lipidanalytik Standardverfahren zur Extraktion der Gesamtlipide und anschließenden Analytik der Lipidklassen und Fettsäuren eingesetzt (HPLC, GC-MS).

WP 5.1:

Die eigenen Modellarbeiten verwenden insbesondere eine Modell-Evaluationsplattform, die in enger Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern der Biogeochemischen Modelleierung am GEOMAR (Dr. I. Kriest, Dr. W. Koeve, Prof. Oeschies) und Dr. Samar Khatiwala (Lamont Doherty Earth Observatory an der Columbia Univ., New York, USA; Univ. Oxford, Department of Earth Sciences) entwickelt wurde.

Die Analysen der CMIP5 Modelle verwenden Modelloutput von globalen Klimamodellen verschiedener internationaler Arbeitsgruppe, die im Vorbereitung des 5. Assessment Reports des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) erstellt wurden und der Öffentlichkeit über das Earth System Grid (www.earthsystemgrid.org) bzw. über die angeschlossenen Server (z.B. <https://esgf-data.dkrz.de>) zur Verfügung stehen.

WP 5.3:

Nicht zutreffend.

• Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

WP 0.1:

Trifft nicht zu

WP 0.2:

Nicht zutreffend

WP 1.1:

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden. Neu generierte Daten wurden (und werden) auf öffentlich zugänglichen Datenbanken (z.B. PANGEA) hinterlegt sobald die Studien abgeschlossen und publiziert sind. Bei der Durchführung, Auswertung und Interpretation der generierten Daten wurden insbesondere die Empfehlungen der von der Forschergemeinschaft erarbeiteten Richtlinien für gute wissenschaftliche Praxis in der Ozeanversauerungsforschung (Riebesell et al. 2010) berücksichtigt.

Riebesell U., Fabry V. J., Hansson L. & Gattuso J.-P. (Eds.) (2010). Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting, 260 p. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

WP 1.3:

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden. Neu generierte Daten wurden (und werden) auf öffentlich zugänglichen Datenbanken (z.B. PANGEA) hinterlegt sobald die Studien abgeschlossen und publiziert sind.

WP 1.9:

Die verwendete Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden.

WP 1.10:

Die verwendete Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden.

WP 1.11:

Die verwendete Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden.

WP 1.13:

Collins S, Gardner A (2009) Integrating physiological, ecological and evolutionary change: a Price equation approach. *Ecology Letters* 12: 744-757

De Mazancourt C, Johnson E, Barraclough TG (2008) Biodiversity inhibits species' evolutionary responses to changing environments. *Ecology Letters* 11: 380-388

Lohbeck KT, Riebesell U, Reusch TBH (2012) Adaptive evolution of a key phytoplankton species to ocean acidification, *Nature Geoscience* 5:346-351.

Lohbeck, KT, Riebesell U, Collins S, Reusch TBH (2013). Functional Genetic Divergence In High CO₂ Adapted *Emiliania huxleyi* Populations. *Evolution* 67:1892-1900.

Post DM, Palkovacs EP (2009) Eco-evolutionary feedbacks in community and ecosystem ecology: interactions between the ecological theatre and the evolutionary play. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 1629-1640

WP 2.3:

Epiphyten spielen eine Schlüsselrolle für das ökologische Gleichgewicht von habitatbildenden Makrophytenbeständen (Großalgen und Seegrass). Zum einen konkurrieren sie mit Letzteren um Licht und Nährstoffe (Wallentinus 1984; Sand-Jensen and Borum 1991; Worm and Sommer 2000), und zum anderen stellen sie die Basis des assoziierten Nahrungsnetzes dar. Das bedeutet, Makrophyten assoziierte Weidegänger (Schnecken und Crustaceen) sowie deren Räuber (darunter juvenile kommerzielle Fischarten) hängen von den Epiphyten als Futterquelle ab, und stellen gleichzeitig durch das Abweiden sicher, dass die Makrophyten nicht überwachsen werden (e.g. Phil et al. 1994; Borg et al. 1997; Hillebrand 2009; Poore et al. 2012; Persson et al. 2012; HELCOM 2013). Dieses fragile Gleichgewicht kann durch eine Verschiebung des Nahrungsnetzes leicht gestört werden, was dann zu einem Rückgang des gesamten Habitats führen kann. Zum einen war bekannt, dass Eutrophierung (bottom-up Forcing) das Konkurrenzgleichgewicht hin zu den Epiphyten verschiebt, was zur Überwucherung und letztendlich zum Absterben der habitatbildenden Makrophyten führt (Torn et al. 2006; Rohde et al. 2008; HELCOM 2009). Neuerdings wurde auch bekannt, dass Überfischung der Top-Predatoren (z.B. Dorsch) am anderen Ende der Nahrungskette (top-down Forcing) letztendlich denselben Effekt der Überwucherung der Habitatbilder mit kurzlebigen Epiphyten hat (Eriksson et al. 2009). Im Detail verursacht die Überfischung der Top-Predatoren einen verstärkten Konsumentendruck der mesopredatorischen Fische auf die Weidegänger, welche im Umkehrschluß die Epiphyten nicht genügend abweiden. Es hat sich ausserdem gezeigt, dass Bottom-up und Top-down Forcing additiv wirken (Eriksson et al. 2009). Noch nicht bekannt und daher Gegenstand des Topic 2.3 waren die Einwirkung von sich verändernden globalen Umweltbedingungen (CO₂ und Temperatur) sowie deren Zusammenspiel mit lokalen Umweltbedingungen (Nährstoffe) auf das gut untersuchte ökologische Gleichgewicht des *Fucus* Systems.

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden.

WP 2.5:

Für das Verfassen der Manuskripte wurde die wissenschaftlichen Fachliteratur benutzt. Literatursuchen wurden mit den von GEOMAR bereitgestellten Diensten Web-of-Science und Scopus durchgeführt. Alle für Publikationen verwendete Daten wurden und werden auf Pangaea abgelegt.

WP 3.4:

Für die Literaturrecherche wurden die üblichen wissenschaftlichen Informationsplattformen wie google scholar und ISI Web of Science und die GEOMAR Bibliothek benutzt. Die im Teilprojekt erhobenen Daten wurden/werden alle in der Datenbank PANGAEA archiviert.

WP 3.5:

Der Stand der Forschung und insbesondere die verfügbaren Publikationen werden intensiv verfolgt und in die Arbeiten sowie die Interpretation und Publikation der Ergebnisse einbezogen.

WP 3.6:

Die verwendete Fachliteratur umfasste alle gängigen Fachzeitschriften im Bereich der Meereswissenschaften (z.B. Springer-Verlag, Wiley-Verlag u.a.), die für die eigenen Fragestellungen relevante Publikationen hervorgebracht haben. Für die Literaturrecherche wurden zum Beispiel Suchmaschinen wie die Online-Plattform „Web of Science“ genutzt. Die Daten werden in internationalen Datenbanken wie PANGAEA veröffentlicht.

WP 4.5:

Naturwissenschaftliche Veröffentlichungen, der „Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements“ und „The Guide to Best Practices for Ocean Acidification Research and Data Reporting“ wurden als Referenzen während der Versuche verwendet. Die Software CO₂SYS wurde verwendet um unterschiedliche Parameter des Karbonatsystems zu bestimmen

WP 4.9:

Nach Abschluss der Datenauswertung und Publikation werden die im Rahmen des WP 4.9. erhobenen Daten in der Datenbank PANGAEA der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

WP 5.1:

Die verwendete Fachliteratur ist den Literaturverzeichnissen der veröffentlichten Publikationen (alle public access, Zugang über Veröffentlichungsliste des Antragsteller, vgl. Link unter 6. Veröffentlichungen) zu entnehmen.

WP 5.3:

Bei dem für die Arbeiten in diesem Teilprojekt verwendeten Erdsystemmodell handelt es sich um UVic 2.9, in einer Version, die in der Arbeitsgruppe von Prof Oschlies entwickelt wurde. Eine genaue Beschreibung ist in den hier aufgelisteten Publikationen gegeben.

Getzlaff, J. und Dietze, H. (2013) Effects of increased isopycnal diffusivity mimicking the unresolved equatorial intermediate current system in an earth system climate model *Geophysical Research Letters*, 40 (10). pp. 2166-2170. DOI [10.1002/grl.50419](https://doi.org/10.1002/grl.50419).

Keller, D., Oschlies, A. und Eby, M. (2012) A new marine ecosystem model for the University of Victoria Earth System Climate Model *Geoscientific Model Development*, 5 . pp. 1195-1220. DOI [10.5194/gmd-5-1195-2012](https://doi.org/10.5194/gmd-5-1195-2012).

Des weiteren wurde in Oschlies et al. (2008) der Einfluß von erhöhten Phytoplankton C:N Aufnahmeverhältnisses auf u.a. Sauerstoff untersucht. Mouriño-Calballido et al () zeigen, dass

Änderungen in diesem Verhältnis einen Einfluß auf z.B. die Stoffwechselrate des Zooplanktons haben kann. Ebenso gibt es Hinweise (Lebrato et al. 2009), daß OA induzierte Änderungen Auswirkungen auf eine Verschiebung des Zooplankton Nahrungsnetzes (Quallen-dominiert) kommen kann.

Oschlies, A., Schulz, K. G., Riebesell, U. und Schmittner, A. (2008) Simulated 21st century's increase in oceanic suboxia by CO₂-enhanced biotic carbon export *Global Biogeochemical Cycles*, 22 . DOI [10.1029/2007GB003147](https://doi.org/10.1029/2007GB003147).

Mouriño-Carballido, B., Pahlow, M. und Oschlies, A. (2012) High sensitivity of ultra-oligotrophic marine ecosystems to atmospheric nitrogen deposition *Geophysical Research Letters*, 39 . L05601. DOI [10.1029/2011GL050606](https://doi.org/10.1029/2011GL050606).

Lebrato, M. and Jones, D. O. B. (2009) Mass deposition event of *Pyrosoma atlanticum* carcasses off Ivory Coast (West Africa) *Limnology and Oceanography*, 54 (4). pp. 1197-1209. DOI [10.4319/lo.2009.54.4.1197](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.4.1197).

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 0.1:

Während der vergangenen drei Jahre hat BIOACID eng mit den Partnerprojekten „Surface Ocean PRocesses in the ANthropocene“ (SOPRAN, finanziert vom BMBF, inzwischen beendet), dem „United Kingdom Ocean Acidification Research Programme“ (UKOA; inzwischen beendet), und dem EU – Projekt „Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate“ (MedSea; inzwischen beendet) zusammengearbeitet.

BIOACID unterstützt ferner die Aktivitäten des im Juli 2012 gegründeten „Ocean Acidification International Coordination Centre“ (OA-ICC) und arbeitet eng mit der „Ocean Acidification International Reference User Group (OA-iRUG) zusammen.

WP 0.2:

Das Datenmanagement arbeitete am engsten mit der BIOACID Koordination zusammen, allerdings haben natürlich alle BIOACID Teilprojekte und Teilprojektleiter die Anstrengungen des Datenmanagements im Detail unterstützt.

Die nachhaltige Langzeitarchivierung wurde durch die Zusammenarbeit mit dem Projektpartner PANGAEA erreicht und technisch durchgeführt.

Basierend auf den in PANGAEA archivierten Daten wurde mit dem ‘Ocean Acidification – International Coordination Center’ der Internationalen Atomenergie Behörde der UN kooperiert. Ziel dieser Kooperation war und ist es für alle Ozeanversauerungsstudien Metaanalysen zu ermöglichen.

WP 1.1:

An der KOSMOS Studie vor Gran Canaria beteiligten sich 11 Teilprojekte aus BIOACID II sowie acht internationale Partner mit eigener Finanzierung. Logistisch wurde die Studie durch die Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN) unterstützt. Eine Beteiligung von SOPRAN am Wiederholungsexperiment fand nicht statt, da die ursprünglich involvierten Teilprojekte ihre Teilnahme aufgrund anderer Verpflichtungen (WP 1.6, Williams, MPI) bzw. durch Ausscheiden des verantwortlichen PI aus der Wissenschaft (WP 3.3 Breitbarth, GEOMAR) absagen mussten. Die

Nutzung der erhobenen Daten für Synthese und Modellsimulationen in WP 3.2 (Oschlies/Schartau, GEOMAR) ist ohne direkte Beteiligung am Experiment gewährleistet. Insgesamt waren etwa 80 Wissenschaftlicher/innen, Post-Docs, Doktoranden/innen und technische Assistenten/innen an der Studie beteiligt, davon 55 aktiv vor Ort.

Die an den zwei KOSMOS Studien beteiligten Disziplinen reichen von der Molekular- und Mikrobiologie über die Physiologie und marine Ökologie bis hin zur Meeres- und Atmosphärenchemie und der marinen Biogeochemie. Entsprechend breit ist das Spektrum der wissenschaftlichen Forschungsansätze und Fragestellungen. Die erzielten Datensätze und die daraus gewonnene Erkenntnisse werden für die bevorstehende Synthese über den Einfluss der Ozeanversauerung auf marine Lebensgemeinschaften und biogeochemische Stoffkreisläufe von großer Bedeutung sein.

WP 1.3:

Enge Zusammenarbeit ergab sich insbesondere mit den Teilprojekten, die ebenfalls an den KOSMOS Mesokosmenstudien teilnahmen und mit denen wir in regem Austausch standen. Das waren im wesentlichen W.P. 1.1 – 1.8., 1.11. und 1.15. Ein Teil dieser W.P.s sind auch außerhalb des GEOMAR angesiedelt (W.P. 1.2 AWI Bremerhaven, W.P. 1.4 IOW Warnemünde, W.P. 1.5 IPG Berlin und IOW Warnemünde, W.P. 1.6 AWI Bremerhaven, W.P.1.7 AWI Bremerhaven, W.P. 1.8 Universität Oldenburg, W.P. 1.15 HZG Geesthacht).

WP 1.9:

Neben anderen am GEOMAR lokalisierten WPs (1.1. 1.10, 1.11) nahmen auch an anderen Instituten lokalisierte WPs (1.6: AWI Bremerhaven, 1.8: ICBM Oldenburg, 1.12: IOW Warnemünde) an den Mesokosmos-Experimenten teil. Durch die Teilnahme der Gastwissenschaftlerin Prof. Maria Moustaka-Gouni (Aristoteles Universität Thessaloniki, Griechenland) am Experiment 2013 konnte das Untersuchungsprogramm auf die ursprünglich nicht eingeplanten heterotrophen Nanoflagellaten ausgeweitet werden.

WP 1.10:

Neben anderen am GEOMAR lokalisierten WPs (1.1. 1.9, 1.11) nahmen auch an anderen Instituten lokalisierte WPs (1.6: AWI Bremerhaven, 1.8: ICBM Oldenburg, 1.12: IOW Warnemünde) an den Mesokosmos-Experimenten teil. Durch die Teilnahme der Gastwissenschaftlerin Prof. Maria Moustaka-Gouni (Aristoteles Universität Thessaloniki, Griechenland) am Experiment 2013 konnte das Untersuchungsprogramm auf die ursprünglich nicht eingeplanten heterotrophen Nanoflagellaten ausgeweitet werden.

WP 1.11:

Eine besonders enge Zusammenarbeit erfolgte mit dem Konsortium 1 'Pelagic ecosystems under ocean acidification: ecological, biogeochemical, and evolutionary responses'. Die beiden Indoor-Mesokosmos Experimente wurden in Kooperation mit den Teilprojekten 1.6. (N. Aberle-Malzahn),

1.8. (T. Dittmar), 1.9. (U. Sommer), 1.10. (J.C. Molinero) und 1.12. (K. Jürgens) durchgeführt. Das KOSMOS Experiment in Kristineberg fand in Zusammenarbeit mit den WP. 1.1 (U. Riebesell), 1.3. (K. Schulz), 1.4. (M. Voss), 1.5. (H.-P. Grossart) und 1.8. (T. Dittmar) statt.

WP 1.13:

Im Rahmen der KOSMOS2013 Kampagne wurde die evolutionäre Anpassung von Diatomee an Ozeanversauerung in Mesokosmengemeinschaften in Zusammenarbeit mit Dr. Matias Scheinin (GEOMAR) und Dr. Sinead Collins (Universität Edinburgh) untersucht. Die bioinformatischen Sequenzdatenauswertungen aus dem in BIOACID Phase 1 begonnenen *E. huxleyi* Genomprojekt wurden zusammen mit Dr. Till Bayer (GEOMAR) und Daniela Esser (IKMB Universität Kiel) fortgeführt. In Zusammenarbeit mit Dr. Stacy Krueger-Hadfield (Marine Biological Association of the UK) und weiteren Kollegen wurden populationsgenetische Analysen von *E. huxleyi* aus Nordsee/Nordatlantik durchgeführt. In Zusammenarbeit mit Yong Zhang (GEOMAR), Regina Klapper (Max Rubner-Institut, Karlsruhe), Dr. Lennart Bach (GEOMAR) und Dr. Kai Schulz (Southern Cross University) wurden Untersuchungen zur phänotypischen Plastizität von *E. huxleyi* Isolaten aus verschiedenen Temperaturzonen durchgeführt. In Zusammenarbeit mit Lothar Schlüter (GEOMAR) und Anderen wurden weitere Untersuchungen zum Anpassungspotential von *E. huxleyi* an Ozeanversauerung und Erwärmung durchgeführt. In einer weiteren Kooperation mit Dr. Lennart Bach (GEOMAR) wurden Ultrastrukturanalysen mittels Scanning Electron Microscopy (SEM) an Coccolithen von an Ozeanversauerung angepassten *E. huxleyi* Populationen durchgeführt.

WP 2.3:

Neben einem anderen am GEOMAR lokalisierten WP (2.5) nahmen auch an anderen Instituten lokalisierte WPs (2.1 AWI Sylt, 2.2 CAU Kiel, 2.4 Universität Rostock, 2.6 IOW, Warnemünde) an den Benthokosmos-Experimenten teil.

WP 2.5:

Review Artikel mit Autoren anderer Institute

Im Rahmen des Workshops "Marine Evolution under Climate Change" in Kristineberg, Schweden, im November 2013 wurde von Balsam Al-Janabi und Teilnehmern anderer Institute eine gemeinsame Publikation zu diesem Thema geschrieben: Harvey, B., Al-Janabi, B., Broszeit, S. et al. 2014. Evolution of marine organisms under climate change at different levels of biological organisation. *Water* 6 (11). pp. 3545-3574. DOI 10.3390/w6113545

Austausch mit der Universität Hokkaido, Japan

Innerhalb eines Austauschprojekts der Universität Hokkaido, Japan, wurden mehrere japanische Masterstudenten und Doktoranden am GEOMAR betreut. Dabei kam es zu Zusammenarbeiten und zum Erfahrungsaustausch im Bereich der Molekularbiologie und des Klimawandels. Die Doktorandin Balsam Al-Janabi konnte den Informationsaustausch durch eine Einladung zur Universität Hokkaido (Akkeshi) in Japan, im November 2014, erweitern. In Akkeshi sollen Benthokosmen nach dem Kieler Vorbild gebaut werden.

WP 3.4:

Neben der bereits erwähnten engen Zusammenarbeit mit den Kollegen G. Lannig und L. Stapp (AWI) wurden Kollaborationen mit Prof. Lars Tomanek (CalPoly, USA, Proteomik), Prof. Elia Beniash (Pittsburgh, USA, Schalenmechanik) etabliert, um die langzeitakklimierten Muscheln besser untersuchen zu können.

WP 3.5:

Die Zusammenarbeit fokussierte sich primär auf Mitglieder anderer WPs innerhalb des Konsortiums (vgl. Autorenliste des aktuell bei *Scientific Reports* eingereichten Manuskripts unter II6).

WP 3.6:

Es fand eine aktive BIOACID-interne Vernetzung mit den Teilprojekten 3.7 in Kooperation mit Gisela Lannig und Laura Stapp und 3.2 in Kooperation mit Alban Ramette und Christiane Hassenrück statt, sowie mit Teilprojekt 4.5 mit Catriona Clemmesen. Extern bestand eine Kooperaion mit der Heriot-Watt-University innerhalb des UK Ocean Acidification (UKOA) Programms mit Murray Roberts und Sebastian Hennige und mit dem Senckenberg am Meer Forschungsinstitut mit André Freiwald und Max Wisshak.

WP 4.5:

Um die Experimente zum Einfluss von Ozeanversauerung auf Fischlarven erfolgreich untersuchen zu können, wurde neben der Zusammenarbeit im BIOACID Konsortium eine internationale Zusammenarbeit aufgebaut. Experimente mit Heringslarven im Labor konnten in Kristineberg/Schweden durch Finanzierung über das „ASSEMBLE“ Program durchgeführt werden. Auch für die Mesokosmen Experimente in Kristineberg und auf Gran Canaria haben wir mit den Kollegen an den jeweiligen Instituten zusammengearbeitet. Im Falle von Gran Canaria wurden nochmals zusätzliche Mittel über „ASSEMBLE“ eingeworben. Die BIOACID interne Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Brigdes (WP 4.7) und Storch (WP 4.4) wurde um die Partner bei NOFIMA in Tromsø erweitert (A. Mortensen, V. Puvanendran) und führte zur Durchführung gemeinsamer Experimente mit adulten Dorschen, Dorscheiern, Fischlarven und Jungdorschen am „National Cod Breeding Center“ in Tromsø, Norwegen im Frühjahr 2014 und 2015 in Kollaboration mit dem BONUS Projekt BIOC3 (F. Mittermayer, M. Stiasny) und dem Aquakultur Projekt FINEAQUA (C. Clemmesen). Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität Bergen/Norwegen (A. Folkvord, A. Geffen) und des Muséum national d'Histoire naturelle in Paris (N. Schnell) erfolgte im Rahmen des KOSMOS 2015 Experimentes zum Einfluss erhöhter CO₂ Gehalte auf die Entwicklung der Knochenstrukturen von Heringslarven.

WP 4.9:

Die Durchführung dieses Teilprojektes erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. M. Graeve vom Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar-und Meeresforschung in Bremerhaven.

WP 5.1:

Es wurde insbesondere mit den folgenden Kollegen (Projekten, Institution) zusammengearbeitet: Dr. O. Duteil (SFB 754, GEOMAR); Dr. Hannes Wagner (FP7 CARBOCHANGE, GEOMAR); Dr. Y. Feng (DFG SPP 1689 Climate Engineering, GEOMAR); Prof. S. Khatiwala (Oxford University); Dr. I. Kriest (GEOMAR); Prof. A. Oschlies (GEOMAR).

WP 5.3:

Durch die thematische Verknüpfung ergab sich eine enge Zusammenarbeit mit WP 5.5 insbesondere mit Dr. R. Voss (Uni Kiel). Des weiteren ergab sich eine enge Zusammenarbeit mit Dr. H. Dietze (GEOMAR, Grundausrüstung).

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG ZU

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 0.1:

Folgende spezielle Aktivitäten wurden durch die BIOACID-Koordination durchgeführt:

BIOACID Versammlungen

- Planung und Organisation des Kick-off Meetings für die zweite Phase von BIOACID vom 6. – 7. November 2012 GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
- Planung und Organisation des ersten Jahrestreffens der zweiten Phase von BIOACID am 1. und 2. Oktober 2013 am Leibniz - Institut für Ostseeforschung in Warnemünde in Zusammenarbeit mit den dortigen Verantwortlichen
- Planung und Organisation des BIOACID Phase II Jahres-Meetings 2014 vom 10. bis 11. September 2014 am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel.
- Planung und Organisation des gemeinsamen Abschlussmeetings für die Phase II von BIOACID und des Kick-off Meetings für Phase III am 6. und 7. Oktober 2015 am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Workshops

- Organisation eines Datenworkshops über die Ergebnisse Des Mesokosmenexperimentes bei Tvärminne / Finnland (2013) am 11. und 12. November 2013 in Kiel.
- Planung und Organisation des ersten Datenworkshops über das Mesokosmenexperiment (Kosmos 2013) im Gullmarsfjord bei Kristineberg / Schweden am 12. und 13. Dezember 2013 am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
- Organisation eines Datenworkshops über die Ergebnisse Des Mesokosmenexperimentes bei Tvärminne / Finnland (2013) am 3. und 4. September 2014 in Kiel.
- Planung und Organisation des zweiten Datenworkshops über das Mesokosmenexperiment (Kosmos 2013) im Gullmarsfjord bei Kristineberg / Schweden am 23. April 2015 am GEOMAR

Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Expeditionen und Experimente

- Planung und Koordination des Langzeit – Mesokosmenexperimentes (Januar – Juni 2013, 69 Teilnehmer aus 12 europäischen Forschungsinstituten) im Gullmarsfjord bei Kristineberg / Schweden
- Planung und Koordination der beiden Langzeit – Mesokosmenexperimente vor der Küste Gran Canarias mit jeweils mehr als 50 Wissenschaftlern und Technikern aus Deutschland, Spanien, Frankreich, Großbritannien und USA (<http://www.oceanblogs.org/kosmos2014gc>).

Teilnahme an Symposien und Kongressen

- **Reisen des Koordinators Prof. Dr. Riebesell zur Repräsentation von BIOACID auf nationalen und internationalen Veranstaltungen im Berichtszeitraum:**

15.-20. Oktober 2012	Heraklion, Griechenland: International Mesocosm Symposium
06.-08. Mai 2013	Bergen, Norwegen: Arctic Ocean Acidification Conference
21.-26. Juli 2013	St. Andrews, Schottland: Global Ocean Acidification Observing Network Conference
11.-13. September 2013	Southampton, England: UKOA Workshop
11.-15. Januar 2014	Toronto, Kanada, Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR) Conference
27. Mai - 2. Juni 2014	Nizza, Frankreich, SOLAS-IMBER Ocean Acidification working group meeting
23.-27. Juni 2014	Bergen, Norwegen, IMBER Conference Future Ocean
6.-11. Juli 2014	New Hampshire, USA Gordon Research Conference Ocean Global Change Biology
15. April 2015	Hamburg, KDM Symposium Küste 2025

- Beteiligung von BIOACID an einem gemeinsamen Ausstellungsstand der Projekte UKOARP, MedSea, EPOCA, OCEANA und der Institute SCRIPPS und Plymouth Marine Laboratory über das Problem der Ozeanversauerung auf der United Nations Climate Change Conference in Doha, Qatar vom 26. November bis 7. Dezember 2012 und der United Nations Climate Change Conference in Warschau, Polen vom 11. bis 22. November 2013
- Beteiligung am Meeting der „Ocean Acidification international Reference User Group OAiRUG“ in Monaco mit 30 Wissenschaftlern und Stakeholdern aus acht Ländern (2. – 4. Dezember 2013)
- Beteiligung von BIOACID an einem gemeinsamen Ausstellungsstand der Projekte UKOARP, , EPOCA, und der Institute SCRIPPS und Plymouth Marine Laboratory über das Problem der Ozeanversauerung auf der United Nations Climate Change Conference in Lima / Peru, vom 1. bis 12. Dezember 2014
- Teilnahme von BIOACID am “OA-ICC expert meeting on ocean acidification data management” vom 23. bis 24. April 2014, Monaco
- Teilnahme von BIOACID an den 5. Braunschweiger QI-Tagen in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig am 20. und 21. Mai 2014.

- Beteiligung am Meeting der „Ocean Acidification international Reference User Group OAiRUG“ in Monaco mit 30 Wissenschaftlern und Stakeholdern aus acht Ländern (14. – 16. Januar 2015)
- Beteiligung von BIOACID an der 21. Klima-Konferenz der Vereinten Nationen (COP 21) in Paris vom 7. und 8. Dezember 2015

Berichtswesen

- Erstellung und redaktionelle Bearbeitung des BIOACID Schlussberichtes für die erste Phase von BIOACID (1. September 2009 – 31. August 2012)
- Erstellung und redaktionelle Bearbeitung der BIOACID Jahresberichte 2013 (Periode 1. September 2012 – 31. Dezember 2013) und 2014 (Periode 1. Januar – 31. Dezember 2014).

Öffentlichkeitsarbeit

- Neues Layout und Pflege der BIOACID Website (www.bioacid.de) in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Kommunikation und Medien des GEOMAR
- Pflege der BIOACID Website (www.bioacid.de), Facebook-Site (www.facebook.com/BIOACID.project) und Twitter-Kanal (twitter.com/BIOACID_project) in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Kommunikation und Medien des GEOMAR
- Organisation von Übersetzung und Druck der englischen Fassung der Broschüre: „Ozeanversauerung: Das andere CO₂ Problem. Acht Experimente für Schüler und Lehrer“: *„Ocean Acidification - The Other CO₂ Problem - Eight Experiments for Students and Teachers“*
- Beteiligung an der Herausgabe zweier Broschüren der „International Ocean Acidification Reference User Group in deutscher Sprache: „Ozeanversauerung: Die Wissensdatenbank 2012 / Der aktuelle Stand: Was wissen wir über Ozeanversauerung und die wichtigsten globalen Herausforderungen“ und „20 Fakten zur Ozeanversauerung“
- Beteiligung von BIOACID am Tag der offenen Tür des GEOMAR am 18. August 2013
- Beteiligung an der Erstellung einer Broschüre über Ozeanversauerung für Entscheidungsträger „Ocean Acidification – Summary for Policy Makers“. Die Broschüre ist ein Produkt des „Ocean in a High CO₂ World III“ Symposiums und wurde in Zusammenarbeit mit dem IGBP, IOC-UNESCO und SCOR erstellt. Eine deutsche Übersetzung ist zurzeit in Arbeit.
- Beiträge von BIOACID zum IPCC Assessment: BIOACID beteiligte sich an der Entwicklung und Verbreitung des 5. Sachstandsbericht des IPCC (Yokohama, Japan am 25. März 2014).
- Beitrag von BIOACID zum „Ocean Acidification International Coordination Centre OA-ICC“, das von der Internationalen Atom-Energie-Agentur in Monaco (<http://www.iaea.org/ocean-acidification>) gehostet wird. Es wurde von der SOLAS-IMBER Ozeanversauerungs - Arbeitsgruppe initiiert. Das Ziel des OA-ICC ist die Vernetzung mit anderen internationalen Forschungsprojekten über die Versauerung der Ozeane und die gemeinsame Öffentlichkeits- und Medienarbeit.
- Organisation, Finanzierung, Druck und Verbreitung der deutschen Übersetzung der englischen Broschüre „Ocean Acidification: Summary for Policymakers“

Anträge

- Planung und Organisation der Versammlung des Executive Boards (EB) von BIOACID am 28. November 2013 am GEOMAR (Planung der Antragstellung für eine dritte Phase von BIOACID)
- Entwicklung des Antrags für BIOACID Phase III:

10. Februar 2014	Vorgespräch beim BMBF in Bonn
14. Februar 2014	Meeting des BIOACID Executive Boards: Ranking der eingegangenen Projektideen
29. April 2014	Planungsworkshop: Entwicklung des Phase III Antrags am GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel
18. August 2014	Das Projektbüro sendet die Projektskizzen mit Zielen und Finanzbedarf an den PTJ
August – November 2014	Vorbereitung des Vorantrages
20. November 2014	Das Projektbüro sendet den Vorantrag an den PTJ und das BMBF
Dez. / Jan. 2015	Internationale Evaluierung des Vorantrages
18. Februar 2015	Besuch des PTJ in Rostock zur Besprechung des Antrages für BIOACID Phase III
Bis Juli 2015	Bearbeitung und Einreichen des Gesamtantrages

- Ausarbeitung des Aufstockungsantrages für BIOACID zur Wiederholung des Mesokosmenexperimentes vor Gran Canaria
- Ausarbeitung des Antrages zur Laufzeitverlängerung von BIOACID Phase II um den Monat September 2015 (Beginn Phase III erst im Oktober 2015).

WP 0.2:

Aufgrund der Zuwendung war es möglich bei über 70% der BIOACID Publikationen Datensupplemente in PANGAEA zu archivieren. Allerdings war dies nur möglich durch die Verblockung der Mittel für die beantragte halbe Stelle zu einer Vollzeitstelle in der zweiten Hälfte der Projektphase. Die enge Zusammenarbeit mit der Koordination machte es möglich auch Projektpartner aus der vorangegangenen ersten Projektphase ausfindig zu machen und auf diese Weise rückwirkend noch Daten einzuwerben und dem Archivierungsprozess zuzuführen. Darüber hinaus wurden aufgrund eines gesteigerten Bewusstseins aller Projektteilnehmer Datensets archiviert, die zu diesem Zeitpunkt noch keiner Publikation zugeordnet werden konnten, insgesamt 274 Datensets listete das Weltdaten Archiv zu diesem Zeitpunkt

WP 1.1:

KOSMOS Studie im Gullmarfjord, Schweden:

An diesem Experiment an der Westküste Schwedens (58°15'N, 11°25'E) in 2013 beteiligten sich 69 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 12 europäischen Forschungsinstituten und Universitäten. Zehn Mesokosmen des Kieler KOSMOS-Systems wurden im Gullmarfjord vom 23. Januar bis 5. Juli 2013 verankert und die Entwicklung der Planktongemeinschaft und biogeochemischen Stoffkreisläufe unter den Bedingungen der Ozeanversauerung studiert. Aussetzen, Verankern und Bergen der KOSMOS Anlage wurde mit Unterstützung des Forschungsschiffes Alkor durchgeführt. Während der Studie war das Forscherteam in den Unterkünften und Laboren des Sven Lovén Centre for Marine Sciences in Kristineberg untergebracht.

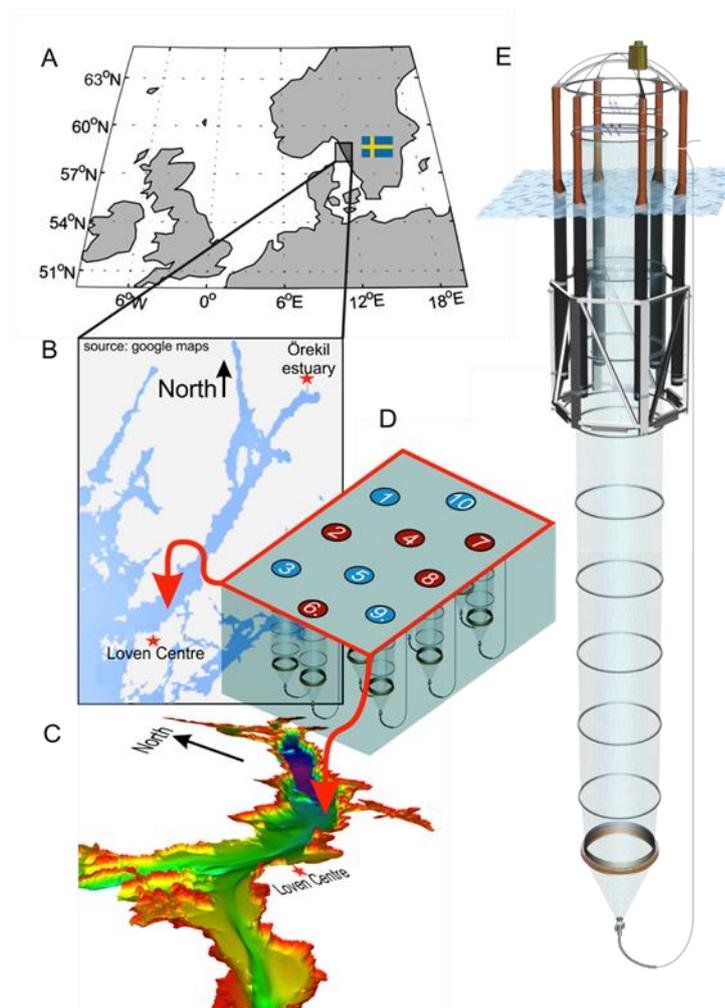


Abb. 1.1.1 Das Untersuchungsgebiet der KOSMOS Studie 2013 im Gullmarfjord und die Verankerungsposition der Mesokosmen. Der 3D-Block zeigt die Gruppierung der Mesokosmen – blau gekennzeichnet die Kontrollmesokosmen, rot die Mesokosmen mit erhöhter CO₂ Konzentration. Die untere Grafik zeigt eine bathymetrische Karte des Gullmarfjords, aus der deutlich wird, dass ein relativ flacher Sill den Ausgang des Fjords markiert. Dies hat Auswirkungen auf den Wasseraustausch im Fjord.

In den Aufgabenbereich von WP1.1 fielen

- technische Vorbereitung, Transport, Aussetzen und Einholen der zehn Mesokosmen-Einheiten
- Koordination der Laborarbeiten vor Ort, Unterkunft, Schiffstransport sowie Probenahme
- Manipulation und Messungen des Karbonatsystems
- Messung der Kernparameter, darunter Temperatur, Salinität, Chlorophyll-Fluoreszenz, Trübung, Lichtintensität, pH und Sauerstoffgehalt in täglichen vertikalen Profilen, tiefenintegrierte Messungen der anorganischen Nährstoffe (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} und $\text{Si}(\text{OH})_4$) und des suspendierten biogenen Materials (POC, PON, POP, BSi, und PIC), die Bestimmung der Sedimentationsraten von POC, PON, POP, BSi, und PIC sowie der Gasaustauschrate zwischen Luft und Wasser mittels Nutzung von N_2O als Tracer.

Im Vorfeld der Studie wurde von WP1.1 ein Planungsworkshop am 4. und 5. September 2012 am GEOMAR in Kiel für alle Teilnehmer an der Studie durchgeführt. Im Nachgang der Feldkampagne wurde am 12. und 13. Dezember 2013 ein Daten – Workshop mit 40 Beteiligten am GEOMAR in Kiel durchgeführt, bei dem erste Ergebnisse der Studie präsentiert und diskutiert wurden. Ein zweiter Datenworkshop wurde am 23.-24. April 2015, ebenfalls am GEOMAR in Kiel, durchgeführt. Hier fand die Feinabstimmung der Dateninterpretation statt und es wurde eine Publikationsstrategie vereinbart.

Tabelle 1.1.1: Protokoll der KOSMOS 2013 Studie im Gullmarfjord. t-days bezeichnet die Tage vor (minus) bzw. nach der Durchmischung der Wassersäule zwecks Aufbrechen des Salinitätsgradienten. STS = Sedimentfallenbeprobung, WCS = Wassersäulenbeprobung, CTD = Vertikalprofile mit der Multisonde, net haul = Netzfänge, CLEAN = Reinigung der Innenseiten der Mesokosmenwände, seed = Zugaben von 20 Liter Fjordwasser, um sicher zu stellen, dass im Laufe der Saison im Fjord auftretende Saatpopulation auch in den Mesokosmen vorliegen. Zahlen in den Boxen kennzeichnen die Anzahl der Netzfänge.

Date	t-day	STS	WCS	CTD	net haul	CLEAN	seed	Event
23/01/2013	t-45							Arrival of RV Alkor on study site
29/01/2013	t-39							Deployment of all 10 mesocosms in Gullmar Fjord (exact location shown in Fig. 1)
12/02/2013	t-25							Closing all 10 mesocosms (i.e. start of the failed experiment)
03/03/2013	t-6							Opening all 10 mesocosms (i.e. end of the failed experiment)
06/03/2013	t-3							Cleaning of mesocosm bags and servicing of sediment traps on shore
07/03/2013	t-2							Closing all 10 mesocosms (i.e. start of the successful experiment), mixing water column (5 minutes), hole detected in M1
08/03/2013	t-1				1			1 st CO ₂ enrichment
09/03/2013	t0							Mixing water column (4 minutes), 2 nd CO ₂ enrichment, N ₂ O tracer addition (M3, M5, M7, M8)
10/03/2013	t1				2			Hole detected in M8
11/03/2013	t2							Sampling (15 L) for nutrients and microzooplankton grazing incubations, 3 rd CO ₂ enrichment, mixing M8 for 5 minutes with subsequent CTD cast to spot the hole, hole detected in M1
12/03/2013	t3				1			Diving with rebreather inside M1 and M8 and fixing holes of both mesocosms from the outside.
13/03/2013	t4							4 th CO ₂ enrichment
14/03/2013	t5							
15/03/2013	t6							While cleaning a 1 mm mesh was attached to the cleaning ring to remove fish larvae and jelly fish,

Date	t-day	STS	WCS	CTD	net haul	CLEAN	seed	Event
								outside cleaning (0 - 1.5 m)
16/03/2013	t7							
17/03/2013	t8							
18/03/2013	t9				1			
19/03/2013	t10							
20/03/2013	t11				1			
21/03/2013	t12							Deployment of benthos and biofilm plates in all mesocosms, diving with rebreather inside M6 to recover lost device
22/03/2013	t13							
23/03/2013	t14							Outside cleaning (1.5 - 8 m)
24/03/2013	t15							
25/03/2013	t16							
26/03/2013	t17				2			5 th CO ₂ enrichment
27/03/2013	t18							Outside cleaning (0 - 1.5 m), sampling for microzooplankton grazing experiments
28/03/2013	t19				2			
29/03/2013	t20							
30/03/2013	t21							
31/03/2013	t22							
01/04/2013	t23							
02/04/2013	t24							
03/04/2013	t25				3			
04/04/2013	t26							Biofilm sampling
05/04/2013	t27				1			
06/04/2013	t28							Outside cleaning (seems at about 3 -5 m depth between mesocosm bag segments)
07/04/2013	t29							
08/04/2013	t30							
09/04/2013	t31							Installation of light and temperature loggers in M4 and M10
10/04/2013	t32							Sampling of 40 L for light stress experiments, recovery of light and temperature loggers
11/04/2013	t33				3			
12/04/2013	t34							Sampling for microzooplankton grazing incubations (15 L)
13/04/2013	t35							Sediment trap collector of M5 was opened for ~1 min to recover a lost device
14/04/2013	t36							
15/04/2013	t37							Establishment of thermal stratification (Fig. 5)
16/04/2013	t38							N ₂ O tracer addition to M3, M5, M7, and M8
17/04/2013	t39				1			
18/04/2013	t40							
19/04/2013	t41							Sediment trap collector of M2 was opened for 1 min to remove clogging
20/04/2013	t42							
21/04/2013	t43							Biofilm sampling
22/04/2013	t44							Outside cleaning (seems at about 7 m depth between mesocosm bag segments)
23/04/2013	t45							
24/04/2013	t46							6 th CO ₂ enrichment, 1 st brine (NaCl) addition to all mesocosms for volume determination, hole detected in M2
25/04/2013	t47							Hole fixed in M2
26/04/2013	t48							7 th CO ₂ enrichment, addition of herring egg

Date	t-day	STS	WCS	CTD	net haul	CLEAN	seed	Event
								incubators at 3 m depth
27/04/2013	t49				2			
28/04/2013	t50							
29/04/2013	t51							
30/04/2013	t52							
01/05/2013	t53							Lowering herring egg incubators from 3 to 6 m depth, hole detected in M9
02/05/2013	t54							
03/05/2013	t55							
04/05/2013	t56							Addition of sea urchin larvae, biofilm sampling
05/05/2013	t57				2			
06/05/2013	t58							Hole fixed in M9
07/05/2013	t59				2			
08/05/2013	t60							Outside cleaning (5 - 7 m)
09/05/2013	t61							
10/05/2013	t62							Biofilm sampling
11/05/2013	t63							Peak hatch of herring larvae
12/05/2013	t64							Recovery of herring egg incubators
13/05/2013	t65				2			
14/05/2013	t66							Diving with rebreather in M9, deployment of temperature and light loggers in M4 and M10
15/05/2013	t67							
16/05/2013	t68							Biofilm sampling, 8 th CO ₂ enrichment
17/05/2013	t69							
18/05/2013	t70							
19/05/2013	t71							
20/05/2013	t72							Outside cleaning (0-1.5 m)
21/05/2013	t73				2			
22/05/2013	t74							
23/05/2013	t75							
24/05/2013	t76				1			Outside cleaning (15 - 17 m)
25/05/2013	t77							
26/05/2013	t78							Biofilm sampling
27/05/2013	t79							
28/05/2013	t80							Outside cleaning (3 - 5 m)
29/05/2013	t81				2			Biofilm sampling
30/05/2013	t82							Outside cleaning (5 - 10 m)
31/05/2013	t83							
01/06/2013	t84							Outside cleaning (10 -12 m)
02/06/2013	t85							
03/06/2013	t86							Outside cleaning (12 - 14 m)
04/06/2013	t87							
05/06/2013	t88							9 th CO ₂ enrichment
06/06/2013	t89				2			
07/06/2013	t90							
08/06/2013	t91							
09/06/2013	t92							
10/06/2013	t93							
11/06/2013	t94							
12/06/2013	t95							
13/06/2013	t96				2			Net hauls with a 10 µm net, biofilm sampling
14/06/2013	t97				2			
15/06/2013	t98							Outside cleaning (8 - 10 m)
16/06/2013	t99							
17/06/2013	t100							

Date	t-day	STS	WCS	CTD	net haul	CLEAN	seed	Event
18/06/2013	t101							
19/06/2013	t102							Cleaning inner part of the sediment traps from the outside with magnetic brushes
20/06/2013	t103				1			One net haul with 10 µm net
21/06/2013	t104							A 1 mm mesh was attached to the cleaning ring to recover herring larvae
22/06/2013	t105							Hole detected in M8 and M9
23/06/2013	t106							Hole fixed in M8 but not in M9
24/06/2013	t107				2			
25/06/2013	t108				8			All net hauls with 10 µm net, 2 nd brine (NaCl) addition to all mesocosms for volume determination
26/06/2013	t109							
27/06/2013	t110							Biofilm sampling
28/06/2013	t111							End of the experiment

Eines der Hauptziele dieser Studie war es, die Reaktion des Planktons auf Ozeanversauerung vom Zeitpunkt der ersten Produktivität im späten Winter bis zum Sommer zu erfassen. Dazu wurde die Sukzession der Gemeinschaften genau beobachtet sowie die Übertragung der Auswirkungen der Ozeanversauerung von einer Generation zur nächsten verfolgt. Erstmals wurde auch die Fähigkeit von Planktonorganismen zur evolutionären Anpassung an Ozeanversauerung in natürlichen Gemeinschaften untersucht. Die überraschenden Ergebnisse wurden von Scheinin et al. (2015) veröffentlicht. Das Probenmaterial wurde mittlerweile komplett analysiert und die Daten qualitätskontrolliert. Die im Rahmen dieses WP erhobenen Daten wurden auf den dafür eingerichteten ftp Server hochgeladen und stehen allen Teilnehmern an dieser Studie für die Auswertung und Interpretation ihrer Daten zur Verfügung. Die Übersichtspublikation, in dem der experimentelle Ansatz, die Durchführung des Experimentes, die physikalisch-chemischen Basisdaten sowie die grundlegende biologische Entwicklung während des Experimentes beschrieben wird, wurde bereits in dem für diese Studie vorgesehenen Sonderband bei *PLOS one* eingereicht (Bach et al., einger.). Die Durchführung des Experimentes und die erzielten Ergebnisse entsprechen den Zielen von WP 1.1. Die Auswertung der Daten ist mittlerweile abgeschlossen und die beteiligten Forschergruppe sind damit beschäftigt, die Manuskripte vorzubereiten. Insgesamt werden 25 Manuskripte aus dieser Studie resultieren, von denen zwei bereits publiziert sind, eines eingereicht ist und weitere 22 sich in Vorbereitung finden. Eine komplette Liste der Manuskripte ist unter Punkt 6 zu finden.

Bach, L. T., Taucher, J., Boxhammer, T., Ludwig, A., The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg, E. P., Alguero-Muniz, M., Anderson, L. G., Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y., Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H. G., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M., and Riebesell, U: *Influence of ocean acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. PLOS one.*

Scheinin, M., Riebesell, U., Rynearson T.A., Lohbeck, K.T., Collins, S. Experimental evolution gone wild. *Journal of the Royal Society Interface* 12: 20150056. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2015.0056>, 2015

KOSMOS Studie vor Gran Canaria:

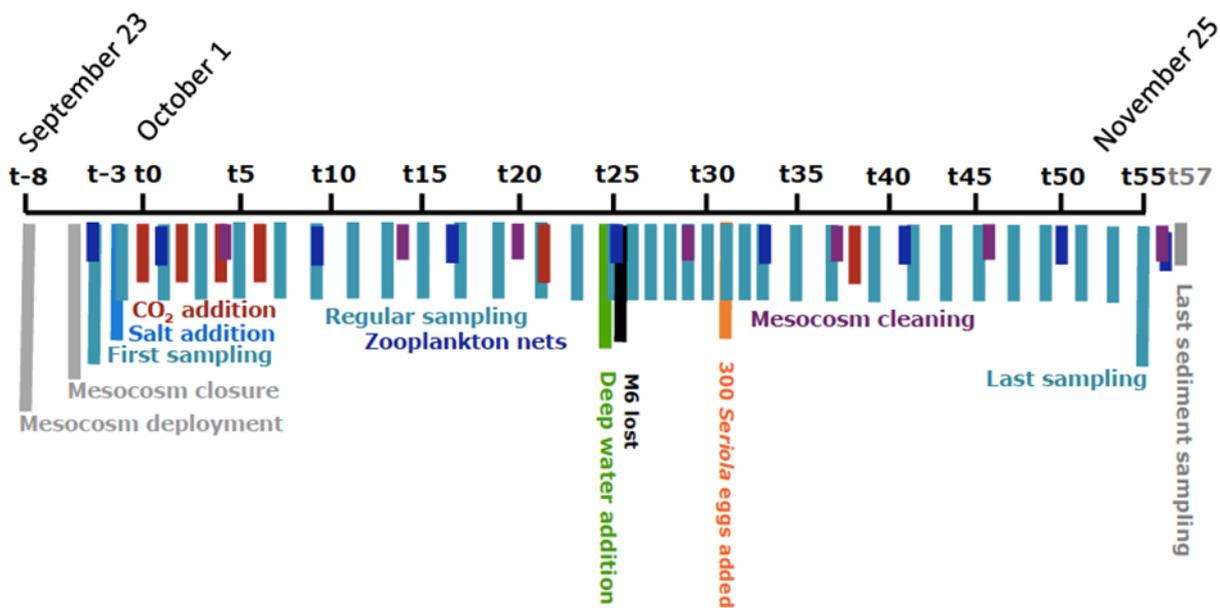
Von Januar bis April 2014 führten BIOACID II und SOPRAN III eine gemeinsam ausgerichtete Langzeitstudie über den Einfluss der Ozeanversauerung auf pelagische Ökosysteme und biogeochemische Stoffkreisläufe in der Bahia de Melanara an der Nordostküste von Gran Canaria bei 27°58'N, 15°36'W durch. Für das Ausbringen und Verankern der Mesokosmen stand das Forschungsschiff Poseidon zur Verfügung. Nach dem erfolgreichen Start Ende Januar 2014 wurde das KOSMOS-System am 15./16. Februar durch ein Sturmereignis erheblich beschädigt. Trotz intensiver Reparaturbemühungen musste das laufende Experiment kurz darauf abgebrochen werden. Während einige der beteiligten Gruppen direkt nach Abbruch des Experimentes abgereist sind, nutzten andere Gruppen die Gelegenheit, reduzierte und angepasste Fragestellungen in landgestützten Laborexperimenten vor Ort zu bearbeiten. Das Bergen der Mesokosmen wurde mit einem lokal angemieteten Schiff eines kommerziellen Anbieter aus Las Palmas durchgeführt.

Um den für die anstehende BIOACID Synthese essentiellen Datensatz über mögliche Auswirkungen der Ozeanversauerung auf ein oligotrophes pelagisches Ökosystem dennoch erheben zu können, wurden über einen Aufstockungsantrag beim BMBF zusätzliche Mittel beantragt. Nach positiver Rückmeldung des Projektträgers wurde ein Wiederholungsexperiment in der Zeit von Oktober bis Dezember 2014 durchgeführt. Dieses Mal wurde die Bahia de Gando als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Diese ca. vier Seemeilen südlich der ursprünglichen Position gelegene Bucht ist deutlich geschützter. Da die Bucht militärisches Sperrgebiet ist, war ein aufwändiges Genehmigungsverfahren beim spanischen Militär erforderlich, das dank der intensiven Unterstützung durch das Direktorium von PLOCAN erfolgreich war. An dieser Studie beteiligten sich 11 Teilprojekte aus BIOACID II sowie acht internationale Partner mit eigener Finanzierung. Logistisch wurde die Studie durch PLOCAN durch kostenlose Nutzung der Laborräumlichkeiten und des Forschungsbootes PLOCAN 1 umfangreich unterstützt. Insgesamt waren etwa 80 Wissenschaftlicher/innen, Post-Docs, Doktoranden/innen und technische Assistenten/innen an der Studie beteiligt, davon 55 aktiv vor Ort. Mit insgesamt 58 Messtagen konnte die Studie erfolgreich zum Abschluss gebracht werden und hat einen bislang einmaligen Datensatz hervorgebracht.

Beide Studien wurden in enger Kooperation mit dem Plataforma Oceanica de Canarias (PLOCAN) sowie der Universidad des Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) durchgeführt. PLOCAN stellte darüber hinaus seine Labore, das Tauchlager, seine Hafenanlage sowie das Forschungsboot PLOCAN 1 kostenlos zur Verfügung. Für die Unterbringung der Teilnehmer auf Gran Canaria wurden Pensionszimmer sowie Ferienapartments in Nähe von PLOCAN angemietet.

Durch die erfolgreiche Wiederholung des im ersten Anlauf fehlgeschlagenen Mesokosmen-experiments vor Gran Canaria entspricht der aktuelle Stand des Vorhabens den ursprünglichen Arbeitsplanungen. Der zeitliche Verzug von etwa einem halben Jahr konnte durch zügigere Bearbeitung des Probenmaterials ausgeglichen werden. Die Ausgabenplanung weicht durch die Mehrkosten aufgrund des Wiederholungsexperimentes von den ursprünglichen Planungen ab. Dies konnte durch Bewilligung einer Aufstockung der finanziellen Zuwendungen durch das BMBF abgedeckt werden.

Abb. 1.1.2: Schematische Darstellung der zeitlichen Verlaufs der KOSMOS Studie vor Gran Canaria im Herbst 2014 vom Aussetzen der Mesokosmen mit R/V Hesperides am 23. September bis zur letzten Probenahme am 25. November. t₀ kennzeichnet den Tag der ersten CO₂ Anreicherung am 1. Oktober. Die farblich unterschiedenen Säulen kennzeichnen die Zeitpunkte unterschiedlicher Aktivitäten.



In den speziellen Aufgabenbereich von WP1.1 fielen

- technische Vorbereitung, Transport, Aussetzen und Einholen der zehn Mesokosmen-Einheiten
- Koordination der Laborarbeiten vor Ort, Unterkunft, Schiffstransport sowie Probenahme
- Manipulation und Messungen des Karbonatsystems
- Messung der Kernparameter, darunter Temperatur, Salinität, Chlorophyll-Fluoreszenz, Trübung, Lichtintensität, pH und Sauerstoffgehalt in täglichen vertikalen Profilen, tiefenintegrierte Messungen der anorganischen Nährstoffe (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} und Si(OH)_4) und des suspendierten biogenen Materials (POC, PON, POP, BSi, und PIC), die Bestimmung der Sedimentationsraten von POC, PON, POP, BSi, und PIC sowie der Gasaustauschrate zwischen Luft und Wasser mittels Nutzung von N_2O als Tracer.

Die Durchführung des Experimentes und die erzielten Ergebnisse entsprechen den Zielen von WP 1.1. Im Nachgang der Feldkampagne wurde am 28. und 29. Januar 2015 ein Daten – Workshop mit 35 Beteiligten am GEOMAR in Kiel durchgeführt, bei dem erste Ergebnisse der Studie präsentiert und diskutiert wurden. Ein zweiter Datenworkshop ist für Juni 2015 am GEOMAR in Kiel geplant. Hier wird die Feinabstimmung der Dateninterpretation stattfinden und über eine Publikationsstrategie entschieden. Bislang sind 17 Manuskripte aus dieser Studie resultierende Manuskripte angemeldet, die zum überwiegenden Teil für den geplante Sonderband vorgesehen sind. Eine komplette Liste der geplanten Manuskripte ist unter Punkt 6 zu finden.

Technische Weiterentwicklung der KOSMOS Plattform: Im Nachgang der KOSMOS Kampagne im Gullmarfjord wurden technische Schwachstellen der Anlage korrigiert. Dies betraf u.a. die Leinenführung der oberen Aufhängung, die Verankerungsseile, die Blinklichter und Radarreflektoren sowie die Dichtungen im unteren Schließring.

In Vorbereitung auf die KOSMOS Kampagne 2014 vor Gran Canaria wurde ein Tiefenwassersammler am Technik- und Logistikzentrum des GEOMAR in Zusammenarbeit mit Firmen im maritimen Bereich entwickelt und gebaut. Der Zweck des Tiefenwassersammlers ist, große Volumen Seewasser (80-100 m³) in Tiefen zwischen 400 und 1000 m aufzunehmen und an die Oberfläche zu transportieren. Das so gesammelte Tiefenwasser dient dazu, Auftriebsereignisse in den Mesokosmen zu simulieren. Der im Oktober 2013 fertiggestellte Tiefenwassersammler wurde im November 2013 mit F/S Alkor in der

Geltinger Bucht in der westlichen Ostsee getestet. Nach anschließender Überarbeitung war das Gerät zum Jahresende einsatzbereit für die Kampagne auf Gran Canaria. Der erste Feldeinsatz Ende Februar 2014 von Bord F/S Poseidon vor Gran Canaria verlief äußerst erfolgreich (siehe <http://www.oceanblogs.org/kosmos2014gc/2014/02/24/world-premiere-collecting-80000-litres-of-deep-ocean-water/>). Aufbauend auf die hierbei gesammelte Erfahrung konnte der Tiefenwassersammler bei der Wiederholungsstudie im Herbst 2014 erfolgreich eingesetzt werden. Das so aus 450 m gewonnene Tiefenwasser wurde dazu verwendet, in den Mesokosmen ein Auftriebsereignis zu simulieren.

Kulturexperimente:

Neben den Mesokosmenexperimenten wurden in WP1.1 Kulturexperimente mit ausgewählten Mikroalgen durchgeführt. Ziel dieser Studien war es, interagierende Effekte von Ozeanversauerung und Erwärmung (Sett et al. 2014) bzw. von Ozeanversauerung und Änderungen der Lichtintensität (Zhang et al. 2015) auf Wachstum, Photosynthese und Kalzifizierung von Coccolithophoriden zu bestimmen. WP1.1 beteiligte sich außerdem an in-door Mesokosmenexperimenten zu interagierenden Effekten von Erwärmung und Versauerung in natürlichen Populationen. Die Ergebnisse dieser Studien sind ausführlich unter WP1.9 beschrieben. Darüber hinaus wurde ein Vergleich von zwei geographisch getrennten Populationen der Coccolithophoride *Emiliana huxleyi* hinsichtlich ihrer Temperaturreaktionsnormen angestellt (Zhang et al. 2014). Die Studie belegt, dass die Reaktionsnorm der vor den Azoren beheimateten Population von derjenigen der Bergen-Population abweicht. Diese Daten deuten auf lokale Temperaturanpassung der beiden Populationen. In einer umfassenden Analyse des gegenwärtigen Kenntnisstandes über die Sensitivitäten von Coccolithophoriden gegenüber Ozeanversauerung wurde schließlich ein allgemeingültiges Konzept entwickelt, dass die beobachteten Sensitivitäten mechanistisch erklären kann (Bach et al. 2015).

Bach, L. T., Riebesell, U., Gutowska, M. A., Federwisch, L., and Schulz, K. G. (2015) A unifying concept of coccolithophore sensitivity to changing carbonate chemistry embedded in an ecological framework. *Progress in Oceanography*, 135, 125-138. DOI [10.1016/j.pocean.2015.04.012](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.04.012).

Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavsén, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) Temperature modulates coccolithophorid sensitivity of growth, photosynthesis and calcification to increasing seawater pCO₂. *PLoS ONE*, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).

Zhang, Y., Bach, L. T., Schulz, K. G., and Riebesell, U. (2014): The modulating effect of light intensity on the response of the coccolithophore *Gephyrocapsa oceanica* to ocean acidification. *Limnology and Oceanography*, 60, 2145 – 2157.

Zhang, Y., Klapper, R., Lohbeck, K.T., Bach, L.T., Schulz, K.G., Reusch, T.B.H., Riebesell, U. (2014) Between- and within-population variations in thermal reaction norms of the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. *Limnol Oceanogr.* 59(5), 2014, 1570–1580

WP 1.3:

Die Auswirkung von Ozeanversauerung auf Coccolithophoriden in natürlichen Systemen war ein entscheidender Aspekt in diesem Teilprojekt. Im Rahmen der Mesokosmen Langzeitstudie (W.P. 1.1) sollte untersucht werden, wie sich Coccolithophoridengemeinschaften als Folge der Ozeanversauerung umstrukturieren. Wider Erwarten waren Coccolithophoriden kein Teil der Planktongemeinschaft im Experiment in Schweden 2013. Sie konnten dementsprechend auch nicht untersucht werden. Statt der Coccolithophoriden wurde daraufhin die gesamte Phytoplanktongemeinschaft untersucht. Die Publikationen zu diesem Aspekt werden 2016 im

Rahmen des PLOS special issues über die Kristineberg Langzeit Studie veröffentlicht. Der Teilaspekt „Coccolithophoridendiversität“ wurde dann im Folgejahr im Mesokosmenprojekt auf Gran Canaria untersucht. Die Proben zu diesem Teilprojekt werden aktuell noch bearbeitet. Da uns von den örtlichen Behörden auf Gran Canaria keine Erlaubnis für Arbeiten mit radioaktiven Kohlenstoffisotopen erteilt wurde, mussten die physiologischen Untersuchungen im Rahmen von Laborarbeiten bewerkstelligt werden.

Im Folgenden wird aufgeschlüsselt welche Untersuchungen unternommen wurden und wofür BIOACID Geld aufgewendet wurde.

- 1) Mesokosmenstudie Schweden 2013: Wie oben bereits erwähnt waren in diesem Experiment Coccolithophoriden nicht Teil der natürlichen Phytoplanktongemeinschaft. Sie konnten deshalb auch nicht untersucht werden. So haben wir daraufhin die restliche Phytoplanktongemeinschaft untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse dieses Experiments waren (1) Diatomeen waren von Ozeanversauerung nicht oder nur in sehr geringem Umfang betroffen. (2) Autotrophe Picoeukaryoten (0.2 – 2 µm) waren positiv beeinflusst. (3) Die Planktongemeinschaft war stärker von Ozeanversauerung betroffen, wenn die Gemeinschaft nährstofflimitiert war. (4) Über die ¹⁴C-basierten Messungen der Primärproduktion wurde eine leichte Stimulation in den Mesokosmen mit Ozeanversauerung ermittelt.
- 2) Mesokosmenstudie Gran Canaria 2014: Im zweiten und erfolgreichen Experiment (Herbst 2014) wurde der Einfluss von Ozeanversauerung auf die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft und insbesondere auch der Coccolithophoridengemeinschaft untersucht. Coccolithophoriden waren in diesem Experiment in der Wassersäule vertreten. Die Ergebnisse aus der Coccolithophoridenuntersuchung sind noch nicht vollends ausgewertet und Ergebnisse liegen bis dato noch nicht vor. Es wird jedoch auch über BIOACID II hinaus an den Proben gearbeitet und Ergebnisse sollen möglichst bald präsentiert werden. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der gesamten Phytoplanktongemeinschaft sind schon deutlich weiter fortgeschritten. Hier deutet sich an, dass die toxische Alge *Heterosigma akashiwo* unter hoch-CO₂ Bedingungen eine Blüte bilden konnte, was starke Auswirkungen auf die restliche Gemeinschaft hatte. Dieses Ergebnis ist von besonderem wirtschaftlichen Interesse, da toxische Algenblüten negative Auswirkungen auf lokale Fischerei und Tourismus haben können.

Physiologische Studien: Bei den physiologischen Studien zwischen den Mesokosmen-experimenten wurden schwerpunktmäßig zwei verschiedene Fragestellungen untersucht. Zunächst sollte festgestellt werden welche Parameter des Karbonatsystems den Metabolismus von Coccolithophoriden maßgeblich beeinflussen. Unsere Ergebnisse deuten an, dass Wachstum und Kalzifizierung positiv mit CO₂ und HCO₃⁻ Konzentration korrelieren und negativ von erhöhter Protonenkonzentration beeinflusst werden. Diese Ergebnisse wurden in ein Kalzifizierungsmodell eingebaut und publiziert. In einem darauf folgenden Unterprojekt wurde überprüft in welchem Umfang sich die aus der Coccolithophoriden-forschung gewonnen Erkenntnisse auf marine Kalkbildner im Allgemeinen übertragen lassen. In diesem Teilprojekt wurde festgestellt, dass das Verhältnis von Bikarbonat zu Protonen (HCO₃⁻/H⁺) proportional zur Karbonationen Konzentration ist. Da es wahrscheinlich ist, dass HCO₃⁻ das C-Substrat für CaCO₃ ist und H⁺ als Kalzifizierungsinhibitor gilt, ist das HCO₃⁻/H⁺ Verhältnis vermutlich ein sinnvoller Parameter für Korrelationen mit der Kalzifizierungsrate. Im Umkehrschluss ergibt sich daraus, dass die Kalzifizierungsrate womöglich nur deshalb so häufig gut mit der Karbonationen Konzentration korreliert, weil diese linear mit HCO₃⁻/H⁺ im Verhältnis steht. Falls dies der Fall sein sollte, würde es bedeuten, dass die Bildung von CaCO₃ in

hohen Breiten nicht energieaufwendiger wäre als in niedrigen Breiten, weil das $\text{HCO}_3^-/\text{H}^+$ Verhältnis im Gegensatz zur Karbonationenkonzentration kein latitudinalen Gradienten aufweist.

Ein weiterer wesentlicher Untersuchungsschwerpunkt war ein Verständnis zu entwickeln wie Veränderungen in der Lichtintensität bzw. Wassertemperatur den Einfluss der Karbonatchemie auf den Coccolithophoridenmetabolismus modifizieren. Hier konnte festgestellt werden, dass sowohl Lichtintensität als auch Temperatur den Einfluss der Karbonatchemie auf den Metabolismus modifizieren, ohne jedoch den grundlegenden Wirkungsmechanismen der Karbonatchemie zu verändern. Zum Beispiel reagierte die Wachstumsrate auf einem sehr großen CO_2 Gradienten in Form einer Optimumskurve. Diese Kurve wurde bei allen Temperaturen in ähnlicher Form gefunden, jedoch war das Optimum bei höheren Temperaturen zu höheren CO_2 Werten verschoben. Ähnliches konnte man auch bei verschiedenen Lichtintensitäten beobachten. Auch hier wurde das Optimum durch variierende Lichtintensitäten verschoben.

In weiteren Laborstudien wurden die Kohlenstoffflüsse bei Coccolithophoriden unter manipulierter Karbonatchemie gemessen, u.a. um den Effekt von Protonen von dem des Kohlenstoffangebots unterscheiden zu können. Durch die Kombination von ^{14}C -basierte Tracerstudien mit Membraneinlass-Massenspektrometrie konnten neue Erkenntnisse über die Regulation des Kohlenstoffwechsels gewonnen werden. Wie auch schon in den oben erwähnten Experimenten zeigte sich ein Zusammenhang mit der H^+ Konzentration. Zwar stimulieren erhöhte H^+ Konzentration die CO_2 Aufnahme für die Biomasseproduktion der Zellen; der negative Effekt von Protonen auf die HCO_3^- -Transportmechanismen wirkt sich jedoch ungleich stärker aus und stört folglich insbesondere die Kalkbildung. Die Ergebnisse zur H^+ -Abhängigkeit der Transporter lassen sich vermutlich auf verwandte Arten übertragen und können in Zellmodelle berücksichtigt werden.

WP 1.9:

Die im Antrag genannten Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkungen der Ozeanversauerung auf das Phytoplankton der Ostsee konnten beantwortet werden. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass CO_2 -Effekte auf das Phytoplankton der Ostsee stark kontext-abhängig sind (Temperatur und jahreszeitliche Veränderung der Artenzusammensetzung), und viele Effekte treten erst jenseits von $1000 \mu\text{atm CO}_2$. Die erwartete generelle Verschlechterung der Futterqualität für das herbivore Zooplankton konnte nicht gefunden werden. Für das Ostsee-Phytoplankton ist eine CO_2 -Zunahme kein Stressor. Sie kann jedoch leicht eutrophierend wirken. Ein potentiell negativer Effekt könnte jedoch in der Förderung von Cyanobakterien, insbesondere der toxischen Art *Nodularia spumigena* liegen. Daraus folgt, dass bei einer weiteren CO_2 -Zunahme eutrophierungskontrollierende im Einzugsbereich der Ostsee noch wichtiger werden.

WP 1.10:

Die im Antrag genannten Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkungen der Ozeanversauerung auf das Zooplankton der Ostsee konnten beantwortet werden. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass CO_2 -Effekte auf das Zooplankton der Ostsee stark kontext-abhängig sind (Temperatur und jahreszeitliche Veränderung der Artenzusammensetzung), und viele Effekte treten erst jenseits von $1000 \mu\text{atm CO}_2$. Die erwartete generelle Verschlechterung der Futterqualität für das herbivore Zooplankton konnte nicht gefunden werden. Für das Ostsee-Phytoplankton ist eine CO_2 -Zunahme über $1000 \mu\text{atm}$ ein

Stressor, der sich auf die Überlebensrate der Nauplien, nicht jedoch der späteren Entwicklungsstadien auswirkt.

WP 1.11:

Ziel des Projektes war die Überprüfung folgender spezifischer Hypothesen:

Hypothese 1: Ozeanversauerung führt zu einer höheren Freisetzung extrazellulären Materials durch Phytoplankton und einer schnelleren bakteriellen Zersetzung organischer Stoffe. Dadurch wird die Substratlimitierung von Bakterien bei höheren Temperaturen vermindert.

Erkenntnisse:

Unsere Ergebnisse der KOSMOS-Studie 2011 in Norwegen (BIOACID I) zeigen, dass Bakterien von der stärkeren Freisetzung extrazellulären Materials durch Phytoplankton unter erhöhten CO₂-Konzentrationen profitieren und extrazellulären Enzymaktivitäten, z.B. der allgemein verbreiteten Aminopeptidase, mit sinkendem pH-Wert ansteigen (Endres et al. 2014). Nach 100 Tagen unter manipulierten CO₂-Konzentrationen während der KOSMOS-Studie 2013 zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Glucosidase-Aktivität. Allerdings variieren die Enzymraten stärker mit zunehmender Versauerung (Abb. 1), was auf eine Anpassung der Enzyme an den gegenwärtigen pH-Bereich hin deutet.

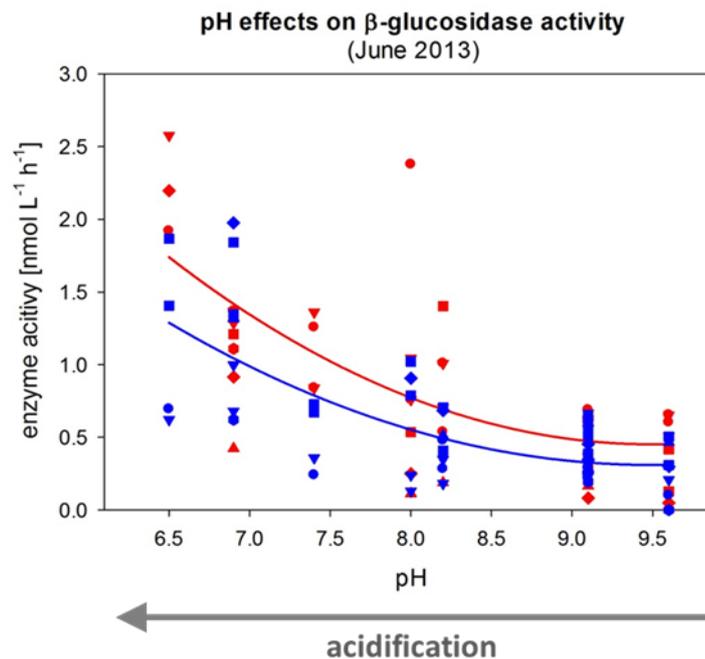


Abb. 1 Abhängigkeit der Glucosidase-Aktivität vom pH-Wert nach 100 Tagen unter gegenwärtigen (blau) und erhöhten (rot) CO₂-Konzentrationen während des KOSMOS-Experiments 2013 in Kristineberg

Die Kombination von Ozeanerwärmung und -versauerung verändern sowohl die mikrobielle Biomasse als auch Auf- und Abbau des organischen Materials der Ostsee und den Fraßdruck auf Phytoplankton und Bakterien. Die Daten der Indoor-Mesokosmos-Experimente deuten darauf hin, dass die Erwärmung größere Auswirkungen hat als die Versauerung des Seewassers und dass beide einander entgegenwirken. In den wärmeren Mesokosmen (+3°C) waren Biomasse und Chlorophyll-

Gehalt des Phytoplankton vermutlich durch höheren Fraßdruck deutlich reduziert. Allerdings wirkten erhöhte CO₂-Konzentrationen diesem Effekt entgegen (Sommer et al. 2015, Paul et al. 2015). Die Bakteriengemeinschaft wurde hauptsächlich durch die Entwicklung des Phytoplanktons und durch Temperaturänderung beeinflusst (Bergen et al, in prep). In den wärmeren Mesokosmen waren Bakterienzellzahlen und –produktion ähnlich oder verringert im Vergleich zu den Kontrollmesokosmen, während kein direkter CO₂-Effekt auf Bakterienwachstum und –aktivität nachgewiesen werden konnte (Abb. 2).

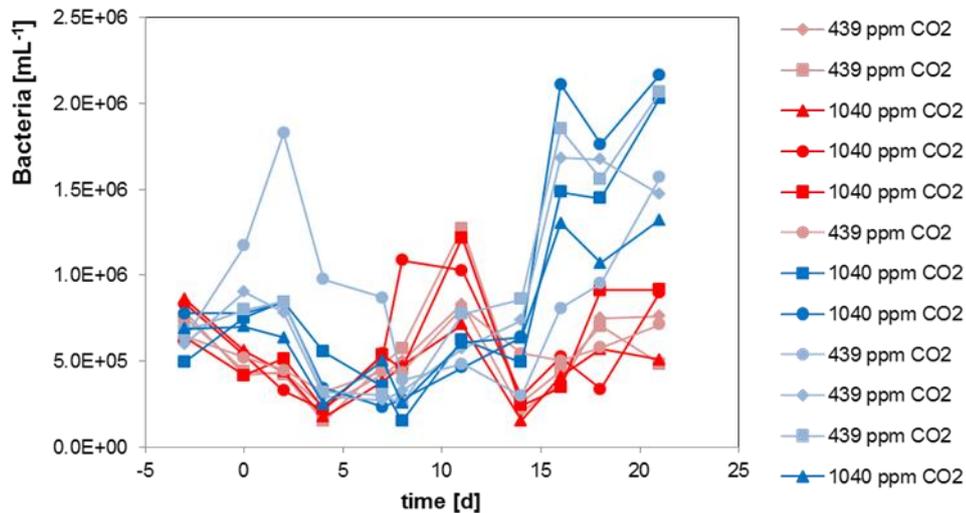


Abb. 2 Zeitliche Entwicklung der Bakterienzellzahlen in den warmen (rot) und kalten (blau) Mesokosmen während des Indoor-Mesokosmos-Experiments im Herbst 2012

Hypothese 2: Eine höhere Partitionierung der organischen Stoffen in den gelösten organischen Pool (DOM) in Kombination mit einer schnelleren bakteriellen Zersetzung organischer Stoffe unter niedrigem pH und höheren Temperaturen führen im Laufe der Algenblüten zu Änderungen im labilen/semilabilen DOM.

Erkenntnisse:

Die Ergebnisse der KOMSOS-Studie 2011 in Norwegen deuteten darauf hin, dass durch die CO₂-bedingte erhöhte Freisetzung extrazellulären Materials sich mehr Gelpartikeln formen und das Bakterienwachstum dadurch unterstützt wird. Gleichzeitig konnte keine Änderung im gelösten organischen Material festgestellt werden (Endres et al. 2014). Eine Erhöhung der Temperatur um 3°C während der Indoor-Mesokosmos-Studien 2012 und 2013 führte zu einer Veränderung der Qualität des partikulären organischen Materials (Paul et al. 2015), während die Gesamtmenge des gelösten und gelartigen organischen Materials (DOC, TEP) sich nicht von den Kontrollansätzen unterschied. Die Menge und Zusammensetzung des organischen Materials scheint maßgeblich von der Entwicklung der Planktongemeinschaft abhängig zu sein, so dass Ozeanversauerung und –erwärmung nur indirekt den labilen/semilabilen DOM Pool beeinflussen.

Endres, S., Galgani, L., Riebesell, U., Schulz, K. G. und Engel, A. (2014) Stimulated Bacterial Growth under Elevated pCO₂: Results from an Off-Shore Mesocosm Study, PLoS ONE, 9 (6). e99228. DOI 10.1371/journal.pone.0099228.

Sommer U, Paul C, Moustaka-Gouni M (2015) Warming and Ocean Acidification Effects on Phytoplankton—From Species Shifts to Size Shifts within Species in a Mesocosm Experiment. PLoS ONE 10(5): e0125239. doi:10.1371/journal.pone.0125239

Paul C, Matthiessen B, Sommer U (2015) Warming, but not enhanced CO₂ concentration, quantitatively and qualitatively affects phytoplankton biomass. Marine Ecology Progress Series, 528. pp. 39-51. doi:10.3354/meps11264

Bergen B, Endres S, Engel A, Zark M, Dittmar T, Sommer U, Jürgens K. Acidification and warming affect prominent bacteria during two seasonal phytoplankton bloom mesocosms (*in preparation*)

WP 1.13:

Die im WP 1.13 zur Verfügung gestellten Mittel wurden weitgehend wie geplant als Personalmittel (Doktoranden/Post-Doc-Stelle, Technikerstelle) verwendet. Durch die notwendig gewordenen Änderungen in diesem WP wurde der Fokus breiter als geplant ausgerichtet. So wurde sowohl die Fortführung laufender Arbeiten als auch die Etablierung neuer Kollaborationen im Zusammenhang mit der Untersuchung evolutionärer Anpassung von Phytoplankton an Ozeanversauerung und andere Umweltveränderungen erreicht. Es wurde zum Beispiel eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit Dr. Matias Scheinin (GEOMAR) und Dr. Sinead Collins (Universität Edinburgh) im Rahmen der KOSMOS2013 Studie über evolutionäre Anpassung von Diatomee an Ozeanversauerung in Mesokosmengemeinschaften ermöglicht. Die Ergebnisse dieser Arbeit haben bereits zu einer gemeinsamen wissenschaftlichen Veröffentlichung geführt. Weiterhin wurde die Fortführung der bioinformatischen Sequenzdatenauswertung aus dem vorangegangenen *E. huxleyi* Genomprojekt in Zusammenarbeit mit Dr. Till Bayer (GEOMAR) und Daniela Esser (IKMB Universität Kiel) fortgeführt. Diese Arbeiten, sowie diverse daraus entstandenen Folgeprojekte sind noch im Gange und werden in absehbarer Zeit zu weiteren wissenschaftlichen Publikationen führen. Zudem wurde die seit der ersten BIOACID Phase stetig weiter ausgebaute Expertise zur Untersuchung evolutionärer Anpassungen an einen sich wandelnden Ozean in weiteren Kollaborationen mit nationalen und internationalen Kollegen eingebracht. Aus solchen Kooperationen ist zum Beispiel zusammen mit Dr. Stacy Krueger-Hadfield (Marine Biological Association of the UK) und weiteren Kollegen eine Publikationen über populationsgenetische Analysen von *E. huxleyi* aus der Nordsee und dem Nordatlantik hervorgegangen. In Zusammenarbeit mit Yong Zhang (GEOMAR), Regina Klapper (Max Rubner-Institut, Karlsruhe), Dr. Lennart Bach (GEOMAR) und Dr. Kai Schulz (Southern Cross University) wurden Untersuchungen zur phänotypischen Plastizität von *E. huxleyi* Isolaten aus verschiedenen Klimazonen durchgeführt. In Zusammenarbeit mit Lothar Schlüter (GEOMAR) und Anderen wurden weitere Untersuchungen zum Anpassungspotential von *E. huxleyi* an Ozeanversauerung und Erwärmung durchgeführt. In einer weiteren Kooperation mit Dr. Lennart Bach (GEOMAR) wurden Ultrastrukturanalysen mittels Scanning Electron Microscopy (SEM) an Coccolithen von an Ozeanversauerung angepassten *E. huxleyi* Populationen durchgeführt.

WP 2.3:

Die im Teilprojekt 2.3 genannten Fragestellungen hinsichtlich der CO₂- und Temperaturerhöhung auf die Epibiontenstruktur und -funktion von *Fucus* konnten beantwortet werden. Es wurden Ergebnisse zu den Effekten der erhöhten CO₂ Konzentration und Temperatur auf die Epibiontenstruktur und -biomasse und deren indirekte Konsequenz auf *Fucus vesiculosus* über alle Jahreszeiten hinweg erzielt. Dabei wurde deutlich, dass eine Erhöhung der CO₂ Konzentration im Gegensatz zur Temperaturerhöhung kaum Effekte auf die Epiphyten hat. Insgesamt weisen die Ergebnisse auf die

hohe Bedeutung der Weidegänger für das ökologische Gleichgewicht des Systems hin. Die Reaktion von Epiphyten auf eine Temperaturerhöhung muss unter Einbeziehen der Reaktion der Weidegänger auf den entsprechenden Faktor erklärt werden. Weiterhin sind die Temperatureffekte stark jahreszeitenabhängig, d.h. abhängig von den gerade vorherrschenden regulatorischen Mechanismen im System (bottom-up oder top-down kontrolliert). Temperaturerhöhung im Sommer führt zu einem signifikanten Rückgang von zwei der drei Weidegängerarten und dadurch zu vermehrtem Wachstum der Epiphyten und zur Schwächung des *Fucus* durch Überwucherung. Im Winter wirkt die Temperatur dahingehend negativ, dass der *Fucus* direkt durch eine der drei Weidegängerarten abgefressen wird und somit potentiell geschwächt in die nächste Wachstumsperiode geht. Desweiteren wurden potentielle Interaktionen von CO₂ Konzentration und Temperatur mit sich lokal ändernden Umweltbedingungen (Nährstoffe) auf die Epibiontenstruktur und -biomasse analysiert. Dabei hat sich gezeigt, dass im Sommer selbst moderater Nährstoffeintrag zusätzlich zur Temperaturerhöhung weiter beschleunigend auf das Überwuchern der *Fucus*-Thalli durch Epiphyten wirkte. Am Ende des Projekts wurde getestet, inwieweit Temperatureffekte direkt und indirekt über die Konsumenten auf die Epibionten wirken. Dabei hat sich herausgestellt, dass im Frühjahr im Gegensatz zum Sommer die indirekten Effekte der Weidegänger in Antwort an die Temperatur zu vernachlässigen sind. Mit und ohne Weidegänger wurde das Wachstum der Epiphyten im Frühjahr durch Temperaturerhöhung erhöht, was aber noch nicht zu einer Schwächung/Überwucherung des sich ebenfalls im Wachstum befindenen *Fucus* führte.

Die Ergebnisse zur veränderten Epiphytenbiomasse und die Konsequenz daraus für das *Fucus*-Habitat in Antwort auf Temperatur und CO₂ wurden in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert oder zur Publikation eingereicht und befinden sich in der Begutachtung. Die Ergebnisse zur Epibiontengemeinschaftstruktur befinden sich noch in der Analyse und werden im laufenden Jahr bei wissenschaftlichen Fachzeitschriften zur Publikation eingereicht. Dies entspricht den vorgegebenen Zielen.

Die Dissertation von Franziska Werner wurde im Februar 2016 fertig gestellt.

WP 2.5:

Es wurden folgende Ergebnisse zu den in der Aufgabenstellung aufgelisteten Hypothesen erzielt:

Hypothese (1): Die Geschwisterscharen unterschieden sich in ihrer Toleranz gegenüber Erwärmung, Versauerung, der Kombination Erwärmung & Versauerung, Nährstoffanreicherung und Hypoxie. In der Antwortvariablen Überleben waren stärkere Reaktionen zu verzeichnen als beim Wachstum. Die Interaktion zwischen Erwärmung und Versauerung wirkte auf manche Geschwisterscharen synergistisch, auf andere aber antagonistisch. Die Unterschiede zwischen den Sensitivitäten der Geschwisterscharen zeigen eine genetische Variation in jenen Merkmalen in *Fucus vesiculosus*, die relevant sind für die sich in den nächsten Jahrhunderten verändernden Umweltfaktoren.

Hypothese (2) wurde bestätigt. Inwieweit Umweltstress zu der Selektion stresstoleranter Genotypen in genetisch diversen Populationen führt und damit zu einer genetischen Divergenz relativ zu Populationen, welche nicht unter Umweltstress ausgesetzt, wird zurzeit noch analysiert.

Hypothesen (2d) und (3d) konnten nicht untersucht werden, weil die *Fucus*-Keimlinge zu klein waren, um genügend bakterielle DNA von ihnen zu gewinnen. Stattdessen haben wir Klimakammerversuche durchgeführt, um Effekte des Einzelfaktors Versauerung auf *Fucus*-Keimlinge unter geringerer

Umweltvariabilität als in den Benthokosmen zu untersuchen. Hier konnte eindeutig festgestellt werden, dass CO₂ das Wachstum von *F. vesiculosus*-Keimlingen fördert.

Hypothesen 3a und b wurden bestätigt. Hinsichtlich der phänotypischen Reaktionen Wachstum und Überleben zeigte die hohe Diversitätsstufe unter erhöhter Temperatur und CO₂ ein besseres Überleben im Vergleich zur niedrigen Diversitätsstufe.

Hypothese (4) wurde auch bestätigt. *Fucus* Keimlinge zeigten eine positive Korrelation der Sensitivitäten hinsichtlich Erwärmung und Versauerung, eine negative hinsichtlich Erwärmung&Versauerung und Hypoxie. Meist dämpfte eine Nährstoffanreicherung die negativen Effekte anderer Stressoren.

Hypothese (5) kann noch nicht abschließend beantwortet werden, da die Genotypisierung der eingefrorenen überlebenden Keimlinge noch aussteht.

Hypothese (6) konnte nicht untersucht werden. Im ersten Jahr des Vorhabens, 2013, waren die Sylter Benthokosmen noch nicht fertiggestellt. Dies ist im Juni 2014 mit dem Projektträger abgeklärt worden.

Gemäß dem Arbeitsplan wurde WP2.4 mit Daten zur genetischen Variabilität der in die Benthokosmen untersuchten adulten *F. vesiculosus*-Individuen vom Standort Bülk unterstützt. Neun Mikrosatelliten-Loci zeigten eine genetische Variabilität, welche nachwies, dass die physiologischen Reaktionen nicht z.B. von einem einzigen Genotypen gemessen wurden, sondern die Reaktion einer Population widerspiegelte. Außerdem zeigte sich, dass die Bülder Population eine Tendenz zur Auskreuzung mit anderen Populationen besitzt und dass die mittlere Allelfrequenz aller Loci ($N_A = 8.33$) der Bülder-Population relativ hoch im Vergleich zu anderen Populationen der inneren Ostsee war.

WP 3.4:

Die Ergebnisse der umfassenden Untersuchungen, die wir mit der finanzierten Postdoktorandenstelle (J. Thomsen) haben durchführen können, lassen eine Reihe von Schlussfolgerungen zu (A-E). Wir haben mit diesen Erkenntnissen alle wesentlichen Projektziele erreicht. (A) Im 1-jährigen Langzeitexperiment konnte gezeigt werden, dass Ozeanversauerung im wesentlichen das Energiebudget von Miesmuscheln beeinflusst, was zu verringerten Wachstums- und Kalzifizierungsraten führt. Während der Stoffwechsel der Tiere relativ konstant blieb, konnte gezeigt werden, dass die Filtrationsrate reduziert war. Auch konnten wir zeigen, dass sehr lange Akklimation zu keinen starken Änderungen im Mantelgewebsproteom führte, auf der anderen Seite aber die Schalenstabilität negativ beeinflusste (Hüning et al. 2016 in Begutachtung). (B) Das Mehrgenerationen Experiment (das erste seiner Art weltweit!) zeigte uns auf, dass es zwar tolerante und sensitive Familien geben kann (F1 Generation), dass diese Toleranz aber nicht auf die F2 Generation weiter vererbt wird. Zwar zeigte sich bei aus tolerant Familien gekreuzten F2 Tieren eine hohe larvale Kalzifizierungsrate während der ersten 2 Tage, jedoch keine erhöhte Überlebensrate (Thomsen et al. 2016, In Begutachtung). (C) Auf der anderen Seite zeigte der Populationsvergleich Sylt vs. Kiel, dass langjährige Selektion durch hohe CO₂ Partialdrücke im Habitat (Kiel) zu Evolution von CO₂ toleranteren Muscheln führen kann. (D) Jedoch zeigten unsere Studien auch, dass die niedrige Salinität und Alkalinität in der Ostsee für Muschellarven extrem stressig ist und in der Zukunft zu sehr hoher Mortalität führen könnte (Thomsen et al. 2015). (E) Die Nutzung des natürlichen CO₂ Gradienten in der Kieler Förde erlaubte uns die Durchführung von interessanten Feldexperimenten zum Einfluss verschiedener Umweltfaktoren. Wir konnten in 2 Experimenten

zeigen, dass hohe CO₂ Partialdrücke im inneren Bereich der Kieler Förde in Kombination mit sehr hoher Futterverfügbarkeit (partikulärer Kohlenstoff, POC) zu sehr hohen Wachstums und Kalzifizierungsraten und gleichzeitig zu einer sehr hohen Dominanz von Muscheln gegenüber anderen marinen Invertebraten führten. Auf der anderen Seite zeigte sich ca. 8-fach niedrigere Muschelkalzifizierung an Stationen mit niedrigerer Futterverfügbarkeit, aber hohem pH (Thomsen et al. 2013, Schade et al., in Vorbereitung). Insgesamt kann in Bezug auf die Ausgangsfragen im Projektantrag bestätigt werden, dass Miesmuscheln Kapazität für evolutive Anpassung an Ozeanversauerung besitzen und auch derzeit in natürlich versauerten Ozeanregionen kompetitiv sein können. Unklar bleibt jedoch weiterhin, wie schnell Adaptationsprozesse vonstattengehen können.

WP 3.5:

Die Zuwendung wurde vollständig für die durchgeführten Arbeiten genutzt, die Ausgabenplanung wurde eingehalten. Wie bereits oben angeführt, konnten sogar zusätzlich Personalmittel (GEOMAR-Abteilungsbudget und WP3.4, je 2 Monate) zur Unterstützung des Vorhabens in das Projekt einfließen.

Die wichtigsten Ergebnisse des Projektes werden im Folgenden kurz zusammengefasst. Sie stehen im Einklang mit den Planungen und werden derzeit für die Publikation vorbereitet oder sind bereits eingereicht. Die Ergebnisse wurden auf Fachtagungen vorgestellt.

a) $\delta^{11}\text{B}$ als pH-Proxy in natürlichen *Porites* Korallenproben von den CO₂ Quellen in Papua Neu Guinea.

Bei der Ausfahrt im Jahr 2013 wurden *Porites* Kolonien entlang des pH Gradienten in Papua Guinea beprobt. Der Gradient umfasst pH-Werte von 8.1 bis 7.57. Dies erlaubt eine Kalibrierungskurve für den Paleo-pH Proxy $\delta^{11}\text{B}$ anhand von natürlichen Korallenproben zu erstellen. Es wurden von den jeweiligen Korallen $\delta^{11}\text{B}$ Messungen durchgeführt und mit dem Umgebungs-pH zu vergleichen. Dabei zeigte sich, im Kontrast zum aus Laborexperimenten Erwarteten, kein linearer Zusammenhang zwischen Meerwasser-pH und $\delta^{11}\text{B}$ (vgl. Abb. 1). Vielmehr stehen sie in einem nicht-linearen, parabolischen Zusammenhang, der sich mit der Verbreitung und dem Wachstum von *Porites* im Riff deckt. Die Korallen erreichen an der 7.57 pH Lokation ihr physiologisches Limit der internen pH-Regulierung. Diese Ergebnisse sind derzeit als Manuskript bei *Scientific Reports* eingereicht.

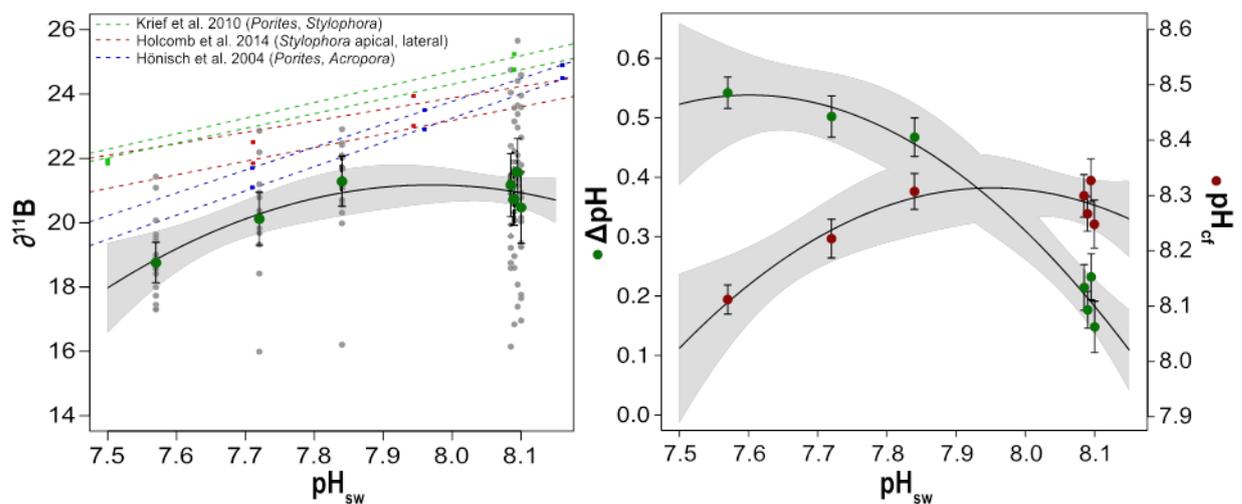


Abbildung 1: $\delta^{11}\text{B}$ Werte von Korallen entlang eines pH Gradienten (linkes Diagramm, grüne Punkte, n=15-17 pro Standort, Median +/- SE,* p<0.05) im Vergleich zu Laboruntersuchungen (gestrichelte Linien). Die $d^{11}\text{B}$ Werte wurden in internen pH (rechtes Diagramm, rote Punkte) und pH-Regulierung (ΔpH , rechtes Diagramm rote Punkte) umgerechnet.

b) Chemische Zusammensetzung von Korallenskeletten verschiedener Arten und von verschiedenen Standorten:

Zusätzlich zum unter a) Aufgeführten wurde untersucht, ob sich die Korallen in ihrer Elementzusammensetzung unterscheiden. Korallen der Gattungen *Acropora*, *Pocillopora* und *Porites* wurden bei normalem pH-Werten von 8.1 und unter pH-Bedingungen, die für das Ende des 21. Jh. prognostiziert werden (pH=7.8), beprobt. Für *Porites* wurden zusätzlich bei einem pH-Wert von 7.6 Proben gesammelt. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 zusammengefasst. Das B/Ca-Verhältnis, welches mutmaßlich den internen pH-Wert der Koralle widerspiegelt, deutet auf stabile Bedingungen für *Porites* bei pH 7.8 hin, während es darunter signifikant abnimmt. Die U/Ca-Verhältnisse zeigen mit sinkendem pH-Wert eine konstante Abnahme, die mit erhöhter Aragonitsättigung und Kalzifizierung zusammenhängen könnte. *Porites* könnte in der Lage sein, auf moderat erhöhten $p\text{CO}_2$ und geringere Sättigung des Meerwassers mit erhöhtem Ionenaustausch zu reagieren.

Die Ergebnisse dieses Teils des Projekts werden als Manuskript vorbereitet.

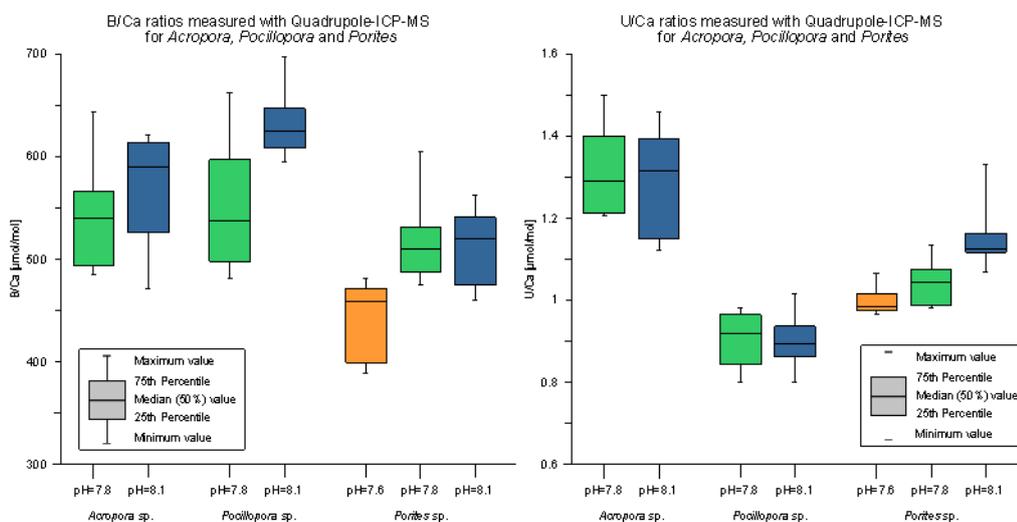


Abbildung 2: B/Ca und U/Ca Verhältnisse in verschiedenen Korallen und von verschiedenen Standorten.

Des Weiteren konnte das Verfahren für die orts aufgelöste $\delta^{11}\text{B}$ -Bestimmung mittels LA-MC-ICP-MS bezüglich Empfindlichkeit und Auflösung weiterentwickelt werden. Es ist momentan ein Manuskript zu diesen Ergebnissen in der Vorbereitung.

WP 3.6:

Entsprechend der im Projektantrag genannten Ziele konnten u. a. folgende Ergebnisse erzielt werden:

Die physiologischen Reaktionen der Kaltwasserkoralle *Lophelia pertusa* auf die Auswirkungen von Temperatur, erhöhten CO₂-Konzentrationen und unterschiedlichen Futtermengen (siehe genauere Beschreibungen in I, 1. und im Erfolgskontrollbericht unter Punkt 1) wurden in zwei Langzeit-Experimenten untersucht.

Zudem wurde im Labor untersucht, ob Bioerosion und Skelettauflösung die Riffstabilität unter zukünftigen Bedingungen stärker beeinträchtigt.

Die beiden geplanten Forschungsausfahrten konnten in 2013 und 2014 erfolgreich durchgeführt werden, sodass an zwei verschiedenen Rifflokationen (Trondheimfjord: Rifflokation im äußeren Fjordbereich, Sula Ridge: großes Riff am Norwegischen Schelfrand) mit unterschiedlichen physikalischen und hydrochemischen Umwelteinflüssen, Tiefsee-Observatorien (Mini-Lander) ausgesetzt werden konnten, die über ein Jahr hinweg die biotischen und abiotischen Faktoren erfasst haben.

Zudem konnten bei diesen Expeditionen *in-situ* Experimente mit ausgebracht werden, die Aufschluss über natürliche Wachstums- und Bioerosionsraten des Korallenmaterials geben konnten.

Leider konnte aufgrund der später stattfindenden Ausfahrt das zweite Laborexperiment nicht wie geplant nach der Auswertung der Mini-Lander Daten unter saisonalen Temperatur- und Futtermengen durchgeführt werden. Stattdessen wurde dafür jedoch ein Experiment-Design mit graduell ansteigenden CO₂- und Temperaturbedingungen gewählt wie im Erfolgskontrollbericht unter Punkt 1 beschrieben.

WP 4.5:

Dorschlaborexperimente Kristineberg 2013:

Die Ergebnisse zeigten eine erhöhte Sterblichkeit der Dorschlarven bei der Behandlung mit 1000ppm, wobei die Temperaturerhöhung zu keiner weiteren Erhöhung der Sterblichkeit führte. Die Bestimmung der Sterblichkeit war möglich, da eine tägliche Beobachtung und Beprobung der verstorbenen Tiere durchgeführt wurde. Dieser Ansatz ließ auch eine Untersuchung der Gehörsteine (Otolithen) dieser Tiere im Vergleich zu den Überlebenden zu. Die Untersuchung der Standardlängen der Larven und die Vermessung der Otolithen weisen auf eine Selektion der besser wachsenden Dorschlarven als Folge des CO₂ Stressors während der kritischen Phase der Nahrungsumstellung von interner (Dottersack) auf externe Nahrung (Naturplankton) hin. Die Ergebnisse wurden von Martina Siasny in ihrer Masterarbeit zusammengestellt.

Heringslaborexperimente Kristineberg 2013:

Ergebnisse der Laborexperimente mit Heringslarven bei zwei Temperaturen (10°C, 12°C) und zwei CO₂ Gehalten (400ppm, 900ppm) zeigten, dass der direkte CO₂ Effekt auf das larvale Wachstum und die Entwicklung durch erhöhte Temperatur und in Abhängigkeit von der Nahrungsverfügbarkeit überdeckt werden kann. (Sswat et al. in prep.) Bei erhöhter Temperatur erhöht sich der

Metabolismus. Wenn dies in Kombination mit zu geringer Nahrungsverfügbarkeit wie im oben genannten Experiment durchgeführt wird, kann verringertes Wachstum, schlechtere Kondition und höherer Anfälligkeit gegenüber erhöhten CO₂ Gehalten erwartet werden. Zwar ließ sich ein schlechterer Ernährungszustand unter erhöhten CO₂ gehalten bestätigen, ein Effekt auf Wachstum und Sterblichkeit war im Kristineberg Experiment aber nicht zu finden. Dies deutet auf ein Adaptationspotential an geringe Nahrungsverfügbarkeit und erhöhte pCO₂ Gehalte bei Heringslarven hin (Sswat et al. in prep.).

Dorschlaborexperimente – Tromsø 2014/2015

Bei der Untersuchung des Einflusses von CO₂ Gehalten von 1000ppm ließ sich eine Verdopplung der täglichen Sterblichkeitsraten von feststellen. Der erhöhte CO₂ Gehalt im Experiment führte zu einer Erhöhung der Sterblichkeitsrate von 9.2 auf 20.4% pro Tag für den Dorschbestand der westlichen Ostsee und von 7 auf 13% für den Dorschbestand der Barentssee. Welche Effekte das auf die Rekrutierung der Fischbestände und die ökologischen und sozio-ökonomischen Konsequenzen haben kann, ist Teil der z.Z. laufenden Arbeiten in der BIOACID Synthesephase. Wenn Dorschlarven bei geringerer Nahrungsverfügbarkeit gehältert wurden, führte der Einfluss von erhöhtem CO₂-Gehalt zu längeren und schwereren Dorschlarven und bestätigt bereits gefundene Ergebnisse, die auf Selektions- Mechanismen als Reaktion auf den Stressor hinweisen. Die Adaptations-Experimente liefern erste Hinweise auf einen Einfluss der Vorbehandlung der Elterntiere auf ihren Nachwuchs hin. Larven, die von adaptierten Eltern kamen, waren am Ende des Experimentes länger und schwerer als die Larven des nicht vorbehandelten Elternbestandes (transgenerationale Anpassung).

Mesokosmenexperimente Espegrend 2015:

Die Experimente mit Heringslarven in den pelagischen Mesokosmen zum Einfluss von Ozeanversauerung auf die Knochenentwicklung deuten auf ein vermindertes Wachstum des Schultergürtels und des Oberkiefers unter erhöhten pCO₂ Werten (2200 ppm) hin. Dies könnte ein Hinweis für negative Auswirkungen auf die Beweglichkeit und auf die Nahrungsaufnahme sein. Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass das somatische Wachstum und das Knochenwachstum unterschiedlich auf Nahrungslimitation und Ozeanversauerung reagierten (Masterarbeit in prep. H. Wunderow).

Dorsch- landgestützte Mesokosmen – Experimente:

Die Ergebnisse von Untersuchungen an Heringslarven aus landgestützten Mesokosmenanlagen aus 2010 konnten weiter ausgewertet publiziert werden. Wie schon bei den Dorschlarven (Frommel et al. 2012) wurden auch bei den Heringslarven starke Schädigungen der Organe (Leber, Niere, Pankreas), Veränderungen an Knorpel- und Knochenstrukturen gekoppelt mit einer Wachstumsreduktion und einer verringerten Entwicklungsgeschwindigkeit gezeigt (Frommel et al. 2014). Im Gegensatz dazu ließen sich keine Unterschiede im Schwimmverhalten der Heringslarven (Maneja et al. 2014a) und in der Ausprägung des Proteoms der Heringslarven finden (Maneja et al. 2014b).

WP 4.9:

Verwendung der Zuwendung: Die zur Verfügung stehenden Personalmittel erlaubten die Anstellung der Teilprojektleiterin Dr. S. Lischka in der Zeit vom 01.09.2012–31.03.2014. Die zur Verfügung stehenden Reise-/Verbrauchsmittel erlaubten die Finanzierung des Forschungsaufenthaltes zur Durchführung des Ozeanversauerungs-/erwärmungsexperimentes mit den Pteropoden an der AWIPEV Station in Ny Ålesund/Spitzbergen sowie aller anschließenden Laboranalysen (Lipide, Karbonatchemie).

Verwendung der erzielten Ergebnisse: Zu Projektbeginn gab es zwei vorgegebene Ziele: 1) Einfluss von OWA auf die Nahrungsquantität von thecosomen Pteropoden als Nahrung für Dorscharten?, 2) Einfluss von OWA auf die Nahrungsqualität von thecosomen Pteropoden als Nahrung für Dorscharten? Vornehmlich sollten diese Fragen anhand von Experimenten mit adulten Pteropoden durchgeführt werden, was allerdings aus bereits beschriebenen Gründen nicht möglich war. Stattdessen musste auf die Arbeit mit frühen Entwicklungsstadien ausgewichen werden.

Die erzielten Ergebnisse zu Auswirkungen von OWA auf den Lipidstoffwechsel von frühen Pteropodenstadien sollen zunächst als eigenständiges Ergebnis in einer international anerkannten Fachzeitschrift veröffentlicht werden. Außerdem liefern diese Ergebnisse wertvolle Erkenntnisse über Auswirkungen von OWA auf den Lipidstoffwechsel von *Limacina* spp., die in die Beurteilung möglicher Konsequenzen für das Nahrungsnetz (Dorscharten) hinsichtlich ihrer 1) Nahrungsquantität (Mortalität der frühen Entwicklungsstadien in Abhängigkeit von Temperatur- und $p\text{CO}_2$ -Änderungen) sowie 2) ihrer Nahrungsqualität (Lipidklassen-/Fettsäurezusammensetzung) einfließen können.

Da die Untersuchung adulter Pteropoden nicht möglich war (s.o., sowie Vorjahresberichte), kann über mögliche Konsequenzen von OWA auf die Gonaden-/Eientwicklung, sowie den Schlupferfolg keine Aussage gemacht werden. Diese Parameter wären unter dem Punkt Einfluss von OWA auf die Nahrungsquantität einzuordnen gewesen.

WP 5.1:

Bzgl. der Detailergebnisse der veröffentlichten Studien sei auf die verlinkten öffentlich zugänglichen Publikationen verwiesen.

Ein wissenschaftlicher Artikel zu Methodik der Evaluation von CaCO_3 -Modulen in biogeochemischen Modelle (TA*-Methode) wurde fertig gestellt und bei Geosci. Model Dev. veröffentlicht (Koeve et al., 2014; <http://www.geosci-model-dev.net/7/2393/2014/gmd-7-2393-2014.html>). In dieser Arbeit wurde die TA* Methode erstmals systematisch in Modellexperimenten gegen idealisierte Tracer der Kalklösung evaluiert und für geeignet befunden. Weiterhin wurden andere in der Literatur verwendete Methoden vergleichend analysiert. Diese Arbeit wurde auch auf dem ASLO Aquatic Sciences Treffen (New Orleans, 2014) vorgestellt.

Ein wissenschaftlicher Artikel zur Evaluation der AOU (apparent oxygen utilization) als quantitatives Maß der biologischen Pumpe wurde erstellt und bei Biogeosciences veröffentlicht (<http://www.biogeosciences.net/10/7723/2013/bg-10-7723-2013.html>). Ein wesentliches Ergebnis ist, dass die AOU Methode das zeitlich akkumulierte Signal der Respiration im Ozean um bis zu 25% überschätzt. Dies führt u.a. auch zu einer quantitativen Überschätzung des Kalklösungssignals im Ozean.

Eine Untersuchung zu Aspekten der ^{14}C -Altermethode als integratives Maß der Zirkulationsintensität in biogeochemischen Modellen wurde durchgeführt, zur Veröffentlichung eingereicht, revidiert und publiziert (Koeve et al., 2015; <http://www.geosci-model-dev.net/8/2079-2015>). Ein wesentliches Ergebnis ist das Wasseraltersabschätzungen mit Hilfe der ^{14}C -Methode durch einen hohen Hintergrundwert gekennzeichnet sind, der ihre Verwendbarkeit als integrativen Zirkulationstracer stark einschränkt, bzw. eine entsprechende Korrektur nötig macht. Eine zweite Veröffentlichung (Wagner et al., 2016, MS eingereicht) zu diesem Themenkomplex wurde in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des CARBOCHANGE EU-FP7 Projektes durchgeführt. Hier wurde insbesondere gezeigt, dass Details der Gasaustauschformulierung und der atmosphärischen ^{14}C -Randbedingung erheblichen Einfluss auf die ^{14}C -Tracer Verteilung im Ozean haben. Die Verwendung von ^{14}C -Daten zur Evaluierung der Modelzirkulation erfordert eine modelspezifische Kalibrierung der Gasaustauschparameterisierung. Beide Arbeiten wurden auch im Rahmen von wissenschaftlichen Kongressen und Meetings vorgestellt (EGU-Jahrestagungen 2014, 2015, BIOACID und CARBOCHANGE meetings).

Eine Untersuchung zum Einfluss des CaCO_3 Kreislaufes auf die Kohlenstoffverteilung in Klimamodellen wurde fortgeführt. Hierzu wurden Daten von 7 voll gekoppelten (IPCC) Klimamodellen, die durch die CMIP5 Datenbank zur Verfügung stehen, unter Verwendung der TA* Methode (siehe (1)) ausgewertet. Es wurden überraschend große Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen gefunden. Die Ergebnisse wurden auf der EGU Jahrestagung in Wien (April 2014) vorgestellt und mit führenden biogeochemischen Modellierern, die an den verwendeten Klimamodellläufen beteiligt waren, diskutiert. Aus den Gutachten zur Veröffentlichung der TA* Methode ergaben sich Hinweise für Anschlussarbeiten. So schlug einer der Gutachter vor, neben den untersuchten Verfahren zur Evaluation des CaCO_3 Kreislaufes auch die Differenz aus ALK (Alkalinität) und DIC (gelöster anorganischer Kohlenstoff) diesbezüglich zu untersuchen. Diese Methode (ALK-DIC) wurde kürzlich in einigen vergleichenden Modellstudien mit IPCC Modellen verwendet. Zwischenzeitlich wurden die unter genannten IPCC Modelle auf diesen Aspekt hin untersucht. Es wurden z.T. überraschend große Unterschiede zwischen ALK-DIC bzw. den CO_3^{2-} Konzentrationen zwischen einzelnen CMIP5 Modellen und der Beobachtungsdatenbasis (GLODAP) gefunden. Die Beobachtungen legen nahe, dass bestimmte Prozesse in einzelnen Modellen in nicht-konsistenter Weise implementiert sein müssen. Vergleichende Analysen wurden auch mit Ergebnissen der TMM-Modellläufe und des UVIC Modells durchgeführt. Ein Manuskriptes liegt vor.

Ausgehend von der internationalen Zusammenarbeit mit biogeochemischen Modellgruppen im Rahmen von drei Veröffentlichungen seit 2012 (siehe frühere Jahresberichte) wurden seit 2012 versucht im Rahmen der Jahrestagung der European Geosciences Union (EGU) eine Plattform für den Vergleich und die Evaluierung biogeochemischer Modelle aufzubauen. Während der EGU Jahrestagungen in 2013 und 2014 konnte dies nur im Rahmen einer generischen Session zur Modellentwicklung physikalischer und biogeochemischer Modelle umgesetzt werden, da die Anmeldungszahl von entsprechenden Beiträgen für eine eigene biogeochemische Session zu gering waren. In 2014 hat sich ein neue Konsortium zusammengefunden und die EGU GA 2015 Session OS 4.3 „Ocean biogeochemical models: evaluation and intercomparison“ (<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/session/17347>) erfolgreich beworben (24 eingereichte Beiträge) und durchgeführt.

WP 5.3:

Für die Bearbeitung des ersten Teils des Arbeitsprogramms wurden Modellsimulationen durchgeführt, bei denen (i) die Phytoplankton C:N Aufnahme mit ansteigendem atmosphärischen CO₂ zunimmt, (ii) zusätzlich die Stoffwechseleffizienz bei zunehmenden CO₂ Gehalt in der Atmosphäre abnimmt und (iii) zusätzlich der Kohlenstoffexport in die Tiefe zunimmt. Zusätzlich zu den genannten Simulationen wurde eine Referenzsimulation gemacht, in der nur das atmosphärische CO₂ (RCP 8.5) zunimmt. Die Ergebnisse zeigen, daß CO₂ induzierte Änderungen des C:N Verhältnisses das atmosphärische CO₂ bis zum Jahr 2100 um ca. 30 GtC (1.6%) reduzieren. Eine zusätzliche, ebenfalls CO₂ induzierte Reduktion der Stoffwechselrate führt zu einer Abnahme des atmosphärischen CO₂ um insgesamt ca. 48 GtC (2.6%). Man kann festhalten, daß eine erhöhte C:N Aufnahme und eine Abnahme der Stoffwechselrate nur einen geringen Einfluß auf atmosphärische CO₂ Änderungen haben.

Anders als der Einfluß auf das atmosphärische CO₂, ist der Einfluß auf das suboxische Volumen sehr groß. Eine erhöhtes C:N Aufnahmeverhältnis führt, anders als beim Referenzexperiment, zu einer signifikanten Zunahme des suboxischen Volumens. Dies wird durch eine Abnahme in der Stoffwechselrate weiter verstärkt. Im östlichen tropischen Pazifik führen Änderungen im C:N Verhältnis, sowie der Stoffwechselrate lokal zu signifikanter Abnahme im Sauerstoff. Im Zeitraum 1960-2010 ist der Trend in 300m Tiefe negativ, anders als im Referenzlauf, wo ein positiver Trend zu finden ist.

Ein möglicher Effekt der globalen Erwärmung, der bisher noch nicht untersucht wurde, ist eine Änderung in der Struktur des Zooplankton-Nahrungsnetzes von einem „normalem“ zu einem Quallen-dominierten Nahrungsnetz. Durch eine solche „Verschiebung“ des Nahrungsnetzes verändert sich vor allem die Exportproduktion. Die Ergebnisse zeigen, daß der Einfluß auf das atmosphärische CO₂ wie schon in den vorhergehenden Experimenten klein ist. Interessant ist, daß Änderungen in der Zooplankton Stoffwechselrate und in der Exportproduktion zu ähnlicher (und größerer) Abnahme in der Zooplankton Biomasse führen (20% bis zum Jahre 2100) im Vergleich zu einem reinen wärme-induziertem Effekt (Abnahme von 7.5%). Im Gegensatz dazu führt eine erhöhte C:N Aufnahme zu keinen nennenswerten Änderungen in der Zooplanktonbiomasse.

Änderungen im CO₂-Gehalt in der Atmosphäre führen zum einen zu einer Erwärmung, zum anderen aber auch zu Änderungen in den Windfeldern, welche wiederum Änderungen in der Zirkulation bewirken. Um die oben genannten Ergebnisse in Relation zu setzen, wurden zusätzlich noch Simulationen durchgeführt bei denen die Winde auf der südlichen Hemisphäre geändert wurden (Verstärkung und Verschiebung der Westwindzone), da der Südozean (südlich 40°S) eine entscheidende Rolle in Bezug auf die marine CO₂- und Sauerstoffaufnahme spielt. Ähnlich wie bei den bereits beschriebenen Ergebnissen sind die Änderungen in der CO₂-Aufnahme gering im Vergleich zu dem angenommenen CO₂-Emissionen. Diese zusätzlichen Simulationen haben zusätzlich zu weiteren Erkenntnissen geführt, die in dem Journal Geophysical Research Letters veröffentlicht wurden: (i) Die Zunahme der Westwinde wirken der wärme-induzierten Abnahme des globalen, marinen Sauerstoff-Inventars entgegen. (ii) Änderungen in der Zirkulation steuern eine signifikante Abnahme des Sauerstoffs in der Sauerstoffminimumzone des tropischen Pazifiks. Windänderung und Erwärmung tragen in gleichem Maße zu der Expansion suboxischen Wassers im tropischen Pazifik bei.

Im zweiten Teils des Arbeitsprogramms wurde der Einfluß der industriellen Fischerei auf Primärproduktion und marine Biogeochemie untersucht. Hierfür wurden Simulationen mit Änderungen in der Zooplankton Sterberate durchgeführt und mit einer Vergleichssimulation ohne

Änderungen (REF) verglichen. Da Fischerei auf unterschiedlichen trophischen Stufen stattfindet, kann die Zooplankton Sterberate als Folge sowohl zunehmen (High), als auch abnehmen (Low). Die hier durchgeführten Simulationen unterscheiden sich von denen aus dem ersten Teil der Arbeiten in diesem Teilprojekt vor allem dadurch, daß nur mögliche Effekte der Fischerei simuliert werden unabhängig von zusätzlichen Effekten die durch erhöhte CO₂ Emissionen verursacht werden.

Die Abnahme der global integrierten Zooplanktonbiomasse (10%) in HIGH führt zwar zu einer Zunahme der globalen Phytoplankton Biomasse (2%), allerdings ist die Reaktion in ihrem zeitlichen Verlauf nicht-linear. Erstaunlicherweise wird in diesem Fall auch die globale Primärproduktion kleiner (5%). Das deutet auf nicht-lineare Prozesse oder starke regionale Unterschiede hin, oder eine Kombination aus beide.

Es konnten zwei nicht-linear feedback-Mechanismen identifiziert werden, die unterschiedliche Voraussetzungen benötigen und daher regionale Unterschiede verursachen. (i) Der positive feedback Loop: In Regionen die nicht Nährstoff limitiert sind führt eine größeren Zooplankton Sterblichkeit zu sowohl eine Zunahme der Phytoplankton Biomasse, als auch zu eine Zunahme der Zooplankton Biomasse. (ii) Der negative feedback Loop: In Regionen die nährstofflimitiert sind, führt eine größere Zooplankton Sterblichkeit zu sowohl eine Abnahme der Phytoplankton Biomasse, als auch zu einer Abnahme der Zooplankton Biomasse. Diese Ergebnisse sind neu sollen veröffentlicht werden.

Um nun diese Ergebnisse in Relation zu CO₂ induzierten Änderungen in Emissionsszenarien zu setzen wurden die oben genannten Simulationen unter RCP 8.5 wiederholt. Die Ergebnisse zeigen, dass Änderungen in der Zooplankton Sterberate zu einer absoluten Änderung von ± 10 GtC im atmosphärischen CO₂ bis zum Jahr 2100 führen können. Änderungen in der Zooplanktonsterberate führt lokal (tropischer Pazifik) zu starken Sensitivitäten im Sauerstofftrend. Diese können zu einem Wechsel des Vorzeichens im Sauerstofftrend führen. Die Änderungen sind am stärksten in den ersten ca. 10 Jahren nach Änderung der Sterberate. Es dauert ca. 50 Jahre, bis sich das System an die neue Sterberate angepaßt hat.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

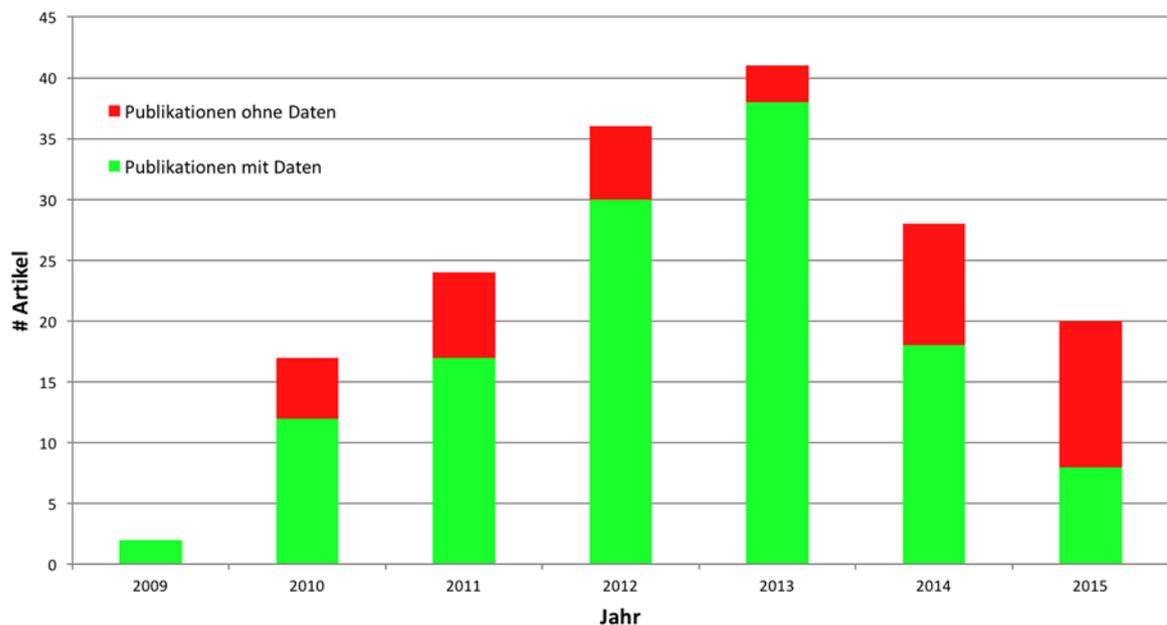
WP 0.1:

Wichtigste finanzielle Positionen waren außer den Personalkosten die Ausgaben für die Jahrestreffen und Workshops sowie für die Öffentlichkeitsarbeit

WP 0.2:

Das Datenmanagement Teilprojekt hat es geschafft das Bewusstsein der Projektteilnehmer für die Langzeitarchivierung nachhaltig zu beeinflussen. Dies wäre ohne eine enge Zusammenarbeit mit der Koordination im erreichten Umfang wahrscheinlich nicht möglich gewesen. Bislang wurden 274 Datensets archiviert und über 70% aller Publikationen mit Datensupplementen versehen.

168 BIOACID Publikationen mit 119 Datensupplementen



WP 1.1:

Teilprojekt 1.1. hat zu einem erheblichen Teil der Aktivitäten Serviceleistungen für andere an den KOSMOS-Studien beteiligte Forschergruppen geleistet. Entsprechend hoch ist der Aufwand an Sachmitteln für die Ausrichtung der zwei KOSMOS Kampagnen. Hierunter fallen neben Aufwendungen für Verbrauchsmaterialien (Mesokosmensäcke, Sedimentfallen, Leinenmaterial, Schekel, Rollblöcke etc.) vor allem auch Transportkosten für die KOSMOS Hardware, inklusive der während der Kampagne eingesetzten Boote, Sperrgebietstonnen, Probenahmegeräte sowie Tauch- und Sicherheitsausrüstung. Bei den Personalkosten konzentrieren sich die Ausgaben auf die Beschäftigten im Bereich Mesokosmen-Technik, Logistik, Laboranalytik für die Messung der Kernparameter. Für den Bereich Wissenschaft wurde ein Postdoktorand beschäftigt, der mit den spezifischen Fragestellungen in WP1.1 befasst war. Weitere Kosten ergaben sich durch den Einsatz der Taucher, den Transport von Teilnehmern und Probenmaterial vor Ort sowie der Anmietung von Schiffszeit bei lokalen Anbietern, um auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können.

WP 1.3:

Der größte Budgetpunkt waren die Personal- und Laborkosten für die insgesamt zwei Mesokosmen- und zahlreichen Laborstudien. Es wurde jeweils eine Studentin als Hilfwissenschaftlerin bei Durchführung der Experimente angestellt.

WP 1.9:

Der größte Budgetpunkt waren die Personal-, und Laborkosten für die Mesokosmos-Experimente. Der Betrieb der Experimente, die von mehreren WPs genutzt wurden wurde weitgehend von WP 1.9 personell und finanziell getragen.

WP 1.10:

Der größte Budgetpunkt waren die Personal-, und Laborkosten für die Mesokosmos-Experimente.

WP 1.11:

Größte Budgetpunkte waren die Personalkosten (Einstellung einer Postdoktorandin) sowie die Mittel für die chemischen Analysen einer großen Probenmenge.

WP 1.13:

Der größte Budgetpunkt waren die Personalkosten, also hauptsächlich die Durchführung der beschriebenen Arbeiten.

WP 2.3:

Der größte Budgetpunkt waren die Personal- und Laborkosten für die insgesamt sechs Benthokosmosstudien. Es wurde jeweils eine Studentin als Hilfwissenschaftlerin bei Durchführung der Experimente angestellt.

WP 2.5:

Die Materialkosten konnten für die experimentellen Zwecke wie geplant benutzt werden.

WP 3.4:

Die größte Position im WP-Budget waren die Personalkosten für die Postdoktorandenstelle J. Thomsen. Dieser hat dann auch die Experimente mit Unterstützung von F. Melzner und U. Panknin koordiniert und durchgeführt. Größere Teile der Mittel für die Durchführung der umfangreichen Experimente wurden aus der institutionellen Förderung des GEOMAR bereitgestellt.

WP 3.5:

Die Personalmittel für Dr. Marlene Wall als Post-Doc in diesem Projekt verursachten, wie vorgesehen, den größten Teil der Projektkosten. Danach schlug die umfangreiche Analytik (primär LA-ICP-MS) am stärksten zu Buche (Ausgabenumfang wie geplant). Die Reisemittel wurden

entsprechend der Planung für die Teilnahme an internationalen Tagungen und Projekt-Treffen eingesetzt.

WP 3.6:

Die wichtigsten Positionen umfassten die Personalausgaben inklusive Doktorandenstelle und Unterstützung durch studentische Hilfskräfte, sowie sachliche Verwaltungsausgaben (insbesondere Verbrauchsmittel).

WP 4.5:

Der überwiegende Anteil der Gelder wurde für die Finanzierung der Wissenschaftlerin und Teilprojektleiterin Frau Dr. Catriona Clemmesen-Bockelmann aufgewendet. Die übrigen Gelder wurden für die Experimente in Schweden und Norwegen benötigt.

WP 4.9:

- Personalmittel: Anstellung der Teilprojektleiterin Dr. S. Lischka in der Zeit vom 01.09.2012–31.03.2014

- Reisemittel: Aufenthalt an der AWIPEV Station in Ny Ålesund/Spitzbergen zur Durchführung der Laborexperimente in der Zeit vom 05.08.–05.09.2013

- Verbrauchsmittel: zur Durchführung der Experimente auf Spitzbergen, zur Lipid- und Karbonatchemieanalytik

WP 5.1:

Fördermittel wurden zur (Teil-)Finanzierung der Personalkosten des Antragstellers/Projektangestellten (Dr. W. Koeve, in Personaleinheit) verwendet. Die in diesem Bericht benannten Arbeiten und Produkte wurden, soweit nicht anders angegeben, federführend durch Dr. Koeve durchgeführt.

WP 5.3:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten. Weitere Finanzmittel wurden z.B. für Reisen (Jahrestreffen, Konferenzen) bzw. für die Veröffentlichung von Projektergebnissen verwendet.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

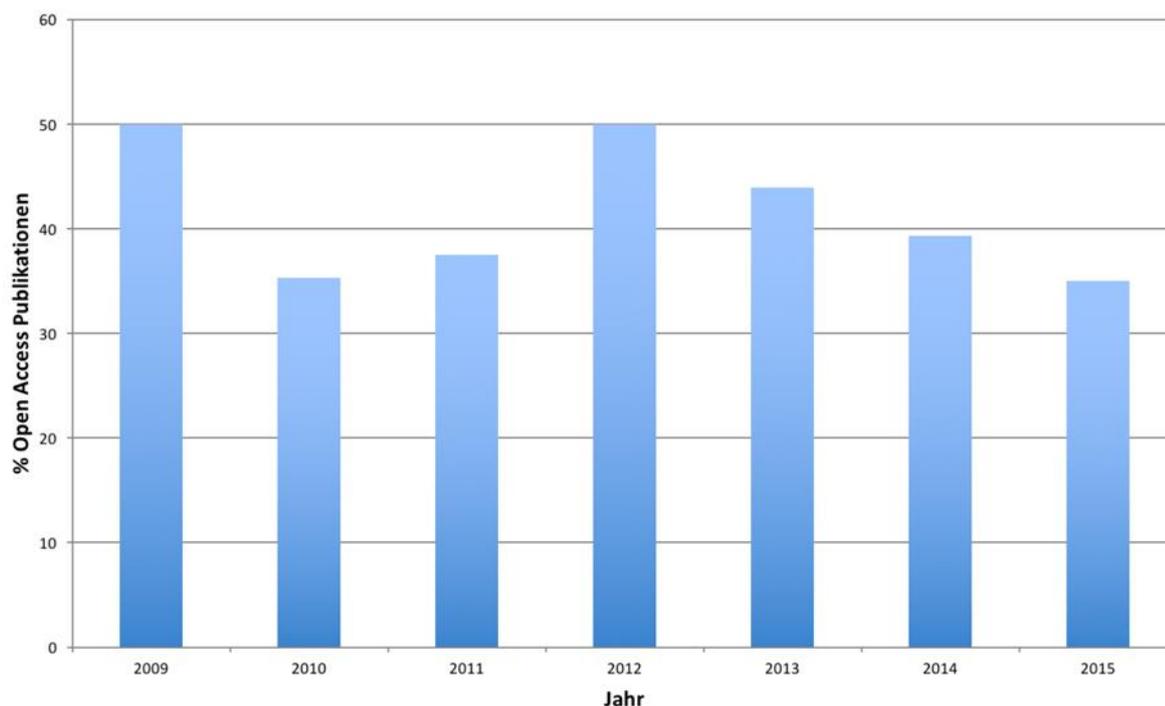
WP 0.1:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden

WP 0.2:

Aufgrund der starke Publikationsleistung von BIOACID II und der institutionellen Unterstützung durch die GEOMAR Datenmanagement und Bibliothek war es möglich die Archivierungsquote nicht nur für die zweite Phase, sondern auch rückwirkend für die erste Phase deutlich zu steigern. Aufgrund dieser Erfahrung wurde für die Beantragung der dritten Phase von BIOACID eine Vollzeitstelle beantragt und auch bewilligt. Die Kooperation mit der GEOMAR Bibliothek hat sich als sehr fruchtbar herausgestellt in Anbetracht der daraufhin möglichen Analysen der Publikationsleistung des BIOACID Projektes über die gesamte Projektlaufzeit. So war es möglich die Open Access Publikationsleistung zu quantifizieren.

168 BIOACID Publikationen mit einem mittleren Open Access Anteil von 42 %



WP 1.1:

Um die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Ökosystemebene zuverlässig beurteilen zu können, sind Feldexperimente mit natürlichen Lebensgemeinschaften unerlässlich. Ausgehend von bereits durchgeführten *in situ* Mesokosmenexperimenten in der Arktis vor Svalbard, an der südnorwegischen Küste vor Bergen, sowie in der östlich Ostsee an der Südspitze von Finnland wurde zwei wesentliche Lücken in den vorhandenen Datensätzen identifiziert: (1) eine Langzeituntersuchung, die den zeitlich Ablauf vom Beginn der Frühjahrsentwicklung bis zur Klarwasserphase im Sommer verfolgt, generationsübergreifende Effekte einschließt und Untersuchungen hinsichtlich möglicher evolutionärer Anpassungen in natürlichen Gemeinschaften zulässt, und (2) ein mit früheren Studien vergleichbarer Datensatz in einem oligotrophen System, welcher repräsentativ für weite Bereiche des subtropisch/tropischen offenen Ozeans ist. Diese beiden Lücken wurde in Phase 2 durch Ausrichtung der KOSMOS-Experimente im Gullmarfjord (2013) und vor Gran Canaria (2014) geschlossen.

Durch die in WP1.1 durchgeführten KOSMOS-Experimente wurde es zahlreichen an BIOACID beteiligten und externen Forschergruppe möglich gemacht worden, ihre spezifischen Fragestellungen an natürlichen Lebensgemeinschaften zu bearbeiten und die dabei erzielten Ergebnisse in einem

größeren Zusammenhang auszuwerten und zu interpretieren. Aufgrund der Vielzahl daran geknüpfter Studien, der thematischen Breite der bearbeiteten Fragestellungen und der aus der engen Vernetzung erzielten Synergie ist der nicht unerhebliche technische, logistische, personelle und finanzielle Aufwand dieser Studien angemessen. Durch den erfolgreichen Abschluss dieser zwei Feldkampagnen ist ein weltweit einmaliger Datensatz zu Stande gekommen, der über Jahre hinaus die Basis für vergleichende Analysen über den Einfluss von Ozeanversauerung auf pelagische Ökosysteme und biogeochemische Stoffkreisläufe bilden wird.

WP 1.3:

Im Hinblick auf die erarbeiteten Ergebnisse wurden die bereitgestellten Mittel optimal genutzt.

WP 1.9:

Im Hinblick auf die erarbeiteten Ergebnisse wurden die bereitgestellten Mittel optimal genutzt.

WP 1.10:

Im Hinblick auf die erarbeiteten Ergebnisse wurden die bereitgestellten Mittel optimal genutzt.

WP 1.11:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 1.13:

Die im WP 1.13 geleistete Arbeit hat bereits und leistet noch immer einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis evolutionärer Prozesse im marinen Phytoplankton unter Ozeanversauerung. So wurden trotz der tiefgreifenden Änderungen im Vorgehen wichtige Fortschritte in diesem Themengebiet erzielt.

WP 2.3:

Im Hinblick auf die erarbeiteten Ergebnisse wurden die bereitgestellten Mittel optimal genutzt.

WP 2.5:

Die Arbeiten wurden mit nur geringfügigen Abweichungen wie geplant durchgeführt.

WP 3.4:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 3.5:

Alle Arbeiten innerhalb dieses Teilprojekts erscheinen uns als im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt.

WP 3.6:

Lange Zeit war die Existenz von Kaltwasserkorallen und deren Bedeutung noch weitgehend unbekannt und erst in den letzten 10 – 20 Jahren gelangen diese sensiblen Ökosysteme ins Bewusstsein der Öffentlichkeit. Doch durch den Menschen verursachte Verschmutzungen, Überfischung und die Ausbeutung der Meere im Hinblick auf Tiefseebergbau und auf lange Sicht auch Klimawandel bedrohen diese faszinierende Unterwasserwelt. Wie die Korallen auf steigende CO₂-Konzentrationen im Meer und erhöhte Wassertemperaturen reagiert, wird erst in den letzten 10 Jahren näher erforscht. Die Grundlagenforschung auf diesem Gebiet ist wichtig, um die Prozesse und mögliche Folgen des Klimawandels auf die Korallen zu verstehen. Dies ist zunächst nur unter kontrollierten Laborbedingungen möglich, unter denen äußere, sich verändernde Einflüsse konstant gehalten und als Reaktionsursache ausgeschlossen werden können. Diese Arbeit ist somit notwendig und auch angemessen, um Fragestellungen wie im Proposal beantragt, beantworten zu können und zukünftige Projekte, die mehrere Faktoren umfassen, weiterentwickeln zu können.

WP 4.5:

Erstellung einer Datengrundlage zur genaueren Abschätzung des Einflusses der Ozeanversauerung auf die frühen Lebensstadien von kommerziell wichtigen Fischarten.

WP 4.9:

Zur Abschätzung möglicher Folgen auf Dorschbestände ist es einerseits nötig zu betrachten, wie sich die OWA direkt auf Dorscharten auswirkt, andererseits ist es unabdingbar, auch indirekte Effekte abzuschätzen, die sich über die Nahrung auf Dorschbestände auswirken können, denn durch die Zusammenschau von direkten und indirekten Effekten, lässt sich ein vollständigeres Bild über mögliche Konsequenzen des Ozeanwandels auf Dorschbestände entwickeln. Neben der Hauptnahrung Copepoden (WP 4.8) können Pteropoden (zeitweise) einen wichtigen Nahrunganteil der Dorsche ausmachen. Nahrungseffekte können sowohl über die Quantität als auch die Qualität der verfügbaren Nahrung auf höhere trophische Ebenen wirken. Aus diesem Grunde beschäftigte WP 4.9 sich mit der Frage, ob OWA Pteropoden als Nahrung für Dorsche in der Quantität und/oder Qualität verändert. Diese Frage kann nur experimentell beantwortet werden und sowohl die Verbreitung der Pteropoden als auch die logistischen Möglichkeiten empfehlen den Kongsfjord auf Spitzbergen als ideales Untersuchungsgebiet, das den schnellen Zugriff auf Pteropoden sowie die Hälterung der Tiere und Durchführung der Experimente erlaubt.

WP 5.1:

Die durchgeführten Arbeiten stellen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung geeigneter Evaluationsverfahren für globale biogeochemischer Modelle dar. Es wurden insgesamt fünf wissenschaftlicher Publikationen für den Kernbereich des WP erstellt und Beiträge zu drei projektrelevanten Publikationen erbracht. Die Arbeiten wurden auf verschiedenen internationalen Kongressen in insgesamt 20 Beiträgen vorgestellt und diskutiert. Vgl. Punkt 6. (Veröffentlichungen) für Details.

WP 5.3:

Die Arbeiten sind in Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 0.1:

Bei dem Projekt handelt es sich um die Projektkoordination, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen

WP 0.2:

Die in PANGAEA archivierten Daten wurden in einer Internationalen Kooperation mit dem 'Ocean Acidification – International Cordination Center' der Internationalen Atomenergie Behörde der UN einem globalen Standardisierungsverfahren unterzogen. Dieses Programm ermöglicht die Vergleichbarkeit der Daten aufgrund einer vereinheitlichten Berechnungsgrundlage für die Messwerte des Carbonatsystems. Dieses Verfahren stellt eine globale Nachnutzbarkeit der Daten sicher und macht Vergleichsstudien oder Metaanalysen erst möglich.

WP 1.1:

Der im Rahmen von BIOACID II und vorangegangenen Großprojekten (EPOCA, MESOAQUA, SOPRAN) durch *in situ* Mesokosmenexperimente erhobene Datensatz zum Einfluss von Ozeanversauerung auf pelagische Ökosysteme und biogeochemische Stoffkreisläufe wird der nationalen und internationalen Forschergemeinde in zukünftigen Projekten als Benchmark zu Vergleichszwecken für weiterreichende Einzelstudien, für Metaanalysen, Netzwerkanalysen sowie zur Parametrisierung numerischer Modelle zur Verfügung stehen. Eine entsprechende Nutzung der Daten findet bereits im Rahmen von BIOACID III statt und wird mit hoher Wahrscheinlichkeit in anderen Projekten fortgeführt werden.

WP 1.3:

Nicht zutreffend, da es sich bei diesem Projekt um Grundlagenforschung handelte, bei dem keine unmittelbare wirtschaftliche Verwendung möglich ist.

WP 1.9:

Nicht zutreffend, da es sich bei diesem Projekt um Grundlagenforschung handelte, bei dem keine unmittelbare wirtschaftliche Verwendung möglich ist.

WP 1.10:

Nicht zutreffend, da es sich bei diesem Projekt um Grundlagenforschung handelte, bei dem keine unmittelbare wirtschaftliche Verwendung möglich ist.

WP 1.11:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Anwendungen geplant sind. Die Ergebnisse des Projektes wurden und werden in internationalen Fachzeitschriften publiziert und auf internationalen Konferenzen präsentiert. Die Messdaten werden zum Abschluss des Projektes, nach erfolgter Publikation, in der BIOACID-Datenbank PANGAEA archiviert und stehen damit auch anderen interessierten Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit zur Verfügung. Die Publikation der Ergebnisse und die Datenarchivierung werden spätestens zwei Jahre nach Projektende von BIOACID abgeschlossen sein.

WP 1.13:

Bei WP 1.13 handelt es sich um ein Projekt der Grundlagenforschung. Daher ist keine unmittelbare wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse möglich. Wohl aber werden die Erkenntnisse zur Anpassung von marinen Primärproduzenten mittelbar in Projektionen der Produktivität des zukünftigen Ozeanes einfließen und damit das Ökosystem-Management sowie die Vorhersage von Sekundärproduktion (z.B. Fischerträge) bei fortschreitender Ozeanversauerung verbessern.

WP 2.3:

Nicht zutreffend, da es sich bei diesem Projekt um Grundlagenforschung handelte, bei dem keine unmittelbare wirtschaftliche Verwendung möglich ist.

WP 2.5:

Nicht zutreffend, da es sich um ein Projekt der Grundlagenforschung handelt.

WP 3.4:

Bei dem Projekt handelte es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, jedoch fließen Erkenntnisse auch in Modelle zur Abschätzung der Verbreitung von Miesmuscheln in der zukünftigen Ostsee (z.B. Bioacid 3) ein. Diese können dann zu neuen Handlungsempfehlungen bzgl. Aquakultur und Fischerei in der Ostsee führen. Die Ergebnisse unserer Studien wurden und werden auf internationalen Konferenzen präsentiert und in internationalen Fachzeitschriften publiziert. Weiterhin werden die erhobenen Datensätze in der Datenbank PANGAEA archiviert und so für Wissenschaftler und auch die interessierte Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

WP 3.5:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung. Eine unmittelbare wirtschaftliche Verwertung war nicht Ziel dieses Vorhabens.

Dr. Marlene Wall konnte nach Ende ihrer Anstellung als Post-Doc in diesem Teilprojekt (08/2014) erfolgreich ein Schrödinger-Stipendium beim Österreichischen Wissenschaftsfonds einwerben. Die dabei bewilligten Arbeiten bauen direkt auf den Ergebnissen dieses BIOACID-WPs auf und führen diese im Rahmen der in BIOACID etablierten Kooperationen (z.B. Dr. D. de Beer, MPI, Bremen; Dr. J. Fietzke, GEOMAR, Kiel; Dr. K. Fabricius, AIMS, Australien) weiter.

WP 3.6:

Nicht zutreffend, da es sich um ein Projekt der Grundlagenforschung handelt.

WP 4.5:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen.

WP 4.9:

Der voraussichtliche Nutzen aus diesem WP ergibt sich in zweierlei Hinsicht: 1) Die Ergebnisse aus den Experimenten zur Lipidsensitivität der Pteropoden stehen als eigenständiges Ergebnis dar, das den derzeitigen Kenntnisstand über die Empfindlichkeit thecosomer Pteropoden gegenüber OWA erweitert. Bisher gibt es noch immer bloß sehr wenige Studien, die beide Aspekte betrachten (Temperatur- und $p\text{CO}_2$ -Erhöhung), und im Speziellen ist die Betrachtung von OWA Einflüssen auf die Lipidbiochemie an diesen Pteropoden bislang einzigartig. 2) Die Ergebnisse zum Einfluss von OWA auf thecosome Pteropoden dienen der Abschätzung von möglichen Folgen auf das Nahrungsnetz der in WP 4 betrachteten Dorscharten hinsichtlich eines quantitativen und/oder qualitativen Effektes auf Pteropoden als Nahrungskomponente.

WP 5.1:

Methoden der Modellevaluation sind eine Grundlage für verlässliche biogeochemische Ozeanmodelle und ihre Vorhersagekapazität bzgl. der Konsequenzen von Ozeanversauerung und Erwärmung auf die Biogeochemie des Ozeans. Die Arbeiten des WP haben wesentliche Beiträge geleistet um bestehende Lücken im diesbezüglichen Methodenrepertoire zu schließen. Für die Evaluation des marinen CaCO_3 -Kreislaufes ist hier insbesondere die TA* Methode zu nennen, die im WP erstmals einer systematischen, modellgestützten Analyse unterzogen wurde. Dieser Methode (Veröffentlichung 1) wurde z.B. kürzlich in einer probabilistischen Studie übernommen, um mit Hilfe von ca. 1000 Modellsimulationen Erkenntnisse über die vor dem Hintergrund der Beobachtungsdaten, wahrscheinlichen Mechanismen der Kalklösung im Ozean zu identifizieren (Battaglia et al., 2016, Biogeosciences, in Begutachtung).

In ähnlicher Weise tragen die Arbeiten zum Hintergrundalter (preformed age, Veröffentlichung 2) der ^{14}C -Altersverteilung im Ozean zu einer verbesserten Interpretation im Daten-Modellvergleich bei. Da ^{14}C -Tracer ein häufig verwendetes Werkzeug zur Evaluation der Zirkulation in gekoppelten Ozeanmodellen darstellen, sind die diesbezüglichen Arbeiten in einen Methodenvorschlag zu CMIP6 eingegangen, i.e. Modellläufe mit ^{14}C -basierenden und idealisierten Alterstracern durchzuführen.

Die Erkenntnisse aus Bioacid II, WP 5.1 fließen weiterhin in die Synthesephase von Bioacid ein und werden dort insbesondere im Rahmen von WP 1.8 verwendet. In dem Sinne, in dem die in WP 5.1 verwendeten idealisierten Tracer AOU, TA*, ideal age für den Daten-Modellvergleich verwendet werden können, sind sie auch ideale Kandidaten für Messgrößen mit denen der Einfluss von Ozeanversauerung und –erwärmung auf die Biogeochemie des Ozeans nachgewiesen werden kann. Dies, die Detektierbarkeit der durch Ozeanversauerung und –erwärmung induzierten Veränderungen der Ozeanbiogeochemie ist Gegenstand der Forschungen in WP 1.8 von Bioacid III.

WP 5.3:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 0.1:

Trifft nicht zu

WP 0.2:

Nicht zutreffend

WP 1.1:

Es gibt weltweit keinen vergleichbaren Datensatz zum Einfluss von Ozeanversauerung auf pelagische Ökosysteme und biogeochemische Stoffkreisläufe in natürlichen Lebensgemeinschaften. Dies gilt sowohl im Hinblick auf die Dauer der Studien, die Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen

Kampagnen, die Bandbreite der Ökosystemtypen und Klimazonen, als auch die Multidisziplinarität im experimentellen Ansatz. Es sind keine vergleichbaren Vorhaben bekannt und es ist davon auszugehen, dass vergleichbar umfangreiche Datensätze in absehbarer Zeit anderweitig nicht generiert werden.

WP 1.3:

Keine

WP 1.9:

Mesokosmen-Versuche basierend auf einer faktoriellen Kombination von Erwärmung und Ozeanversauerung wurden unseres Wissens anderswo nicht durchgeführt.

WP 1.10:

Mesokosmen-Versuche basierend auf einer faktoriellen Kombination von Erwärmung und Ozeanversauerung wurden unseres Wissens anderswo nicht durchgeführt.

WP 1.11:

Untersuchungen im Nordatlantik und in der Arktis zeigten kombinierte Effekte von Ozeanversauerung und -erwärmung auf den bakteriellen Umsatz organischen Materials bei *in-situ* Populationen (Piontek et al. 2014). Dabei wirkte sich der Einfluss von Temperaturveränderungen deutlich stärker auf den Abbau von Proteinen und Zuckern aus als Änderungen im pH.

Mesokosmos-Experimente mit Planktongemeinschaften unter veränderten pH und Temperaturbedingungen, die an der Universität Stony Brook, USA, durchgeführt wurden, zeigten keine direkten pH Effekte auf die Blütenentwicklung des Phytoplanktons oder die biogeochemische Zusammensetzung des suspendierten Materials. Allerdings zeigten sich signifikante Unterschiede in der Größe und Sinkgeschwindigkeit von Partikelaggregaten, mit deutlich geringeren Sinkgeschwindigkeiten der Aggregate zur Zeit der Blüte in den niedrigen pH Ansätzen (Cisternas et al., in prep.).

Cisternas-Novoa, C., Lee, C. and Engel, A. Effects of Higher CO₂ and Temperature on Gel Particle Composition and Physical Properties of Diatom Aggregates: Results from Mesocosm and Aggregation Experiments. In prep.

Piontek, J., Sperling, M., Noethig, E.M., and Engel, A. (2015). Multiple environmental changes induce interactive effects on bacterial degradation activity in the Arctic Ocean. *LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY*, 60, 4: 1392-1410

WP 1.13:

Nicht zutreffend

WP 2.3:

Während der Durchführung des Projekts erschien eine Schlüsselpublikation von Kollegen der Universität Göteborg (Alsterberg et al. 2013 PNAS), welche die wichtige vermittelnde (indirekte) Rolle der Weidegänger in einem verwandten (Seegrass) System in Antwort an CO₂- und Temperaturerhöhung hervorhob. Um diese Rolle im hier getesteten System zu quantifizieren und dadurch unsere bislang ermittelten Ergebnisse besser zu erklären, haben wir abweichend vom ursprünglichen Plan das letzte Benthokosmosexperiment (CE6) mit dem Ziel gestaltet, die relativen Effekte der Weidegänger auf Epiphyten in Antwort auf Temperatur zu erfassen.

WP 2.5:

Nicht zutreffend, da das Vorhaben nicht bei anderen Stellen durchgeführt wurde.

WP 3.4:

Neuste Studien berichten von einem positiven Übertragungseffekt zwischen den Generationen, wenn Elterntiere schon während der Reproduktion erhöhten CO₂ Partialdrücken ausgesetzt waren (siehe z.B. Parker et al. PLoS ONE 2015, Thor & Dupont 2015 Global Change Biology).

WP 3.5:

Im internationalen Rahmen (Schwerpunkt: USA, Australien, GB) laufen bzw. starten derzeit eine Reihe von Forschungsvorhaben, welche sich mit ähnlichen methodischen Ansätzen mit dem in diesem Vorhaben bearbeiteten Fragestellungen beschäftigen. Die von diesen Gruppen publizierten Ergebnisse fließen ständig in die Interpretation der eigenen Ergebnisse und deren Publikation ein.

WP 3.6:

In 2015 veröffentlichten schottische Kollegen (Hennige *et al.*) eine wichtige Langzeit-Studie mit derselben Korallenart, aber von unterschiedlicher Herkunft, die ähnliche Erkenntnisse hervorgebracht hat wie die eigenen Studien. Somit können die Ergebnisse dieses Teilprojekts an die aktuellen Erkenntnisse auf diesem Gebiet an die genannte Studie anknüpfen und erweitern.

WP 4.5:

Während der Projektlaufzeit wurden die neu gewonnenen Erkenntnisse aus Publikationen oder von Vorträgen auf Konferenzen zum Einfluss von Ozeanversauerung auf marine Lebewesen soweit möglich in die Planung und Durchführung der Experimente mit eingebaut. Dazu gehören z.B. die Erweiterung in der Beprobung zur Bestimmung der knöchernen Strukturen und die Untersuchung von potentiellen epigenetischen Einflüssen der Fischelterntiere auf ihren Nachwuchs.

WP 4.9:

Fortschritte, die auf diesem Gebiet von anderer Seite gemacht wurden, sind dem ZE nicht bekannt.

WP 5.1:

Im Zusammenhang der Begutachtung von Koeve et al., 2014 (TA* Veröffentlichung) wurde der ZE angeregt die geplanten Arbeiten im Hinblick auf eine in der CMIP5 Community mehrfach verwendete Metrik für den Model-Daten Vergleich zu erweitern. Diese Metrik, die Differenz aus den Messgrößen bzw. Modeltracern Alkalinität und gesamter anorganischer Kohlenstoff, i.e. ALK-DIC, wurde sowohl theoretisch also auch vergleichend an Hand verschiedener CMIP5 Modelle untersucht (vgl. Veröffentlichung #5).

Weiterhin hat eine Vielzahl von Modellveröffentlichungen zu den verschiedenen CMIP5 Modellen, die während der Laufzeit des Projektes erschienen sind die Arbeiten des ZE beeinflusst. Diese Erkenntnisse erleichtern insbesondere die Interpretation der CMIP5 Modelldaten, die in diesem WP Gegenstand waren.

WP 5.3:

Nicht zutreffend.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 0.1:

siehe „Öffentlichkeitsarbeit“ unter Punkt 1

WP 0.2:

Nicht zutreffend

WP 1.1:

KOSMOS Studie im Gullmarfjord, Schweden:

1. Publierte Manuskripte:

Scheinin, M., Riebesell, U., Ryneerson T.A., Lohbeck, K.T., Collins, S. Experimental evolution gone wild. Journal of the Royal Society Interface 12: 20150056. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2015.0056>, 2015

Zark, M., Riebesell, U., Dittmar, R. (2015) Effects of ocean acidification on marine dissolved organic matter over the succession of phytoplankton blooms. Science Advances 1 (9), e1500531, DOI: 10.1126/sciadv.1500531

2. Eingereichte Manuskripte:

Bach, L. T., Taucher, J., Boxhammer, T., Ludwig, A., The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg, E. P., Alguero-Muniz, M., Anderson, L. G., Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y., Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H. G., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M., and Riebesell, U: *Influence of ocean*

acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. PLOS one.

3. Geplante Manuskripte:

Zur Publikation der Ergebnisse dieser Studie wurde ein Sonderband bei der open access Zeitschrift *PLOS one* eingerichtet. Der Sonderband steht seit dem 1. Februar zum Einreichen von Manuskripten zur Verfügung. Das Übersichtspaper zur Studie wurde kurz nach Öffnen des Sonderbandes eingereicht (Bach et al., *subm.*). Die folgende Tabelle gibt eine komplette Liste der aus der KOSMOS 2013 Studie hervorgehenden Publikationen.

Preliminary title of the paper	Key words	Lead author	Journal
The influence of ocean acidification on the formation of naturally produced halocarbons	Ocean acidification, halocarbons, phytoplankton, KOSMOS	Abrahamsson, K.	PLOS
Ocean Acidification effects on mesozooplankton community development: results from a long-term near-natural conditions experiment	mesozooplankton community, copepods, hydromedusae, Pseudocalanus sp.,	Algueró-Muñiz, M.	PLOS
No detectable effect on swimming activity and body size in a common copepod during exposure to ocean acidification	Climate change, pH decrease, zooplankton, copepods	Almén, A-K	PLOS
Influence of ocean acidification on phytoplankton succession in a coastal ecosystem	phytoplankton succession, picoeukaryotes, Nanophytoplankton, <i>Coscinodiscus spec.</i> , autotroph to heterotroph ratio,	Bach, L. T.	PLOS
Abundance of the iron containing biomolecule, heme b, during the progression of a spring phytoplankton bloom in a mesocosm experiment.	hemoprotein, iron, KOSMOS, ocean acidification, $p\text{CO}_2$, protoporphyrin (IX)	Bellworthy, J.	PLOS
Dynamics of carbon and nutrients during a natural winter-to-summer plankton succession at ambient and future CO_2 concentrations	Elemental budgets, plankton succession, spring bloom, pelagic mesocosms, carbon dioxide, ocean acidification	Boxhammer, T.	PLOS
Vertical flux of marine particles during a natural winter-to-summer plankton succession in a mid-latitude coastal ecosystem.	Vertical flux, sinking velocity, stoichiometry, plankton community structure	Boxhammer, T.	PLOS
Elevated $p\text{CO}_2$ and temperature affect survival, respiratory performance, and resource allocation during embryonic development of Atlantic cod <i>Gadus morhua</i>		Dahlke, F.	not decided
Mechanistic physiological model based on laboratory-based experiments successfully predicts sea urchin larval response to ocean acidification in mesocosms	Larval stages, sea urchins, physiology, model validation	Dupont, S.	PLOS
Effects of elevated CO_2 on primary production in a North Sea community	Ocean acidification, phytoplankton community	Eberlein, T.	PLOS
Application of stable carbon isotopes on a long term mesocosm study for carbon cycle investigation.	carbon cycle, stable carbon isotope, phytoplankton, KOSMOS	Esposito, M.	PLOS
Low CO_2 sensitivity of microzooplankton communities in the Gullmar Fjord, Skagerrak: evidence from a long-term mesocosm study	Ocean acidification, protozooplankton,	Horn, H. G.	PLOS

Preliminary title of the paper	Key words	Lead author	Journal
Effects of CO ₂ -enrichment on bacteria-phytoplankton interactions during a winter-to-summer phytoplankton succession	Ocean acidification, CO ₂ enrichment, Baltic Sea, KOSMOS mesocosm experiment, bacterial production, phytoplankton	Hornick, T.	PLOS
Effects of ocean acidification on marine plankton: A community barcoding approach	CO ₂ , community barcoding, metabarcoding, NGS, ocean acidification, plankton	Lange, J. A. F.	PLOS
The role of the mitochondrial Complex I and Complex II in the thermal sensitivity of the embryos of Atlantic herring		Leo, E.	not decided
Experimental evolution gone wild	Skeletonema, diatom evolution, in-situ mesocosms, carbon dioxide, ocean acidification, experimental evolution	Scheinin, M.	already published
Indirect effects of ocean acidification via the food chain on growth and survival of herring larvae in a mesocosm experiment	Ocean acidification, herring larvae, predator prey	Sswat, M.	not decided
Elevated temperatures outweigh effect of ocean acidification on larval growth and survival of Atlantic herring, <i>Clupea harengus</i> under low food conditions	Ocean acidification, temperature, herring larvae, low food condition	Sswat, M.	not decided
Structural and functional responses of marine bacterial communities to ocean acidification	Ocean acidification, Vibrio, Phytoplankton coupling, Spring bloom, Mesocosm, Cultures, Quantitative PCR, Sweden, BIOACID, KOSMOS 2013	Stenegren, M.	PLOS
Ocean Acidification effects on mesozooplankton community development: results from a long-term near-natural conditions experiment	Ocean acidification, bacterial community, DGGE, bacterial abundance, copper resistance, antibiotic resistance.	Svensson, M	PLOS
Effect of ocean acidification on nitrogen cycling in a mesocosm study	Ocean acidification, nitrate uptake, new production, DON, recycled production	Wannicke, N.	PLOS
Influence of ocean acidification on the occurrence of pycotoxins in the Gullmar Fjord.	Ocean acidification, harmful algae, phycotoxins, domoic acid	Wohlrab, S.	PLOS
Eukaryotic nano- and picoplankton diversity in a mesocom experiment.	Ocean acidification, Nanoplankton Picoplankton, Plankton community composition, DNA barcoding	Wohlrab, S.	PLOS
Effects of ocean acidification on marine dissolved organic matter are not detectable over the succession of phytoplankton blooms	Dissolved organic matter biogeochemistry, plankton succession, ocean acidification	Zark, M.	already published
Linking microbes to molecules	DOM dynamics, FT-ICR-MS, bacterial community, structure-function relationships	Zark, M.	PLOS

KOSMOS Studie vor Gran Canaria:

Geplante Manuskripte:

Zur Publikation der Ergebnisse dieser Studie ist ebenfalls ein Sonderband bei einer open access Zeitschrift geplant. Als mögliche Optionen wurde *Biogeosciences* und *PLOS* in Betracht gezogen.

Aktuell laufen Gespräche mit den Editorial Offices der beiden Journale diesbezüglich. Die folgende Tabelle gibt eine Liste der geplanten Publikationen aus der KOSMOS Gran Canaria 2014 Studie.

Preliminary title	Responsible author(s)	Parameters and variables needed from colleagues	Journal
Response of fractionated primary production to CO ₂ concentrations and nutrient enrichment	Javier Arístegui	Phytoplankton biomass; I would like to share the phytoplankton data with Lennart et al.	Special Issue
Effects of elevated CO ₂ on an oligotrophic microzooplankton community	Henriette Horn	Phytoplankton, mesozooplankton, Chlorophyll-a, CTD	Special Issue
Dissolved organic matter during an oligotrophic ocean acidification experiment using large – scale mesocosms	Maren Zark	DIC, pH, Chlorophyll-a, nutrients	L&O
OA effect on an oligotrophic mesozooplankton community	Maria Algueró - Muniz	Zooscan, Chlorophyll-a (biomass)	Special Issue
Biogeochemical response of an oligotrophic plankton community to OA and an upwelling event	Jan Taucher	DOM, nutrients, HPLC, gas exchange	Special Issue
Plankton community size structure and formation of marine snow during a simulated upwelling event	Jan Taucher	Phytoplankton (FCM), zooplankton counts, Zooscan	Special Issue
Application of stable carbon isotopes for carbon cycle investigations	Mario Esposito	Carbonate chemistry, DOM	Special Issue
Influence of OA on phytoplankton succession	Lennart Bach	Flow Cytometry, HPLC, microscopy	Special Issue
Succession of foraminifers and pteropods in net samples and sediment traps during a mesocosm study in the Subtropics	Silke Lischka		Special Issue
DMS production in relation to nutrient addition in the Subtropics	Kerstin Suffrian, Steve Archer		Special Issue
Succession of DOM molecular composition related to bacterial community composition (<i>may be combined with data from Kristineberg</i>)	Maren Zark, Thomas Hornick	pH, DIC, Chlorophyll-a	Special Issue
Export efficiency and it's dependency on plankton community development	Paul Stange	Primary production, FC, Zoo-plankton (?), phytoplankton counts	Special Issue
Particle and bacterial dynamics (BPP data and bacterial bio - volume)	Thomas Hornick	Phytoplankton, Chlorophyll-a, DOC, DOM, POM	Special Issue
Effects of OA on carbohydrates and amino acids as part of labile DOM	Nadine Broda	Cell counts,	Special Issue
Effect of ocean acidification on the biomass and metabolism of an oligotrophic zooplankton community	Natalia Osma	pH, Chlorophyll-a, nutrients, CO ₂	Special Issue
Potential respiration and IDH activity in microplankton and in the sediment from mesocosms in the Canary Current.	Mayte Tamés-Espinosa	Paul and Ulf collaboration in sediment traps data.	Special Issue
Impact of Ocean acidification on Phototrophic and heterotrophic (dark) dinitrogen fixation	Arvind Singh	flow cytometry, microscopy and nutrients data	Special Issue

Kulturarbeiten im Labor:

- Bach, L. T. (2015) *Reconsidering the role of carbonate ion concentration in calcification by marine organisms*. Biogeosciences, 12, 4939-4951. DOI [10.5194/bg-12-4939-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-4939-2015).
- Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavsen, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) *Temperature Modulates Coccolithophorid Sensitivity of Growth, Photosynthesis and Calcification to Increasing Seawater pCO₂*. PLoS ONE, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).
- Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavsen, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) *Temperature Modulates Coccolithophorid Sensitivity of Growth, Photosynthesis and Calcification to Increasing Seawater pCO₂*. PLoS ONE, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).
- Zhang, Y., Bach, L. T., Schulz, K. G., and Riebesell, U. (2014) *The modulating effect of light intensity on the response of the coccolithophore Gephyrocapsa oceanica to ocean acidification*. Limnology and Oceanography, 60, 2145 – 2157.

WP 1.3:

Publiziert

- Bach, L. T., Riebesell, U., Gutowska, M. A., Federwisch, L., and Schulz, K. G. (2015) *A unifying concept of coccolithophore sensitivity to changing carbonate chemistry embedded in an ecological framework*. Progress in Oceanography, 135. pp. 125-138. DOI [10.1016/j.pocean.2015.04.012](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.04.012).
- Bach, L. T. (2015) *Reconsidering the role of carbonate ion concentration in calcification by marine organisms*. Biogeosciences (BG), 12 . pp. 4939-4951. DOI [10.5194/bg-12-4939-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-4939-2015).
- Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavsen, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) *Temperature Modulates Coccolithophorid Sensitivity of Growth, Photosynthesis and Calcification to Increasing Seawater pCO₂*. PLoS ONE, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).
- Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavsen, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) *Temperature Modulates Coccolithophorid Sensitivity of Growth, Photosynthesis and Calcification to Increasing Seawater pCO₂*. PLoS ONE, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).
- Zhang, Y., Bach, L. T., Schulz, K. G., and Riebesell, U. (2014): *The modulating effect of light intensity on the response of the coccolithophore Gephyrocapsa oceanica to ocean acidification*. Limnology and Oceanography, 60 pp. 2145 – 2157.
- Kottmeier, D., Rokitta, S., Tortell, P. and Rost, B. (2014). Strong shift from HCO₃⁻ to CO₂ uptake in *Emiliana huxleyi* with acidification: new approach unravels acclimation versus short-term pH effects. Photosynthesis Research 121: 265-275. DOI 10.1007/s11120-014-9984-9
- Kottmeier, D. M., Rokitta, S. D. and Rost, B. (2016). Acidification, not carbonation, is the major regulator of carbon fluxes in the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. New Phytologist, in press.
- Eberlein, T., Van de Waal, D. B., Brandenburg, K. M., John, U., Voss, M., Achterberg, E. P., and Rost, B. (2016). Interactive effects of ocean acidification and nitrogen limitation on two bloom-forming dinoflagellate species. *Marine Ecology Progress Series*, doi:10.3354/meps11568

Under review

- Bach, L. T., Taucher, J., Boxhammer, T., Ludwig, A., The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg, E. P., Alguero-Muniz, M., Anderson, L. G., Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y., Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H. G., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M., and Riebesell, U.: Influence of ocean acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. PLOS one.

Eberlein T. et al. Effects of ocean acidification on net primary production of phytoplankton communities in the Gullmar fjord mesocosm. in preparation for PLOS one

WP 1.9:

Publiziert:

Horn, H.G., M. Boersma, J. Garzke, M.G. Löder, U. Sommer, N. Aberle (2015) Effect of high CO₂ and warming on a Baltic sea mesozooplankton community. ICES J. Mar.Sci. doi: 10.1093/icesjms/fsv198

Paul, C., B. Matthiessen, U. Sommer (2015) Warming but not enhanced CO₂ quantitatively and qualitatively affects phytoplankton biomass. Mar. Ecol. Progr. Ser. 528:39-51

Sommer, U., C. Paul, M. Moustaka-Gouni (2015) Warming and Ocean Acidification Effects on Phytoplankton – from Species Shifts to Size Shifts within Species in a Mesocosm Experiment. PLoS One 10:e0125239

Im Druck:

Paul, C., U. Sommer, J. Garzke, J., M. Moustaka-Gouni, A. Paul, A., B. Matthiessen (2016) Effects of increased CO₂ concentration on nutrient limited coastal summer plankton depend on temperature. Limnol. Oceanogr. (in press)

Im Begutachtungsstadium:

Moustaka-Gouni, M., K.A. Kormas, E. Vardaka, U. Sommer (under review) Warming and acidification effects on planktonic heterotrophic pico- and nanoflagellates in a mesocosm experiment.

Geplant:

Paul, M., B. Matthiessen, B., J.C. Molinero, J.C., Sommer, U. (in prep) Climate change effects on plankton fatty acids.

WP 1.10:

Publiziert:

Horn, H.G., M. Boersma, J. Garzke, M.G. Löder, U. Sommer, N. Aberle (2015) Effect of high CO₂ and warming on a Baltic sea mesozooplankton community. ICES J. Mar.Sci. doi: 10.1093/icesjms/fsv198

Paul, C., B. Matthiessen, U. Sommer (2015) Warming but not enhanced CO₂ quantitatively and qualitatively affects phytoplankton biomass. Mar. Ecol. Progr. Ser. 528:39-51

Sommer, U., C. Paul, M. Moustaka-Gouni (2015) Warming and Ocean Acidification Effects on Phytoplankton – from Species Shifts to Size Shifts within Species in a Mesocosm Experiment. PLoS One 10:e0125239

Im Druck

Paul, C., U. Sommer, J. Garzke, J., M. Moustaka-Gouni, A. Paul, A., B. Matthiessen (2016) Effects of increased CO₂ concentration on nutrient limited coastal summer plankton depend on temperature. Limnol. Oceanogr., in press

Im Begutachtungsstadium:

Moustaka-Gouni, M., K.A. Kormas, E. Vardaka, U. Sommer (under review) Warming and acidification effects on planktonic heterotrophic pico- and nanoflagellates in a mesocosm experiment.

Geplant:

Paul, M., B. Matthiessen, B., J.C. Molinero, J.C., Sommer, U. (in prep) Climate change effects on plankton fatty acids.

WP 1.11:

Begutachtete Publikationen:

- Zindler-Schlundt, C., Lutterbeck, H., Endres, S. und Bange, H. W. (2015) Environmental control of dimethylsulfoxide (DMSO) cycling under ocean acidification *Environmental Chemistry* . DOI 10.1071/EN14270.
- Engel, A., Cisternas Novoa, C., Wurst, M., Endres, S., Tang, T., Schartau, M. und Lee, C. (2014) No detectable effect of CO₂ on elemental stoichiometry of *Emiliania huxleyi* in nutrient-limited, acclimated continuous cultures, *Marine Ecology Progress Series*, 507. pp. 15-30. DOI 10.3354/meps10824.
- Endres, S., Galgani, L., Riebesell, U., Schulz, K. G. und Engel, A. (2014) Stimulated Bacterial Growth under Elevated pCO₂: Results from an Off-Shore Mesocosm Study, *PLoS ONE*, 9 (6). e99228. DOI 10.1371/journal.pone.0099228.
- Engel, A., Piontek, J., Grossart, H. P., Riebesell, U., Schulz, K. G. und Sperling, M. (2014) Impact of CO₂ enrichment on organic matter dynamics during nutrient induced coastal phytoplankton blooms, *Journal of Plankton Research*, 36 (3). pp. 641-657. DOI 10.1093/plankt/fbt125.
- Endres, S., Unger, J., Wannicke, N., Nausch, M., Voss, M. und Engel, A. (2013) Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂ – Part 2: Exudation and extracellular enzyme activities, *Biogeosciences (BG)*, 10 . pp. 567-582. DOI 10.5194/bg-10-567-2013.
- Engel, A., Borchard, C., Piontek, J., Schulz, K. G., Riebesell, U. und Bellerby, R. (2013) CO₂ increases ¹⁴C primary production in an Arctic plankton community, *Biogeosciences*, 10 (3). pp. 1291-1308. doi 10.5194/bg-10-1291-2013.
- J. Unger, S. Endres, N. Wannicke, A. Engel, M. Voss, G. Nausch, M. Nausch (2013), Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂ – Part 3: Turnover of phosphorus compounds, *Biogeosciences*, 10, 1483-1499, doi:10.5194/bg-10-1483-2013
- N. Wannicke, S. Endres, A. Engel, H.-P. Grossart, M. Nausch, J. Unger, and M. Voss (2012), Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂ – Part 1: Growth, production and nitrogen cycling, *Biogeosciences*, 9 (8), pp. 2973-2988, doi:10.5194/bg-9-2973-2012
- Borchard, C. und Engel, A. (2012) Organic matter exudation by *Emiliania huxleyi* under simulated future ocean conditions, *Biogeosciences*, 9 (8). pp. 3405-3423.

Andere Publikationen:

- S. Endres (2013), Impact of ocean acidification on microbial degradation of organic matter (Dissertation), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Germany, 193 pp
- Bergen B, Endres S, Engel A, Zark M, Dittmar T, Sommer U, Jürgens K. Acidification and warming affect prominent bacteria during two seasonal phytoplankton bloom mesocosms (in preparation)

Präsentationen:

- Bergen, B., Endres, S., Engel, A., Sommer, U. und Jürgens, K. (2015) Effect of acidification and warming on planktonic bacterial communities during two seasonal phytoplankton bloom mesocosms. In: ASLO Aquatic Sciences Meeting 2015, 22.-27.02.2015, Granada, Spain .
- Engel, A. (2015) Impacts of anthropogenic perturbations on organic matter cycling in the surface ocean. In: Marine research and management, 06.06.2015, University of Latvia, Riga, Latvia .
- Endres, S., Galgani, L., Riebesell, U., Schulz, K. G. und Engel, A. (2014) Do bacteria thrive when the ocean acidifies? Results from an off-shore mesocosm study. In: IMBER Open Science Conference FUTURE OCEAN, 23.-27.06.2014, Bergen, Norway.
- Endres, S., Galgani, L., Riebesell, U., Schulz, K. G. und Engel, A. (2014) Stimulated Bacterial Growth under Elevated $p\text{CO}_2$: Results from an Off-Shore Mesocosm Study. In: BIOACID Annual Meeting 2014, 10-11.09.2014, Kiel, Germany.
- Engel, A. (2014) Dynamics of extracellular organic matter in a changing ocean. In: SOLAS Symposium Day on Biological, Chemical and Physical processes at the ocean-atmosphere interface, 19.06.2014, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel.
- Engel, A. (2014) Pelagic ecosystems in a high CO_2 world: Can we predict what the future may bring? In: Swedish Marine Sciences Conference, 10.-12.11.2014, Umea, Sweden .
- Engel, A. (2014) Rückkopplungsprozesse zwischen Ozean und Atmosphäre in Zeiten des Klimawandels. In: Naturwissenschaftlicher Verein Schleswig-Holsteins, 19.02.2014, Kiel, Germany .
- Endres, S., R. Flerus, L. Galgani, J. Roa, A. Engel (2013) Organic matter turnover by pelagic microorganisms under the impact of ocean acidification; ASLO Aquatic Science Meeting, New Orleans, USA.

Poster:

- Endres, S., Karthäuser, C. and Engel, A. (2014) Combined effects of temperature and CO_2 on organic matter dynamics in the surface microlayer and consequences for air-sea gas exchange. In: BIOACID Annual Meeting 2014, 10-11.09.2014, Kiel, Germany.
- Endres, S., M. Fischer, A. Engel and the Kristineberg KOSMOS Team (2013), Activities of hydrolytic extracellular enzymes in response to acidification; BIOACID II annual meeting, Warnemünde, Germany.
- Endres, S., Galgani, L. and Engel, A. (2012) Marine bacteria thrive when the ocean acidifies. In: ISME14 - 14th International Symposium on Microbial Ecology, 19.-24.08.2012, Copenhagen, Denmark.

WP 1.13:

Aus den Arbeiten bzw. Kollaborationen im Rahmen des WP 1.13 sind bereits nachfolgende *peer-reviewed* Publikationen entstanden. Weitere Publikationen, eine über die adaptiven Veränderungen der ultrastrukturellen *E. huxleyi*-Coccolithenmorphologie bei Anpassung an Ozeanversauerung, sowie weitere Publikation über die genetische Veränderungen bei *E. huxleyi* Populationen die sich im Labor an Ozeanversauerung angepasst haben sind in Arbeit.

Scheinin, M., U. Riebesell, T. A. Ryneerson, K. T. Lohbeck, and S. Collins. 2015. Experimental evolution gone wild. Journal of the Royal Society Interface 12:20150056. DOI 10.1098/rsif.2015.0056

Schlüter, L., K. T. Lohbeck, M. A. Gutowska, J. P. Groger, U. Riebesell, and T. B. H. Reusch. 2014. Adaptation of a globally important coccolithophore to ocean warming and acidification. Nature Climate Change 4:1024–1030. DOI 10.1038/nclimate2379

- Zhang, Y., R. Klapper, K. T. Lohbeck, L. T. Bach, K. G. Schulz, T. B. H. Reusch, and U. Riebesell. 2014. Between- and within-population variations in thermal reaction norms of the coccolithophore *Emiliania huxleyi*. *Limnology and Oceanography*. 59:1570-1580. DOI 10.4319/lo.2014.59.5.1570
- Krueger-Hadfield, S. A., C. Balestreri, J. Schroeder, A. Highfield, P. Helaouët, J. Allum, R. Moate, K. T. Lohbeck, P. I. Miller, U. Riebesell, T. B. H. Reusch, R. E. M. Rickaby, J. Young, G. Hallegraeff, C. Brownlee, and D. C. Schroeder. 2014. Genotyping an *Emiliania huxleyi* (prymnesiophyceae) bloom event in the North Sea reveals evidence of asexual reproduction. *Biogeosciences* 11:5215-5234. DOI 10.5194/bg-11-5215-2014
- Lohbeck, K. T., U. Riebesell, and T. B. H. Reusch. 2014. Gene expression changes in the coccolithophore *Emiliania huxleyi* after 500 generations of selection to ocean acidification. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281:20140003. DOI 10.1098/rspb.2014.0003

WP 2.3:

Erfolgt bzw in Begutachtung:

- Werner, F.J., A. Graiff, B. Matthiessen. 2015. Temperature effects on seaweed-sustaining top-down control vary with season. *Oecologia*. DOI 10.1007/s00442-015-3489-x.
- Werner, F.J., A. Graiff, B. Matthiessen. (in review). Even moderate nutrient enrichment negatively adds up to global climate change effects on a habitat-forming seaweed system. *Limnology & Oceanography*.
- Werner, F.J., B. Matthiessen. (in review). Warming has stronger direct than indirect effects on *Fucus vesiculosus*-associated microalgal biomass in spring. *Marine Ecology Progress Series*

Geplant:

- Werner, F.J., B. Matthiessen. Effects of warming and increased seawater [CO₂] on the epiphyte species turnover in a Baltic Sea *Fucus vesiculosus* system across seasons.
- Werner, F.J., B. Matthiessen. The relative importance of epiphyte diversity on biomass.
- Werner, F.J., B. Matthiessen. Epiphytic vs bacterial biomass in a *Fucus*-associated system under elevated temperature and [CO₂].

WP 2.5:

Publikationen

- Al-Janabi B., Kruse I., Graiff A., Karsten U. and Wahl M. 2015. Correlations of sensitivities towards warming, acidification and nutrient enrichment in sibling groups of *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyceae) germlings enhances the sensitivity to local upwelling (*in prep.*)
- Al-Janabi B., Kruse I., Graiff A. and Wahl M. 2015. Buffering and amplifying interactions among heat wave, hypoxic upwelling and nutrient enrichment impacting early life-stage *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyceae). *PLoS ONE* (under review).
- Al-Janabi B., Kruse I., Graiff A., Karsten U. and Wahl M. 2015. Genotypic variation in tolerance to warming and acidification of early life-stage *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyceae) in a seasonally fluctuating environment. *Marine Biology* (under review).
- Harvey, B., Al-Janabi, B., Broszeit, S. et al. 2014. Evolution of marine organisms under climate change at different levels of biological organisation. *Water* 6 (11). pp. 3545-3574. DOI 10.3390/w6113545
- Wahl, M., Buchholz, B., Winde, V., Golomb, D., Guy Haim, T., Müller, J., Rilov, G., Scotti, M., Boettcher, M.. 2015. A mesocosm concept for the simulation of near-natural shallow underwater climates: The Kiel Outdoor Benthocosms (KOB). *Limn. Oceanogr. Methods* (in press)

Wahl, M., Saderne, V., Sawall, Y. 2015. How good are we at assessing the impact of ocean acidification in coastal systems? Limitations, omissions and strengths of commonly used experimental approaches with a special emphasis on the neglected role of fluctuations. Mar. Freshw. Res. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/MF14154>

Vorträge/ Konferenzen

Al-Janabi, B. et al. 2015. Correlated and anti-correlated sensitivities to global change factors will determine the fate of *Fucus vesiculosus*. Highlight talk: Consortium “Benthic Assemblages”, Bioacid II Final Meeting, Kiel, Germany.

Al-Janabi, B. et al. 2015. The interaction between intraspecific genetic diversity and global environmental change in early life-stage *Fucus vesiculosus*. Aquatic Biodiversity and Ecosystems conference, Liverpool, England.

Al-Janabi, B. et al. 2015. Tolerance to climate change of early life-stage *Fucus vesiculosus* varies among sibling groups. European Phycology Congress, London, England.

Al-Janabi, B. et al. 2015. Interaction between intraspecific genetic diversity and environmental stress in early life-stage macroalgae. Aquatic Sciences Meeting, Granada, Spain.

Al-Janabi, B. et al. 2014. Effects of climate change on benthic communities in the Baltic Sea – Kiel Benthocosms. Akkeshi Marine Station, University of Hokkaido, Hokkaido, Japan.

Al-Janabi, B. et al. 2014. Response of genetic diversity levels of early life-stage *Fucus vesiculosus* on two climate change parameters. Scientific Conference of the Phycology Section of the German Botanical Society, Stralsund, Germany.

Wahl M., S. Schneider, V. Saderne, B. Buchholz, Y. Sawall, 2014 (invited talk). Zooming in on climate change: different challenges and chances at different scales? ITRS, Perth, Australia

Wahl M., Balsam Al Janabi, Inken Kruse, Stefanie Raddatz, Franziska Werner, Birte Mensch, Angelika Graiff, Andreas Pansch, Vera Winde, Isabelle Taubner, Florian Böhm, Björn Buchholz, 2015 (invited talk). Responses of benthic assemblages to interactive stress. UKOA Symposium, London, GB

Poster

Al-Janabi, B., Graiff, A., Karsten, U., Kruse, I. und Wahl, M. (2014) Does genetic diversity of *F. vesiculosus* germlings confer resistance towards climate change stress? BIOACID Annual Meeting 2014, Kiel, Germany.

Al-Janabi, B., Graiff, A., Kruse, I., Wahl, M., Karsten, U. und Käse, L. (2013) The role of genetic diversity levels on sensibility to global change in early life-stage macroalgae BIOACID Annual Meeting 2013, Rostock-Warnemünde, Germany .

Al-Janabi, B., Kruse, I. und Wahl, M. (2013) Interaction between genetic diversity and climate change in seaweed germlings. CeMEB course: Marine evolution under climate change, Kristineberg, Sweden.

WP 3.4:

Publikationen (eingereicht / in Vorbereitung):

Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G (in Vorbereitung). Long-term ocean acidification sensitivity of Baltic blue mussel *Mytilus edulis*: comparison of tolerant vs. sensitive families.

Thomsen J, Stapp LS, Haynert K, Schade H, Danelli M, Lannig, G, Wegner K, Melzner F (2016). Naturally acidified habitat selects for ocean acidification tolerant mussels, Global Change Biology, unter Begutachtung.

Hüning AK, Thomsen J, Beniash E, Zuzow MJ, Saphörster J, Findeisen U, Sokolova IM, Pörtner HO, Lucassen M, Tomanek L, Melzner F (2016). Long-term acclimation of blue mussels to ocean acidification: impacts on proteome and energy budget, Journal of Experimental Biology, unter Begutachtung.

Publikationen (begutachtet):

- Thomsen J, Haynert K, Wegner KM, Melzner F (2015). Impact of seawater carbonate chemistry on the calcification of marine bivalves, *Biogeosciences*, 12:4209-4220.
- Thomsen J, Casties I, Pansch C, Körtzinger A, Melzner F (2013). Food availability outweighs ocean acidification in the mussel *Mytilus edulis*: laboratory and field experiments, *Global Change Biology*, 19:1017-1027.
- Hüning A, Melzner F, Thomsen J, Gutowska MA, Krämer L, Rosenstiel P, Pörtner HO, Philipp EER, Lucassen M (2013). Impacts of seawater acidification on mantle gene expression patterns of the Baltic Sea blue mussel; implications for shell formation and energy budget, *Marine Biology*, 160: 1845-1861.
- Melzner F, Körtzinger A, Koeve W, Oschlies A, Gutowska MA, Bange HW, Hansen H-P (2013). Future ocean acidification will be amplified by hypoxia in coastal habitats, *Marine Biology*, 160: 1875-1888.
- Appelhaus Y, Thomsen J, Opitz S, Pansch C, Melzner F, Wahl M (2014). The influence of long-term acclimation to seawater acidification on food consumption, growth, metabolism and calcification of juvenile sea stars (*Asterias rubens*), *Marine Ecology - Progress Series*, 509:227-239.

Präsentationen:

- Melzner F (2014). Impacts of ocean acidification on Baltic Sea calcifying animals, California State University Monterey Bay (CSUMB), USA, eingeladener Vortrag.
- Melzner F (2014). Impacts of climate change on Baltic Sea marine invertebrates, University of California at Davis (UCD) Bodega Bay Marine Laboratory, USA, eingeladener Vortrag.
- Melzner F (2014). Impacts of ocean acidification on marine calcifying animals, Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig, Bonn, eingeladener Vortrag.
- Melzner F (2013). Impacts of ocean acidification on calcifying molluscs, World Congress of Malacology, Azores, Portugal, eingeladener Vortrag.
- Melzner F (2013). Impacts of ocean acidification on marine calcifying animals, Society of Experimental Biology Annual Meeting, Valencia, Spain, eingeladener Vortrag.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014) Variable phenotypic response of Baltic blue mussel (*Mytilus edulis*) to ocean acidification: integrating cellular response and organism performance. 2nd Annual Meeting BIOACID II, Kiel, 10.-11. September 2014.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014) Ocean acidification sensitivity of the Baltic blue mussel – variable phenotypic responses within a population. Annual Meeting of the Society for Experimental Biology, Manchester, UK, 1.-4. Juli 2014.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014) Ocean acidification sensitivity of the Baltic blue mussel – a comparative study between sensitive and tolerant families. AWI PhD Days, Helgoland, 5.-8. Mai 2014
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2013) WP 3.7: Adaptation and metabolic constraints of bivalve reefs to future climate change: Comparison between bivalve reefs from natural CO₂ sites. 1st Annual Meeting BIOACID II, Warnemünde, 1.-2. Oktober 2013.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2013) WP 3.7: Adaptation and metabolic constraints of bivalve reefs to future climate change: Comparison between bivalve reefs from natural CO₂ sites. KickOff Meeting BIOACID II, Kiel, 16.-17. November 2012.
- Thomsen J, Stapp LS, Schade H, Danelli M, Haynert K, Wegner KM, Melzner F (2014) Sensitivity and adaptation potential of *Mytilus edulis* to ocean acidification – A multigenerational study. Ocean Sciences Meeting, Honolulu, USA.
- Thomsen J, Stapp LS, Schade H, Danelli M, Haynert K, Wegner KM, Melzner F (2013) Sensitivity and adaptation potential of *Mytilus edulis* to ocean acidification – A multigenerational study. 1st Annual Meeting BIOACID II, Warnemünde, 1.-2. Oktober 2013.

WP 3.5:

Ragazzola, F., Foster, L. C., Form, A. U., Büscher, J., Hansteen, T. H. and **Fietzke, J. (2013)** Phenotypic plasticity of coralline algae in a High CO₂ world *Ecology and Evolution*, 3 (10). pp. 3436-3446. DOI 10.1002/ece3.723.

Fietzke, J., Ragazzola, F., Halfar, J., Dietze, H., Foster, L. C., Hansteen, T. H., Eisenhauer, A. and Steneck, R. S. (2015) Century-scale trends and seasonality in pH and temperature for shallow zones of the Bering Sea *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (10). pp. 2960-2965. DOI 10.1073/pnas.1419216112.

Wall, M., Ragazzola, F., Foster, L. C., Form, A. U. and Schmidt, D. N. (2015) pH up-regulation as a potential mechanism for the cold-water coral *Lophelia pertusa* to sustain growth in aragonite undersaturated conditions *Biogeosciences* (BG), 12 (23). pp. 6869-6880. DOI 10.5194/bg-12-6869-2015.

Wall, M., Putschim, L., Schmidt, G. M., Jantzen, C., Khokiattiwong, S. and Richter, C. (2015) Large-amplitude internal waves benefit corals during thermal stress *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 282 (1799). p. 20140650. DOI 10.1098/rspb.2014.0650.

Ragazzola, F., Foster, L.C., C. Jones, C.J., Scott, T.B., **Fietzke, J.**, Kilburn, M.R., and Schmidt, D.N. (2016) Impact of high CO₂ on the geochemistry of the coralline algae *Lithothamnion glaciale* *Scientific Reports*, 6:20572, DOI 10.1038/srep20572

Wall, M., Fietzke, J., Schmidt, G.M., Fink, A., Hofmann, L.C., de Beer, D. and Fabricius, K.E. (under revision at *Scientific Reports*) Internal pH regulation facilitates in situ long-term acclimation of massive corals to end-of-century carbon dioxide conditions

Fietzke, J., and Wall, M. (in prep) Assessing µm-scale heterogeneity of boron isotopes and B/C ratios in Cold-Water Coral *Lophelia pertusa* using Laser Ablation 2D-Scanning

WP 3.6:

Erfolgte Publikationen:

Peer-reviewed (in Kooperation mit UKOA):

Hennige, S. J., Wicks, L. C., Kamenos, N. A., Perna, G., Findlay, H. S., Roberts, J. M. (2015) Hidden impacts of ocean acidification to live and dead coral framework. *Proceedings of the Royal Society* **282** (1813).

Sonstige:

Form, A. U., Büscher, J., Hissmann, K., Flögel, S., Wisshak, M., Rüggeberg, A., Bannister, R., Kutti, T., Stapp, L., Bennecke, S., Küter, M., Nachtigall, K., Schauer, J. and Fenske, M. (2015) *RV POSEIDON Cruise Report POS473 LORELEI II: Lophelia REef Lander Expedition and Investigation II, Tromsø – Bergen – Esbjerg, 15.08. – 31.08. – 04.09.2014*. GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel, 25 pp. DOI 10.3289/CR_POS_473.

Form, A. U., Büscher, J., Hissmann, K., Flögel, S., Wisshak, M., Rüggeberg, A., Hennige, S., Bennecke, S., Bannister, R., Schauer, J. and Fenske, M. (2014) *RV POSEIDON Cruise Report POS455 LORELEI Lophelia REef Lander Expedition and Investigation, Bremerhaven - (Kristiansund) - Kiel, 24.06. - (12.07.) - 17.07.2013*. GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel, 29 pp. DOI 10.3289/CR_POS_455.

Geplante Publikationen:

Büscher, J., Form, A., Riebesell, U. (in prep) Combined impacts of ocean acidification and warming on growth, fitness and survival of the cold-water coral *Lophelia pertusa* under different food availabilities in a long-term experiment.

Büscher, J., Form, A., *et al.*, Riebesell, U. (in prep) Interactive effects of ocean acidification and warming on growth, respiration and bioerosion in a gradually manipulating long-term experimental study.

Form, A., Wisshak, M., Titschack, J., Büscher, J., *et al.*, Riebesell, U. (in prep) *In situ* growth and bioerosion rates of the cold-water coral *Lophelia pertusa* from an offshore reef (Sula Ridge) and an inshore reef of the Trondheim Fjord (Nord Leksa) in the Northeast Atlantic.

Büscher, J., Form, A., Flögel, S., Rüggeberg, A., *et al.*, Riebesell, U. (in prep) Physical and hydrochemical habitat characteristic of Norwegian offshore (Sula Ridge) and inshore cold-water coral occurrences in the Northeast Atlantic.

Bachelor-/Masterarbeiten:

Küter, M. (2013) Correlations between the cold-water coral *Lophelia pertusa* and the frequently associated foraminifera *Hyrrokin sarcophaga* with respect to interactions in food uptake. Bachelor Thesis, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, Germany, 41 pp.

Küter, M. (2015) Oxygen consumption and polyp extension rates of the scleractinian cold-water coral *Lophelia pertusa* under different CO₂ end-of-the-century scenarios. Master Thesis, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, Germany, 66 pp.

Klein, V. (in prep) Effects of elevated temperature and starvation on the lipid composition of the cold-water coral *Lophelia pertusa*. Master Thesis, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, Germany.

WP 4.5:

Maneja, R.H., Frommel, A.Y., Browman, H.I., Geffen, A.J., Folkvord, A., Piatkowski, U., Durif, C.M.F., Bjelland, R., Skiftesvik, A.B. and Clemmesen, C. (2015). The swimming kinematics and foraging behavior of larval Atlantic herring, (*Clupea harengus* L.), are unaffected by elevated pCO₂. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 466:42-48.

Clemmesen, C. (2014) Herring organs damaged by acidified seawater "Science for Environment Policy": European Commission DG Environment News Alert Service, 391 . p. 1.

Schade F.M, Clemmesen C., Wegner, K. M. (2014) Within- and trans- generational effects of ocean acidification on life history of marine three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Mar. Biol. DOI 10.1007/s00227-014-2450-6

Maneja R.H., Dineshran R., Thiyagarajan V., Skiftesvik A.B., Frommel A.Y., Clemmesen C., Geffen A.J. and Browman H.I. (2014) The proteome of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) larvae is resistant to elevated pCO₂. Mar. Poll. Bull: doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.07.030

Frommel A.Y., Maneja R.H., Lowe D., Pascoe C.K., Geffen A.J., Folkvord A., Piatkowski U. and Clemmesen C. (2014) Organ damage in Atlantic herring larvae as a result of ocean acidification. Ecol. Appl. 24(5): 1131–1143.

Maneja RH, Frommel AY, Geffen AJ, Folkvord A, Piatkowski U, Chang MY, Clemmesen C (2013). Effects of ocean acidification on the calcification of otoliths of larval Atlantic cod, *Gadus morhua* L., Mar. Ecol. Prog. Ser. 477: 251–258. Data in Pangea

- Maneja, R.H., Frommel, A.Y., Browman, H.I., Clemmesen, C., Geffen, A.J., Folkvord, A., Piatkowski, U., Durif, C.M.F., Bjelland, R. and Skiftesvik, A.B (2013) The swimming kinematics of larval Atlantic cod, *Gadus morhua* L., are resilient to elevated seawater pCO₂. Mar. Biol. 160: 1963-1972. Data in Pangea
- Frommel, A.Y., Schubert, A., Piatkowski, U., Clemmesen, C. (2013) Egg and early larval stages of Baltic cod, *Gadus morhua* are robust to high levels of ocean acidification. Mar Biol 160, 1825-1834. Data in Pangea
- Garrard, S.L., Hunter, R.C., Frommel, A.Y., Lane, A.C., Phillips, J.C., Cooper, R., Dineshram, R., Cardini, U., McCoy, S.J., Arnberg, M., Rodrigues Alves, B.G., Annane, S., de Orte, M.R., Kumar, A., Aguirre-Martínez, G.V., Maneja, R.H., Basallote, M.D., Ape, F., Torstensson, A., Bjoerk, M.M. (2013) Biological impacts of ocean acidification: a postgraduate perspective on research priorities. Mar. Biol. 160: 1789-1805.
- Frommel, AY, Maneja, R, Lowe, D, Malzahn, M, Geffen, AJ, Folkvord, A, Piatkowski, U, Reusch, TBH, Clemmesen, C (2012) Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification. Nature Climate Change 2, 42-46. Data in Pangea

WP 4.9:

Es ist geplant, die experimentellen Daten zur Lipidzusammensetzung (Fettsäuren, Lipidklassen) bis Ende des Jahres 2016 zu publizieren. Der vorläufige Titel des in Vorbereitung befindlichen Manuskriptes lautet: „Effects of ocean acidification and warming on the lipid biochemistry of early developmental stages of thecosome pteropods (*Limacina* spp.)“. Autoren sind: S. Lischka, D. Janssen, U. Riebesell, M. Graeve.

Stand des Projektverlaufes bzw. vorläufige Ergebnisse dieses WP wurden auf den BIOACID Jahrestreffen 2013, 2014 und 2015 vorgestellt.

Zitierte Literatur

- Böer M, Graeve M, Kattner G (2007) Exceptional long-term starvation ability and sites of lipid storage of the Arctic pteropod *Clione limacina*. Polar Biol 30:571–580
- Gannefors C, Böer M, Kattner G, Graeve G, Eiane K, Gulliksen B, Hop H, Falk-Petersen S (2005) The Arctic sea butterfly *Limacina helicina*: lipids and life strategy. Mar Biol 147:169–177
- Lischka S, Riebesell U (2012) Synergistic effects of ocean acidification and warming on overwintering pteropods in the Arctic. Global Change Biology 18:3517–3528
- Lischka S, Büdenbender J, Boxhammer T, Riebesell U (2011) Impact of ocean acidification and elevated temperatures on early juveniles of the polar shelled pteropod *Limacina helicina*: mortality, shell degradation, and shell growth. Biogeosciences 8:919–932

WP 5.1:

Drei Arbeiten zum Kernbereich des Teilprojektes (Evaluation biogeochemischer Modelle) sind in begutachteten Zeitschriften erschienen:

- (1) Duteil, O., Koeve, W., Oschlies, A., Bianchi, D., Galbraith, E., Kriest, I., Mearns, R. (2013) A novel estimate of ocean oxygen utilization points to a reduced rate of respiration in the ocean interior. Biogeosciences, 10, 7723-7738. doi: 10.5194/bg-10-1-2013.

(2) Koeve, W., Duteil, O., Oschlies, A., Kähler, P. and Segschneider, J. (2014) Methods to evaluate CaCO₃ cycle modules in coupled global biogeochemical ocean models, *Geoscientific Model Development*, 7 . pp. 2393-2408. doi: 10.5194/gmd-7-2393-2014.

(3) Koeve, W., Wagner, H., Kähler, P. and Oschlies, A. (2015) 14C-age tracers in global ocean circulation models, *Geoscientific Model Development* , 8 pp. 2079-2094, doi: 10.5194/gmdd-8-2079-2015.

Zwei weitere Beiträge zum Kernbereich des Teilprojektes (Modellevaluation, CMIP5) sind eingereicht bzw. liegen als Manuskript vor:

(4) Koeve, W., Kähler, P. (MS eingereicht bei Global Biogeochemical Cycles). Oxygen utilization rate (OUR) underestimates ocean respiration – a model study.

(5) Koeve et al. (Manuskript liegt vor, Einreichung f. 2016 geplant) Is ALK-DIC a suitable proxy of seawater carbonate ion concentration in the framework of global climate model evaluation?

Darüber hinaus wurden aus dem Teilprojekt Beiträge zu den nachgenannten Arbeiten erbracht. Diese Beiträge sind projektrelevant wegen ihres Bezuges zur Modellevaluation (Wagner et al.) bzw. zur Ozeanversauerung im allgemeinen (Feng et al., Feng et al.).

(6) Feng, Y.E., Keller, D., Koeve, W., Oschlies, A., 2014/5. (MS nach Begutachtung wieder eingereicht, *Environmental Research Letters*). Can artificial ocean alkalization protect tropical coral ecosystems from ocean acidification?

(7) Wagner, H., Koeve, W., Kriest, I., Khatiwala, S., Oschlies, A., 2016, (MS eingereicht, *J. Geophys. Res.*). Sensitivity of simulated deep-ocean natural radiocarbon to gas exchange velocity and historical atmospheric $\delta^{14}\text{C}$ variations.

(8) Feng, Y.E., Koeve, W., Keller, D., Oschlies, A., 2016 (MS liegt vor, wird in 2016 eingereicht) An assessment of the CO₂ removal potential of coastal ocean alkalization.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der Arbeiten auf verschiedenen internationalen und nationalen Kongressen als Vortrag (10) bzw. Poster (10) vorgestellt und diskutiert. Eine vollständige findet sich unter <http://oceanrep.geomar.de/view/creators/b3103ddc-e4ae-40c3-a0b3-b00cd75f30b1.html>

WP 5.3:

Erfolgte Veröffentlichung:

Getzlaff, J., Dietze, H. und Oschlies, A. (2016) *Simulated effects of southern hemispheric wind changes on the Pacific oxygen minimum zone* *Geophysical Research Letters* . DOI [10.1002/2015GL066841](https://doi.org/10.1002/2015GL066841).

Geplante Veröffentlichung:

Getzlaff, J. and Oschlies, A. (in prep): Can fishery impact the marine biogeochemistry?

AWI Bremerhaven (FKZ 03F0655B)

- WP 1.2: Impact of Ocean Acidification on the phytoplankton community in North Sea coastal waters
- WP 1.3: Pelagic ecosystems under ocean acidification: ecological, biogeochemical, and evolutionary responses
- WP 1.6: The role of microzooplankton as intermediary between microbial and traditional food webs under future ocean acidification and warming scenarios
- WP 1.7: Response of subtropical Atlantic (Gran Canaria) and North Sea (Gullmar Fjord) mesozooplankton to ocean acidification
- WP 1.14: Adaptations to Ocean Acidification in mesozooplankton
- WP 2.1: Direct and indirect effects of environmental stress: shifts in macrophyte interactions with consumers and epibionts and ensuing community re-structuring
- WP 3.3: Physiological responses of zooxanthellate corals to high pCO₂
- WP 3.7: Adaptation and metabolic constraints of bivalve reefs to future climate change: Comparison between bivalve reefs from natural CO₂ sites
- WP 4.1: Energy budget, growth and exercises as indicators for performance and fitness capacity
- WP 4.2: Mitochondrial and cellular energy budgets
- WP 4.3: Vergleichende Genomik: Verknüpfen von Populationsstruktur und transkriptomischer Plastizität mit der Empfindlichkeit von Arten gegenüber Umweltfaktoren
- WP 4.4: Effects of Ocean Acidification on the early life stages of cod - from fertilization to hatching larvae
- WP 4.6: Ocean Acidification and warming induced disturbances in behavioural physiology of juvenile fishes: mechanisms behind
- WP 4.8: The impact of elevated CO₂ and temperature on energy budget and acid-base regulation of calanoid copepods during critical life phases



Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Am Handelshafen 12

27570 Bremerhaven

Telefon: +49(471)4831-1307

fmark@awi-bremerhaven.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 1.2:

Ziel dieses Teilprojektes war es, den Einfluss von Ozeanversauerung auf die Interaktionen von Phytoplanktonlebensgemeinschaften zu untersuchen. Besonderes Augenmerk war hierbei auf Diatomeen und Dinoflagellaten gerichtet. Es sollte verstanden werden welche Arten im besonderen Maße von der Ozeanversauerung betroffen sind. Außerdem sollte untersucht werden welchen Einfluss OA auf die Entwicklung von möglichen giftigen Algenblüten hat.

WP 1.3:

Ziel dieses Teilprojektes war es, den Einfluss von Ozeanversauerung auf natürliche Phytoplanktonlebensgemeinschaften zu untersuchen. Besonderes Augenmerk war hierbei auf Coccolithophoriden gerichtet. Es sollte verstanden werden welche Arten im besonderen Maße von der Ozeanversauerung betroffen sind. Außerdem sollte untersucht werden welche physiologischen Mechanismen diesen Veränderungen zu Grunde liegen.

WP 1.6:

Das Arbeitspaket 1.6 hatte zum Ziel, die Rolle des Mikrozooplankton (MZP) als Bindeglied zwischen mikrobiellen und traditionellen Nahrungsnetzen unter sich verändernden CO₂- und Temperaturbedingungen zu untersuchen. Mithilfe von großskaligen Mesokomenversuchen (im Freiland und im Labor) sollten Phytoplankton-Mikrozooplankton-Mesozooplankton Interaktionen genauer betrachtet werden, um potentielle Verschiebungen im Nahrungsnetz als Folge von Ozeanversauerung und Klimaerwärmung genauer zu analysieren. Hierbei sollten insbesondere direkte und indirekte Effekten durch erhöhte CO₂- und Temperaturbedingungen untersucht werden.

WP 1.7:

Das Arbeitspaket 1.7 hatte als Ziel zu untersuchen in wie fern Zooplanktonorganismen durch Ozeanversauerung beeinflusst werden. Diese Untersuchungen sollten sowohl in den in dem Projekt durchzuführenden Mesokosmen Versuchen als auch in kleinskaligen Laboransätzen untersucht werden. In diesem Zusammenhang war es wichtig zu differenzieren zwischen direkten (pH) Effekten auf das Zooplankton und indirekten Effekten die durch eine mit der erhöhten CO₂ Verfügbarkeit eingehende Änderung in der Nahrungsqualität entstehen.

WP 1.14:

Das Arbeitspaket 1.14 hatte als Ziel festzustellen ob Ozeanversauerung auch einen Selektionsdruck ausübt auf das Zooplankton. Da evolutionäre Änderungen nur auftreten können wenn 1. Es Variabilität innerhalb von Populationen gibt, und 2. Diese Variabilität auch wenigstens teils übererbbar ist zielte das Projekt darauf diese zwei Voraussetzungen zu testen. In den BIOACID II Mesokosmen wurde die Variabilität zwischen und innerhalb von Arten untersucht, und festgestellt ob es in Laufe der Versuche Änderungen in der Populationszusammensetzung geben wurde. Zudem wurde in getrennten Selektionsexperimenten getestet ob OA tatsächlich einen Selektionsdruck ausübt der groß genug ist Änderungen in einer Population zu bewirken.

WP 2.1:

Die Aufgabenstellung des WP 2.1 bestand darin, den interaktiven Einfluss von Ozeanversauerung, Klimaerwärmung und Nährstoffveränderungen auf Makrophytengemeinschaften (*Fucus vesiculosus*

und *Zostera noltii*) zu untersuchen und festzustellen ob es unter zukünftigen Umweltbedingungen möglicherweise zu einer Verschiebung biotischer Interaktionen in den untersuchten Lebensgemeinschaften kommt. Die Experimente sollten unter kontrollierten und naturnahen Bedingungen sowohl in Nord- als auch Ostsee, in dafür gebauten Mesokosmen-Anlagen durchgeführt werden. Der Hauptfokus des WP 2.1 lag dabei auf den Untersuchungen Nordsee-Lebensgemeinschaften.

WP 3.3:

Gesamtziel des Teilprojektes (WP) 3.3 war es, den Effekt von Ozeanversauerung (Ocean Acidification, OA) auf das Wachstum, die Physiologie und den Metabolismus von Korallen in einem Riffsystem zu untersuchen. Vulkanische CO₂-Ausstritte in Korallenriffen Papua Neuguineas (PNG) bieten aufgrund des räumlichen Nebeneinanders unterschiedlicher CO₂-Partialdrucke (pCO₂) ein natürliches Labor, um Anpassungsstrategien der Korallen an hohe pCO₂ unter schwankenden Umwelteinflüssen wie Licht oder Nährstoffe zu untersuchen. Das Hauptinteresse des WP 3.3 lag in der vergleichenden Untersuchung von Kalzifizierung, Photosynthese und Respiration an OA-empfindlichen und -unempfindlichen Korallen im Feld und im Labor.

WP 3.7:

Im Fokus dieses WPs lag die Untersuchung, inwieweit die Kompensationsfähigkeit der durch Ozeanversauerung (OA)-induzierten Veränderungen im Säure-Base-Haushalt den Energiehaushalt mariner Tiere (mit Schwerpunkt auf Miesmuschel, Auster) beeinträchtigt und somit deren OA Empfindlichkeit determiniert. Die kombinierten Untersuchungen auf Organismen- und Zellebene sollten das Verständnis über die Mechanismen vertiefen und Rückschlüsse auf die Leistungskapazität der Tiere unter zukünftigen Umweltszenarien erlauben.

WP 4.1:

Ziel dieses WP war es, den Einfluss von erhöhtem PCO₂ auf das Temperaturtoleranzfenster von juvenilen Atlantischen Kabeljau und Polardorsch auf Ganztierebene zu testen. Dazu wurde untersucht, ob sich das Temperaturfenster verschiebt oder verkleinert, hervorgerufen durch eine Änderung der Energieflüsse und -verteilung im Organismus und einer sich daraus ergebenden Abnahme von Anpassungs- und physiologischer Leistungsfähigkeit. In den polaren Gewässern Spitzbergens treffen derzeit saisonal zumindest juvenile Kabeljau und Polardorsche aufeinander und stehen dort in Futter- und Habitatkonkurrenz. Daher untersuchte dieses WP speziell den Einfluss von PCO₂ und Temperatur auf die o.g. Parameter bei juvenilen Fischen.

WP 4.2:

Ziel dieses Teilprojektes war es, die Lücke zwischen den Untersuchungen zum Ganztierstoffwechsel (WP 4.1) und den molekulargenetischen Untersuchungen (WP 4.3) zu schließen. Dazu sollten die Auswirkungen kombinierter PCO₂- und Temperaturakklimation auf die physiologischen Mechanismen und Stoffwechselwege identifiziert und analysiert werden, die den Änderungen im Energiebudget des Ganztiers zugrunde liegen. Dies geschah am Beispiel des mitochondrialen Energiestoffwechsels und der Expressions- und Funktionsanalyse der beteiligten Enzyme. Weiterhin sollte eine Expressions- und Funktionsanalyse der Isoformen des respiratorischen Pigmentes Hämoglobin in beiden Fischarten (*Gadus morhua* und *Boreogadus saida*) durchgeführt werden.

WP 4.3:

Die Aufgabe dieses Teilprojektes bestand darin, die genetische Basis klima-getriebener Evolution und die Empfindlichkeit der untersuchten Fisch-Arten (Atlantischer Kabeljau: *Gadus morhua* und Polardorsch: *Boreogadus saida*) gegenüber den akuten, prognostizierten Klima-Veränderungen (Ozeanversauerung und Erwärmung: OAW) zu ergründen. Mit Hilfe von Akklimatisierungsexperimenten sollten selektive genetische Marker identifiziert werden und in Bezug gesetzt werden zu neutralen genetischen Markern und deren Variation in natürlichen Populationen, die unterschiedlichen natürlichen Bedingungen ausgesetzt und möglicherweise daran angepasst sind. Dieser Vergleich erlaubt Aussagen über die Selektivität der funktionellen *traits*.

WP 4.4:

Das erste Ziel war es abzuschätzen, welchen Einfluss die Ozeanversauerung auf das Temperaturtoleranzfenster der Fertilisation des Kabeljau (*Gadus morhua*) und Polardorsch (*Boreogadus saida*) hat, durch Messungen des Fertilisationserfolges.

Das zweite Ziel war es, die Leistungsfähigkeit der Embryonen beider Arten zu bestimmen. Um dieses Ziel zu erreichen wurden die Embryonen bis zum Schlupf bei unterschiedlichen Temperaturen und CO₂ Konzentrationen gehalten und verschiedene physiologische Parameter gemessen.

Das dritte Ziel war es, den Effekt von Ozeanversauerung auf das Temperaturtoleranzfenster der späten Lebensstadien bei akuter Erwärmung zu bestimmen.

WP 4.6:

Ziel der Arbeiten in diesem WP war die Untersuchung von Verhaltensänderungen vom Polar Dorsch, *Boreogadus saida*, die unter Ozeanversauerung und Erwärmung auftauchen könnten, im Vergleich zum nach Norden abwandernden Kabeljau, *Gadus morhua*. Im Hinblick auf Wechselwirkungen der beiden Arten untereinander sollten mögliche Unterschiede in den verhaltensphysiologischen Änderungen zwischen den beiden Arten erfasst und die möglichen Auswirkungen auf ihre Interaktion mit dem Nahrungsnetz beurteilt werden. Ein Schwerpunkt der Arbeiten bildete dabei die Untersuchung der zugrundeliegenden verhaltensphysiologischen Mechanismen. So galt es die Frage zu klären, ob die Verhaltensänderungen mit einer neurologischen Störung der Säure-Basen-Regulation verknüpft sind und ob es im Gehirn zu weiteren Veränderungen in der Gewebedurchblutung und des Sauerstoffgehaltes in Hirnarealen kommen kann. Des Weiteren sollten die zugrundeliegenden zellulären Prozesse und die beteiligten Stoffwechselwege einzelner Neurotransmitter, die für die verhaltensphysiologischen Änderungen in Betracht kommen, aufgeklärt werden.

WP 4.8:

Ziel unseres Teilprojektes war es, im Rahmen von Inkubationsexperimenten direkte und indirekte Einflüsse von CO₂ auf die Physiologie der arktischen *Calanus*-Arten (*C. finmarchicus*, *C. glacialis*, *C. hyperboreus*) zu untersuchen und die zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen aufzudecken. Dazu haben wir die Säurebasen-Regulation in Copepoden, die sich in der Übergangsphase zwischen Diapause und Aktivität befinden, bei unterschiedlichem Seewasser-pH zu untersuchen. Der zweite Schwerpunkt war es, zu testen, ob Diatomeen (Kieselalgen) und Dinoflagellaten gleichermaßen gut aufgenommen und verwertet werden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 1.2:

Das Team um Dr. Uwe John und Dr. Dedmer van de Waal, später ergänzt durch Dr. Sylke Wohlrab und Dr. Kerstin Töbe ist auf ökophysiologische und molekular ökologische Untersuchungen an Phytoplankton spezialisiert. Die exzellente experimentelle Infrastruktur am GEOMAR in Form der KOSMOS offshore Mesokosmen und die molekular biologische Fazilitäten am AWI haben sicher gestellt, dass die oben genannten Fragestellungen erfolgreich untersucht werden konnten.

WP 1.3:

Das Team um Dr. Kai Schulz und Dr. Björn Rost ist auf physiologische und ökologische Untersuchungen an Phytoplankton (insbesondere Coccolithophoriden) spezialisiert. Die exzellente experimentelle Infrastruktur am GEOMAR in Form der KOSMOS offshore Mesokosmen und des Membraneinlass-Massenspektrometer-Labors am AWI haben sicher gestellt, dass die oben genannten Fragestellungen sowohl unter naturnahen und das gesamte System umfassenden als auch unter kontrollierten Labor-Bedingungen bearbeitet werden konnten.

WP 1.6:

Das Arbeitspaket 1.6 war Bestandteil von Konsortium 1 („Pelagic ecosystems under ocean acidification: ecological, biogeochemical and evolutionary responses“) im Rahmen des BIOACID II Programms. Dieses Arbeitspaket sollte sich sowohl an der Durchführung der Ostsee-Indoor-Mesokosmenexperimente (Baltic Sea autumn and summer experiments) sowie an den Outdoor-Mesokosmenexperimenten (KOSMOS Gullmarfjord- and Gran Canaria experiments) beteiligen. Bei der Durchführung der Experimente gab es gewisse Probleme beim Festlegen der jeweiligen Startzeitpunkte der Experimente. Das erste Experiment (Baltic Sea autumn experiment) startete direkt nach Projektstart im Herbst 2012, zu einem Zeitpunkt, an dem die in diesem Projekt angestellten Doktoranden und Doktorandinnen erst vor kurzer Zeit ihre Arbeit aufgenommen hatten und somit nur wenig Einarbeitungszeit vorhanden war. Der Start für das Herbstexperiment lag dennoch etwas spät im Jahr, an dem der Großteil der Herbstblüte sich schon im Absterben befunden hat. Beim KOSMOS Gullmarfjord-Experiment sollte eine Frühjahrsblütensituation im Plankton untersucht werden, durch Eisgang im Fjord verzögerte sich der Start dieses Experimentes. Der Start des ersten KOSMOS Gran Canaria Experiment (GC 1.0) erfolgte im frühen Frühjahr 2014, musste jedoch aufgrund der prekären Wettersituation und dem Verlust mehrerer Mesokosmen abgebrochen werden. In einem zweiten Anlauf konnte das KOSMOS Gran Canaria Experiment (GC 2.0) im Herbst 2014 erfolgreich durchgeführt werden. Dies hatte einen großen, logistischen Zusatzaufwand zur Folge und die verbliebene Zeit für die Analyse und Auswertung der Proben war somit sehr knapp. Durch diese Verzögerung ist die Berichterstattung für GC 2.0 bis zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

WP 1.7:

Das Arbeitspaket war eingebettet in dem gesamt BIOACID II Programm. Hierzu sollten zentral organisiert zwei große Freiland Mesokosmenexperimente durchgeführt werden. Das Timing und die Durchführung der Experimente war nicht ganz optimal. Die ersten Vorbereitungstreffen des ersten (Kristineberg 2013) Versuches fanden vor offiziellem Projektanfang statt, und damit ohne die in diesem Projekt anzustellenden Doktoranden und Doktorandinnen. Die Durchführung des Projektes verzögerte sich dann etwas als Folge von Eisbedingungen. Das zweite große Experiment, ursprünglich geplant für Anfang 2014, musste als Folge einer Zerstörung der Meskosmen in dieser Periode Ende

2014 noch mal neu angefangen worden. Dies bedeutete dass die verbliebene Zeit für Analyse, Zählungen, und Aufarbeitung recht kurz war, und die Berichterstattung für das zweite Experiment noch nicht abgeschlossen ist.

WP 1.14:

Das Arbeitspaket war eingebettet in dem gesamt BIOACID II Programm. Hierzu sollten zentral organisiert zwei große Freiland Mesokosmenexperimente durchgeführt werden. Das Timing und die Durchführung der Experimente war nicht ganz optimal. Die ersten Vorbereitungstreffen des ersten (Kristineberg 2013) Versuches fanden vor offiziellem Projektanfang statt, und damit ohne die in diesem Projekt anzustellenden Doktoranden und Doktorandinnen. Die Durchführung des Projektes verzögerte sich dann etwas als Folge von Eisbedingungen. Das zweite große Experiment, ursprünglich geplant für Anfang 2014, musste als Folge einer Zerstörung der Meskosmen in dieser Periode Ende 2014 noch mal neu begonnen werden. Dies bedeutete dass die verbliebene Zeit für Analyse, Zählungen, und Aufarbeitung recht kurz war, und die Berichterstattung für das zweite Experiment noch nicht abgeschlossen ist. Zudem war die Analyse der genetischen Daten der Meskosmen viel aufwendiger und zeitintensiver als erwartet.

WP 2.1:



Die Experimente wurden an der Wattenmeerstation des Alfred-Wegener-Instituts auf Sylt durchgeführt. Durch den Bau der Sylter Mesokosmen (s. Abb. 1) und der bereits vorhandenen ausgezeichneten Infrastruktur wurden ideale Bedingungen geschaffen um solche Art von Experimenten durchzuführen.

Abbildung 1: Mesokosmen Sylt

WP 3.3:

Die wissenschaftlichen Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens waren sehr gut. Die Arbeitsgruppe arbeitet seit vielen Jahren in Korallenriffen des Roten Meeres und Südost-Asiens (Indonesien, Thailand, China) und konnte mit Frau Dr. Gertraud Schmidt eine technisch versierte und riffökologisch erfahrene Postdoktorandin für das Projekt gewinnen, die zudem sehr gute Kontakte zu den am Projekt beteiligten Partnern unterhält. Mit der Mikrosensor-Gruppe von Dr. Dirk de Beer am MPI Bremen und der Arbeitsgruppe von Frau Dr. Katharina Fabricius am Australian Institute for Marine Science (AIMS), konnten zwei der weltweit führenden Forschergruppen auf ihrem jeweiligen Gebiet

für die Zusammenarbeit gewonnen werden. Frau Fabricius war zudem als Pionierin der CO₂-beeinflussten Korallenriffe Papua Neuguineas für die wissenschaftliche und logistische Durchführung des Vorhabens unerlässlich.

WP 3.7:

Die Projektarbeit wurde in enger Zusammenarbeit von G. Lannig und C. Bock vom Alfred Wegener Institut, Bremerhaven durchgeführt, wobei sie auf ihre u.a. in BIOACID I erworbenen Kenntnisse zur Durchführung von Experimenten zum Einfluss von OA auf kalzifizierende Meerestiere aufbauten (z.B. Lannig et al. 2010; Schalkhauser et al. 2013, 2014). Die Zusammenarbeit mit WP 3.4 (PI F. Melzner, GEOMAR) erlaubte weiterhin das Durchführen des arbeits- und hälterungsintensiven Multigenerationenexperiments mit der Ostsee Miesmuschel, *Mytilus edulis* unter verschiedenen OA Szenarien. Unsere physiologisch-ausgestatteten Labore in der Sektion Integrative Ökophysiologie am AWI gewährleisteten die detaillierte Untersuchung der OA-induzierten Veränderung im Säure-Base-Haushalt (extrazellulärer pH und Bikarbonatkonzentration, extrazellulärer CO₂ Partialdruck) und deren Auswirkung auf den Energiehaushalt (Ganztier-Sauerstoffverbrauch, Filtrationsleistung, zellulärer Sauerstoffverbrauch und Energiebudget, enzymatische Analysen). Unter Leitung von C. Bock stand zudem das MRT und NMR Labor zur Analyse von Gewebeextrakten bzw. Gewebe-Biopsien zur Verfügung.

Das Ausscheiden unserer Projektpartnerin E. Philipp (2013) und deren Expertise in Immunologie machten eine teilweise Neugewichtung der geplanten Arbeiten notwendig, um der übergeordneten Fragestellung, ob und welche energetischen Prozesse unter Ozeanversauerung kostenaufwendiger und/oder limitiert werden und infolgedessen zu Veränderungen im Energiehaushalt beitragen, gerecht werden zu können.

WP 4.1:

Mit Dr. Rainer Knust und Dr. Felix Mark standen diesem Projekt je ein erfahrener Fischökologe und –physiologe vor. Nach Einstellung von Frau Dipl.-Biol. Kristina Kunz im September 2012 als Doktorandin im Projekt und einer kurzen Einarbeitungsphase wurde mit der Umsetzung der geplanten Arbeiten begonnen. Im Mittelpunkt standen dabei die Durchführung der geplanten Langzeitinkubationen in Zusammenarbeit mit WP 4.2, 4.3 und 4.6, die gänzlich in den Aquariensystemen und Temperaturkonstanträumen des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven durchgeführt und zusätzlich noch durch das Institut finanziell unterstützt wurden.

WP 4.2:

Dieses Teilprojekt wurde am Alfred-Wegener-Institut in enger Kooperation mit den an der Langzeitinkubation beteiligten WP 4.1, 4.3, und 4.6 durchgeführt. Mit Dr Felix Mark stand dem WP ein erfahrener Physiologe mit biochemisch-molekularphysiologischem Hintergrund vor, der bereits seit BIOACID I mit der Thematik vertraut war. Neben den Experimenten im WP koordinierte er die Langzeitinkubationen und die Arbeit im Konsortium 4. Die Sektion Integrative Ökophysiologie am Alfred-Wegener-Institut stellte diesem WP zusätzlich noch eine Doktorandenstelle zur Verfügung, um über die zellulären Stoffwechselforgänge die Ganztierseite (WP 4.1, 4.3, 4.6) mit den frühen Lebensstadien (WP 4.4, 4.5, 4.7) verknüpfen zu können. Dadurch konnte dieses WP nicht nur an den Langzeitinkubationen am AWI teilnehmen, sondern zusätzlich dazu auch an den KOSMOS Experimenten in Kristineberg sowie den Kabeljauinkubationen in Tromsø (s. WP 4.4).

WP 4.3:

Für die geplanten Untersuchungen sind Kenntnisse umfassender Teile des Genoms und des aktiven Genoms, des Transkriptoms, notwendig. Für den atlantischen Kabeljau lag zu Beginn des Projektes

bereits eine erste Version des Genoms inklusiver einer basalen Annotation vor. Dieses Genom bildete die Basis für unsere Untersuchungen. Für den Polardorsch lag dagegen kaum genetische Information vor. Daher musste hier zunächst eine genetische Grundlage geschaffen werden, wobei wir auf Erfahrungen bei der Erstellung von mehreren Transkriptomen diverser Organismen (Fische: Antarktische Aalmutter, Krebse: Seespinne, Weichtiere: Miesmuschel) aufbauen konnten. Sämtliche Expressionsanalytik (vom Einzelgen mittels *Realtime PCR* bis hin zu globalen Expressionsstudien mittels *Micro Array* oder RNA-Sequenzierung) inklusive der notwendigen Bioinformatik waren bereits zum Projektbeginn in der Projektgruppe etabliert. Des Weiteren waren für Kabeljau in zahlreichen Studien populationsgenetische Marker etabliert worden. Diese sollten in einem ersten Ansatz auch auf den Polardorsch angewendet werden.

Für die Expressionsstudien müssen Fische zunächst aus der Natur entnommen dann unter verschiedenen CO₂- und Temperaturbedingungen für längere Zeiträume gehalten werden. Sowohl die technischen Voraussetzungen und die Logistik für die Beschaffung der Tiere als auch mehrere zirkulierende Aquariensysteme zur Unterbringung der Tiere und der exakten Einstellung der abiotischen Faktoren stand von Beginn des Projektes an zur Verfügung. Des Weiteren wurden Proben von Inkubationen aus Feldstationen benutzt. Populationsgenetische Proben wurden zum Teil von Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt.

Für die Arbeiten an den beiden Fischarten wurde ein Tierversuch bei der zuständigen Behörde (Senatorin für Wissenschaft, Gesundheit und Verbraucherschutz, Bremen) beantragt und genehmigt.

WP 4.4:

Das Teilprojekt 4.4 unter der Leitung von Dr. Daniela Storch wurde in enger Kooperation mit den beiden Teilprojekten 4.5 unter der Leitung von Dr. Catriona Clemmesen (Geomar) und 4.7 unter der Leitung von Prof. Dr. Christopher Bridges (Uni Düsseldorf) durchgeführt. In diesen drei Teilprojekten wurden die Effekte der Ozeanversauerung und Erwärmung auf die Lebensstadien der Eier (WP 4.4), Larven (WP 4.5) und dem Brutstock (WP 4.7) erforscht. Da für die Hälterung des Brutstocks und die Aufzucht der Eier und Larven höchste Wasserqualität erforderlich sind, wurden die umfangreichen Inkubationen nicht, wie anfänglich geplant am AWI durchgeführt. Statt dessen wurden zwei landbasierte Großexperimente in Kristineberg (2013, zeitgleich mit dem Mesokosmosexperiment) und Tromsø (2014) von den drei Teilprojekten erfolgreich geplant und durchgeführt. Während der beiden Experimente wurden alle erforderlichen Daten und Proben für das Teilprojekt 4.4 erhoben und genommen. Auf ein 3. Experiment in Bergen wurde verzichtet. Die Untersuchungen der beiden Kabeljaupopulationen in Kristineberg (Schweden) und Tromsø (Norwegen) ergaben die gleichen Ergebnisse in Bezug auf die Sensitivität der Embryonen gegenüber Ozeanversauerung und Erwärmung, so dass ein zusätzliches kostenintensives und mit zeitlich hohem Aufwand verbundenes 3. Experiment nicht sinnvoll erschien.

WP 4.6:

Die Arbeiten in diesem WP wurden in enger Zusammenarbeit und Kooperation mit den WPs 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 und 4.8 durchgeführt. So wurden die beiden Tiergruppen gemeinschaftlich gehältert und inkubiert, so dass das gleiche Tiermaterial für alle beteiligten WPs zur Verfügung stand. Das Probenmaterial wurde dementsprechend geteilt, um die Möglichkeit für WP übergreifende Interpretationen zu erhalten. Letztendlich konnten durch diesen Ansatz die Versuchstierzahlen auf ein Minimum reduziert werden. Für die Untersuchung der neurophysiologischen Störungen stand der *in vivo* Kernspintomograph vom AWI zu Verfügung. Für den Vergleich von neurologischen Metabolitenprofilen und Veränderungen der Neurotransmitter wurden HPLC und NMR spektroskopische Analysen durchgeführt.

WP 4.8:

Dieses Teilprojekt wurde in enger Kooperation von PD. Dr. Barbara Niehoff und Dr. Franz Josef Sartoris durchgeführt. Der Arbeitsschwerpunkt von Dr. Niehoff liegt seit mehr als 20 Jahren auf der Biologie und Ökologie dominanter Zooplanktonarten des arktischen Pelagials. Dr. Sartoris verfügt über ebenfalls langjährige Erfahrungen in der Ökophysiologie mariner Invertebraten. So war gewährleistet, dass die an der Schnittstelle zwischen Ökologie und Physiologie angesiedelten Arbeiten erfolgreich durchgeführt werden konnten.

Unsere Arbeiten basieren auf den Erkenntnissen, die wir während der Laufzeit von BIOACID I erhalten haben. Wir hatten mehrere Langzeitexperimente sowohl mit aktiven als auch überwinterten Tiere unter hohen CO₂ Partialdrücken (>1500 µm) durchgeführt, die zeigten, dass Wachstum, Respiration und Nahrungsaufnahme unter diesen Bedingungen nicht beeinträchtigt sind (Niehoff et al. 2013, Hildebrandt et. 2014, 2015). Parallel zu diesen Arbeiten hatten wir die Überwinterungsstrategien von *C. glacialis* im Billefjord (Svalbard) untersucht (Freese et al. 2015, 2016). Hier hatte sich gezeigt, dass sich der pH in der Hämolymphe der Tiere über das Jahr sehr stark verändert. Im Winter, während sich die Tiere in einer Art Diapause in tieferen Wasserschichten befinden, ist der pH sehr niedrig (5-6), während er im Sommer, wenn die Copepoden in den oberflächennahen Wasserschichten Nahrung aufnehmen, dem des Seewassers gleicht (ca. 8). Die Versauerung des Oberflächenwassers könnte daher den Übergang von niedrigen zu höheren pH-Werten in der Hämolymphe beeinflussen. Außerdem gibt es Indizien dafür, dass sich die Phytoplanktongemeinschaften – und damit die Nahrungsgrundlage der herbivoren Copepoden - mit zunehmender Versauerung der Ozean verändert (Brussaard et al. 2013; Coello-Camba et al. 2014) Daher können niedrige pH-Werte die Copepoden indirekt beeinflussen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 1.2:

Insgesamt wurde ein Mesokosmenexperiment und verschiedene physiologische Studien mit Dinoflagellaten durchgeführt. Die physiologischen Studien wurden maßgeblich von Dedmer van de Waal und Tim Eberlein geplant und durchgeführt. Hierbei war es Ziel, ein Verständnis zu gewinnen wie pH und CO₂ die Fitness und Toxizität von Dinoflagellaten beeinflussen. Außerdem wurde untersucht, wie andere Faktoren (Licht und Temperatur) die Reaktion auf Veränderungen in der Karbonatchemie modifizieren. Die Mesokosmenstudie wurde maßgeblich vom W.P. 1.1 Team (Team Riebesell) und Lennart Bach geplant und durchgeführt. Die Studie in Schweden (Teil von W.P. 1.1) begann im Januar 2013 und dauerte bis Juli 2013.

WP 1.3:

Insgesamt wurden zwei Mesokosmenexperimente und etliche physiologische Studien mit Coccolithophoriden durchgeführt. Die physiologischen Studien wurden maßgeblich von Lennart Bach (Post Doktorand), Scarlett Sett (Doktorandin), Yong Zhang (Doktorand), Dorothee Kottmeier (Doktorandin) und Sebastian Rokitta (Post Doktorand) mit geplant und durchgeführt. Hierbei war es Ziel, ein Verständnis zu gewinnen wie einzelne Parameter des Karbonatsystems den Coccolithophoridenmetabolismus beeinflussen. Außerdem wurde untersucht, wie andere Faktoren (Licht und Temperatur) die Reaktion auf Veränderungen in der Karbonatchemie modifizieren. Die physiologischen Studien wurden weitestgehend zwischen den Mesokosmenstudien bewerkstelligt. Die Mesokosmenstudien wurden maßgeblich vom W.P. 1.1 Team (Team Riebesell) und Lennart Bach geplant und durchgeführt. Die Studie in Schweden (Teil von W.P. 1.1) begann im Januar 2013 und

dauerte bis Juli 2013. Die Studie in Gran Canaria begann im Januar 2014 und dauerte zunächst bis April 2014. Da sie jedoch auf Grund von technischen Schwierigkeiten wiederholt werden musste begann der zweite Versuch im September 2014 und endete im Dezember des gleichen Jahres. Die Zeitabläufe sind in Tabelle 1 zusammen gefasst.

WP 1.6:

Die Planung und der Ablauf des Vorhabens waren sehr gut. Planungstreffen und Daten-Workshops fanden regelmäßig statt und waren sehr gut organisiert. Die Beteiligung der einzelnen Teilprojekte an den Treffen war hoch, sodass ein guter Austausch und eine ausreichende Diskussion von Ergebnissen stattfinden konnten. Die Jahresmeetings waren ebenfalls sehr fruchtbar und gut organisiert. Sie ermöglichten einen guten Austausch und verstärkten die Interaktionen zwischen den einzelnen Teilprojekten. Logistische Probleme und Planungsänderungen aufgrund widriger Wetterumstände wurden effizient und transparent diskutiert und Maßnahmen in gegenseitigem Einverständnis getroffen.

WP 1.7:

Das Projekt war sehr gut organisiert und die Planung und Durchführung der Experimente liefen sehr gut. Durch viele Treffen, Planungsmeetings und Skypekonferenzen waren alle beteiligten Wissenschaftler immer auf dem Laufenden. Gegen Eis und Sturm hilft auch die beste Planung nicht, aber auch die zweiten Anläufe der beiden Großexperimente waren sehr gut.

WP 1.14:

Das Projekt war sehr gut organisiert und die Planung und Durchführung der Experimente liefen sehr gut. Durch viele Treffen, Planungsmeetings und Skypekonferenzen waren alle beteiligten Wissenschaftler immer auf dem Laufenden. Gegen Eis und Sturm hilft auch die beste Planung nicht, aber auch die zweiten Anläufe der beiden Großexperimente waren sehr gut.

WP 2.1:

Der Doktorand Andreas Pansch wurde für die Bearbeitung des Projektes angestellt um die veranschlagten Ziele innerhalb seiner 3 jährigen Promotionszeit zu bearbeiten. Nach der verzögerten Fertigstellung der Sylter Mesokosmen konnten die Versuche ab Herbst 2013 wie geplant durchgeführt werden. In Zusammenarbeit mit Kollegen aus dem Konsortium 2 wurde eine Vielzahl von Versuchen abgeschlossen, um die Auswirkungen interaktiver Stressoren auf Lebensgemeinschaften bestmöglich vorhersagen zu können (s. Tabelle 1). Hierbei war es wichtig, sowohl die verschiedenen Lebensgemeinschaften von *Fucus vesiculosus* und dem Seegras *Zostera noltii* unter der Einwirkung der Stresskombinationen zu testen. Das AWI finanziert eine halbjährige Verlängerung, damit die Seegras-Gemeinschaft in den Versuchen gut berücksichtigt wird.

Tabelle 1: Experimente innerhalb von BIOACID II

Mesokosmen	Jahreszeit	Stressoren-Kombination	Untersuchte Lebensgemeinschaft	Dauer des Experiments (Wochen)
Sylt	Herbst/Winter 2013	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	8

Sylt	Frühjahr 2014	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	11
Sylt	Sommer 2014	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	10
		+ Nährstofferhöhung		
Sylt	Herbst/Winter 2014	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	8
		+ Nährstofferhöhung		
Kiel	Winter 2012/2013	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	7
Kiel	Frühjahr 2013	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	11
Kiel	Sommer 2013	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	10
Kiel	Herbst 2013	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	11
Kiel	Winter 2013/2014	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	10
Kiel	Sommer 2014	Versauerung + Erwärmung	<i>Fucus vesiculosus</i>	5
		+ Nährstofferhöhung		
Kiel	Frühjahr 2015	Erwärmung und Weidedruck	<i>Fucus vesiculosus</i>	8
Sylt	Sommer 2015	Versauerung + Erwärmung	<i>Zostera noltii</i>	10

WP 3.3:

Der Vorhaben- und Zeitplan des Projektes wurde durch Schwangerschaft und Elternzeitphase von Frau Dr. Gertraud Schmidt modifiziert aber eingehalten. Beide Expeditionen nach PNG (2013 und 2014) wurden so durchgeführt, dass Frau Dr. Wall (GEOMAR, WP 3.5) ersatzweise für Frau Schmidt an den Expeditionen teilnahm und Frau Schmidt die Aufbereitung, Analyse und Auswertung der Feldproben am AWI durchführte. Durch die enge Abstimmung zwischen Frau Schmidt und Frau Wall konnten alle Versuchsvorhaben in PNG erfolgreich abgeschlossen werden, sowie ein Großteil der ursprünglich als Laborexperimente konzipierten Versuche ebenfalls im natürlichen Riffsystem in PNG durchgeführt werden. Zudem konnte eine BSc-Studentin in die Analyse und Auswertung der Proben und Daten kostenneutral miteinbezogen werden.

WP 3.7:

Vorbereitungen: Die Doktorandenstelle wurde zeitgerecht zum 1.9.2012 mit Frau Laura S. Stapp besetzt. Generell konnten die Untersuchung zur Beantwortung der übergeordneten Projektfragestellung wie geplant durchgeführt werden, jedoch ergaben sich einige Änderungen in der Detailplanung. Aus oben genanntem Grund konnte der geplante immunologische Ansatz nicht durchgeführt werden. Als Kompensation wurden Messungen zur Leistungskapazität der Kieme sowie umfangreichere enzymatische Analysen durchgeführt, die ebenso dazu dienten Verschiebungen in den metabolischen Prozessen und im Energiehaushalt unter OA aufzuzeigen.

Exp. 1: Die Planung und Durchführung des Multigenerationenexperiments mit der F1-Generation von *M. edulis* am GEOMAR (in Zusammenarbeit mit F. Melzner, WP 3.4) entsprach den Vorgaben des WP-Antrags. Die Tiere wurden bei 3 unterschiedlichen OA Szenarien (Kontrolle, Medium-OA, Hoch-OA) aufgezogen. Dabei zeigten sich familienspezifische Unterschiede in der Toleranz gegenüber erhöhten CO₂-Konzentrationen und die Familien konnten in „tolerante“ und „sensitive“ Gruppen unterteilt werden. Nach 12monatiger Inkubation erfolgte die Probennahme (für spätere biochemische und enzymatische Analysen) und die Untersuchungen zum zellulären Energiestoffwechsel. Bei einigen Tieren wurden zudem Filtrations- und Respirationsraten als Maß für den Energiebedarf des Ganztieres, bestimmt. Die Daten zum Energiehaushalt auf Organismen- und Zellebene wurden ausgewertet und in einem Manuskript aufbereitet (Stapp et al., ms 1, unter Bearbeitung bei den Koautoren). Die Ausweitung der enzymatischen Analysen (2 Gewebetypen á 6 Enzyme) und das geringe Probenvolumen machten eine Optimierung der biochemischen Messprotokolle nötig. Aufgrund der entstandenen zeitlichen Verzögerung und des umfangreichen Datensatzes werden die Daten derzeit noch im Detail aufgearbeitet und für eine Veröffentlichung vorbereitet (Stapp et al., ms 2, in Vorbereitung).

Exp. 2: Die Durchführung und Untersuchungen zum Langzeit-Akklimatisierungsexperimenten auf Sylt fanden nicht wie geplant statt. Aufgrund unserer Erkenntnisse aus Exp. 1 passten wir unser weiteres Vorgehen an und so wurde es zum einen ein reines Larvenexperiment und zum anderen legten die unerwarteten familienspezifischen Unterschiede in der OA Toleranz von *M. edulis* eine unterschiedliche Regulationsfähigkeit des extrazellulären pH Wertes nahe. Die postulierte Schlüsselrolle der pH Regulation für die OA Toleranz wurde deshalb in einem Kooperationsprojekt mit australischen Kollegen (u.a. mit Dr. Laura Parker, eine Expertin auf dem Gebiet von OA Einfluss auf Auster) der University of Sydney und vom Port Stephens Fisheries Institute (PSFI) an der Sydney-Felsen-auster *Saccostrea glomerata* vertiefend untersucht. Diese Untersuchungen entsprachen hinsichtlich der zugrundeliegenden Fragestellung der im Antrag beschriebenen Vergleichsstudie zweier Muschelpopulationen von *M. edulis* aus unterschiedlichen Habitaten: Ostsee vs. Nordsee. Diese Gebiete unterscheiden sich hinsichtlich der natürlichen Schwankungen im Seewasser pH Wert und CO₂-Partialdruck (pCO₂). Im Gegensatz zur Nordseepopulation erfährt *M. edulis* aus der Kieler Bucht (Ostsee) jahreszeitliche Schwankungen, mit teilweise pCO₂ Werten von über 2000 µatm (Thomsen et al. 2010). Beruhend auf der Annahme, dass sich die Muschelpopulationen in ihrer OA Empfindlichkeit unterscheiden, sollten Vergleichsstudien am Modellorganismus *M. edulis* erfolgen. Jedoch stellte sich *S. glomerata* für diese Fragestellung als der besser geeignete Modelorganismus dar, denn vorangegangene Vergleichsstudien der australischen Kollegen an Wildfängen und Aquakulturtieren von *S. glomerata* ergaben deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen. So wurde eine geringere OA Empfindlichkeit und bessere Leistungskapazität einhergehend mit einem stärker kompensierten extrazellulären pH Wertes bei den Aquakultur- im Vergleich zu den Wildtieren beobachtet (Parker et al. 2012; pers. Mitteilung) – analog zu den tolerant/sensitiven Muschelfamilien aus Exp. 1. Daher wurden in einem 4monatiger Aufenthalt von Frau Stapp am PSFI (März – Juni 2015) vor Ort die OA Inkubationen und Experimente zu den Vergleichsuntersuchungen von zellulären Prozessen und deren Energieallokation an *S. glomerata* aus Wildfängen und Aquakulturtieren durchgeführt. Mit Schwerpunkt auf der Ionenregulationskapazität wurden neben den Säure-Base-Parametern die Respirationsraten von Kieme- und Mantelgewebe und die Energieallokation verschiedener Ionenregulatoren (Na⁺/K⁺-ATPase, H⁺-ATPase, Na⁺/H⁺-Austauscher, Na⁺-HCO₃⁻ -Kotransporter) bestimmt. Die Daten sind vollständig ausgewertet und werden derzeit in einem Manuskript zusammengestellt (Stapp et al., ms 3, in Bearbeitung). Da die geplanten Untersuchungen zum zellulären Energiebudget von Miesmuscheln der Nordsee (Exp.2) mit den oben beschriebenen Vergleichsuntersuchungen zum zellulären Energiebudget der Auster *S. glomerata* ersetzt wurden,

ergab sich keine Änderung im beantragten Finanzierungsvolumen (zusätzliche Kosten wurden über ein DAAD Stipendium abgedeckt).

Weiterhin erfolgte die erfolgreiche Probennahme vom Siedlungsplattenexperiment (Kooperation mit WP 3.4) und der Feilenmuschelart, *Acesta excavata*. In Kooperation mit A. Fromm (WP 3.6) wurde *A. excavata* an unterschiedlichen Feldstationen in Norwegen, die sich hinsichtlich des Aragonitsättigungsgrades unterschieden, ausgesetzt und im darauffolgenden Jahr während der Poseidon Ausfahrt 473 (Sommer 2014) beprobt. Die Proben befinden sich noch in Bearbeitung, wobei die anstehenden Analysen und Auswertungen voraussichtlich dieses Jahr abgeschlossen werden.

WP 4.1:

Die Polardorsche wurden von Dr. Jasmine Nahrgang, UiT (Projekt: Polarisation) zur Verfügung gestellt. Juveniler Kabeljau (0 year class) und weitere Polardorsche wurden auf der Heincke Expedition HE 408 im September 2013 gefangen. 132 Polardorsche und 96 Atlantische Kabeljau wurden jeweils über vier Monate unter unterschiedlichen, stabilen PCO_2 und Temperaturbedingungen inkubiert. Diese Inkubation wurde in Zusammenarbeit mit WP 4.2, 4.3 und 4.6 durchgeführt.

Jede der 12 Temperatur/ PCO_2 -Kombinationen (3 PCO_2 * 4 Temperaturen) wurde in einem individuellen Regalsystem aufgebaut. Die Regale befanden sich in Temperaturkonstanträumen, ein Regal umfasste 12 Tiere in Einzelhaltung. Jedes Einzelbecken hatte einen eigenen Ein- und Ausfluss. Der PCO_2 -Wert wurde in einem regalspezifischen Headertank voreingestellt, wobei die PCO_2 -Bedingungen an die Prognosen des IPCC-Reports angelehnt waren. Der höchste PCO_2 -Wert entsprach dem prognostizierten Wert für das Jahr 2100 laut RCP 8,5 (1200 μ atm). Die jeweiligen Temperaturen wurden anhand der Habitattemperaturen der jeweiligen Art bestimmt (Polardorsch: 0, 3, 6, 8°C; Atlantischer Kabeljau: 3, 8, 12, 16°C). Das Wachstum wurde vor Beginn der Inkubation, nach halber Laufzeit, sowie am Ende ermittelt. Im Anschluss an die jeweiligen Inkubationen wurde der Ruhestoffwechsel beider Arten ermittelt. Dabei waren die Wasserbedingungen für jedes Individuum identisch mit den entsprechenden Bedingungen während der Langzeitinkubation. Im Anschluss an die Langzeitinkubation wurde die maximale Schwimmkapazität der Polardorsch in einem Schwimmtunnelrespirometer ermittelt. Da die Biomasse im Wasservolumen des Schwimmtunnels zu gering war, um Sauerstoffabnahme zu ermitteln, wurden die Fische nach Erreichen der maximalen Schwimmgeschwindigkeit umgehend innerhalb von 30 Sekunden in einen separaten Respirationsaufbau umgesetzt, um den Energieverbrauch bei maximaler Schwimmleistung zu ermitteln. Sowohl die Temperatur, als auch die PCO_2 -Werte waren identisch zu den Werten der Inkubation.

Ursprünglich sollte zu Beginn die Inkubation mit Kabeljau stattfinden. Aufgrund von anfänglichen Problemen bei der Beschaffung von juvenilem Kabeljau wurde zunächst mit der Polardorschinkubation begonnen. Darüber hinaus wurde der präindustrielle PCO_2 -Wert bei beiden Inkubationen, sowie der PCO_2 -Wert (780 μ atm) nach einem weniger extremen Emissionsszenario aufgrund geringer Individuenzahlen beim Atlantischen Kabeljau aus dem Design entfernt. Die Temperaturen wurden so angepasst, dass zwei Werte bei beiden Inkubationen identisch waren.

Weiterhin wurden im Anschluss an die Hauptexperimente noch Schwimmtunnelexperimente mit gefütterten und ungefütterten Polardorschen durchgeführt, um den Einfluss von CO_2 , Temperatur und Futteraufnahme auf SDA, die maximale Stoffwechselrate und das Schwimmverhalten zu untersuchen.

WP 4.2:

Im Anschluss an die Langzeitinkubationen (siehe Beschreibung in WP 4.1) in Zusammenarbeit mit WP 4.1, 4.3 und 4.6 wurden pro Inkubationsgruppe 6 Tiere beprobt, und von jeder Inkubationsgruppe die mitochondrialen Stoffwechsellkapazitäten an isolierten, permeabilisierten Herzfasern analysiert. Diese Experimente wurden im Herbst 2013 für Polardorsch durchgeführt und im Herbst 2014 für Kabeljau. Darüber hinaus nahm das WP an den KOSMOS Experimenten am Sven Lovén Centre in Kristineberg (Universität Göteborg, S) im Frühjahr 2013 teil, hier wurden im Rahmen der Fischinkubationsexperimente an Kabeljau und Hering in Kooperation mit WP 4.4, 4.5 und 4.7 verschiedene Stoffwechsellparameter an isolierten Mitochondrien aus Fischembryonen untersucht. Im Frühjahr 2014 wurde gemeinsam mit WP 4.4, 4.5 und 4.7 ein weiteres Inkubationsexperiment an Atlantischem Kabeljau aus Aquakultur und Wildfängen am NCBC der Firma Nofima in Tromsø durchgeführt. Auch hier wurden wieder aerobe Stoffwechsellkapazitäten an aus Kabeljauembryonen isolierten Mitochondrien gemessen. Schließlich wurden noch unter der Leitung des WP PI F. Mark zwei mehrwöchige Expeditionen mit FS Heincke nach Spitzbergen durchgeführt (HE 408 in 2013 und HE 451 in 2015), um die Verbreitung juveniler und adulter Kabeljau und Polardorsche um Spitzbergen herum zu dokumentieren und lebende Fische für die Versuche am AWI bereit zu stellen. In diesem WP wurden in Kooperation mit WP 4.3 auch noch eine BSc und ein MSc Arbeit durchgeführt (siehe Punkt 6), die zum einen die CO₂ abhängige mitochondriale Adenylatzyklase bei Fischen und zum anderen die Hämoglobinfunktion und -expression an Blutproben der Polardorsche aus der Langzeitinkubation untersuchten.

WP 4.3:

Für die Erhebung umfassender Expressionsprofile und der Identifizierung von relevanten Genen musste zunächst eine gemeinsame Datengrundlage für beide Fischarten geschaffen werden. Daher wurde zunächst ein *de novo* Transkriptom für den Polardorsch *Boreogadus saida* aus einer normalisierten cDNA-Bank mittels Miseq-Illumina-Sequenzierung erstellt. Die Einzelsequenzen wurden mittels verschiedener Software-Tools zu größeren, potentiellen Genabschnitten („Contigs“) zusammengesetzt. Dazu waren ein erheblicher bioinformatischer Aufwand und die Anpassung der Assemblierungsbedingungen notwendig. In identischer Weise wurde eine normalisierte cDNA-Bank des atlantischen Kabeljaus resequenziert und analysiert. Aus dem Vergleich der beiden Transkriptome wurden artspezifische *micro arrays* konstruiert, die möglichst nur homologe Gene beider Arten aufweisen: Insgesamt stand anschließend ein Genpool von ca. 15.000 Sequenzen für die Erstellung von Expressionsprofilen zur Verfügung. Parallel dazu wurde das publizierte Genom des atlantischen Kabeljaus hinsichtlich möglicher Kandidatengene analysiert.

Parallel zu diesen genetischen Vorarbeiten wurden in 2012/2013 zunächst Polardorsche beschafft und anschließend unter den verschiedenen Umweltbedingungen inkubiert (WP 4.1). Am Ende dieses Wachstumsexperimentes wurden die Tiere in zwei Gruppen beprobt: die Hälfte der Tiere wurde direkt beprobt, die zweite Hälfte wurde nach den Experimenten der Teilprojekte (WP 4.1, WP 4.6) genommen. Dazu wurden alle verfügbaren Gewebe, sowie Blutproben nach Betäubung und Töten der Tiere entnommen und in Stickstoff schockgefroren. In gleicher Weise wurde in 2013/2014 der atlantische Kabeljau beschafft, inkubiert und anschließend beprobt.

In 2013 wurden Leberproben von *Boreogadus saida* aus dem Wachstumsexperiment (WP 4.1) für die globale Expressionsanalyse aufgearbeitet (RNA-Extraktion, Qualitätsmonitoring via Kapillarelektrophorese & labelling für Array). Eine entsprechende Analyse via Microarray mit optimierten Sonden (44K Design) wurde für n=5 pro Versuchsbedingung durchgeführt. In gleicher Weise wurden in 2014 die Kabeljau-Proben aufgearbeitet und analysiert.

Blut und Milzproben aus dem Wachstumsexperiment von *B. saida* (WP 4.1) wurden für Einzelgen-Expressionsstudien aufgearbeitet (RNA-Extraktion, cDNA Synthese) und nach der üblichen Assayoptimierung via qPCR analysiert (Versuchsbedingungen: s.o., n=5-6).

Des Weiteren wurden Gewebe aus einer Kabeljau-Inkubation (4-wöchige Inkubation bei 12 und 18 °C; Kontroll-pCO₂, 1200 µatm, 2200 µatm) aus BIOACID I aufgearbeitet, und es wurde das Ionenregulatorische Transkriptom charakterisiert.

Für die Charakterisierung der Populationsstruktur und -dynamik wurde zunächst eine populationsgenetischen Probenbank für beiden Arten in Kooperation mit verschiedenen Partnern aufgebaut. Anhand von 10 etablierten populationsgenetischen Markern wurden *G. morhua*-Proben von insgesamt 19 Stationen (bzw. sieben geographische Regionen) analysiert. Probenmaterial von *B. saida* wird in Kooperation mit John Nelson, Kanada, populationsgenetisch analysiert. Aus den Sequenzierungen wurden potentiell Loci von Einzelnukleotid-Polymorphismen (single nucleotide polymorphism, SNP) identifiziert.

WP 4.4:

Im September 2012 wurde mit Herrn Flemming Dahlke ein geeigneter Kandidat als Doktorand für die Umsetzung des WP 4.4 eingestellt. Nach einer kurzen Einarbeitungszeit ging es in die Planung des ersten Großexperimentes in Kristineberg (Januar-Mai 2013). Für die hohen Kosten in Kristineberg wurden zusätzliche Gelder über das Zugangsprogramm ASSEMBLE von Frau Dr. Daniela Storch eingeworben, um alle Kosten während des langen Aufenthaltes auf der schwedischen Station „Sven Lovén Centre for Marine Sciences“ decken zu können. Nach Beendigung des Experimentes im Mai 2013 wurden alle Daten und Proben zum AWI transportiert, ausgewertet und weitere Analysen vorgenommen. Am Konfokalen Mikroskop in Bremerhaven wurde die Na⁺/K⁺-ATPase in frisch geschlüpften Larven immunohistologisch untersucht. Zeitgleich wurde das nächste Großexperiment in Tromsø (Januar-Mai 2014) vorbereitet. Als Vorbereitung auf das Großexperiment in Tromsø (19.01-27.05.2014) wurde auf der Heinckefahrt HE408 (16.08.-15.09.2013) ein Brutstock (Polardorsch) gefangen und bis zum Beginn der Laichperiode in Kooperation mit der Universität Tromsø (Dr. Jasmine Nahrgang) an der Havbruksstasjoner in Kårvika (Nähe Tromsø) gehalten und versorgt. Außerdem wurde in Kooperation von dem „Norwegian Cod Breeding Center (NCBC)“ der Firma NOFIMA ein Kabeljau Brutstock bereitgestellt. Die Versuche in Tromsø zu Überlebensraten, Morphologie und Metabolismus wurden am Polardorsch in Kårvika und am Kabeljau am NCBC durchgeführt. Nach Rückkehr ans AWI wurden die Daten ausgewertet und ergänzende Analysen durchgeführt (Software-basierte Auswertung von Bild und Video Material zum Vergleich morphologischer Parameter und Herzkreislauf Funktionen; Aufarbeitung von Frostproben zur Bestimmung von Wachstumsraten und Mechanismen der Säure-Base Regulation; statistische Auswertung). Grundsätzlich konnte nachgewiesen werden, dass die prognostizierte Meeresversauerung und Erwärmung zu verringerten Wachstums- und Überlebensraten in der Embryonalentwicklung beider Arten führen. Zusätzlich zu den geplanten Vorhaben wurde umfangreiches Probenmaterial genutzt, um Messungen zur Enzymaktivität und Mengen durchzuführen. Hierbei wurde insbesondere untersucht, inwieweit sich der CO₂-Gehalt des Meerwassers auf die Säure-Base Regulation und den damit verbundenen Energiebedarf während der Embryonalentwicklung des Kabeljaus auswirkt.

WP 4.6:

Nach Besetzung der Doktoranden/wissenschaftlichen Mitarbeiter Stellen der beteiligten WPs und erfolgreicher Tierbeschaffung während einer Expedition mit dem RV Heinke wurde zuerst mit den Inkubationsexperimenten vom Polardorsch unter spezifischen Ozean-Versauerung und Erwärmungsszenarien begonnen (für Details siehe WP 4.1). 132 Polar Dorsch *Boreogadus saida* wurden 4 Monate unter 4 unterschiedlichen Temperaturen und 3 CO₂ Konzentrationen inkubiert. Im Rahmen dieser Inkubation wurden ca. 3.000 Blut- und Gewebeprobe zur weiteren biochemischen Analyse entnommen. Zwei Verhaltensexperimente wurden während der Inkubation durchgeführt. So wurden Veränderungen in der Lateralität (Seitigkeit) dokumentiert und mit Videostudien die Spontanaktivität und das Aggressionsverhalten von Einzeltieren beobachtet. Nach Abschluss der Inkubationen erfolgte eine Blut- und Gewebeentnahme für die weitere biochemische Analysen der neurologischen Stoffwechseländerungen. Im darauffolgenden Jahr wurde in Kooperation mit den Teilprojekten 4.1, 4.2 und 4.3 eine 4-Monatige Inkubation von 96 Atlantischem Kabeljau *Gadus morhua* unter 4 unterschiedlichen Temperaturen und 2 CO₂ Konzentrationen durchgeführt. Im Rahmen dieser Inkubation wurden ca. 1500 Blut- und Gewebeprobe zur weiteren biochemischen Analyse entnommen. Im letzten Jahr wurden neben dem Abschluss der analytischen Messungen und der Datenauswertung, *in vivo* Kernspintomographie Untersuchungen am Polar Dorsch unter akuten Ozeansversauerungs-Bedingungen und dessen Einfluss auf den Hirnstoffwechsel, der Säure-Basen Regulation und Auswirkungen auf die Herz-Kreislauffunktion durchgeführt.

WP 4.8:

Generell konnten wir unsere Experimente im Wesentlichen wie geplant durchführen. Wir hatten mit Beginn des Projektes Frau Henrieke Tonkes als Doktorandin eingestellt, die sich zunächst in die Themenstellung und die Methodik eingearbeitet hat. Sie hat dem Antrag entsprechend Inkubationsversuche mit den drei zu untersuchenden Arten durchgeführt. Im Detail mussten wir allerdings von einigen Plänen abrücken:

(1) Ursprünglich war geplant, die Kieselalge *Thalassiosira weissflogii* unter verschiedenen CO₂ Partialdrücken wachsen zu lassen und diese Algen an die Copepoden zu verfüttern. Es ist uns aufgrund methodischer Probleme allerdings nicht gelungen, diese Algen in ausreichender Menge unter experimentell veränderten CO₂ Partialdrücken zu produzieren. Um dennoch, die durch hohe CO₂ Konzentrationen erwarteten Veränderungen in der Qualität der Nahrung (Stöchiometrie und Artzusammensetzung) untersuchen zu können, haben wir die Algen unter verschiedenen Nährstoffbedingungen wachsen lassen. Bei voller Nährstoffversorgung lag das C:N-Verhältnis der Algen bei 4-5 und bei N-Limitierung bei 10-11. Außerdem haben wir auch den heterotrophen Dinoflagellaten *O. marina* verfüttert, da bei fortschreitender Ozeanversauerung die Abundanz der Flagellaten zunimmt, während die Abundanz der Diatomeen, die heute einen wesentlichen Teil der Nahrung der Copepoden ausmachen, vermutlich abnehmen wird (Brussaard et al. 2013; Coello-Camba et al. 2014). Die biochemische Zusammensetzung der Flagellaten und Diatomen unterscheidet sich und bislang ist nicht bekannt, ob und wie sich dies auf die Copepoden auswirkt.

(2) Im Antrag waren gemeinsam mit WP 4.6 Experimente zur Interaktion von Kabeljau und Copepoden geplant. Diese Experimente konnten leider nicht durchgeführt werden, da lebende Copepoden und lebende Kabeljaue nie gleichzeitig am AWI vorhanden waren. Außerdem hatten wir uns nach intensiver Diskussion mit Catriona Clemensen (GEOMAR) dazu entschieden das Mesokosmos-Experiment, welches in Bergen (Norwegen) für das Frühjahr gemeinsam mit dem W.P. 4.5, geplant war, nicht durchzuführen und zwar aus dem folgenden Grund: Das Konsortium 1 hat 2013 ein Mesokosmosexperiment in Bergen durchgeführt und hier hat die Zooplanktongemeinschaft trotz der langen Dauer dieses Experimentes (>5 Monate) nicht signifikant auf die CO₂-Konzentration reagiert. Zudem zeigen unsere eigenen Laborexperimente, dass sich die biochemische

Zusammensetzung der Copepoden nicht mit der CO₂-Konzentration ändert. Veränderungen im Zooplankton aufgrund von CO₂ treten also offenbar mit zu großer Verzögerung ein, als dass wir sie in einem kurzen Experiment (geplant waren ca. 4 Wochen) verfolgen könnten.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

• Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:

WP 1.2:

WP 1.2 stützte sich auf die am GEOMAR entwickelte Technologie der KOSMOS-offshore Mesokosmen und auf Standardmethoden der biologischen Ozeanographie und Molekular Biologie, unter anderem Metabarcoding und qPCR.

WP 1.3:

WP 2.3 stützte sich auf die am GEOMAR entwickelte Technologie der KOSMOS-offshore Mesokosmen und auf Standardmethoden der biologischen Ozeanographie sowie das Membran-Inlet-Massenspektrometer am AWI.

WP 1.6:

In Rahmen von Konsortium 1 kamen zwei verschiedenen Mesokosmenanlagen zum Einsatz: (1) KOSMOS Outdoor Mesokosmen und (2) Kieler Indoor Mesokosmen. Beide Mesokosmenanlagen hatten sich bereits im Rahmen vorheriger nationaler und internationaler Projekte bewährt und konnten auch innerhalb von BIOACID II erfolgreich eingesetzt werden.

WP 1.7:

Die Kieler Mesokosmenanlagen wurden für die Freilandexperimente eingesetzt. Diese Anlagen waren schon mehrfach erprobt worden, und sie haben auch sehr gut funktioniert. Für die Laborexperimente wurden Verfahren für Kultivierung, Hälterung und Messungen die in BIACID I entwickelt wurden eingesetzt. Sämtliche Anlagen und Konstruktionen sind nicht urheberrechtlich geschützt, aber durch entsprechende Zitierung der Literaturstellen problemlos nutzbar.

WP 1.14:

Die Kieler Mesokosmenanlagen wurden für die Freilandexperimente eingesetzt. Diese Anlagen waren schon mehrfach erprobt worden, und sie haben auch sehr gut funktioniert. Für die Laborexperimente wurden Verfahren für Kultivierung, Hälterung und Messungen die in BIACID I entwickelt wurden eingesetzt. Sämtliche Anlagen und Konstruktionen sind nicht urheberrechtlich geschützt, aber durch entsprechende Zitierung der Literaturstellen problemlos nutzbar. Die Verfahren zur Sequenzierung und Analyse der genetischen Daten wurden in Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität Frankfurt und Senckenberg Institut entwickelt.

WP 2.1:

Die Forschungsergebnisse aus BIOACID I bildeten die wichtigste Grundlage für die zweite Projektphase. Der wissenschaftliche und technische Stand der Forschung wurde bereits in BIOACID I dargestellt und hat sich während der Projektlaufphase nur unwesentlich verändert. Um eine ganze Lebensgemeinschaft unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen, braucht es besondere Versuchsanlagen. Mesokosmen bieten die besten Möglichkeiten, um genügend Platz für eine ganze Lebensgemeinschaft zu bieten, als auch Experimente unter kontrollierten Bedingungen ablaufen zu

lassen. Bei der Planung der Anlage wurden Erfahrungen, mit schon vorhandenen Systemen berücksichtigt, um ein möglichst gut funktionierendes System ab der Fertigstellung nutzen zu können. Trotzdem musste eine komplette Neukonstruktion durchgeführt werden, um die Bedingungen von Gezeiten und Strömungen im Wattenmeer und der Nordsee simulieren zu können.

WP 3.3:

Nicht zutreffend

WP 3.7:

Die Inkubationsexperimente mit Miesmuschel erfolgten in Durchflusssystemen, die mit Austern in einem geschlossenen, rezirkulierendem System. Die Bestimmung der Wasserparameter und Karbonatchemie (Temperatur, Salinität, pH und Gesamtalkalinität bzw. DIC) wurden standardgemäß und in Anlehnung an den „Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting“ (Riebesell et al. 2010) durchgeführt. In Kiel (Exp. 1) wurde ein zentral-gesteuertes spezielles CO₂-Mischsystem (Linde Gas & HTK Hamburg) benutzt, welches in Bioacid Phase 1 am GEOMAR in Betrieb genommen wurde (Details siehe Thomsen et al. 2010). Die F1-Generation von *M. edulis* wurde nach einem reduzierten North Carolina I Kreuzungsdesign erzeugt. In Australien (Exp. 2) wurden die experimentellen Bedingungen mittels eines pH negativen Rückkopplungssystems (Aqua Medic, Aqacenta Pty Ltd, Kingsgrove, NSW, Australien) eingestellt (Details siehe Parker et al. 2012). Die organismischen und zellulären Sauerstoffverbrauchsdaten zur Bestimmung des Energieumsatzes wurden mit den Sauerstoff-Transmittersystemen von PreSens (Microx, Precision Sensing GmbH, Regensburg) gemessen und für die enzymatischen/biochemischen Analysen wurden Standard photometrische und NMR spektroskopische Methoden eingesetzt (Lannig et al. 2010, Kreiss et al. 2015).

WP 4.1:

Die Lanzeitinkubationsexperimente mit Polardorsch und Atlantischem Kabeljau erfolgten in geschlossenen, rezirkulierten Systemen. Die Bestimmung der Wasserparameter und Karbonatchemie (Temperatur, Salinität, pH und Gesamtalkalinität bzw. DIC) wurden standardgemäß und in Anlehnung an den „Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting“ (Riebesell et al. 2010) durchgeführt. Zur Erstellung der Gasmische wurde ein zentral-gesteuertes spezielles 12 Kanal CO₂-Mischsystem (CO₂-freie Druckluft + reines CO₂ Gas; Fa. HTK Hamburg) benutzt, welches bereits vor BIOACID Phase 1 am AWI in Betrieb genommen wurde. Für die Schwimmtunnelversuche wurden zwei identische Schwimmtunnel (36l Volumen) der Firma Loligo Systems (Dänemark) benutzt, Respiration wurde mit Optoden der Firma Presens bzw. Firesting gemessen.

WP 4.2:

Zur Durchführung des Vorhabens wurden am Alfred Wegener Institut vorhandene Geräte und Technologie eingesetzt. Mitochondriale Respiration wurde mit Oxygraphen der Fa. Oroboros (Innsbruck, Österreich) gemessen, Aktivitäten mitochondrialer Enzyme über spektrophotometrische Methoden. Eine Lipidklassenanalyse mitochondrialer und Zellmembranen wurde über HPLC Technologie durchgeführt.

WP 4.3:

Nicht zutreffend

WP 4.4:

Nicht zutreffend

WP 4.6:

Die Aufbauten für die Inkubationsexperimente wurden aufbauend auf BIOACID I konstruiert (siehe WP 4.1). Die Verhaltensexperimente und deren Analyse wurden nach der Beschreibung in Domenici et al. 2012 durchgeführt und nach enger Rücksprache mit Prof. Dr. Phil Munday sowie einer weiteren Expertin für die Untersuchung von Verhaltensänderungen in marinen Organismen, Frau Prof. Dr. Gabriele Gerlach von der Universität Oldenburg für die Beobachtung von Polardorsch und Kabeljau angepasst. Die *in vivo* Kernspintomographie Untersuchungen und die dafür eingesetzten Aufbauten und Methoden wurden auf Grundlage der langjährigen Expertise des *in vivo* NMR Labors des AWI durchgeführt. Neuroprofile wurden in Anlehnung an Lannig et al 2010 erstellt. Es wurden keine gesonderten Schutzrechte genutzt oder gar verletzt.

WP 4.8:

Trifft für WP 4.8 nicht zu

• *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 1.2:

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden. Neu generierte Daten wurden (und werden) auf öffentlich zugänglichen Datenbanken (z.B. PANGEA) hinterlegt sobald die Studien abgeschlossen und publiziert sind.

WP 1.3:

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden. Neu generierte Daten wurden (und werden) auf öffentlich zugänglichen Datenbanken (z.B. PANGEA) hinterlegt sobald die Studien abgeschlossen und publiziert sind.

WP 1.6:

Bestimmungsliteratur zur taxonomischen Bestimmung des MZP wurde von verschiedenen Bibliotheken (z.B. AWI-Zentralbibliothek, Bibliothek der Biologischen Anstalt Helgoland) zur Verfügung gestellt. Die verwendete Fachliteratur wurde durch Recherche in einschlägigen Informations- und Suchsystemen gesammelt (hauptsächlich Thomson Reuter's Web of Science, Google Scholar) oder erfolgte über den Zugang zu ResearchGate.

WP 1.7:

Die verwendete Fachliteratur wurde mit Hilfe von einschlägigen Informations- und Suchsystemen gesammelt. Hierzu gehörten Thomson Reuter's Web of Science, Google Scholar und Scopus.

WP 1.14:

Die verwendete Fachliteratur wurde mit Hilfe von einschlägigen Informations- und Suchsystemen gesammelt. Hierzu gehörten Thomson Reuter's Web of Science, Google Scholar und Scopus. Für die Identifizierung der Sequenzen wurden die im Netz verfügbaren Datenbanken wie Genbank benutzt.

WP 2.1:

Die zahlreichen Publikationen aus BIOACID Phase 1 haben gezeigt welche unterschiedlichen Auswirkungen Ozeanversauerung, Klimaerwärmung und Nährstoffveränderungen auf die verschiedenen Organismengruppen und Lebensstadien haben können und wie wichtig diese Erkenntnisse sind, um Aussagen über zukünftige Lebensbedingungen für die verschiedenen Arten zu treffen. Auf der Grundlage der Antworten einzelner Organismen auf spezielle Stressoren war es in der zweiten Phase von BIOACID wichtig zu klären, wie eine ganze Lebensgemeinschaft auf die Interaktion verschiedener Stressoren reagiert.

Informationsdienste: Web of Science, Scopus

Dokumentation: PANGEA-Datenbank

WP 3.3:

s. beiliegende Sonderdrucke. Weiterhin wurde die verwendete Fachliteratur mit Hilfe von einschlägigen Informations- und Suchsystemen gesammelt (Scopus, Web of Science, Google Scholar).

WP 3.7:

Für die Literaturrecherche wurden die üblichen wissenschaftlichen Informationsplattformen wie PubMed oder ScienceDirect und die AWI-interne Bibliothek benutzt. Die erhobenen Daten wurden/werden alle in der Datenbank PANGEA archiviert. Ein weiterer Dokumentationsdienst war oceanblogs.org, wo während der Expedition mit FS POSEIDON unter „Poseidon 473 – LORELEI blog“ Informationen gepostet wurden.

Oben zitierte Fachliteratur im Detail:

Riebesell U., Fabry V. J., Hansson L. & Gattuso J.-P. (Eds.) (2010). Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting, 260 p. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Thomsen, J., Gutowska, M. A., Saphörster, J., Heinemann, A., Trübenbach, K., Fietzke, J., Hiebenthal, C., Eisenhauer, A., Körtzinger, A., Wahl, M., Melzner, F. (2010). Calcifying invertebrates succeed in a naturally CO₂ enriched coastal habitat but are threatened by high levels of future acidification. *Biogeosciences* 7:3879-3891.

Parker, Laura M., Ross, Pauline M., O'Connor, Wayne A., Borysko, Larissa, Raftos, David A., Pörtner, Hans-Otto (2012). Adult exposure influences offspring response to ocean acidification in oysters. *Global Change Biology* 18:82-92.

Lannig G, Eilers S, Pörtner HO, Sokolova IM, Bock C. Impact of Ocean Acidification on Energy Metabolism of Oyster, *Crassostrea gigas*—Changes in Metabolic Pathways and Thermal Response. *Marine Drugs*, Special Issue „Metabolomic Approaches to Marine Organisms“, 8: 2318-2339.

Kreiss CM, Michael K, Bock C, Lucassen M, Pörtner HO (2015). Impact of long-term moderate hypercapnia and elevated temperature on the energy budget of isolated gills of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 182:102–112.

WP 4.1:

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden. Neu generierte Daten wurden (und werden) auf öffentlich zugänglichen Datenbanken (z.B. PANGEA) hinterlegt sobald die Studien abgeschlossen und publiziert sind. Die verwendete Fachliteratur wurde mit Hilfe von einschlägigen Informations- und Suchsystemen gesammelt. Hierzu gehörten z. B. Thomson Reuter's Web of Science, Google Scholar und Scopus. Beispiele für die verwendete Literatur sind:

Holst JC, McDonald A (2000) FISH-LIFT: a device for sampling live fish with trawls. *Fish Res* 48(1):87-91

Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD (2005) Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308(5730):1912-1915

Renaud PE, Berge J, Varpe Ø, Lønne OJ, Nahrgang J, Ottesen C, Hallanger I (2012) Is the poleward expansion by Atlantic cod and haddock threatening native polar cod, *Boreogadus saida*? *Polar Biol* 35(3):401-412

WP 4.2:

Die zitierte Fachliteratur kann den Literaturverzeichnissen der Publikationen und Manuskripte entnommen werden. Neu generierte Daten wurden (und werden) auf öffentlich zugänglichen Datenbanken (z.B. PANGEA) hinterlegt sobald die Studien abgeschlossen und publiziert sind. Die verwendete Fachliteratur wurde mit Hilfe von einschlägigen Informations- und Suchsystemen gesammelt. Hierzu gehörten z. B. Thomson Reuter's Web of Science, Google Scholar und Scopus.

WP 4.3:

Im Rahmen der Planung des vorliegenden Projektes und der Antragstellung fand eine intensive Literaturrecherche statt. Eine detaillierte Liste der verwendeten Literatur findet sich bereits im Projektantrag und würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Die Antragsstellung erfolgte demnach auf dem Stand von Wissenschaft und Technik. Gerade im Bereich der funktionellen Genomik kommt es auf Grund der neuen Sequenziertechnologien zu einer rasanten Entwicklung. Daher findet –wie in der Wissenschaft üblich- ein stetiges Update der Methoden und Verfahren anhand der publizierten Literatur statt. Darüber hinaus werden die gängigen Gendatenbanken (EMBL, SwissProt; NCBI) zur Recherche und Datenanalyse herangezogen.

WP 4.4:

Die jungen Lebensstadien, wie beispielsweise die Eier, werden als die sensitivsten gegenüber Ozeanversauerung und Erwärmung angesehen. Zu den Effekten von Temperatur auf die Embryonalentwicklung von Fischen ist einiges bekannt, wohingegen die Effekte von Ozeanversauerung und das Zusammenspiel mit Temperatur noch gar nicht erforscht ist. Hierzu hat das Projekt 4.4 beigetragen. Fachliteratur wurde aus dem Internet und Büchern zusammengetragen. Für Originalpublikationen wurden hauptsächlich Suchplattformen wie „Google scholar“ und „ISI Web of Science“ genutzt.

WP 4.6:

Es wurden die gängigen Informations- und Dokumentationsdienste für wissenschaftliche Recherchen (Pubmed, ISI Web of Science, SCORPU, Google Scholar) und die AWI Datenbank (PANGEA) genutzt. Aus diesen Recherchen ergab sich die verwendete Fachliteratur (siehe auch Punkt 4). Hierbei handelte es sich speziell um:

Riebesell U., Fabry V. J., Hansson L. & Gattuso J.-P. (Eds.) (2010). Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting, 260 p. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Munday P. L., Crawley N. E. and Nilsson, G. E. (2009a). Interacting effects of elevated temperature and ocean acidification on the aerobic performance of coral reef fishes. *Marine ecology progress series* **388**, 235-242.

Domenici P., Allan B., McCormick M.I., Munday P.L. (2012) Elevated carbon dioxide affects behavioural lateralization in a coral reef fish. *Biology Letters* 8(1), 78-81. (doi:10.1098/rsbl.2011.0591).

Lannig G., Eilers S., Pörtner H.O., Sokolova I.M., Bock C. (2010). Impact of Ocean Acidification on Energy Metabolism of Oyster, *Crassostrea gigas*—Changes in Metabolic Pathways and Thermal Response. Marine Drugs, Special Issue „Metabolomic Approaches to Marine Organisms“, 8: 2318-2339.

WP 4.8:

Calanoide Copepoden machen bis zu 85% der Biomasse pelagischer Lebensgemeinschaften der Arktis aus (z.B. Longhurst 1985). Als vornehmlich herbivore Organismen sind sie ein wichtiges Bindeglied zwischen Primärproduzenten und Konsumenten höherer Ordnungen einschließlich kommerziell genutzter Fischarten (z.B. Runge 1988). Zu Beginn des Projektes lagen jedoch nur wenige Arbeiten vor, die sich auf den Einfluss erhöhter CO₂-Konzentrationen im Meerwasser auf Wachstum und Reproduktion von *Acartia* spp. und *Calanus helgolandicus* konzentrierten (Kurihara et al. 2004, Kurihara und Ishimatsu 2008, Mayor 2007). Es war nicht bekannt, wie sich CO₂ auf die Physiologie arktischer Tiere auswirkt und ob sich hier bei gleichzeitig erhöhter Temperatur synergistische Effekte nachweisen lassen.

Literatur:

Kurihara H, Ishimatsu A (2008) Effects of high CO₂ seawater on the copepod (*Acartia tsuensis*) through all life stages and subsequent generations. Mar Poll Bull 56: 1086-1090.

Kurihara H, Shimode S, Shirayama Y (2004) Effects of raised CO₂ concentration on the egg production rate and early development of two marine copepods (*Acartia steueri* and *Acartia erythraea*). Mar Poll Bull 49: 721-727.

Longhurst, A.R. (1985) The structure and evolution of plankton communities, Prog Oceanogr 15: 1-35

Mayor DJ, Matthews C, Cook K, Zuur AF Hay S (2007) CO₂-induced acidification affects hatching success in *Calanus finmarchicus*. Mar Ecol Prog Ser 350: 91-97

Runge JA (1988) Should we expect a relationship between primary production and fisheries? The role of copepod dynamics as a filter of trophic variability, in: Boxshall GA, Schminke HK (eds): Biology of copepods, Proceedings 3. Int Conf On Copepoda, London (UK), Aug 1987, Hydrobiologia 167-168: 61-71.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 1.2:

Enge Zusammenarbeit ergab sich in erster Linie mit WP 1.3, insbesondere für die physiologischen Studien und mit den Teilprojekten, die ebenfalls an dem KOSMOS Mesokosmosstudie in Schweden teilnahmen. Das war im Wesentlichen W.P. 1.1 (GEOMAR), welche den reibungslosen Ablauf der Experimente rund um den Mesocosmos gewährleistet haben, aber auch alle anderen die zum Erfolg dieses komplexen Experimentes als solches beigetragen haben. In Zusammenarbeit mit WP 1.5 (IPG Berlin und IOW Warnemünde) wurden die während diesen Zeitraumes entnommen Proben auf die Artenzusammensetzung mittels DNA-Sequenzierung untersucht. Für das Nanoplankton und Picoplankton wurden insgesamt 80 Proben bearbeitet und sequenziert und in den derzeit laufenden statistischen Analysen soll weiter erforscht werden, welche Umweltparameter die Blüte und somit auch die Veränderungen in der Diversität maßgeblich beeinflussten und welchen Effekt die Anreicherung mit CO₂ auf die sich ändernde Diversität des Nano- und Picoplanktons haben. Zur Erreichung dieses Vorhabens wurde eine Zusammenarbeit mit dem WP 1.15 begonnen (HZG Geesthacht).

WP 1.3:

Enge Zusammenarbeit ergab sich insbesondere mit den Teilprojekten, die ebenfalls an den KOSMOS Mesokosmenstudien teilnahmen und mit denen wir in regem Austausch standen. Das waren im wesentlichen W.P. 1.1 – 1.8., 1.11. und 1.15. Ein Teil dieser W.P.s sind auch außerhalb des GEOMAR angesiedelt (W.P. 1.2 AWI Bremerhaven, W.P. 1.4 IOW Warnemünde, W.P. 1.5 IPG Berlin und IOW Warnemünde, W.P. 1.6 AWI Bremerhaven, W.P.1.7 AWI Bremerhaven, W.P. 1.8 Universität Oldenburg, W.P. 1.15 HZG Geesthacht).

WP 1.6:

Innerhalb von Konsortium 1 gab es eine sehr enge Zusammenarbeit sowohl zwischen den jeweiligen Doktoranden und PIs der einzelnen Teilprojekte. Auch mit dem benthischen Konsortium gab es eine gute Zusammenarbeit, insbesondere im Hinblick auf die Ausarbeitung von zukünftigen Kooperation im Rahmen von BIOACID III (B. Matthiessen und F. Werner, GEOMAR Kiel). Während der Feldexperimente in Schweden und auf den Kanaren gab es gute Kooperationen mit Wissenschaftlern vor Ort. Durch die Untersuchung zur Fraßeffizienz von MZP und potentiellen Futterorganismen innerhalb mikrobieller Nahrungsnetze entstand zudem eine enge Kooperation mit Prof. Corina Brussard und Dr. Kate Crawford vom Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ) in den Niederlanden. Im Rahmen dieser Kooperation ist eine gemeinsame Publikation für 2016 geplant.

WP 1.7:

Die Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums war sehr eng vor allem mit den anderen Teilprojekten von Topic 1. Zudem bestanden enge Kooperationen mit den vor Ort in Schweden und auf den Kanaren tätigen Wissenschaftlern. In den Arbeiten mit Quallen wurde die Zusammenarbeit mit Senckenberg am Meer in Hamburg, sowie die Universität Hamburg weiterentwickelt. Aus dem BIOACID Project hinaus entstand eine Zusammenarbeit mit Forschern aus dem UK-Ozeanversauerungsprogramm (D. Speirs, K. Flynn, R. Wilson, M. Heath, I. Allen). Eine Veröffentlichung der Arbeiten aus dieser Zusammenarbeit wird in 2016 erwartet.

WP 1.14:

Die Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums war sehr eng vor allem mit den anderen Teilprojekten von Topic 1. Zudem bestanden enge Kooperationen mit den vor Ort in Schweden und auf den Kanaren tätigen Wissenschaftlern. Die genetischen Arbeiten wurden in enger Kooperation mit Wissenschaftlern von der Uni Frankfurt und Senckenberg durchgeführt.

WP 2.1:

Während des gesamten Projekts herrschte eine sehr enge Zusammenarbeit innerhalb des gesamten Konsortium 2. Dies wird sich in mehreren gemeinsamen Publikationen widerspiegeln. Eine sehr intensive Kooperation entwickelte sich mit dem WP 2.2 und 2.6. Die untersuchten bakteriellen Gemeinschaften und biogeochemischen Parameter stützen die gewonnen Ergebnisse und sind ebenfalls wichtig zur Interpretation.

WP 3.3:

Das WP 3.3 wurde in Bezug auf die Feldarbeit in enger Kooperation mit allen innerhalb des Konsortiums 3 am Papua-Projekt beteiligten Arbeitsgruppen durchgeführt (WPs 3.1, 3.2, 3.5, 3.8 und 3.9 AIMS). Eine besonders enge Zusammenarbeit bestand aufgrund der Methodik der Mikrosensormessungen mit dem MPI in Bremen (Mikrosensorguppe, Dirk de Beer, WP 3.1) und aufgrund der parallel durchgeführten Transplantationsexperimente im Feld mit den Kollegen der Uni

Bremen (WP 3.8), des GEOMAR in Kiel (WP 3.5) und des AIMS in Australien (WP 3.9). Zudem wurden in enger Abstimmung die im Feld genommenen Proben analysiert (Wasserchemie- und Korallen-Gewebeprobe zusammen mit den Kollegen der WPs 3.1, 3.8 und 3.9, Korallen-Skelettproben mit den Kollegen des WP 3.5).

WP 3.7:

Neben der bereits erwähnten engen Zusammenarbeit mit den Kollegen Dr. F. Melzner und Dr. A. Fromm aus WP 3.4 und 3.6 profitiert(e) unser WP von der erfolgreichen Kooperation in Exp. 2 mit Dr. Laura Parker (University of Sydney), Dr. W. O'Connor (Port Stephens Fisheries Institute) und Prof. P. Ross (University of Western Sydney). Mit Prof. I. Sokolova (University of NC at Charlotte) und Prof. A. Sukhotin (Zoological Institute of Russian Academy of Sciences), beides Experten in Muschelökologie und -physiologie, befinden wir uns im wissenschaftlichen Austausch.

WP 4.1:

Zusammenarbeit fand in erster Linie mit den an der gemeinsamen Inkubation beteiligten WP 4.2, 4.3 und 4.6 statt. Darüberhinaus wurden Proben aus der Inkubation auch dem WP 3.2 für die Analyse von Mikrobengemeinschaften in Fischen zur Verfügung gestellt. Weiterhin bestand eine enge Zusammenarbeit mit der Universität in Tromsø (Dr. Torild Johansen, Dr. Jasmine Nahrgang), die sich im gesamten Konsortium 4 widerspiegelt.

WP 4.2:

Das Teilprojekt 4.2 wurde zum einen in enger Zusammenarbeit mit den Teilprojekten 4.5 in Kooperation mit dem Geomar und 4.7 in Kooperation mit der Universität Düsseldorf durchgeführt. Die Kooperationen bestanden in zwei gemeinsam durchgeführten Großexperimenten in Kristineberg und Tromsø. In Kristineberg wurden des weiteren mit dem „Sven Lovén Centre for Marine Sciences“ der Universität Göteborg zusammengearbeitet und in Tromsø wurde mit der Universität Tromsø (Dr. Jasmine Nahrgang) und dem NCBC der Firma Nofima (Dr. Atle Mortensen und Dr. Velmurugu Puvanendran) kooperiert. Dr. Nahrgang war ebenfalls Kooperationspartnerin während der Heinke Expedition HE 408 im Herbst 2013.

Weiterhin bestand eine enge Zusammenarbeit mit WP 4.1, 4.3 und 4.6 im Rahmen der Langzeitinkubationen am AWI.

Aus dem BIOACID Project hinaus entstand eine Zusammenarbeit mit Forschern aus dem UK-Ozeanversauerungsprogramm (D. Speirs, K. Flynn, R. Wilson, M. Heath, I. Allen). Eine Veröffentlichung der Arbeiten aus dieser Zusammenarbeit wird in 2016 erwartet. Eine weitere Zusammenarbeit in Form von EU COST Action Workshops mit Kollegen vom britischen CEFAS (Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Lowestoft, UK) besteht ebenfalls (S. Birchenough, J. Metcalfe, J. Bremner).

WP 4.3:

Für die populationsgenetischen Arbeiten wurden neben Proben von Konsortiumspartnern (WP4.7) Proben von folgenden wissenschaftlichen Partnern/Institutionen zur Verfügung gestellt:

Dr. Jasmine Nahrgang	Department of Arctic and Marine Biology, University of Tromsø, Norway
Prof. John Nelson	Department of Biology, University of Victoria, Canada
Dr. Torild Johansen	Department of Population genetics and ecology, University of Tromsø, Norway

Dr. Harald Gjørseter & Dr. Jane Godiksen Institute of Marine Research, Bergen, Norway

Dr. Hauke Flores Alfred-Wegener-Institut: Helmholtz-
Nachwuchsgruppe „Iceflux“

WP 4.4:

Das Teilprojekt 4.4 wurde in enger Zusammenarbeit mit den Teilprojekten 4.5 in Kooperation mit dem Geomar und 4.7 in Kooperation mit der Universität Düsseldorf durchgeführt. Die Kooperationen bestanden in zwei gemeinsam durchgeführten Großexperimenten in Kristineberg und Tromsø. In Kristineberg wurden des weiteren mit dem „Sven Lovén Centre for Marine Sciences“ der Universität Göteborg“ zusammengearbeitet und in Tromsø wurde mit der Universität Tromsø (Dr. Jasmine Nahrgang) und dem NCBC der Firma Nofima (Dr. Atle Mortensen und Dr. Velmurugu Puvanendran) kooperiert.

WP 4.6:

Siehe auch Punkt 4. Für den Aufbau der Verhaltensexperimente, deren Auswertung und Interpretation wurde in enger Kooperation mit Frau Prof. Dr. Gabriele Gerlach von der Universität Oldenburg gearbeitet.

WP 4.8:

Das WP 4.8 wurde in enger Kooperation der beiden Sektionen Polare Biologische Ozeanographie und Integrative Ökophysiologie (AWI) durchgeführt. Die Versuche, Algen unter verschiedenen CO₂-Konzentrationen zu kultivieren, wurden von Dr. Sebastian Rokitta begleitet. Bei der Beschaffung der Tiere haben uns Dr. Janne Søreide (Universität Spitzbergen, Norwegen), Dr. Elisabeth Halvorsen (Universität Tromsø, Norwegen) und Dr. Felix Mark (AWI, WP 4.2) unterstützt.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 1.2:

Die Auswirkung von Ozeanversauerung auf die Planktongemeinschaften mit Fokus auf toxische Arten in natürlichen Systemen war ein entscheidender Aspekt in diesem Teilprojekt. Im Rahmen der Mesokosmen Langzeitstudie (W.P. 1.1) sollte untersucht werden, wie sich Planktongemeinschaften als Folge der Ozeanversauerung umstrukturieren und ob toxische Arten einen Vorteil in den gestressten Systemen haben und somit in ihren Abundanzen ansteigen. Die Publikationen zu diesem Aspekten werden 2016 im Rahmen des PLOS special Issues über die Kristineberg Langzeit Studie veröffentlicht.

Im Folgenden wird aufgeschlüsselt welche Untersuchungen unternommen wurden und wofür BIOACID Geld aufgewendet wurde.

- 3) Mesokosmenstudie Schweden 2013: Die wesentlichen Ergebnisse dieses Experiments waren (1) Diatomeen waren von Ozeanversauerung nicht oder nur in sehr geringem Umfang betroffen. (2) Autotrophe Picoeukaryoten (0.2 – 2 µm) waren positiv beeinflusst. (3) Die Planktogeneinschaft war stärker von Ozeanversauerung betroffen, wenn die Gemeinschaft nährstofflimitiert war. (4) Über die 14C-basierten Messungen der Primärproduktion wurde

eine leichte Stimulation in den Mesokosmen mit Ozeanversauerung ermittelt. Bei den Phykotoxinen wurde hauptsächlich Domoinsäure festgestellt.

Die Proben wurden alle 4 Tage zur Analyse a) des Vorkommens von Phycotoxinen sowie b) für die Analyse der Artenzusammensetzung des Micro- und Nanoplanktons anhand von DNA-Sequenzierungen und zur Analyse der Primärproduktion und Erstellung von Lichtsättigungskurven entnommen.

Phycotoxine: Die Ergebnisse der Phycotoxinanalysen sind fast abgeschlossen. Neben der Messung der Proben aus dem Fjord und der Mesokosmen wurden weitere, öffentlich zugängliche Daten analysiert: für den Zeitraum von 2006 – 2014 wurde das Vorkommen toxischer Mikroalgen im Gullmarfjord betrachtet. Daraus ist ersichtlich, dass 16 Gattungen toxisch-wirkender Mikroalgen wiederholt im Gullmarfjord nachweisbar sind. Die Toxizität der unterschiedlichen Gattungen umfasst sowohl eine direkte Toxizität über produzierte Sekundärmetabolite welche in der Nahrungskette akkumulieren können, also auch indirekt toxisch wirkende Arten (hohe Biomasse, starke Zehrung von Sauerstoff). Die Gattungen können weiter in Dinoflagellaten und Diatomeen unterteilt werden. Dinoflagellaten überdauern die Wintermonate als Zysten auf dem Meeresboden; deswegen wurden die Mesokosmen nach Versuchsbeginn (Ende des Winters) regelmäßig mit Wasser aus dem Fjord angeimpft um Dinoflagellaten zu integrieren. Anscheinend gelang dies aber nicht, da keines der im Fjord nachweisbaren Dinoflagellaten-Toxine auch in den Mesokosmen detektierbar war. In den Mesokosmen konnten lediglich Toxine (Domoinsäure) von der Diatomeen-Gattung *Pseudo-nitzschia* nachgewiesen werden. Aufgrund der Auswertung der Daten des Phytoplanktonvorkommens im Gullmarfjord ist jedoch ersichtlich, dass *Pseudo-nitzschia* womöglich früher in den Mesokosmen an Abundanz zunimmt, jedoch ohne CO₂-Effekt. Im Bericht 2013 wurde bereits darauf aufmerksam gemacht, dass in den CO₂-angereicherten Mesokosmen tendenziell mehr Domoinsäure produziert wurde als in den Kontroll-Mesokosmen. Die Projektpartner am GEOMAR Kiel lieferten bereits einige Ergebnisse zur Abundanz von *Pseudo-nitzschia* in den Mesokosmen (anhand von Lugol-fixierten Zählproben), der Umfang der bereitgestellten Ergebnisse ist jedoch noch zu gering um Rückschlüsse auf die Domoinsäure-Zellquoten in den einzelnen Mesokosmen zu ziehen. Dazu werden zur Zeit noch weitere Proben ausgezählt. Zusätzlich erfolgte eine Quantifizierung anhand genetischer Analysen (qPCR). Die finalen Ergebnisse beider Methoden (Auszählung der Lugol-Proben, qPCR) erlauben dann eine genauere Bestimmung der Domoinsäuren-Zellquoten. Die Erstellung einer wissenschaftlichen Publikation ist bereits angelaufen und im Leitartikel der Special Issue über die Kristineberg-Mesocosmosstudie aufgelistet.

DNA-Sequenzierung / Artenzusammensetzung: Die Analyse der Phytoplanktonabundanz in den Mesocosmen ergab, dass während einer Zweiten Blütephase markante Unterschiede in der Abundanz des Nano- und Picoplanktons zwischen den Hoch-CO₂ / Kontroll-Mesocosmen aufgetreten sind. In Zusammenarbeit mit WP 1.5 wurden die während diesen Zeitraumes entnommen Proben auf die Artenzusammensetzung mittels DNA-Sequenzierung untersucht. Für das Nanoplankton und Picoplankton wurden insgesamt 80 Proben bearbeitet und sequenziert. Die Analyse der DNA Sequenzen ist abgeschlossen und die Daten wurden auf ihre ökologische Aussage mit verschiedenen statistischen und multivariaten Verfahren analysiert. Die ersten Ergebnisse zeigen dass die gute Sequenzierentiefe der einzelnen Proben erreicht wurde (Rarefractionanalysis) welche einen Vergleich von Diversitätsindizes erlaubt. Im Allgemeinen scheint die Diversität in beiden Fraktionen nicht maßgeblich durch CO₂ beeinflusst zu sein, es zeigt sich jedoch eine Verschiebung der Diversität über die Zeit. Die erfolgte Blüte im Nano- und Picoplankton hat darauf einen starken Einfluss. Generell zeigt sich, dass Arten die zu Beginn des Versuches abundant waren über die Zeit abnehmen und das Arten, die vor der Blüte dominant waren durch die blütenbildenden Arten in ihre Abundanz reduziert werden. In den mit CO₂-angereicherten Mesokosmen ist das Muster während der Blütephase

vermehrt auftretenden Arten länger beständig als in den Kontroll-Mesokosmen. Vor der Blüte treten vermehrt Arten die zu den Eustigmatophyceae zählen auf, während die Blütenphase von Arten die zu den Coscindodicophyceae gehören dominiert wird. In den derzeit laufenden statistischen Analysen wird weiter erforscht, welche Umweltparameter die Blüte und somit auch die Veränderungen in der Diversität maßgeblich beeinflussten und welchen Effekt die Anreicherung mit CO₂ auf die sich ändernde Diversität des Nano- und Picoplanktons haben. Zur Erreichung dieses Vorhabens wurde eine Zusammenarbeit mit dem WP 1.15 etabliert. Die hier erhaltenen Ergebnisse werden in einer wissenschaftlichen Publikation in der bereits oben genannten Special Issue veröffentlicht; die Publikation ist bereits im Leitartikel aufgelistet.

Primärproduktion und Lichtsättigungskurven: Alle Daten wurden für die Größenfraktion zwischen 200µm und ~ 3µm erhoben. Die ersten Analysen der Primärproduktion ergaben keine signifikanten Unterschiede in Relation zur Biomasse zwischen den Hoch-CO₂- und Kontroll-Mesocosm. Im Zusammenhang mit einer beobachteten höheren Biomasse in den Hoch-CO₂-Mesocosmen ergibt sich jedoch auch eine höhere Primärproduktion

Physiologische Studien: Bei den laborbasierenden öko-physiologischen Studien haben wir die kombinierten Effekte von erhöhtem CO₂ und N Limitierung bei Nordsee Dinoflagellaten untersucht. Die untersuchten Arten beinhalteten *Alexandrium fundyense* und *Scrippsiella trochoidea*. Diese Versuche wurden in extra entwickelten Chemostaten (BIOACIDI) durchgeführt. Die Ergebnisse haben eindeutig interagierende Effekte von CO₂ und N-Limitierung gezeigt und zwar das erhöhte CO₂ Bedingungen die negative Effekte von N-Limitierung kompensiert. Zum Beispiel geht unter N-Limitierung die Synthese von reichlich N-beinhaltenen Paralytischen Muschelgiften (Saxitoxine) herunter, aber bei erhöhtem CO₂ war dieser Effekt wieder aufgehoben.

WP 1.3:

Die Auswirkung von Ozeanversauerung auf Coccolithophoriden in natürlichen Systemen war ein entscheidender Aspekt in diesem Teilprojekt. Im Rahmen der Mesokosmen Langzeitstudie (W.P. 1.1) sollte untersucht werden, wie sich Coccolithophoridengemeinschaften als Folge der Ozeanversauerung umstrukturieren. Wider Erwarten waren Coccolithophoriden kein Teil der Planktongemeinschaft im Experiment in Schweden 2013. Sie konnten dementsprechend auch nicht untersucht werden. Statt der Coccolithophoriden wurde daraufhin die gesamte Phytoplanktongemeinschaft untersucht. Die Publikationen zu diesem Aspekt werden 2016 im Rahmen des PLOS special issues über die Kristineberg Langzeit Studie veröffentlicht. Der Teilaspekt „Coccolithophoridendiversität“ wurde dann im Folgejahr im Mesokosmenprojekt auf Gran Canaria untersucht. Die Proben zu diesem Teilprojekt werden aktuell noch bearbeitet. Da uns von den örtlichen Behörden auf Gran Canaria keine Erlaubnis für Arbeiten mit radioaktiven Kohlenstoffisotopen erteilt wurde, mussten die physiologischen Untersuchungen im Rahmen von Laborarbeiten bewerkstelligt werden.

Im Folgenden wird aufgeschlüsselt welche Untersuchungen unternommen wurden und wofür BIOACID Geld aufgewendet wurde.

- 1) Mesokosmenstudie Schweden 2013: Wie oben bereits erwähnt waren in diesem Experiment Coccolithophoriden nicht Teil der natürlichen Phytoplanktongemeinschaft. Sie konnten deshalb auch nicht untersucht werden. So haben wir daraufhin die restliche Phytoplanktongemeinschaft untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse dieses Experiments waren (1) Diatomeen waren von Ozeanversauerung nicht oder nur in sehr geringem Umfang betroffen. (2) Autotrophe Picoeukaryoten (0.2 – 2 µm) waren positiv beeinflusst. (3) Die Planktongemeinschaft war stärker von Ozeanversauerung betroffen, wenn die Gemeinschaft

nährstofflimitiert war. (4) Über die ^{14}C -basierten Messungen der Primärproduktion wurde eine leichte Stimulation in den Mesokosmen mit Ozeanversauerung ermittelt.

- 2) Mesokosmenstudie Gran Canaria 2014: Im zweiten und erfolgreichen Experiment (Herbst 2014) wurde der Einfluss von Ozeanversauerung auf die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft und insbesondere auch der Coccolithophoridengemeinschaft untersucht. Coccolithophoriden waren in diesem Experiment in der Wassersäule vertreten. Die Ergebnisse aus der Coccolithophoridenuntersuchung sind noch nicht vollends ausgewertet und Ergebnisse liegen bis dato noch nicht vor. Es wird jedoch auch über BIOACID II hinaus an den Proben gearbeitet und Ergebnisse sollen möglichst bald präsentiert werden. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der gesamten Phytoplanktongemeinschaft sind schon deutlich weiter fortgeschritten. Hier deutet sich an, dass die toxische Alge *Heterosigma akashiwo* unter hoch- CO_2 Bedingungen eine Blüte bilden konnte, was starke Auswirkungen auf die restliche Gemeinschaft hatte. Dieses Ergebnis ist von besonderem wirtschaftlichen Interesse, da toxische Algenblüten negative Auswirkungen auf lokale Fischerei und Tourismus haben können.

Physiologische Studien: Bei den physiologischen Studien zwischen den Mesokosmen-experimenten wurden schwerpunktmäßig zwei verschiedene Fragestellungen untersucht. Zunächst sollte festgestellt werden welche Parameter des Karbonatsystems den Metabolismus von Coccolithophoriden maßgeblich beeinflussen. Unsere Ergebnisse deuten an, dass Wachstum und Kalzifizierung positiv mit CO_2 und HCO_3^- Konzentration korrelieren und negativ von erhöhter Protonenkonzentration beeinflusst werden. Diese Ergebnisse wurden in ein Kalzifizierungsmodell eingebaut und publiziert. In einem darauf folgenden Unterprojekt wurde überprüft in welchem Umfang sich die aus der Coccolithophoriden-forschung gewonnen Erkenntnisse auf marine Kalkbildner im Allgemeinen übertragen lassen. In diesem Teilprojekt wurde festgestellt, dass das Verhältnis von Bikarbonat zu Protonen ($\text{HCO}_3^-/\text{H}^+$) proportional zur Karbonationen Konzentration ist. Da es wahrscheinlich ist, dass HCO_3^- das C-Substrat für CaCO_3 ist und H^+ als Kalzifizierungsinhibitor gilt, ist das $\text{HCO}_3^-/\text{H}^+$ Verhältnis vermutlich ein sinnvoller Parameter für Korrelationen mit der Kalzifizierungsrate. Im Umkehrschluss ergibt sich daraus, dass die Kalzifizierungsrate womöglich nur deshalb so häufig gut mit der Karbonationen Konzentration korreliert, weil diese linear mit $\text{HCO}_3^-/\text{H}^+$ im Verhältnis steht. Falls dies der Fall sein sollte, würde es bedeuten, dass die Bildung von CaCO_3 in hohen Breiten nicht energieaufwendiger wäre als in niedrigen Breiten, weil das $\text{HCO}_3^-/\text{H}^+$ Verhältnis im Gegensatz zur Karbonationenkonzentration kein latitudinalen Gradienten aufweist.

Ein weiterer wesentlicher Untersuchungsschwerpunkt war ein Verständnis zu entwickeln wie Veränderungen in der Lichtintensität bzw. Wassertemperatur den Einfluss der Karbonatchemie auf den Coccolithophoridenmetabolismus modifizieren. Hier konnte festgestellt werden, dass sowohl Lichtintensität als auch Temperatur den Einfluss der Karbonatchemie auf den Metabolismus modifizieren, ohne jedoch den grundlegenden Wirkungsmechanismen der Karbonatchemie zu verändern. Zum Beispiel reagierte die Wachstumsrate auf einem sehr großen CO_2 Gradienten in Form einer Optimumskurve. Diese Kurve wurde bei allen Temperaturen in ähnlicher Form gefunden, jedoch war das Optimum bei höheren Temperaturen zu höheren CO_2 Werten verschoben. Ähnliches konnte man auch bei verschiedenen Lichtintensitäten beobachten. Auch hier wurde das Optimum durch variierende Lichtintensitäten verschoben.

In weiteren Laborstudien wurden die Kohlenstoffflüsse bei Coccolithophoriden unter manipulierter Karbonatchemie gemessen, u.a. um den Effekt von Protonen von dem des Kohlenstoffangebots unterscheiden zu können. Durch die Kombination von ^{14}C -basierte Tracerstudien mit Membraneinlass-Massenspektrometrie konnten neue Erkenntnisse über die Regulation des

Kohlenstoffverbräuch gewonnen werden. Wie auch schon in den oben erwähnten Experimenten zeigte sich ein Zusammenhang mit der H^+ Konzentration. Zwar stimulieren erhöhte H^+ Konzentration die CO_2 Aufnahme für die Biomasseproduktion der Zellen; der negative Effekt von Protonen auf die HCO_3^- -Transportmechanismen wirkt sich jedoch ungleich stärker aus und stört folglich insbesondere die Kalkbildung. Die Ergebnisse zur H^+ -Abhängigkeit der Transporter lassen sich vermutlich auf verwandte Arten übertragen und können in Zellmodelle berücksichtigt werden.

WP 1.6:

Direkt zu Beginn des Projekts (01.09.2012) begann die Planung für das erste Experiment, das Ostsee Herbstexperiment (Baltic Sea Autumn Experiment). Mithilfe der GEOMAR Indoor Mesokosmenanlage in Kiel wurde der Einfluss von Temperatur und CO_2 -Gehalt auf die Planktongemeinschaft zur Zeit der Phytoplanktonblüte im Herbst untersucht. Das Experiment wurde über einen Zeitraum von 4 Wochen (18.10.-12.11.2012) durchgeführt. 12 Mesokosmen wurden verwendet, die bei einer Kombination aus 2 pCO_2 Konzentrationen (niedriger CO_2 : 840, hoher CO_2 : 2400 ppm) und 2 unterschiedliche Temperaturen (kalt: 9°C, warm: 15°C) jeweils in 3 Replikaten gefahren wurden. Die Mesokosmen wurden mit einer natürlichen Planktongemeinschaft gefüllt (Bakterien, Phytoplankton, MZP) sowie Mesozooplankton aus Netzfängen. Proben zur Analyse des Mikrozooplankton (MZP) wurden 3-mal pro Woche genommen (Lugol Fixierung). Die Ergebnisse zeigen, dass der Zeitpunkt der Biomassemaxima des MZP (hier ausschließlich Ciliaten, Abb. 1) durch die zwei unterschiedlichen pCO_2 Konzentrationen (840 und 2400 ppm) unbeeinflusst blieb. Höhere Temperaturen führten zu einem beschleunigten Wachstum der Ciliaten und somit zu einem schnelleren Erreichen des Biomassemaximums bei höheren Temperaturen (15°C) im Vergleich zu niedrigeren Temperaturen (9°C). Dies führte dazu, dass der zeitliche Abstand zwischen dem Auftreten der Phytoplanktonblüte und des Ciliatenmaximums verkürzt war. Insgesamt wurden unter erhöhten Temperaturbedingungen niedrigere maximale MZP-Biomassen erzielt, ein Effekt, der durch erhöhte pCO_2 Bedingungen zusätzlich verstärkt wurde.

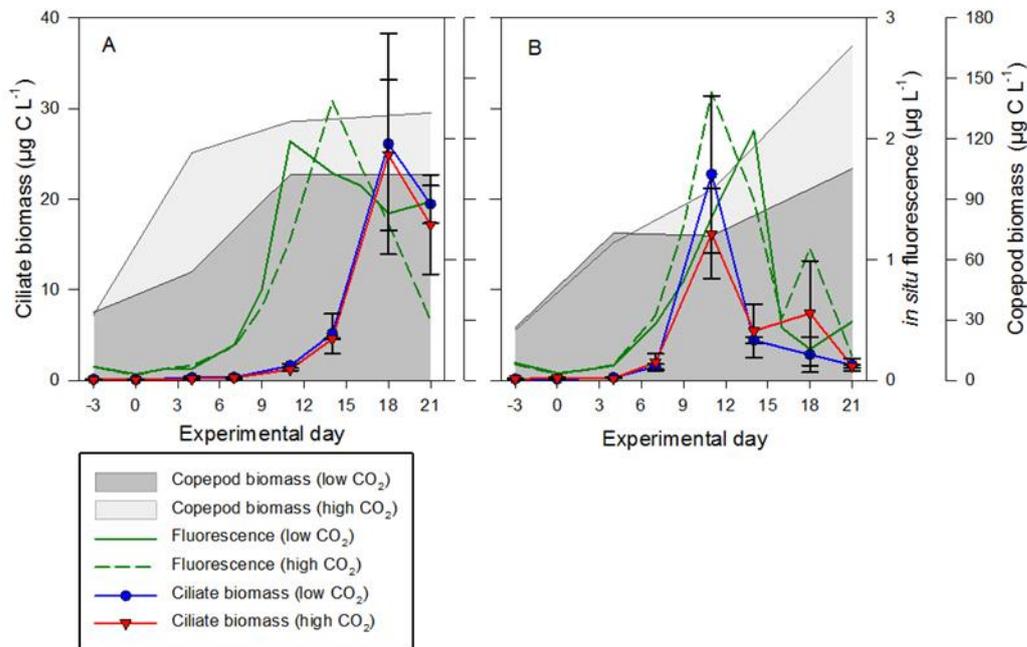


Abb. 1. Ciliaten (Mittelwert \pm Standardabweichung) in $\mu g C L^{-1}$ bei niedrigen (blau) und hohen CO_2 -Konzentrationen (rot) und Copepodenbiomasse (adulte Copepoden und Copepodite) in $\mu g C L^{-1}$ bei niedrigen (dunkelgrau) und hohen CO_2 -Konzentrationen (hellgrau) sowie in situ Fluoreszenz ($\mu g L^{-1}$) bei niedrigen (grüne Linie) und hohen CO_2 -Konzentrationen (gestrichelte, grüne Linie) in den (A) kalten und (B) warmen Mesokosmen.

Erhöhte CO₂-Konzentrationen hatten keinen Einfluss auf die taxonomische Zusammensetzung und die Diversität der Ciliatengemeinschaft (Abb. 2). Es konnte jedoch eine erhöhte Diversität der Ciliaten bei höheren Temperaturen festgestellt werden.

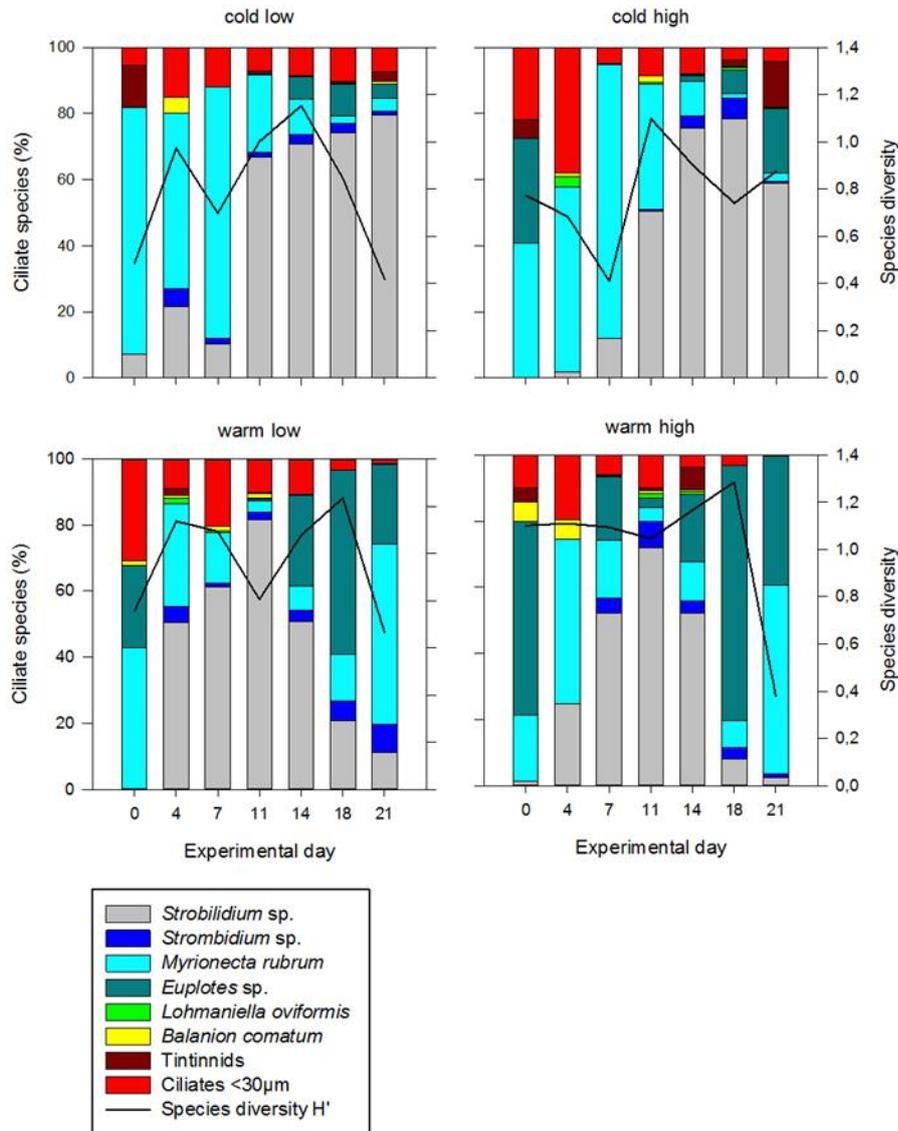


Abb. 2. Zusammensetzung der Ciliatengemeinschaft und Art-Diversität-Index (H', schwarze Linie) über den Verlauf des Experimentes bei zwei Temperaturen (kalte und warme Mesokosmen) und zwei CO₂-Konzentrationen (hoch und niedrig).

Das im Frühjahr 2013 durchgeführte KOSMOS Gullmar Fjord Experiment (Sven Loven Zentrum, Kristineberg, Schweden) startete Anfang März und dauern insgesamt mehr als 100 Tage. Das Experiment hatte zum Ziel, den Einfluss von unterschiedlichen CO₂-Konzentrationen (400-1000 ppm) auf natürliche Planktongemeinschaften während einer Frühjahrsblütensituation zu untersuchen. Der Verlauf des Experiments wurde in vier verschiedene Phasen eingeteilt: (1) Prä-Blütenphase: Tag 1-16, (2) 1. Phytoplanktonblüte: Tag 17-40, (3) 2. Phytoplanktonblüte: Tag 41-79 und (4) Post-Blütenphase: von Tag 80 an (Abb. 3).

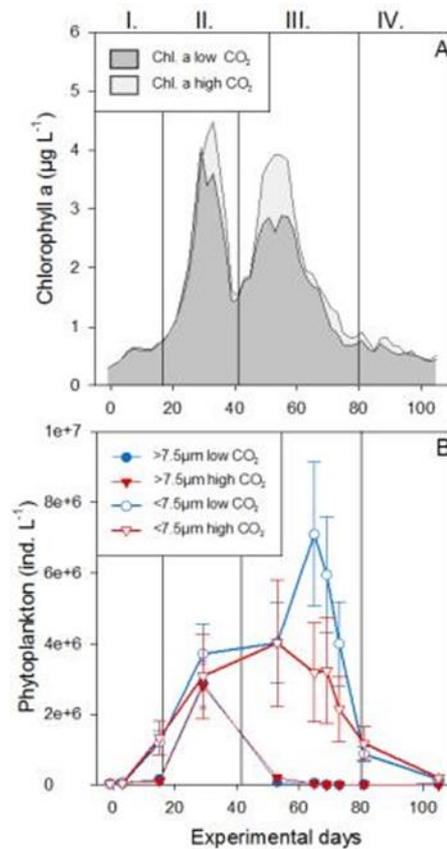


Abb. 3. A: Chlorophyll a Konzentrationen bei niedrigem (dunkelgrau) und hohem CO₂ (hellgrau). Vertikale, schwarze Linien und lat. Nummern zeigen die jeweilige Experimentphase (I-IV). B: Phytoplanktonabundanz von zwei Phytoplanktongrößenklassen >7.5µm (gefüllte Symbole) und <7.5µm (offene Symbole) bei niedrigem (blau) und hohem CO₂ (rot).

Während das MZP auf den ersten Anstieg in der Chlorophyllkonzentration nur wenig reagierte, zeigte sich ein deutliches MZP-Wachstum während der 2. Phytoplanktonblüte (ab Tag 40). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den MZP-Biomassen bei niedrigem und hohem CO₂-Gehalt festgestellt werden (Abb. 4).

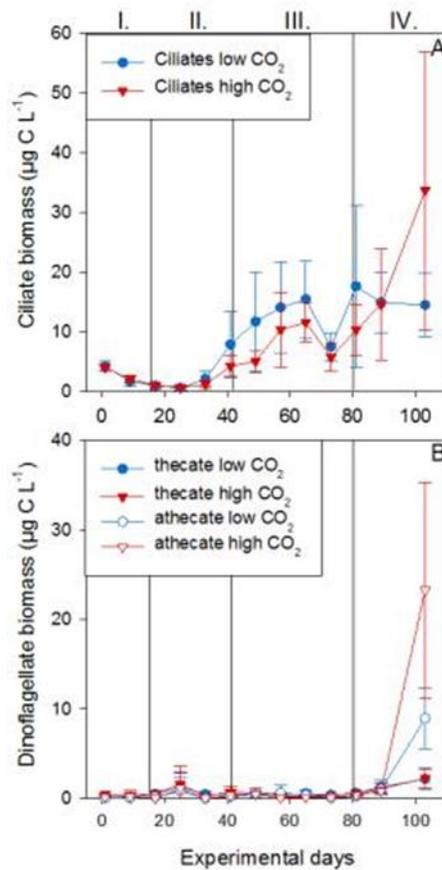


Abb. 4. A: Ciliaten in $\mu\text{g C L}^{-1}$ bei niedrigem (blau) und hohem CO_2 (rot). Vertikale, schwarze Linien und lat. Nummern zeigen die jeweilige Experimentphase (I-IV). B: Dinoflagellaten ($\mu\text{g C L}^{-1}$) (thekate: gefüllte Symbole; athekate: offene Symbole).

Insgesamt machten Ciliaten den größten Anteil an der gesamten Biomasse aus (im Mittel zwischen 67-98%). Sie zeigten sehr ähnliche Sukzessionsmuster bei beiden CO_2 -Konzentrationen. Nur an Tag 25 und 103 wurde die MZP-Gemeinschaft kurzzeitig von Dinoflagellaten dominiert. An diesen Tagen machten die Dinoflagellaten jeweils 66% bzw. 44% der Gesamtbiomasse aus.

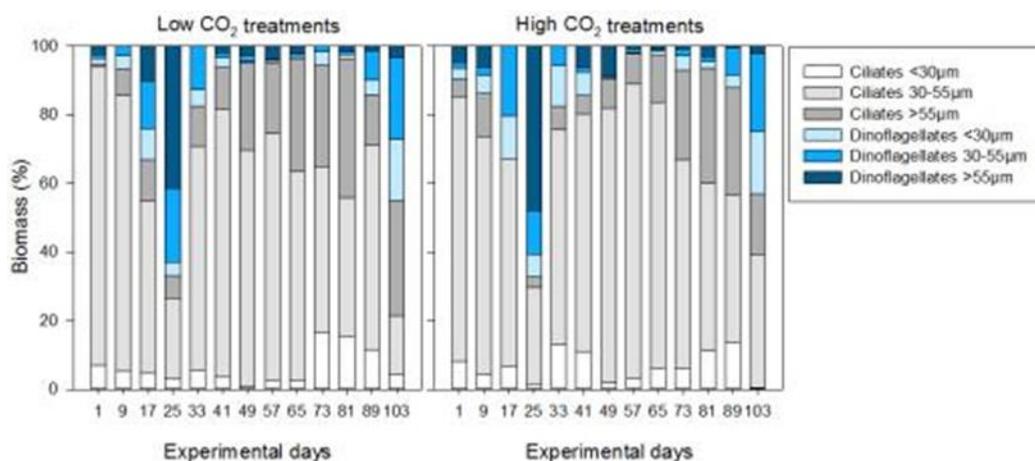


Abb. 5. Zusammensetzung des Mikrozooplankton: Ciliaten (grau) und heterotrophe Dinoflagellaten (blau) in den jeweiligen Größenklassen (<30µm, 30-55µm und >55µm).

Das Phytoplankton zeigte zum Zeitpunkt des Fraßexperiments an Tag 35 (1. Chlorophyllmaximum) durchweg negative Wachstumsraten (μ), wobei meist niedrigere Raten unter erhöhten CO₂-Bedingungen ermittelt wurden (in Bezug auf Gesamt-Phytoplankton, Flagellaten <5µm und Flagellaten >5µm; Tab. 1). Die Phytoplanktonsterblichkeit (m) war höher bei erhöhten CO₂-Bedingungen (in Bezug auf Gesamt-Phytoplankton und Flagellaten <5µm).

Variable		Df	Mean Sq	F value	p-value
growth rate μ	Total phytoplankton	1	0.392	15.587	0.017 *
	Flagellates <5µm	1	0.351	9.854	0.035 *
	Flagellates >5µm	1	1.151	8.254	0.045 *
	<i>Dunaliella</i> sp.	1	2.211	6.718	0.061
	<i>Arcocellulus</i> sp.	1	0.049	0.046	0.840
mortality m	Total phytoplankton	1	1.281	37.078	0.004 **
	Flagellates <5µm	1	1.494	57.024	0.002 **
	Flagellates >5µm	1	1.232	7.491	0.052
	<i>Dunaliella</i> sp.	1	1.413	7.278	0.054
	<i>Arcocellulus</i> sp.	1	0.550	0.562	0.495

Tab. 1. Effekte von CO₂ auf das Phytoplanktonwachstum (μ) und die Phytoplanktonsterblichkeit (m) während des Fraßexperiments an Tag 35.

Beim Ostsee-Sommerexperiment (Baltic Sea Summer Experiment), das im Sommer 2013 durchgeführt wurde, wurden die beiden Faktoren p CO₂ und Temperatur kombiniert. Es wurde ein CO₂-Gradient (500-3000 ppm) etabliert und zwei Temperaturen (-3°C und +3°C der natürlichen Wassertemperatur) ausgewählt. Der Fokus lag auf der Simulation einer Cyanobakterienblüte im Sommer. Zum Zeitpunkt der Phytoplanktonblüte (Tag 0-12) wurde in den Ansätzen mit hohem CO₂ eine signifikant niedrigere Ciliatenbiomasse und eine geringere Diversität ermittelt (Abb. 6).

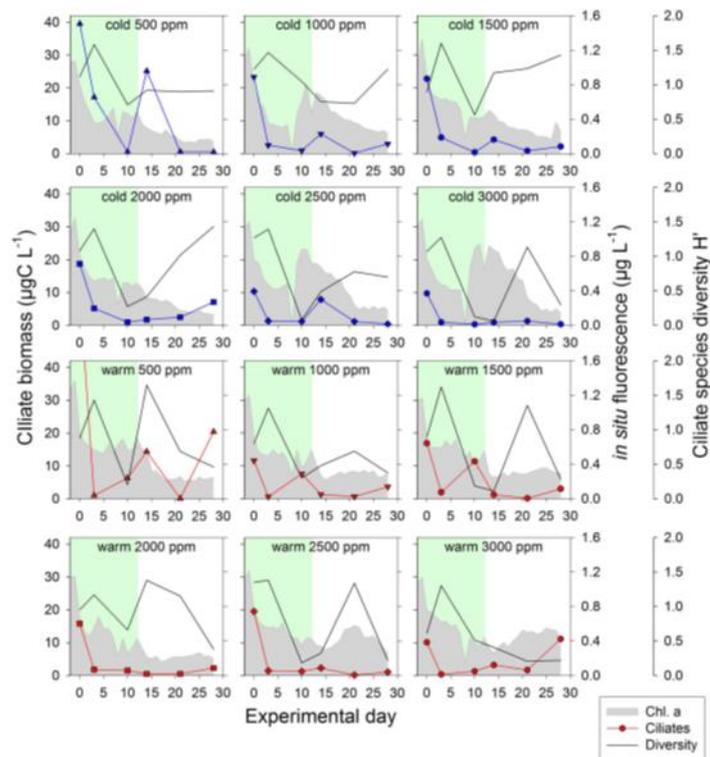


Abb. 6. Ciliaten ($\mu\text{g C L}^{-1}$) in den kalten (blau) und warmen (rot) Mesokosmen bei unterschiedlichen CO_2 -Konzentrationen (500-3000 ppm), Chlorophyll a als in situ Fluoreszenz ($\mu\text{g L}^{-1}$) (graue Bereiche) und Diversität H' (schwarze Linie). Grüne Bereiche markieren den Zeitraum der Phytoplanktonblüte (Tag 0-12).

Diesen negativen Trends zwischen Ciliatenbiomasse und zunehmenden CO_2 -Konzentrationen sowie einer Abnahme der Ciliatendiversität mit zunehmendem CO_2 zum Zeitpunkt der Phytoplanktonblüte wird anschaulich in Abb. 7 verdeutlicht.

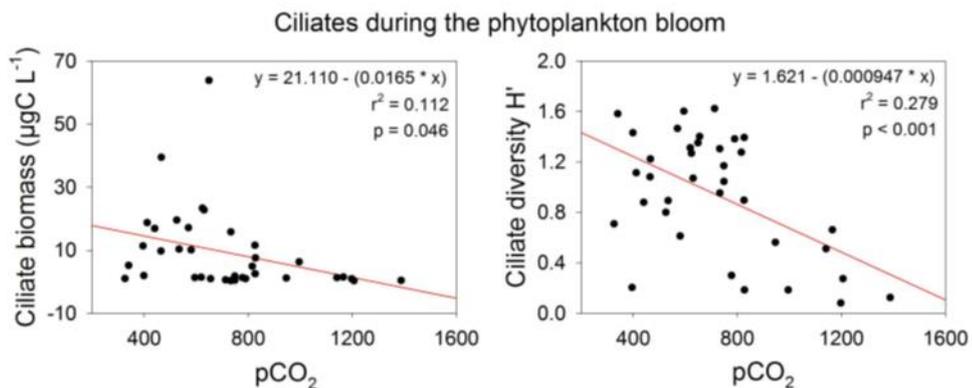


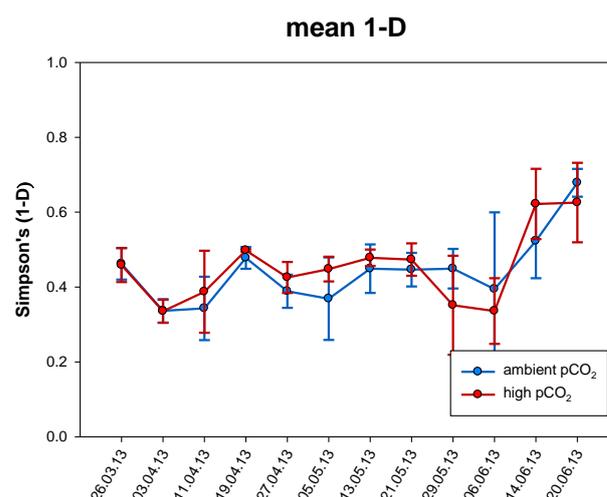
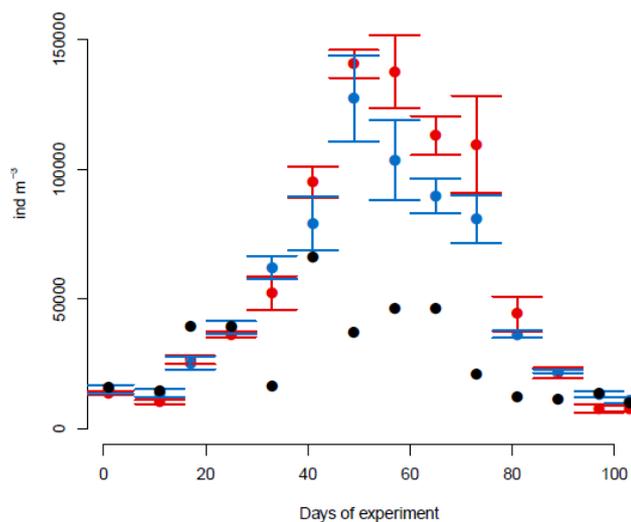
Abb. 7. Ciliaten in $\mu\text{g C L}^{-1}$ (linke Graphik) und Ciliatendiversität H' (rechte Graphik) während der Phytoplanktonblüte (Tag 0-12) mit zunehmender CO_2 -Konzentrationen (500-3000 ppm).

Das KOSMOS Gran Canaria Experiment (GC 1.0) startete zunächst im Februar 2014. Dieses Experiment musste jedoch, in Folge von Sturmschäden an den Mesokosmen, im März 2014 abgebrochen werden. Die an dem Projekt im Rahmen von BIOACID II beteiligten Teilprojekte

verständigten sich darauf, einen erneuten Experimentstart für den Herbst 2014 anzuvisieren. Von Oktober bis November 2014 konnte das Experiment schlussendlich erfolgreich durchgeführt werden (KOSMOS Gran Canaria Experiment; GC 2.0). Hierbei wurde als Versuchsansatz ein CO₂-Gradient gewählt und die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Planktongemeinschaften in einem oligotrophen Meeresgebiet untersucht. Die Auswertung des Probematerials ist bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollständig abgeschlossen, da sich Verzögerungen bei der Auswertung des mit saurem Lugol fixierten Probenmaterials ergeben haben. Die Proben waren mit kristallinen Ausfällungen übersät (vermutlich ausgefälltes Jod aus der Kalium-Jodid-Lösung aufgrund des hohen Salzgehalts), die eine quantitative und qualitative Ermittlung der MZP-Biomassen nicht vollständig gewährleisten konnten. Mittlerweile wurde zusätzliches Probematerial von Kieler BIOACID II Kollegen bereitgestellt, das mit basischem Lugol fixiert ist. Diese Proben befinden sich derzeit in der Auswertung. Zum jetzigen Zeitpunkt lassen sich somit leider noch keine verlässlichen Aussagen zum Einfluss von CO₂ auf das MZP im oligotrophen Atlantik im Rahmen von GC 2.0 treffen.

WP 1.7:

Von Januar bis Mai 2013 wurde am Sven Lovén Zentrum im Schwedischen Kristineberg ein gemeinsamer Mesokosmenversuch mit vielen anderen beteiligten Teilprojekten im BIOACID II Projekt durchgeführt. In zehn



Meskosmen wurden für einen Zeitraum von etwa drei Monaten die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die gesamte Planktongemeinschaft untersucht. Jeweils fünf Ansätze wurden mit normalem CO₂ Gehalt gefahren, die anderen fünf Mesokosmen wurden einer erhöhten CO₂-Konzentration von etwa 1000 ppm ausgesetzt. Die Ergebnisse dieses Experimentes werden in vielen Teilprojekten präsentiert. Ziel dieses Projektes war es die Änderungen und Entwicklungen der Zooplanktongemeinschaft als Folge der unterschiedlichen CO₂ Bedingungen zu beschreiben. Die Ergebnisse zeigen dass die Variation innerhalb der beiden Treatments groß ist, und die Unterschiede in der Gemeinschaftszusammensetzung zwischen den CO₂ - Behandlungen klein. Damit werden wenig signifikante Ergebnisse gefunden. Die Diversität der Mesozooplanktongemeinschaften in den Mesokosmen sind zwar unterschiedlich zwischen unterschiedlichen Probenahmezeitpunkten, ein Effekt der Behandlung (hoch CO₂ vs. ambient) ist nicht signifikant (Abb. 1,2) In allen statistischen Analysen wurde lediglich eine marginal signifikante Interaktion (p=0.07) zwischen Zeit und Behandlung für die Dichten der Hydromedusen *Hybocodon*. Diese Art wurde vermehrt in den Ansätzen gefunden die unter natürlichen CO₂ Bedingungen gehältert wurden (Abb. 3).

Abb. 1. Anzahl der gefangenen Tiere und Diversität der Mesozooplanktongemeinschaften in den Kristinebergmesokosmen. Insgesamt wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Treatments beobachtet.

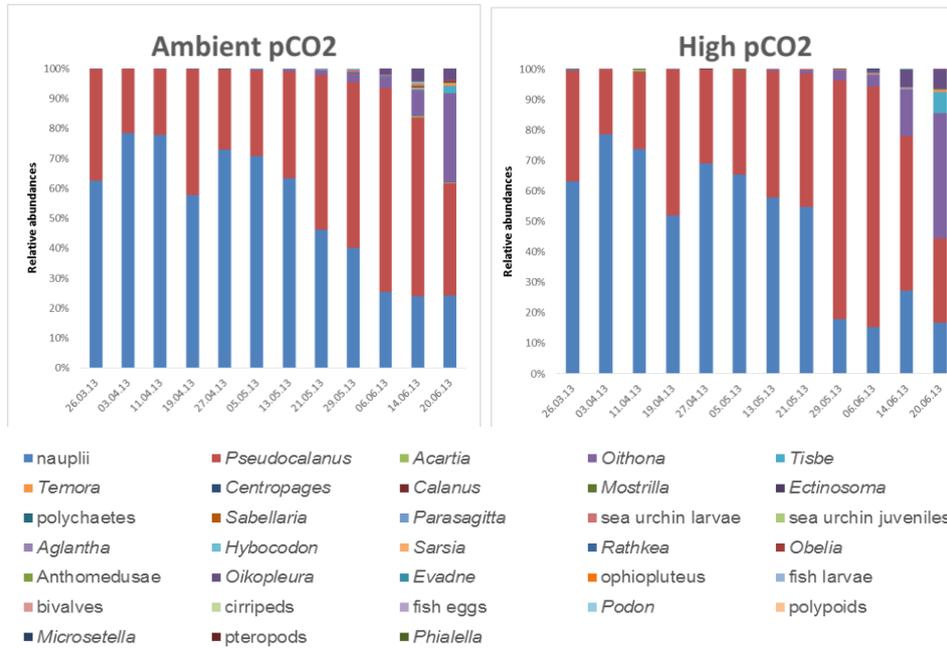


Abb. 2. Zusammensetzung der Mesozooplanktongemeinschaften in den Kristinebergmesokosmen

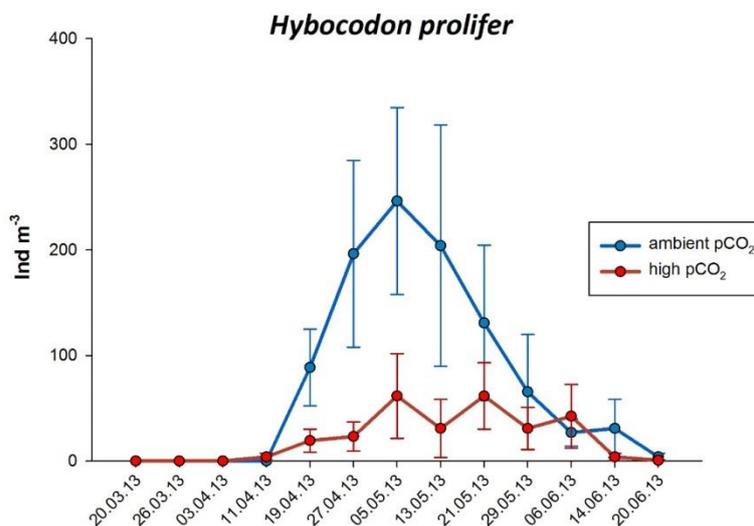


Abb. 3. Dichten der Hydromeduse Hybocodon in den Mesokosmen.

Von Februar bis März 2014 wurde auf Gran Canaria ein zusätzlicher gemeinsamer Mesokosmenversuch mit vielen anderen beteiligten Teilprojekten im BIOACID II Projekt durchgeführt. In neun Meskosmen wurden die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die gesamte Planktongemeinschaft untersucht. Gewählt wurde ein Gradientenansatz mit unterschiedlichen CO₂

Bedingungen in allen Ansätzen. Ziel dieses Projektes war es die Änderungen und Entwicklungen der Zooplanktongemeinschaft als Folge der unterschiedlichen CO₂ Bedingungen zu beschreiben. Leider wurden durch einen Sturm die Versuchsanlagen zerstört, und damit war es aus dem ersten Versuch nicht möglich gesicherte Daten zu erheben. Auf Grund davon wurde in einem zweiten Versuch in Oktober-November 2014, an fast der gleichen Stelle ein zweiter Versuch mit den gleichen Rahmenbedingungen gestartet. Die Zooplanktondichten waren nur in der letzten Phase des Experiments unterschiedlich zwischen den Mesokosmen (aufgeteilt in drei Klassen: blau: ambient, grau, mittel, und rot, hoch CO₂) (s. allgemeine Beschreibung der Versuche in Teilprojekt 1.1). Die Zusammensetzung der einzelnen Kosmen zeigte nur am Ende des Experiments Unterschiede (Abb. 4, 5).

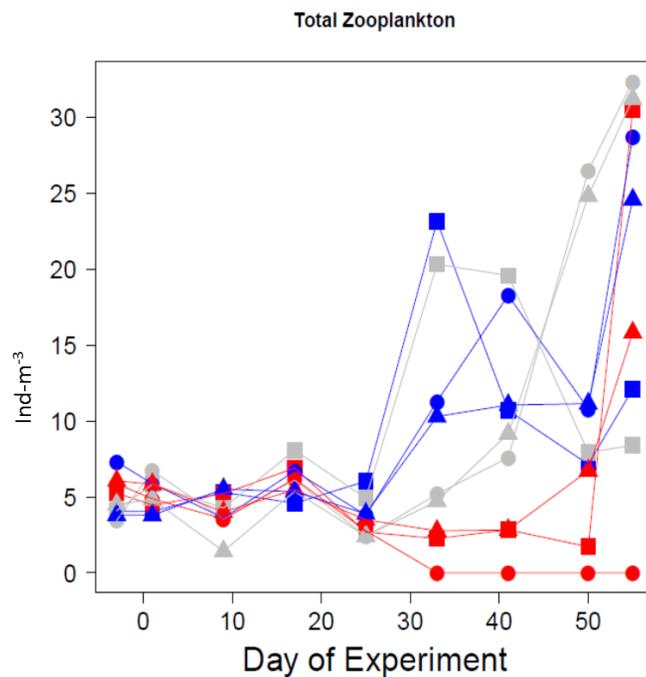


Abb. 4. Zooplanktondichten in den Mesokosmen der Kanaren (rot hoch CO₂, blau ambient, grau Mittel)

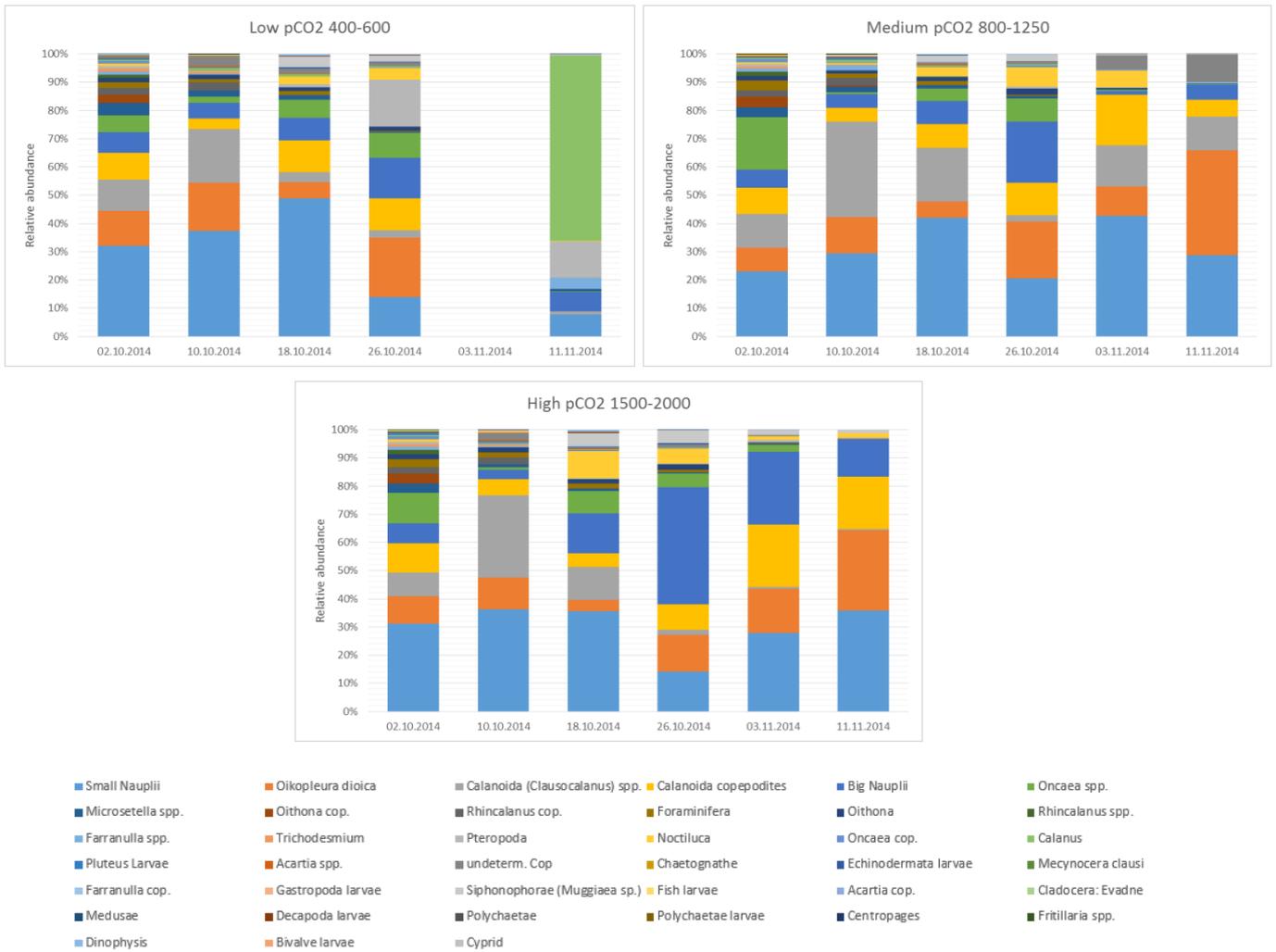
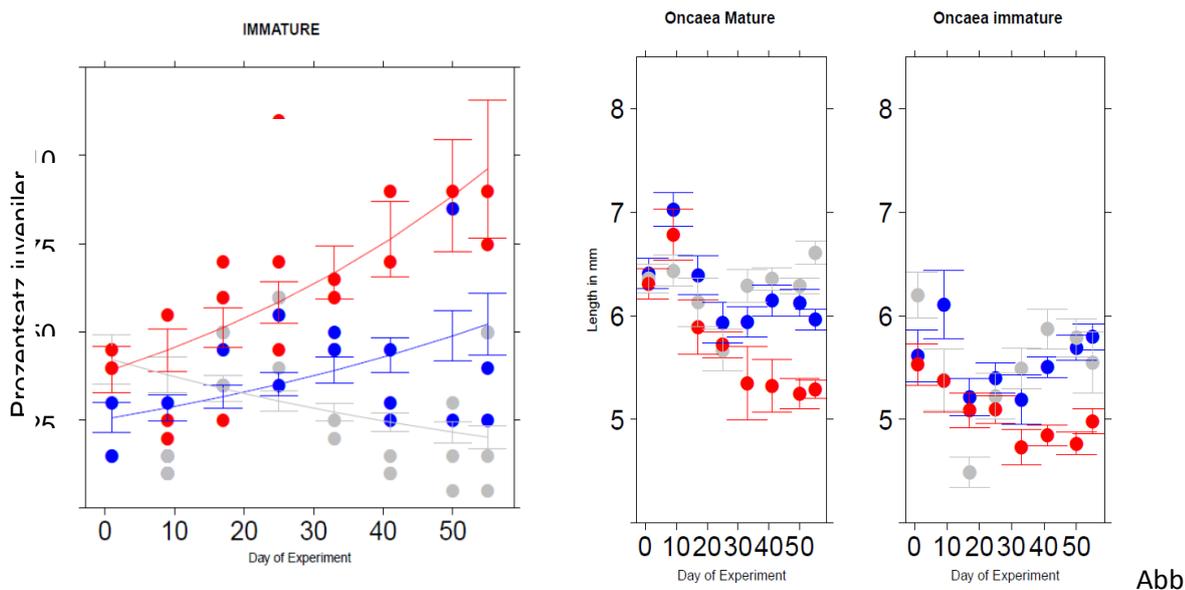


Abb.5. Zooplanktonzusammensetzung in den Mesokosmen in Gran Canaria.



Abb

6. Prozentsatz juveniler Tiere (links) und mittlere Größe (rechts) der Copepode *Oncaea* bei unterschiedlichen CO₂ Bedingungen.

Die Copepode *Oncaea* zeigte als einzige Art deutliche Unterschiede in den Mesokosmen. Wo sich unter hohen CO₂ Bedingungen eine ständige Zunahme von vor allem jüngeren Stadien zeigte. Diese Art scheint von hohen CO₂ Bedingungen zu profitieren. Allerdings bleiben die Individuen dieser Art vor allem in der zweiten Versuchshälfte deutlich kleiner unter hohen CO₂ Bedingungen. Noch ist unklar welche Mechanismen diese Änderungen unterlegen. (Abb. 6)

In einer Reihe von Einzelexperimenten wurde zusätzlich der Einfluss von unterschiedlichen CO₂ Bedingungen auf die Copepode *Acartia tonsa*, und verschiedene Quallenarten untersucht. Hier wurde sowohl direkte (pH) als auch indirekte Einflüsse untersucht.

Änderungen in der CO₂-Zugabe ändern nicht nur den pH des Mediums sondern durch die Erhöhte Kohlenstoffverfügbarkeit auch die chemische und biochemische Zusammensetzung der Algen. Hiermit ändert sich auch die Qualität der Algen als Nahrung für herbivore Konsumenten. Es ist also wichtig zwischen direkten und indirekten Effekten der Ozeanversauerung zu Unterscheiden. Um zu untersuchen welcher Aspekt von erhöhten CO₂-Verfügbarkeit wichtiger ist wurden Experimente mit dem heterotrophen Dinoflagellaten *Oxyrrhis marina*, dem Copepoden *Acartia tonsa* und den beiden Quallenarten *Cyanea capillata* und *Chrysaora hysoscella* durchgeführt. In allen Fällen stellte sich heraus dass ein direkter Effekt von CO₂ nicht nachweisbar war. Die Copepoden zeigten in Wasser mit 200 ppm CO₂ und in Wasser mit 800 ppm CO₂ keine Unterschiede im Wachstum (Abb. 7), und auch die Polypen der beiden Quallenarten wurden nicht direkt von CO₂ beeinflusst. Die durch die unterschiedliche Kohlenstoffverfügbarkeit veränderte Nahrung zeigte hingegen einen signifikanten Effekt auf das Wachstum der Tiere. Algen die unter niedrigen CO₂ Bedingungen kultiviert wurden wiesen im Vergleich zu Algen die bei 800ppm CO₂ kultiviert wurden ein niedrigeres Kohlenstoff-zu-Nährstoff Verhältnis auf und waren damit eine qualitativ hochwertigere Nahrungsquelle als Algen die bei erhöhtem CO₂ gewachsen waren. Daraus ist zu schließen dass die indirekten Effekte von Ozeanversauerung wichtiger sein können als die direkten Effekte und es scheint notwendig sich mehr auf die CO₂-induzierten Änderungen in der Nahrungsqualität zu konzentrieren (Abb. 8).

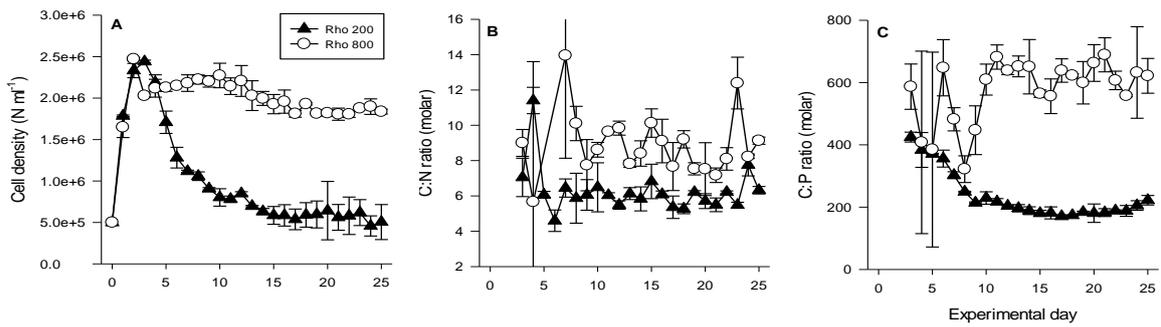


Abb. 7. Algendichten, C:N und C:P von Algen die unter unterschiedlichen pCO₂ Bedingungen gewachsen sind (200 und 800 ppm).

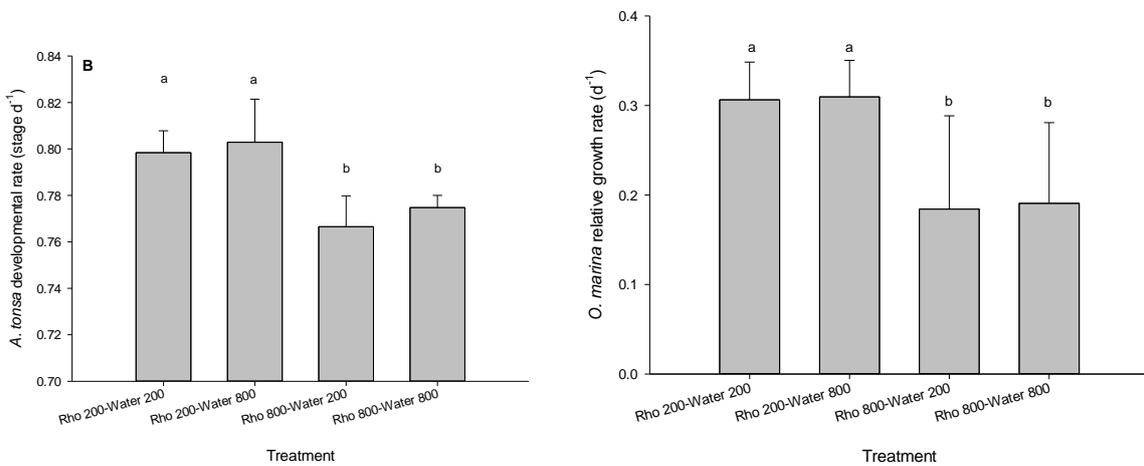


Abb. 8. Wachstumsraten von *O. marina* (links) und *A. tonsa* (rechts) unter hohen (Water 800) und niedrigen (Water 200) CO₂ Bedingungen, gefüttert mit Algen die unter hohen (Rho 800) und niedrigen (Rho 200) CO₂ Bedingungen gewachsen sind. Deutlich ist, dass der pH Wert vom Wasser kein Einfluss hat auf die Wachstumsraten, die Qualität des Futters aber sehr wohl.

Die gleichen Effekte wie für Dinoflagellaten und Copepoden gefunden wurden, wurden auch für Polypen und Ephyren der Qualle *C. capillata* gefunden. In weiteren Versuchen wurde dann untersucht was die Grenzen der Belastbarkeit sind für Polypen und Ephyren der Ohrenqualle, *Aurelia aurita*. Diese Art ist kosmopolitisch, und deswegen war die Hypothese dass sie sehr robust sein sollte gegen multiple Stressoren. Im ersten Experiment wurden wurde die Kombination aus Temperatur und Salinitätstress auf die Entwicklung von *A. aurita* untersucht. Dazu wurden *A. aurita* Polypen sechs verschiedenen Salinitäten (15 – 35) und zehn verschiedenen Temperaturen (8 – 25 °C) ausgesetzt. Das Wachstum der Polypen wurde über die Dauer des Experiments signifikant durch die Interaktion von Temperatur und Salinität beeinflusst. Das somatische Wachstum war zwischen mittleren Temperaturen von 12 – 20.9 °C und mittleren Salinitäten von 23.2 – 31.1 am höchsten, wohingegen der Biomassezuwachs bei höheren Salinitäten größer war. Bei 25.1 °C und Salinitäten unter 23.2 wurde ein kritischer Punkt im Überleben der Polypen festgestellt. Polypen starben unter diesen Bedingungen und eine Degeneration der Tentakel konnte festgestellt werden (Abb. 10).

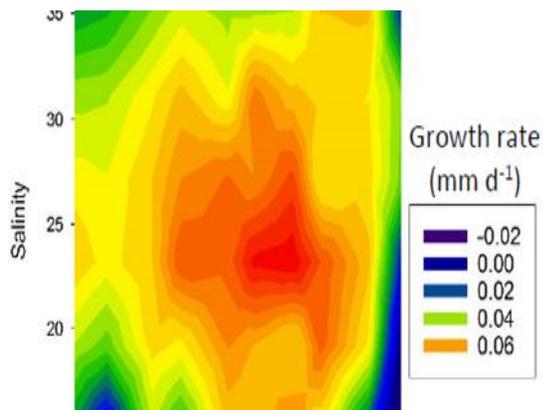
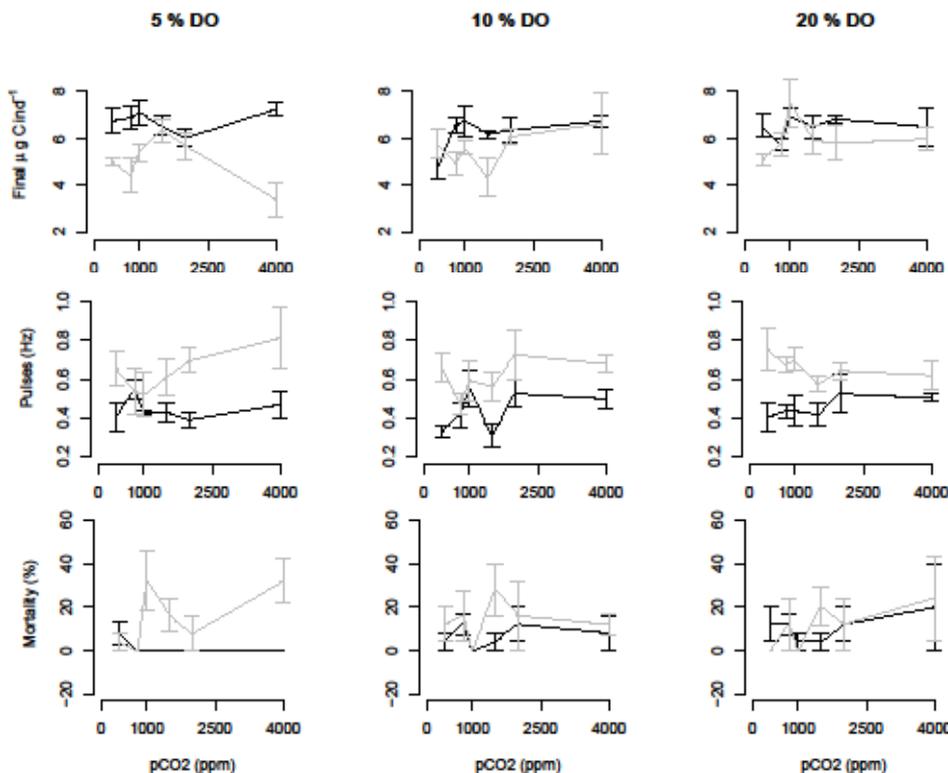


Abb. 10. Wachstum von Polypen von *Aurelia aurita* unter unterschiedlichen Temperatur und Salinitäten

In einem zweiten Experiment wurde den Effekt von CO₂-Stress, Sauerstoff stress und Temperatur untersucht. Hierzu wurden Ephyren von *A. aurita* sechs unterschiedlichen CO₂ Bedingungen (200-4000 ppm), drei Sauerstoffkonzentrationen (20%-ambient, 10% und 5% hypoxisch), sowie zwei Temperaturen (5 und 15°C) ausgesetzt. Dieses Experiment war Full-Faktoriell, d.h. alle Kombinationen der unterschiedlichen Stressoren wurden getestet. Es stellte sich heraus dass sogar Ephyren dieser Quallen Art, die als das empfindlichste Stadium gesehen werden sehr robust sind. Nur eine sehr hohe CO₂ Konzentration in Kombination mit wenig Sauerstoff und einer hohen Temperatur führte zu ein deutliche Verringerung der Biomasse der Tieren (Abb. 11). Hieraus lässt sich schließen dass Quallenpopulationensichten sich als Folge globaler Wandlungsprozesse nicht deutlich ändern



werden.

Abb. 11. Endgewicht, Aktivität und Mortalität von Ephyren von *A. aurita* unter unterschiedlichen Sauerstoff, pCO₂ und Temperatur (grau 15°C, dunkel 5°C) Hälterungsbedingungen.

Fazit von Teilprojekt 1.7 ist das für Mesozooplanktongemeinschaften der Effekt von einer Erhöhung der CO₂ Konzentrationen relativ gering ist. Bei Relevanten Konzentrationen von CO₂ haben wir keine oder relativ subtile Effekte beobachtet, die auch nicht alle in die gleiche Richtung gehen. Unter Laborbedingungen war der indirekte Effekt von Nahrungsunterschiede auf das Zooplankton viel grösser. Leider ist es nicht möglich aus den Mesokosmendaten die direkten und indirekten Effekte zu trennen, aber weil die Unterschiede gering waren ist es wahrscheinlich dass auch die indirekten Effekte unter natürlichen Bedingungen nicht sehr ausgeprägt sein werden.

WP 1.14:

Von Januar bis Mai 2013 wurde am Sven Loven Zentrum im schwedischen Kristineberg ein gemeinsamer Mesokosmen Versuch mit vielen anderen beteiligten Teilprojekten im Rahmen des BIOACID II Projektes durchgeführt. In zehn Mesokosmen wurden für einen Zeitraum von etwa drei Monaten die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die gesamte Planktongemeinschaft untersucht. Dabei wurden fünf Mesokosmen mit CO₂ angereichert (ca. 1000 ppm). Die andere Hälfte wurde als Kontrollgruppe nicht manipuliert. Ziel dieses Teilprojektes war es mit Hilfe von molekulargenetischen Methoden die Zusammensetzung und Abfolge der Planktongemeinschaften und die genetische Diversität einzelner Arten unter den verschiedenen CO₂ Bedingungen zu beschreiben. Da für die in diesem Versuch vorhandenen Arten bislang keine Standardverfahren bekannt waren, mussten unter anderem DNA Isolationsmethoden, PCR-Programme und bioinformatische Protokolle entwickelt werden. Zur Untersuchung der genetischen Diversität wurde die in den Mesokosmen dominierende Copepodenart *Pseudocalanus acuspes* verwendet. Eine Haplotypen Analyse basierend auf der COI (cytochrome-c-oxidase I) Genregion (Abb. 1) zeigte eine relativ geringe Variation.

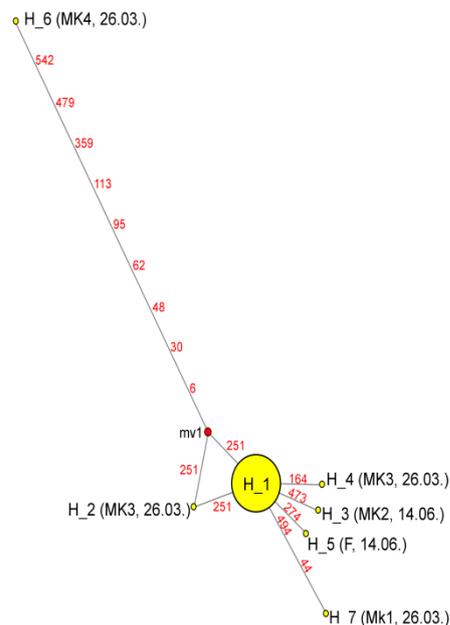


Abb. 1. Haplottypennetzwerk von *Pseudocalanus acuspes*. Insgesamt wurden sieben Haplotypen gefunden, wobei sechs nur durch ein Individuum repräsentiert werden und sich auch nur durch eine Substitution von dem häufigsten Typ H_1 unterscheiden. Die roten Zahlen repräsentieren die jeweilige Substitutionsregion.

Am Ende des Mesokosmen Experimentes wurde ein Transplantations Versuch durchgeführt um zu untersuchen ob die *P. acuspes* Populationen sich während des Experimentes an die unterschiedlichen CO₂ Bedingungen angepasst haben. Dazu wurden Tiere aus niedrig CO₂ Mesokosmen unter niedrig und hoch CO₂ Bedingungen gehalten und *vice versa*. Nach 4 Tagen Inkubationszeit wurde als Wert für die Fitness der Copepoden die Schlupfrate der Eier bestimmt. Die Ergebnisse zeigen dass der Selektionsdruck wahrscheinlich zu gering war um nach drei Monaten einen signifikanten Effekt festzustellen (Abb. 2).

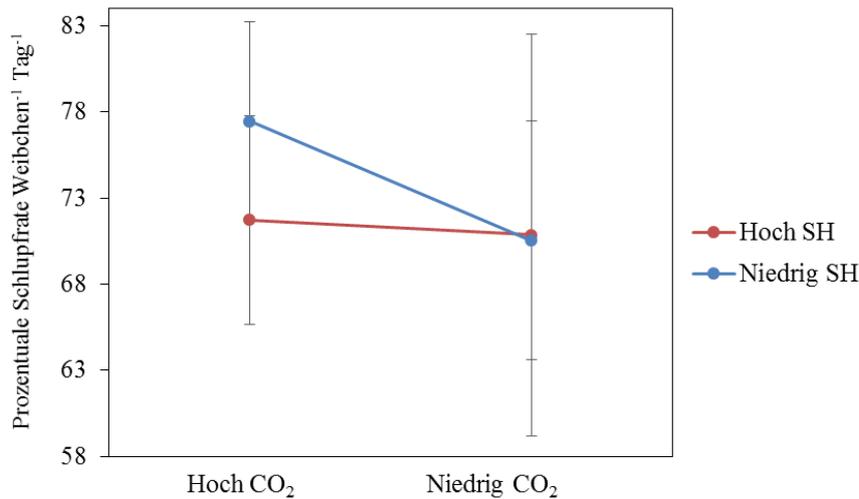


Abb. 2. Schlupfrate von Eiern produziert durch Tiere aus unterschiedlichen CO₂ Bedingungen. X-Achse: CO₂ Konzentration im Experiment; Y-Achse: Prozentualer Anteil der geschlüpften Eier pro Weibchen und Tag; Legende: Selektive CO₂ Historie (SH) im Mesokosmen Experiment

Die Hypothese war, dass die Schlupfrate der Eier von hoch CO₂ angepassten Tieren unter hoch CO₂ Bedingungen höher sein sollte als die Rate unangepasster Tiere aus den niedrig CO₂ Mesokosmen, und *vice versa*. Dies war nicht der Fall. Woraus wir schließen dass der Selektionsdruck innerhalb der Mesokosmen relativ gering war.

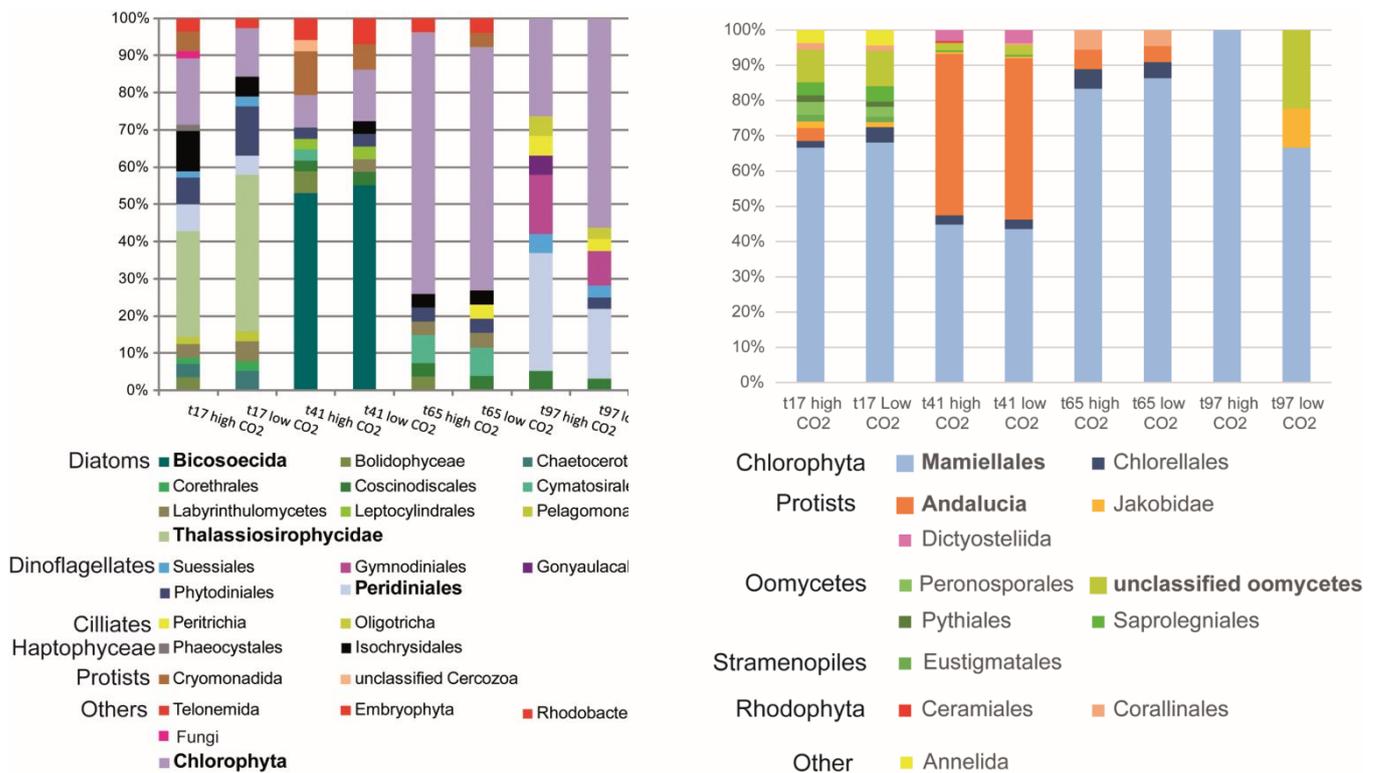


Abb. 3. Identifizierte Taxa basierend auf den 18S (links) und COX2 (rechts) Sequenzen. X-Achse: Zeitpunkte und CO₂ Bedingungen; Y-Achse: Prozentualer Anteil der einzelnen Taxa. Für die linke

Abbildung wurde die dominante Gruppe Calanoida die 80% des Planktons ausgemacht hat entfernt. In der rechten Abbildung wurden die Gruppen Histonidae und Streptophyta entfernt.

Mithilfe von Metabarcoding wurde die Zusammensetzung der Planktongemeinschaften aus drei hoch und drei niedrig CO₂ Mesokosmen zu vier verschiedenen Zeitpunkten untersucht. Durch die genetisch basierte Identifikation der Organismen war eine besonders genaue Analyse möglich. Beide Abbildungen zeigen deutlich die zeitliche Änderung (Sukzession) der Planktonzusammensetzung in den Mesokosmen, ohne signifikante Unterschiede zwischen den CO₂ Treatments.

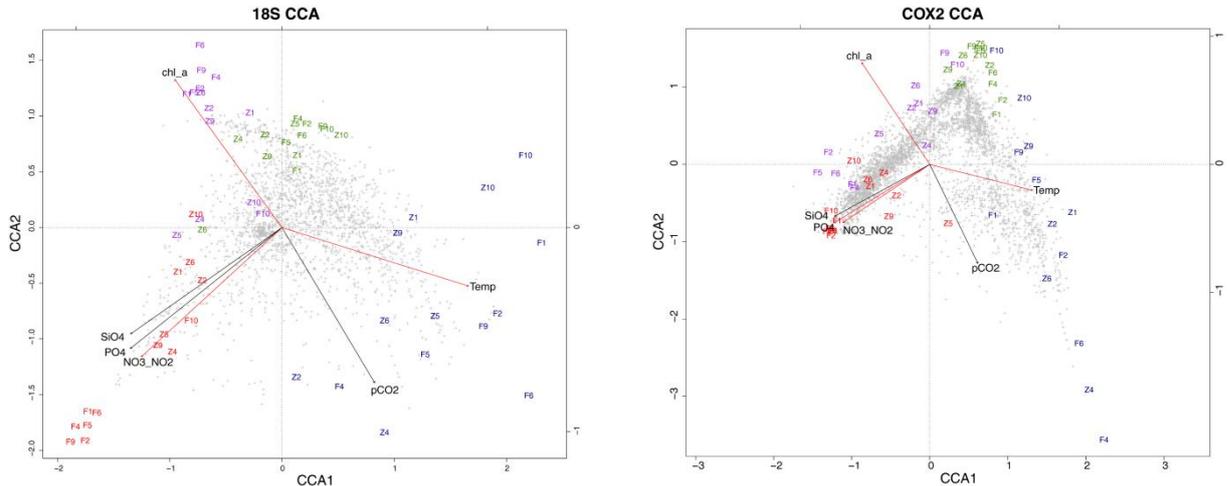
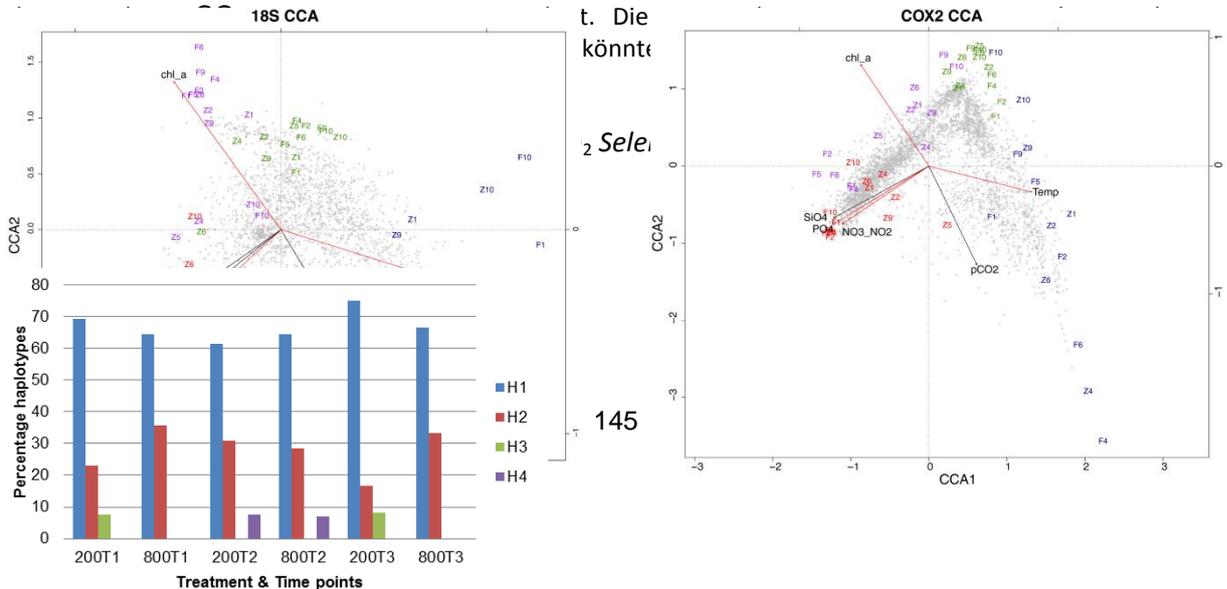


Abb 4. CCAs basierend auf den OTUs der 18S (links) und COX2 (rechts) Sequenzen. OTUs (+); Pfeile zeigen die Umweltvariablen (signifikant in rot). Die unterschiedlichen Zeitpunkte sind mit unterschiedlichen Farben markiert (Tag 17 rot, Tag 41 pink, Tag 65 grün, Tag 97 blau).

An Tag 17 ist die OTU Zusammensetzung vor allem durch die Verfügbarkeit von Nährstoffen bestimmt. Dann änderte sich die OTU Zusammensetzung mit steigender Temperatur und Lichtintensität. Nach der Blüte (Tag 65 grün), sind die Nährstoffe aufgebraucht, und am Ende des Experiments variierten die Mesokosmen (auch die mit gleicher Behandlung) zunehmend (Abb. 4).

Auf Grund der geringen Änderungen in der Planktonzusammensetzung in den Mesokosmen bei einer drei monatigen Laufzeit, wurde zusätzlich Ende 2013 ein Langzeit Selektionsexperiment im Labor auf Helgoland gestartet (Untersuchungsorganismus: *Acartia tonsa*; zwei unterschiedliche pCO₂ Konzentrationen 800 ppm und 200 ppm) und bis heute fortgeführt. Nach 8 und 18 Monaten wurde mit Transplantations Experimenten untersucht ob die Populationen sich aufgrund der unterschiedlichen CO₂ Bedingungen voneinander unterscheiden. Das nächste Transplantations Experiment ist für März 2016 geplant, etwa 28 Monaten nach dem Start des Experimentes. Beide CO₂ Selektionslinien bestehen aus jeweils drei Replikaten, also drei 800 ppm CO₂ und drei 200 ppm CO₂ *A. tonsa* Populationen. Um auch indirekte CO₂ Effekte (Veränderungen im Kohlenstoff zu Nährstoff Verhältnis in den Futteralgen) zu berücksichtigen wurden auch die Futteralgen mit



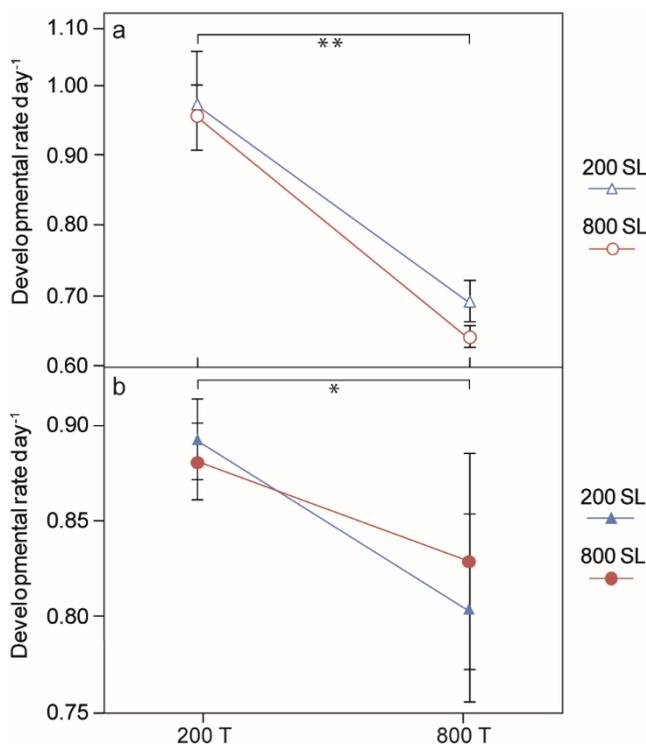


Abb. 6. Entwicklungsraten nach 8 (a) und 18 Monaten (b) von Tieren aus den 200 und 800 Selektionslinien (SL), in 200 und 800 ppm CO₂ Treatments.

In Abbildung 6 sieht man deutlich, dass die Entwicklungsraten unter hoch CO₂ Bedingungen (800T) deutlich niedriger sind, was auf schlechtere Wachstumsbedingungen hindeutet. Auch nach 18 Monaten hat noch keine offensichtliche Anpassung an die jeweiligen CO₂ Bedingungen stattgefunden. Obwohl sich die Reaktionsnormen kreuzen ist die Interaktion zwischen Treatment und Selektionslinie (noch) nicht signifikant.

In anderen Bereichen hingegen zeigten die Selektionslinien Unterschiede. Tiere die unter hohen CO₂ Bedingungen gehalten wurden waren deutlich kleiner, wobei noch unklar ist ob dies auf eine genetische oder phenotypische Reaktion zurückzuführen ist. Zudem ist die Schlupfrate der von 800 SL Tieren produzierten Eiern im Vergleich mit den Eiern von 200 SL Tieren nach 8 und 18 Monaten in den ersten 24h signifikant erhöht. Allerdings ist dies sowohl im 200 als auch im 800 Treatment der Fall. Möglicherweise produzieren die 800 SL Tiere Eier mit einem geringeren Nährstoffgehalt wodurch die Nauplien früher schlüpfen müssen (Abb. 7).

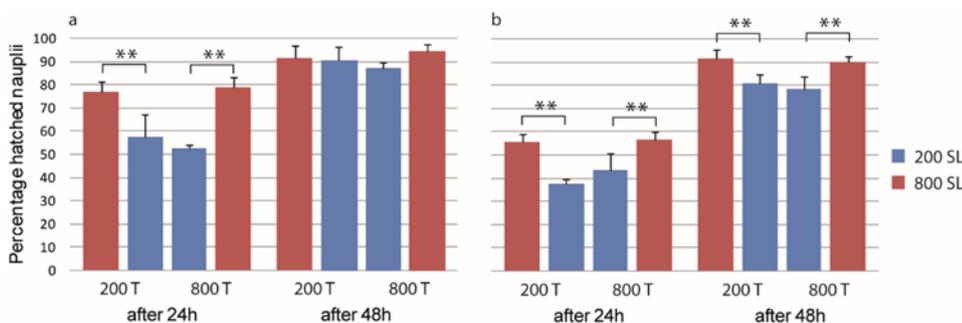


Abb. 7. Schlupfrate nach 8 (links) und 18 (rechts) Monaten. Selektionslinien (SL); CO₂ Treatment (T); Eier produziert von Weibchen aus den 200 SL (blau) und aus den 800 SL (rot). Die Schlupfrate ist signifikant höher für 800 SL Tiere.

Das Fazit von Teilprojekt 1.14 ist, dass die durch Änderungen in den CO₂ Bedingungen verursachten Selektionsdrücke für Copepoden relativ gering sind. Trotz Hochauflösender genetischer Analysen fanden wir keine CO₂ gesteuerten Veränderungen in den Planktongesellschaften während der Mesokosmen Experimente. Weiterhin konnten bislang keine Anpassungen von Copepoden an erhöhte CO₂ Bedingungen festgestellt werden. Weder während des Mesokosmen Experiments bei *P. acuspes* noch in dem schon seit etwa 50 Generationen laufende Langzeit Selektionsexperiment mit *A. tonsa*. Erhöhte CO₂ Konzentrationen und damit zusammenhängende pH Verschiebungen wirken sich negativ auf kalzifizierende Organismen aus, scheinen aber für nicht kalzifizierende Organismen kaum eine Rolle zu spielen.

WP 2.1:

Verwendung der Zuwendung

Als Zuwendung für das dargestellte Teilprojekt wurden ausschließlich Personalmittel für eine Doktorandenstelle vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zur Verfügung gestellt, ohne die das Projekt nicht durchgeführt werden konnte. Sachmittel, insbesondere die neu konstruierte Mesokosmenanlage (210.000 €) sowie Material- und Reisekosten wurden aus Mitteln der Sektion Ökologie der Küsten des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung finanziert.

Verwendung des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

Die erzielten Ergebnisse werden in erster Linie für die Veröffentlichung in wissenschaftlichen Publikationen verwendet. Bei der technischen Entwicklung der Mesokosmen konnte insbesondere die Gezeitensimulation als Patent angemeldet werden. Im Einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt und verwendet:

Konstruktion von Mesokosmen

Die Untersuchung von Auswirkungen des Klimawandels auf trophische Interaktionen in benthischen Gemeinschaften der Nordsee und des Wattenmeeres erforderte eine neue Konstruktion adäquater Mesokosmen, da die speziellen Bedingungen von Gezeiten und Strömung nicht in den verfügbaren Mesokosmen-Ansätzen simuliert werden können. Die Konstruktion von Mesokosmen, in denen benthische Gemeinschaften der Nordsee unter naturnahen, kontrollierten Bedingungen auf ihre Reaktion auf klimatische Veränderungen untersucht werden können, ist gelungen und konnte erfolgreich angewendet werden (Pansch et al. 2016). Von den insgesamt 12 Tanks dienen je 3 Tanks als parallele Ansätze. Sowohl Experimente zur Reaktion von *Fucus-Mytilus* als auch Seegras-Gemeinschaften wurden unter Szenarien von Temperaturerhöhung (+ 5°C), CO₂-Erhöhung (1000 ppm), und zusätzlich von Nährstoffhöhung in der *Fucus-Mytilus*-Gemeinschaft durchgeführt (s. Tabelle 1, unter Punkt 3 des Berichts). Die gemessenen Parameter umfassten: pH-Wert, Salinität, Temperatur, Sauerstoff, Alkalinität, Licht, in der Wassersäule Nährstoffe (Si, Nitrit, Nitrat, Ammonium, Phosphat), Chlorophyll, Seston, Epiphytenbewuchs. Die untersuchten Gemeinschaften bestanden zusätzlich zu den Makrophyten *Fucus* oder *Zostera noltii*, aus den Hauptarten der natürlicherweise darin lebenden Makrofauna. Am Ende des jeweiligen Versuchs wurde die Veränderung der Makrofauna in Relation zu Makrophyten, Epiphyten unter den Umweltbedingungen eines simulierten Klimawandels erfasst. Hatte eine Reproduktion stattgefunden? Wie hatte sich Abundanz, Frischgewicht, Trockengewicht, aschefreies Trockengewicht, C/N-Relation und die Verteilung der Größenklassen der Makrofauna verändert?

Auswirkungen des Klimawandels auf eine *Fucus-Mytilus*-Gemeinschaft der Nordsee

Die Erhöhung der Stressoren Temperatur plus CO₂ plus Nährstofferhöhung hatte in der *Fucus-Mytilus*-Gemeinschaft im Sommer große Auswirkungen, in dem das Wachstum der Epiphyten stark erhöht wurde, während das Wachstum von *Fucus* reduziert wurde. Damit wurde die Grundlage des Nahrungsnetzes stark verändert. Die nächst höhere trophische Stufe der Weidegänger wurde durch Erwärmung im Frühjahr und Herbst gefördert, während sie im Sommer unter erhöhten Temperaturen litten. Erwärmung wirkte sich auf die *Fucus-Mytilus*-Gemeinschaft stärker aus als die Erhöhung der CO₂-Konzentration. Ein gewisser Ausgleich der klimatischen Effekte zeigt sich in der antagonistischen Wirkung von Erwärmung und CO₂-Erhöhung in der *Fucus-Mytilus*-Gemeinschaft. Die Auswirkungen insgesamt auf die Interaktionen in dem *Fucus-Mytilus*-System werden derzeit mit Hilfe der Ökologische Netzwerk Analyse modelliert.

Auswirkungen des Klimawandels auf eine Seegras-Gemeinschaft der Nordsee

Im Sommer 2015 wurden natürliche Kompartimente, bestehend aus Seegras und natürlichem Sediment einer Seegraswiese *Zostera noltii* aus dem Wattenmeer in den 12 Tanks inkubiert mit erhöhter Temperatur (+5°C) und erhöhter CO₂-Konzentration (1000 ppm). Der Versuch dauerte insgesamt 10 Wochen, die die Vegetationsperiode des Seegrases abdecken, da *Z. noltii* im Wattenmeer nur im Sommer belaubt ist. Es wurden die gleichen Parameter gemessen, wie in der *Fucus-Mytilus*-Gemeinschaft.

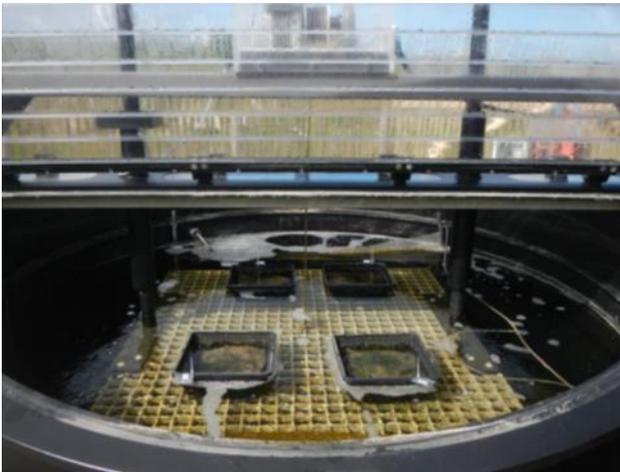


Abbildung 2. Anordnung der Seegraswiesen-Kompartimente bestehend aus Seegras im natürlichen Sediment mit allen Mikro- und Makro-Organismen.

Entgegen der ursprünglichen Annahme profitierte das Seegras nicht von der CO₂-Erhöhung. Insbesondere die Erwärmung stellte einen Stressfaktor für die Seegraswiese dar, wodurch die Seegrasbiomasse unter diesen Bedingungen deutlich verringert war gegenüber den natürlichen Umgebungswerten und reiner Ansäuerung ohne Temperaturerhöhung (Abb. 3).

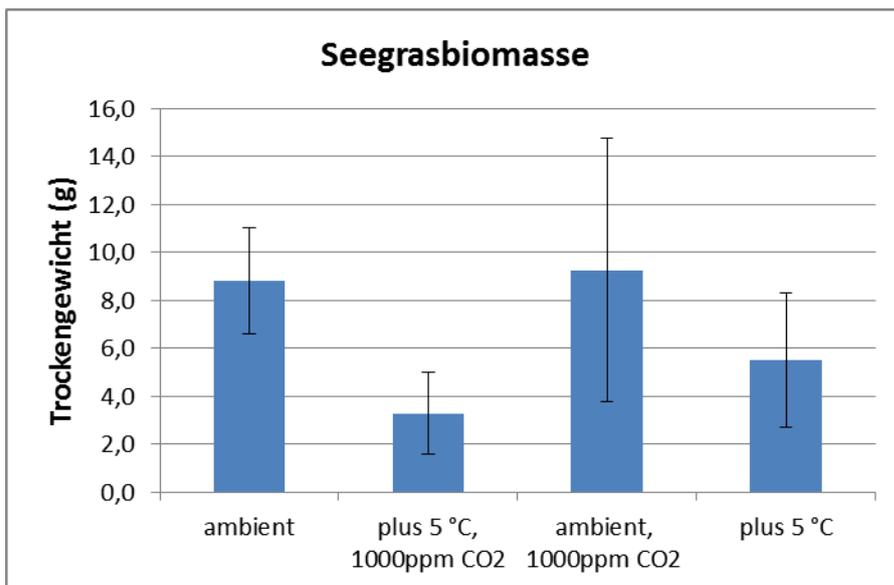


Abbildung 3. Biomasse des Seegrases *Zostera noltii* unter verschiedenen Bedingungen von Erwärmung und Ansäuerung, jeweils Mittelwerte aus 3 Tanks.

Die Reproduktionsrate des Seegrases, d.h. Blüten- und Samenbildung, war unter Temperaturerhöhung deutlich erhöht, während sich die Erhöhung des CO₂-Wertes nicht auf die Reproduktion des Seegrases auswirkte (Kirchhof 2015).

WP 3.3:

Vorgegebenes Ziel des WP 3.3. war die Untersuchung der Auswirkung langfristiger natürlicher CO₂ Austritte an Korallenriffen Papua Neuguineas (PNG), auf die physiologische und metabolische Anpassungsfähigkeit von OA- empfindlichen und -unempfindlichen Korallen. Dabei lag der Fokus der Fragestellungen auf der Interaktion erhöhter pCO₂-Werte mit anderen Faktoren wie dem Licht, Nährstoff- und Planktonangebot. Die dem Projekt hierfür zur Verfügung gestellten Zuwendungen wurden gezielt zur Beantwortung dieser zu Beginn des Projekts formulierten Fragen eingesetzt, vornehmlich in die Anstellung von Frau Dr. Gertraud Schmidt, die sowohl von wissenschaftlicher als auch methodischer Seite eine Idealbesetzung darstellte. Die Zuwendungen ermöglichten zwei Feldexpeditionen 2013 und 2014 nach PNG und die dort durchgeführten *in situ*-Experimente, sowie deren nachfolgende Laboranalysen und Auswertung. Eine weitere Reise ans AIMS in Australien ermöglichte 2015 die aus den Felddaten errungenen Ergebnisse in einer weiteren Laborstudie zu erweitern und zu bestätigen. Alle zu Beginn für das WP 3.3 gestellten Fragen konnten demnach erfolgreich beantwortet werden:

Die im WP 3.3 erzielten basieren auf mehreren, parallelen Untersuchungsansätzen an verschiedenen Korallenarten, sowohl prognostizierten OA "Gewinnern" als auch "Verlierern", sowohl *in situ* in den Riffen PNGs, als auch im Labor unter kontrolliert simulierten Bedingungen: Die Auswirkung von künstlichem Lichtentzug und die damit verbundene Unterbindung jeglicher photosynthetischer Energieversorgung bei zeitlich hohem pCO₂-Einfluss führte zu einer klaren Differenzierung zwischen sensiblen und robusten Korallen gegenüber OA. Eine Aufrechterhaltung von im Korallengewebe gebundenen Energiereserven (Proteingehalt und Biomasse) gelang nur der robusten *Porites* sp., während die sensible *Seriatopora hystrix* ihre von vornherein unter hohem pCO₂ geringeren Energiereserven nicht aufrechterhalten konnte. Zudem fand sich kein Unterschied im Pigmentverlust und der photosynthetischen Effizienz der abgedunkelten *Porites* sp. zwischen hohen pCO₂- und

Kontrollstandorten, wohingegen der Lichtausschluss bei *Seriatopora hystrix* zu einem wesentlich stärkeren Pigment- und Effizienzverlust der Photosyntheseleistung unter hohem pCO_2 führte (Jung 2015; Schmidt et al., in Vorb.). Die Simulation zunehmender Eutrophierung durch die künstliche Zugabe von Nährstoffen (Phosphat und Nitrat), bewirkte eine Stärkung der Symbionten (Zunahme von Pigmentkonzentration, photosynthetischer Effizienz, sowie des Proteingehalts) in der robusten *Porites* sp. unter dem Einfluss von hohem pCO_2 und war begleitet von einer zeitgleichen Zunahme der koralleneigenen Energiereserven (Proteingehalt). Die empfindliche *Seriatopora hystrix* dagegen wies neben unveränderten Symbiontenparametern sogar eine Abnahme der koralleneigenen Proteinkonzentration bei hohem pCO_2 gegenüber den Kontrollkorallen auf (Schmidt et al., in Vorb.). Auch zeigte sich, dass eine mögliche Kompensierung des erhöhten Energiebedarfs unter dem Einfluss von OA durch bevorzugt heterotrophe Nahrungsaufnahme (Zooplankton) nicht wahrscheinlich ist, da sowohl die Feld- als auch die Laborversuche an der Koralle *Galaxea fascicularis* eine deutliche Abnahme der Fressmengen von an hohem pCO_2 akklimatisierten gegenüber Kontrollkorallen ergaben (Smith et al. eingereicht). Diese Ergebnisse zeigen grundlegend die Grenzen der metabolischen und physiologischen Anpassungsfähigkeit empfindlicher Korallen gegenüber OA und bieten eine weitere Erklärung für deren Abwesenheit an Riffstandorten mit hohem pCO_2 . Die als „OA-winner“ beschriebenen robusten, massiven Korallen, wie *Porites* sp. hingegen, weisen keine Beeinträchtigung ihres Wachstums (Aufrechterhaltung eines hohen, internen pHs zur Kalzifizierung) bis hin zu pCO_2 -Werten, wie sie für das Ende des Jahrhunderts (2100) prognostiziert werden auf (hochauflösende Borisotopen-Messungen in Wall et al., eingereicht). Dies konnte auch anhand direkter Messungen des internen pHs am lebenden Organismus bestätigt werden (Wall et al., in Vorb.).

WP 3.7:

Die Ergebnisse aus den durchgeführten Inkubationsexperimenten an Miesmuschel und Auster verdeutlichen, dass sich neben den schon bekannten artspezifischen Unterschieden ebenso familien- und populationsspezifische Unterschiede in der OA Empfindlichkeit manifestieren. Unsere Befunde von OA induzierten Störungen im Ionen- und Säure-Base-Gleichgewicht und Einschränkungen auf Gewebe/Zelle-Ebene spiegelten sich anscheinend in den beobachteten Konsequenzen im Energiehaushalt auf der Organismenebene wider. Die OA Empfindlichkeit der Tiere korrespondierte mit dem Ausmaß der OA induzierten extrazellulären Azidose, wodurch sich die für die OA Toleranz postulierte Schlüsselrolle der pH Regulation vermutlich bestätigte. Jedoch ist der vermutete Beitrag durch zelluläre Ionenregulationsmechanismen und die damit einhergehende Verschiebung im Energiehaushalt bei Muscheln anscheinend geringer als angenommen. Die gemessenen Unterschiede im zellulären Energieverbrauch bedeutsamer Ionenregulationsmechanismen konnten die beobachteten Unterschiede im extrazellulären pH der untersuchten Austernpopulationen nicht vollständig erklären. Im Vergleich zu den Wildtieren hatten die OA inkubierten Aquakulturtiere einen deutlich geringeren extrazellulären pCO_2 und pH. Es scheint, dass systemische Parameter eine wesentliche Rolle in der extrazellulären pCO_2 und der damit einhergehenden extrazellulären pH Regulation spielen, indem erhöhte und effektive Respirations- und Filtrationsraten (einhergehend mit erhöhten Energiekosten) die OA induzierte Hyperkapnie und somit die extrazelluläre Azidose verringern können. Entsprechend unserer Zielsetzung verdeutlicht vorliegendes WP, dass zum Verständnis des Adaptationspotentials mariner kalkbildender Evertebraten an zukünftige OA Szenarien das Identifizieren der betroffenen und wirksamen physiologischen Mechanismen von wesentlicher Bedeutung ist.

WP 4.1:

Die Zuwendung wurde in erster Linie für die Finanzierung der Doktorandin und zur Durchführung der Inkubationsexperimente aufgewendet. Die Langzeitinkubationen wurden im Zeitraum Mai-Oktober 2013 (Polardorsch) und Mai-Oktober 2014 (Atlantischer Kabeljau) durchgeführt. Nach den ersten 8 Wochen Inkubation wurde eine Zwischenmessung von Gewicht und Länge der Tiere durchgeführt, die am Ende der Inkubation noch einmal wiederholt wurde. Danach schlossen sich die Schwimmstapel- und Respirationsexperimente an, die mit je der Hälfte der Tiere aus einer Inkubationsgruppe (i.d.R. 6/12) durchgeführt wurden (die anderen Tiere wurden direkt für WP 4.3 beprobt). Aus den Längen- und Gewichtsbestimmungen ergab sich, dass das Wachstum von Polardorsch und Atlantischem Kabeljau über den Inkubationszeitraum von vier Monaten weitestgehend unbeeinflusst von realistischen Meeresversauerungsszenarien blieb. 6°C konnte als Wachstumsoptimum für Polardorsch unter Laborbedingungen ermittelt werden. Auch die Ruhestoffwechselraten beider Arten wurden nicht von den moderaten PCO_2 -Bedingungen beeinflusst. Bei 8°C war der Ruhestoffwechsel von Polardorsch signifikant erhöht. Der Ruhestoffwechsel von Kabeljau stieg sukzessiv im Temperaturbereich von 3-16°C. Daher konnte für den Kabeljau kein klares Wachstumsoptimum unter Laborbedingungen ermittelt werden, da es wider Erwarten bei höheren Temperaturen als der maximalen Inkubationstemperatur von 12°C lag. Die in der Literatur für die Nordost-Atlantik Population an Kabeljau (NEAC) beschriebenen Wachstumsoptima liegen alle deutlich unter 12°C. Ein Grund dafür mag die für die individuelle Bestimmung der Futteraufnahme notwendige Einzelhaltung der Tiere im vorliegenden Experiment sein. Daraus ergab sich für die Fische eine verringerte Nahrungskonkurrenz bei unlimitiertem Futterangebot, die dem Wachstum (und scope for growth) zugute kam. Daraus folgt ggf. auch für den Polardorsch ein etwas niedrigeres Wachstumsoptimum im Feld, allerdings lassen sich Atlantischer Kabeljau und Polardorsch vom Fraßverhalten her nicht direkt miteinander vergleichen.

Bei den Schwimmstapeltests zeichnete sich ein ähnliches Bild ab: die Polardorsche waren kooperative Schwimmer, während Kabeljau sich äußerst unkooperativ gab und einige Individuen sogar nach Beendigung der Experimente verstarben. Auch dies scheint ein Effekt der Einzelhaltung zu sein, die nicht genügend ‚Training‘ zur Erhaltung der Schwimmkapazität für den Kabeljau beinhaltete. Beim Polardorsch hingegen deutet die bisherige Datenauswertung auf eine verringerte maximale Schwimmgeschwindigkeit von unter Meeresversauerungsszenarien hin.

Insgesamt waren die Experimente jedoch erfolgreich und deuten auf eine große Anpassungsfähigkeit des Atlantischen Kabeljau hin, der flexibler in der physiologischen Anpassung an Umweltbedingungen ist, und damit Ozeanversauerung besser abpuffern kann. Wir erwarten drei vollwertige Publikationen allein aus den Inkubationsexperimenten in diesem Projekt, von denen eine sich bereits im Revisionsprozess für Polar Biology befindet.

WP 4.2:

Die Zuwendung wurde größtenteils zur Finanzierung der Post-Doc Stelle für den WP Leiter Dr. Felix Mark verwendet, weiterhin wurde ein Teil der Sachmittel für Experimente und Inkubationen, sowie ein Teil der Reisemittel im Teilprojekt abgedeckt. Im Rahmen der gemeinsamen BIOACID Mesokosmenexperimente in Kristineberg im Frühjahr 2013 wurde die Entwicklung befruchteter Eier des Atlantischen Kabeljaus (*Gadus morhua*) unter zwei verschiedenen CO_2 Partialdrücken und 5 verschiedenen Temperaturen (0, 3, 6, 9 und 12°C) verfolgt. Zum Zeitpunkt des Einsetzen des Herzschlags wurde die mitochondriale Respiration der Embryonen gemessen. Erhöhter PCO_2 führte zu keinen sichtbaren Veränderungen des mitochondrialen Stoffwechsels, allerdings ließen sich temperaturabhängige Verschiebungen der Beiträgen einzelner mitochondrialer Enzyme und Enzymkomplexe zur Energiegewinnung feststellen. Besonders die Aktivität des Komplex I des mitochondrialen Elektronentransportsystems erwies sich als temperatursensitiv und konnte oberhalb von 9°C auch nicht mehr weiter kompensiert werden. Weitere Versuche an Heringen (*Clupea*

harengus) konnten diesen Sachverhalt ebenfalls bestätigen. Dies deckt sich mit den Beobachtungen in WP 4.4, dass 12°C bereits jenseits des Temperaturfensters für eine optimale embryonale Entwicklung des Atlantischen Kabeljau liegt. In der gleichen Versuchsanordnung wurden auch adulte Kabeljaue bei zwei Temperaturen und zwei PCO₂ inkubiert und nach Ablauf von zwei Monaten mitochondriale Respiration an permeabilisierten Herzfasern und die Aktivitäten einzelner Enzyme gemessen. Obgleich die Daten eine Erhaltung der Kapazität und damit eine volle Stoffwechselfkompensation vermuten lassen, weist eine gesteigerte Nutzung der maximalen mitochondrialen Kapazitäten unter erhöhtem PCO₂ doch darauf hin, dass es bei den für 2100 vorhergesagten Temperaturen und CO₂ Konzentrationen zu einer Absenkung des ‚cardiac output‘ (Herzminutenvolumen) kommen kann.

Im Sommer 2013 wurden im Rahmen einer groß angelegten Inkubation 144 Polardorsche (*Boreogadus saida*) in Gruppen zu je 12 Tieren bei drei verschiedenen PCO₂ (390, 780, 1170 µatm) und vier verschiedenen Temperaturen (0, 3, 6, 8°C) für 130 Tage inkubiert. Am Ende der Inkubation wurde wiederum der mitochondriale Stoffwechsel permeabilisierter Herzmuskelfasern analysiert, hier zeigte sich weder ein klarer Temperatur- noch ein CO₂ Effekt. In der Expression der Isoformen des respiratorischen Blutpigmentes Hämoglobin zeigte sich ein deutliches CO₂- und temperaturabhängiges Muster, das auf eine Kompensation des Blut pH hinweist, was durch funktionelle Messungen in der modifizierten Diffusionskammer belegt werden konnte.

In den im Frühjahr 2014 in Tromsø durchgeführten Experimenten wurden Eier des Atlantischen Kabeljau (*Gadus morhua*) unter verschiedenen Temperatur- und PCO₂ Kombinationen inkubiert. Nach Erreichen der Gastrulation wurden Mitochondrien aus den Embryonen isoliert und die mitochondriale Respiration unter verschiedenen Bedingungen gemessen. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Kombination von erhöhten Temperaturen und PCO₂ zu einer Erniedrigung der mitochondrialen Kapazitäten aufgrund einer Abnahme der Leistungsfähigkeit des mitochondrialen Elektronentransportsystems führt.

Diese Limitierungen wurden in ähnlicher Weise auch bei juvenilen Kabeljau aus der im Frühjahr 2014 durchgeführten Langzeitinkubation am AWI festgestellt. Die Respiration von Herzmitochondrien aus Hoch-PCO₂ Inkubationen war niedriger als die von Fischen, die unter Kontrollbedingen gehalten wurden. Eine Temperaturlimitierung war jedoch nicht zu erkennen. Dies steht im Gegensatz zu den Daten aus der Polardorschinkubation von 2013: Die Funktion von Herzmitochondrien war bei dieser Art nicht durch Temperatur oder CO₂ beeinflusst, jedoch zeigte sich eine Abnahme mitochondrialer ATP Produktionskapazitäten bei den höchsten Temperaturen.

Insgesamt bestätigte sich die Hypothese, dass der mitochondriale Stoffwechsel von Kabeljauembryos deutlich empfindlicher auf CO₂ und Temperatur reagiert und damit auch die in WP 4.4 beobachtete höhere embryonale Mortalität unter hohen PCO₂ und Temperaturen erklären kann.

Desweiteren wurde unter der Leitung des Projektleiters im August/September eine erfolgreiche Expedition mit FS Heincke nach Spitzbergen durchgeführt, bei der unter anderem die Bestände an Kabeljau und Polardorsch vor Ort analysiert und Individuen für die weiteren Versuche gesammelt wurden. Diese Tiere bildeten den Grundstock für die weiteren geplanten Experimente und Inkubationen im Jahr 2014 von Polardorsch, Kabeljau und Copepoden im Konsortium 4. Die Fahrt wurde von einem Kamerateam begleitet und über Print und Video einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

WP 4.3:

Im Rahmen des Teilprojektes 4.3 sollten die molekulargenetischen Grundlagen der Antwort von wichtigen Fischarten auf die prognostizierten Klimaveränderungen untersucht werden. Dazu wurden die unter I.3 beschriebenen zentralen Inkubations-Experimente durchgeführt. Gegenüber dem ursprünglichen Design konnten nicht alle Kombinationen aus Temperatur und pCO₂ auf Grund der zu geringen Anzahl an gefangenen Tieren durchgeführt werden. Zur Kompensation und zur Ausweitung des Projektzieles wurden daher auch Proben weiterer Inkubationen des Kabeljaus hinzugezogen. Des Weiteren wurden zahlreiche Kontakte zu externen Kooperationspartnern aufgebaut, um eine solide, über den im Antrag beschriebenen Umfang hinausgehende Probenanzahl für beide Fischarten zusammenzustellen.

Als Grundlage für die weiterführenden Analysen wurden zunächst vergleichbare Transkriptome der beiden Arten erstellt. Der Vergleich der Transkriptome zeigt, dass in *B. saida* nur wenig auf eine spezielle Kälteanpassung der codierenden Sequenzen hindeutet: Es konnte weder eine erhöhte Flexibilität der DNA in der *wobble*-Position synonymen Codon noch Aminosäure-Austausche, die die Flexibilitätshypothese unterstützen, festgestellt werden. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu älteren Befunden unserer Gruppe aus einem Arten-Vergleich mit antarktischen Fischen und mag als Hinweis darauf gewertet werden, dass die funktionelle Ausstattung der beiden interagierenden Kabeljau-Arten relativ gleich ist, und die polare Art nur über geringe selektive Vorteile in den kalten Gewässern verfügt. Dies hat sicherlich Auswirkungen bei einer nordwärts gerichteten Verschiebung des atlantischen Kabeljaus im Zuge der Ozeanerwärmung.

Die durchgeführten zentralen Inkubationsexperimente mit ihren vielschichtig erhobenen funktions- und ökophysiologischen Parametern und dem nahezu gleichen Design für beide Fischarten konnten zur Gewinnung zahlreicher Gewebeprobe verwendet werden. Diese stellen eine exzellente Grundlage für die umfassende Analyse der (molekulargenetischen) Reaktionen dar. Dazu wurden aus den beiden Transkriptomen homologe, spezies-spezifische *micro arrays* hergestellt, mit denen Expressionsprofile der Leber-RNA –wie im Antrag vorgegeben- durchgeführt werden konnten. Leber wurde als Organ gewählt, da sie als zentrale Stoffwechseldrehscheibe eine direkte Anknüpfung an die Wachstumsexperimente erlaubt. Die ersten Analysen beider Arten belegen eine ausgeprägte Reaktionsfähigkeit der beiden Arten gegenüber Temperatur und zu einem geringeren Teil auch gegenüber Hyperkapnie. Zudem gibt es eine nicht unerhebliche Interaktion der Faktoren, so dass sich die Hyperkapnie-Befunde der einzelnen Temperaturen zum Teil deutlich unterscheiden. Auf Grund der unterschiedlichen Wirksamkeit der Faktoren und der Interaktion ist eine simple multifaktorielle Analyse der Daten nicht möglich. Die detaillierte Analyse der hochkomplexen Daten bei gleichzeitiger Validierung der verwendeten statistischen Werkzeuge, der Vergleich der beiden Arten und die Verknüpfung mit den funktionsphysiologischen Befunden ist daher noch nicht abgeschlossen.

Neben diesen explorativen Ansätzen wurde auch gezielt die Expression von Kandidatengenen analysiert. So wurde die Expression verschiedener Isoformen von Hämoglobin-Untereinheiten in Zusammenarbeit mit WP4.2 untersucht. Auf Grund einer globalen Abnahme des Gesamt-RNA-Gehaltes zeigten sämtliche Hämoglobin-Untereinheiten eine signifikante Abnahme der Expression, während die Referenzgene thermisch kompensiert vorlagen. Hyperkapnie hatte keinen zusätzlichen Effekt auf die Expression. Ein Manuskript ist in Kooperation mit WP 4.2 in Arbeit.

Ausgehend von einem weiteren Inkubationsexperiment wurde das Ionenregulatorische Transkriptom im atlantischen Kabeljau charakterisiert. Dazu wurde die Expression essentieller Kiemen-Transportproteine auf mRNA, Protein- und Aktivitätsebene untersucht. Dabei konnte unter anderem eine enge Koregulation der untersuchten Transporter festgestellt werden. Dabei unterschieden sich die Antworten deutlich zwischen den Hyperkapnie-Gruppen bei Optimums-Temperatur von denen

bei Sommer-Maximum-Temperaturen. Die Kapazitäten der zentralen energieliefernden bzw. – zehrenden ATPasen waren koreguliert und dabei thermisch nicht kompensiert, so dass von höheren Umsatzraten bei Erwärmung auszugehen ist. Die Daten legen eine ausreichende physiologische Plastizität der Kabeljaukieme und den Bedingungen eines erwärmten, angesäuerten Ozeans nahe. Angesichts der Interaktion der beiden Faktoren und einiger nicht-linear dosis-abhängiger Effekte gegenüber den beiden Klimafaktoren bleiben weitergehende Vorhersagen über die zukünftige Entwicklung schwierig.

In dem selben Probensatz wurde mittels Hochdurchsatz-Realtime PCR (*open array*) die Expression ca. 110 Ionen-regulatorischer Gene in 8 verschiedenen Geweben global analysiert. Dabei erwies sich das Gewebe-Signal als so dominant, dass eine einfache, mehrfaktorielle Analyse unmöglich war. In dem finalen Vergleich, in dem zunächst nur die Ionen-translozierenden Gewebe zusammengefasst wurden, konnten die Gewebe klar hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Empfindlichkeit gegenüber Temperatur und CO₂ unterschieden werden. Dem Hinterdarm konnte dabei eine bis dato unbekannte, einzigartige Rolle bei der Antwort auf diese Umweltreize zugesprochen werden. Die Analyse führte zur Identifizierung sensitiv-reagierender Markergene, deren Rolle in weiteren funktionellen Analysen näher charakterisiert werden sollte. Diese eignen sich möglicherweise auch zum Monitoring von natürlichen Populationen im Feld.

Für die Charakterisierung der Populationsstruktur und –dynamik wurde zunächst eine populationsgenetischen Probenbank für beiden Arten in Kooperation mit verschiedenen Partnern aufgebaut. Anhand von zehn etablierten populationsgenetischen Markern wurden *G. morhua*-Proben aus sieben geographischen Regionen analysiert. Die gefundenen Unterschiede spiegeln dabei nicht den postulierten latitudinalen Gradienten wider, sondern wohl vielmehr Differenzen in der Anpassung an andere abiotische Faktoren wie dem Salzgehalt (Nordsee vs. Baltikum). Im Zuge der Probenbeschaffung von *B. saida* wurde ein Kooperationsprojekt mit Prof. John Nelson, Kanada, und Dr. Hauke Flores, AWI, etabliert. Die Datengrundlage unseres Ansatzes wurde dabei durch Proben aus dem kanadischen Sektor und der zentralen Arktis erheblich über den im Antrag beschriebenen Umfang erweitert. Die abschließende Analyse durch unser Kooperationspartner ist noch in Arbeit.

Über den Antrag hinausgehend konnten anhand der Transkriptome zahlreiche, vielversprechende SNPs isoliert werden. Die Analyse der SNPs für eine Eignung als populationsgenetische Marker steht allerdings noch aus, und soll mit Hausmitteln fortgeführt werden.

WP 4.4:

Der größte Anteil der Mittel war für die Finanzierung der Doktoranden Stelle von Herrn Flemming Dahlke. Herr Dahlke war ein sehr guter Kandidat, der umfangreiche Daten für die Anfertigung der Doktorarbeit erfolgreich sammeln konnte und alle Ziele des Projektes zufriedenstellend bearbeitet hat. Herr Dahlke hat die Daten bereits vollständig analysiert und auf verschiedenen Konferenzen vorgestellt. Außerdem wurde bereits ein Manuskript geschrieben, das jetzt eingereicht werden soll. Weitere Manuskripte und die Fertigstellung seiner Doktorarbeit sollen in naher Zukunft erfolgen. Die Sachmittel wurden für die Tierbeschaffung vor Ort (Kabeljau Weibchen und Männchen in Kristineberg und Tromsø) und die Verbrauchsmaterialien und Chemikalien für die beiden Großexperimente eingesetzt. In beiden Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass die prognostizierte Meeresversauerung und Erwärmung zu verringerten Wachstums- und Überlebensraten während der Embryonalentwicklung beider Arten führten. Dabei waren die Unterschiede der Sterblichkeit während der Phase der Gastrulation zu sehen, in der die Enzymaktivitäten verschiedener ATPasen noch nicht ausgebildet sind, um erhöhte CO₂ Konzentrationen zu regulieren.

Für die Experimente in Kristineberg wurde Atlantischer Kabeljau vom Øresund beschafft. Die Tiere wurden direkt an Bord abgestreift und die Eier zur Station transportiert, wo die Experimente durchgeführt wurden. Es wurden Fertilisationsversuche bei 10 verschiedenen Temperaturen (0-12°C) und 2 pCO₂ Konzentrationen (400 und 1000ppm) durchgeführt und die Embryonen bei 5 verschiedenen Temperaturen (0, 3, 6, 9 und 12°C) und pCO₂ Konzentrationen (400 und 1000 ppm) inkubiert. Der Fertilisationserfolg wurde nach 24 Stunden ausgewertet (Abb. 1).

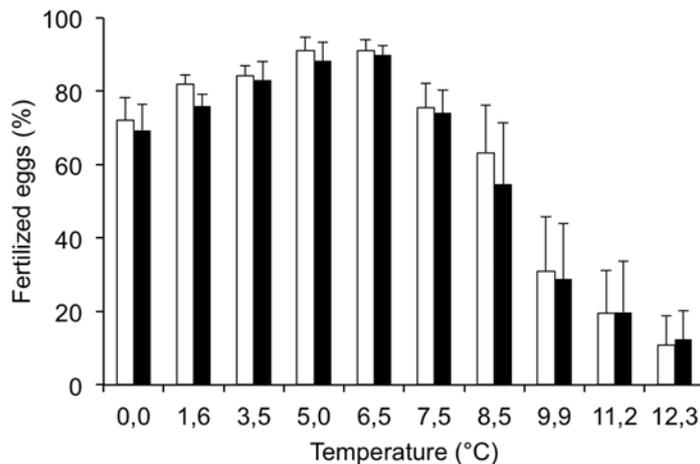


Abb. 1. Fertilisationserfolg des Atlantischen Kabeljau aus dem Øresund in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen bei 400 ppm CO₂ und 1000 ppm CO₂.

Während der Entwicklung der Embryonen wurde täglich die Mortalität und Entwicklungsdauer, sowie Fotos für morphologische Messungen und Deformationen genommen. Zum Zeitpunkt des einsetzenden Herzschlages, kurz vor dem Schlupf, wurde in den Embryonen der Sauerstoffverbrauch und die Herzschlagrate gemessen. Frisch geschlüpften Larven wurden vorbereitet für die spätere Anfärbung und Analyse von Chloridzellen.

Die Fertilisation war temperaturabhängig, mit besten Fertilisationsraten bei 3,5 bis 6,5°C und zeigte geringere Fertilisationsraten unter erhöhtem CO₂ (Ziel I). Die Auswertungen der Mortalitätsdaten während der Embryonalentwicklung ergaben, dass an den Grenzen des Temperaturtoleranzbereichs bei der höheren CO₂ Meerwasserkonzentration die Mortalität während der Gastrulationsphase höher ist. Kurz vor dem Schlupf findet man keinen Unterschied im Herzschlag, jedoch ist der Sauerstoffverbrauch unter CO₂ leicht erhöht. Die geschlüpften Larven haben eine geringere Länge bei gleichzeitig geringerem Dottersackvolumen. Das spricht dafür, dass die Larven unter CO₂ einen höheren Grundenergieumsatz haben und dadurch weniger Dotter in das Längenwachstum stecken können. Unter erhöhtem Meerwasser CO₂ wurde unter den frisch geschlüpften Larven mehr Deformationen gefunden als unter Kontrollbedingungen (Ziel II). Gleiche Ergebnisse ergaben die Experimente am Tromsøkabeljau und Polardorsch. Der Unterschied zwischen den beiden Arten war, dass das Temperaturfenster der Embryonalentwicklung des Polardorsch in die Kälte verschoben war, wohingegen die beiden Kabeljaupopulationen (Kristineberg & Tromsø) ihr Optimum ungefähr bei der gleichen Temperatur aufwiesen (Ziel II). Ziel (III) wurde nicht bearbeitet, weil die Ergebnisse der Temperaturabhängigkeit über die gesamte Embryonalentwicklung bereits genug Aufschluss für die Anfälligkeit der Embryonalentwicklung gegeben hatte. Es wurde aus diesem Grunde bevorzugt, die Mechanismen zu der höheren Sensitivität unter erhöhten CO₂ Konzentrationen zu ergründen und die Enzymaktivitäten zu messen.

WP 4.6:

Die Inkubationsexperimente zur Ozeanversauerung und Erwärmung konnten am Polardorsch und Kabeljau erfolgreich abgeschlossen werden. Alle geplanten Experimente, die Probenahme und deren Analysen wurden wie geplant durchgeführt

Die Verhaltensexperimente am Polardorsch konnten Veränderungen aufzeigen, die den bekannten Befunden an tropischen Fischarten ähnlich sind. So konnte eine verringerte Lateralität unter Ozeanversauerungsbedingungen beobachtet werden, die mit einer Änderung der Seitenpräferenz vom Polardorsch einherging. Ein zusätzlicher Einfluss der Ozeanerwärmung auf das Verhalten konnten beim Polardorsch dagegen nicht dokumentiert werden. Im Gegensatz zum Polardorsch zeigte sich beim Kabeljau keine verringerte Lateralität unter Ozeanversauerungsbedingungen. In Kombination mit erhöhten Temperaturen kam es jedoch zu Veränderungen der Seitenpräferenz unter OA, was beim Kabeljau auf eine Interaktion von Ozeanversauerung und Erwärmung auf Verhaltensänderungen hindeutet. Veränderungen der Spontanaktivität unter Ozeanversauerung zeigten sich weder beim Polardorsch noch beim Kabeljau, die beobachteten Aktivitätsänderungen waren ausschließlich durch die erhöhte Temperatur bedingt. Die Verhaltensstudien des WPs konnten zum ersten Mal unterschiedliche Verhaltensreaktionen zweier nahverwandter Fischarten auf Ozeanversauerungsbedingungen zeigen.

Die Analyse der Neurotransmitter zeigte eine erhöhte serotonerge Aktivität mit steigender Temperatur bei beiden Arten. Der erhöhte Serotonin Spiegel im Gehirn der Fische erklärt dabei die beobachteten Verhaltensmuster zur Spontanaktivität. OA spezifische Veränderungen in den Neurotransmittern konnten dagegen nicht beobachtet werden. Bei der unspezifische NMR Analyse der Metaboliten Zusammensetzungen im Gehirn zeigte sich Temperatur bedingte Veränderungen der Aminosäuren Neurotransmitter und von spezifischen Osmolyten in beiden Arten. Dies könnte mit einer Kompensation der Temperatur-bedingten Diffusionsänderungen im Gehirn als auch der Enzymfunktionen zusammenhängen. Signifikante Veränderungen in der Metaboliten Zusammensetzung, die durch OA bedingt wurden, konnten dagegen nicht nachgewiesen werden.

Der akute Einfluss von OA auf den Hirnstoffwechsel, der Säure-Basen Regulation und sowie der Herz-Kreislauffunktion zeigte beim Polardorsch eine OA-induzierte Ansäuerung im intrazellulären pH, die innerhalb von 24 h kompensiert wurde. Die Atmung erhöhte sich während dieses Zeitraums, dagegen verringerte sich die Geschwindigkeit des Blutes unter OA, was durch eine CO₂ induzierte Gefäß-Dilatation bedingt sein kann. Diese Befunde deuten auf einen negativen Einfluss der Ozeanversauerung und Erwärmung auf die Ganztierperformance vom Polardorsch hin, der in Zukunft für die Interaktion mit dem Kabeljau von Nachteil sein kann.

WP 4.8:

Die Mittel waren für die Finanzierung der Doktorandenstelle von Henrieke Tonkes und für die Beschaffung von Tiermaterial vorgesehen und wurden dafür verwendet. Die Tiere wurden in den Gewässern um Spitzbergen während einer Ausfahrt mit der FS Heincke (HE408), in Zusammenarbeit mit norwegischen Kollegen oder während der Polarstern-Expedition ARK XXVII gesammelt, ans AWI transportiert und dort von Frau Tonkes bei verschiedenen Temperaturen, CO₂-Konzentrationen und/oder Nahrungsbedingungen inkubiert. Dabei zeigt sich bei einem Experiment mit überwinterten Tieren in der Diapause, dass der pH der meisten Tiere geringer war als 6, wie es für überwinterte *Calanus glacialis* typisch ist, und dass weder die CO₂-Konzentration (390 oder 3000 ppm) noch die Temperatur (0, 5 und 10 °C) den extrazellulären pH beeinflussen. Auch unsere Experimente mit Tieren, die am Ende des Winters gefangen wurden, zeigen, dass die CO₂ Konzentration keinen Einfluss auf den extrazellulären pH hatte (Abb. 1A). Erst wenn die Tiere

gefüttert wurden, stieg der pH nach etwa zwei Wochen signifikant an (Abb. 1B). Demnach bestimmt vor allem die Nahrungsverfügbarkeit den Übergang von der Diapause zur aktiven Phase, die CO₂-Konzentration hat darauf keinen Einfluss (Schwerpunkt 1).

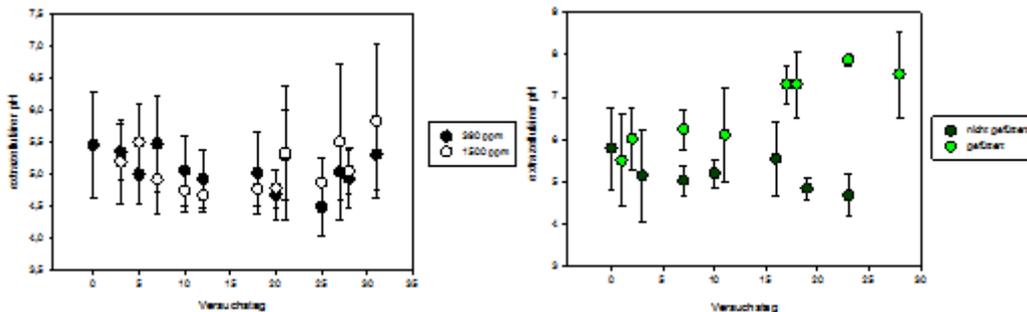


Abb. 1: Inkubation von *Calanus glacialis* bei normaler und hoher CO₂-Konzentration (A) und mit und ohne Nahrung (B). Dargestellt sind die gemittelten extrazellulären pH-Werte, die in der Hämolymphe gemessen wurden (\pm Standardabweichung).

Um zu untersuchen, wie die arktischen Copepoden auf veränderte Nahrung reagieren, haben wir Experimente mit *C. finmarchicus* und *C. glacialis* durchgeführt. Dazu wurden die Tiere mit *Thalassiosira weissflogii* (Diatomeen, kultiviert mit voller Nährstoffkonzentration und N-Limitierung) und *Oxyhris marina* (heterotrophe Dinoflagellaten) gefüttert. Die Ingestions- und Respirationsraten der beiden Gruppen unterschieden sich signifikant. Die Copepoden, die mit *O. marina* gefüttert wurden, produzierten zwar weniger und kleinere Kotbällen, die Menge an Kohlenstoff, die darüber ausgeschieden wurde, war jedoch gleich. Wenn sich das Nahrungsangebot mit der Ozeanversauerung ändert, hat das also vermutlich keinen Einfluss auf die Energiebilanz der Copepoden, allerdings könnten die Veränderung der Kotbällen deren Sinkverhalten und damit die biogeochemischen Prozesse im arktischen Ozean beeinflussen. Zusätzlich wurden Experimente mit allen drei *Calanus*-Arten durchgeführt, die klären sollten, ob sich die Aktivitäten der Verdauungsenzyme (Proteinasen und Lipasen) in Abhängigkeit vom Nahrungsorganismus unterscheiden. Hier legen die Ergebnisse nahe, dass die Tiere sowohl Diatomeen als auch heterotrophe Dinoflagellaten sehr gut verwerten können. Die Copepoden können daher flexibel auf mögliche Änderungen der Phytoplanktongemeinschaft aufgrund der sich verändernden klimatischen Bedingungen reagieren (Schwerpunkt 2).

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 1.2:

Der größte Budgetpunkt waren die Personalkosten, danach Laborkosten für den Mesokosmos und die molekularbiologischen Untersuchungen in Bremerhaven. Es wurde eine Studentin als Hilfwissenschaftlerin bei der Durchführung des Mesocosmos-Experiments angestellt.

WP 1.3:

Der größte Budgetpunkt waren die Personal- und Laborkosten für die insgesamt zwei Mesokosmen- und zahlreichen Laborstudien. Es wurde jeweils eine Studentin als Hilfwissenschaftlerin bei der Durchführung der Experimente angestellt.

WP 1.6:

Personalkosten waren der größte Budgetpunkt von WP 1.6. die Kosten dienten somit der Qualifikation von Nachwuchswissenschaftlern (Doktoranden). Ein weiterer, wichtiger Kostenpunkt waren die Reisekosten zur Teilnahme an Workshops, Konferenzen, Meetings und zur Durchführung von Experimenten im In- und Ausland, wobei das KOSMOS Gullmarfjord-Experiment zusätzlich von der Schwedischen Akademie der Wissenschaften unterstützt wurde.

WP 1.7:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten, also hauptsächlich die wichtige Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern. Reisekosten zu den Untersuchungsgebieten waren auch wichtig, wobei wir für das Kristinebergexperiment zusätzliche Mittel von der Schwedischen Akademie von Wissenschaften bekommen haben.

WP 1.14:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten, also hauptsächlich die wichtige Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern. Reisekosten zu den Untersuchungsgebieten waren auch wichtig, wobei wir für das Kristinebergexperiment zusätzliche Mittel von der Schwedischen Akademie von Wissenschaften bekommen haben.

WP 2.1:

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises für das Teilprojekt werden dem Projektträger gesondert von der Projektbeauftragten in der Finanzverwaltung des Alfred-Wegener-Instituts zusammengestellt und übermittelt.

WP 3.3:

Die Personalkosten für die Postdoktorandin nahmen den größten Teil des Budgets ein. Diese waren gefolgt von den Reisekosten, die für insgesamt zwei Reisen ins Untersuchungsgebiet (2013 und 2014), sowie eine Reise ans AIMS (Australien, 2015) und zu den jährlichen Bioacid-Treffen zur Präsentation der Projektergebnisse verwendet wurden. Das zur Verfügung gestellte Budget für Materialkosten wurde sowohl für die Versuchsaufbauten und Verbrauchsmaterial während der Feldreisen, als auch für die Labor- und Gewebeanalytik verwendet.

WP 3.7:

Größte Position im WP-Budget betrug mit 80% am Gesamtbudget die Personalkosten (Doktorandenstelle). Damit wurde der wesentliche Anteil der Fördergelder für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses benutzt.

WP 4.1:

Die größte Position des zahlenmäßigen Nachweises beinhaltete mit über 80% am Gesamtbudget des WP die Personalkosten für die Doktorandenstelle von Frau Kunz). Damit wurde der wesentliche Anteil der Fördergelder für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses benutzt. Die restlichen Kostendeckten einen Teil der für die Inkubationen benötigten Sachmittel und einen Teil der Reisekosten im Projekt.

WP 4.2:

Die Zuwendung wurde größtenteils zur Finanzierung der Post-Doc Stelle für den WP Leiter Dr. Felix Mark verwendet, weiterhin wurde ein Teil der Sachmittel für Experimente und Inkubationen, sowie

ein Teil der Reisemittel im Teilprojekt abgedeckt. Zusätzlich zu den durchgeführten Versuchen oblag Dr. Mark die Koordination und Repräsentation des Konsortium 4, sowie die Organisation der AWI Langzeitinkubationen und der Heincke Expeditionen nach Spitzbergen. Eine aus Institutsmitteln finanzierte Doktorandenstelle unterstützte die Arbeiten in WP 4.2 und 4.4.

WP 4.3:

Die wesentlichen Mittel wurden zur Finanzierung einer Post-Doktorandin eingesetzt, da die ursprünglich beantragte Doktoranden-Stelle nicht mit einem geeigneten Kandidaten besetzt werden konnte. Die (genehmigte) Umwidmung erfolgte kostenneutral. Die Post-Doktorandin führte sämtliche Labor- und Analyse-Arbeiten durch. Sie unterstützte die anderen Teilprojekte bei der Tierhaltung und der Probenbeschaffung bzw. –aufbereitung. Sie führt(e) die Datenanalyse und Interpretation zusammen mit den Projektleitern durch und fertigt(e) die Manuskripte für die Veröffentlichung der Daten an.

Darüber hinaus konnte ein Teil der Verbrauchsmaterialien für die Sequenzierung und Expressionsanalyse aus Projektmitteln bezahlt werden. Der größere Anteil stammte aus Institutsmitteln.

Für den Open-Access-Zugang zu Publikationen wurden weitere Mittel eingesetzt

WP 4.4:

Die Personalkosten wurden für eine Doktorandenstelle eingesetzt. Die Sachmittel wurden wie geplant für die expeditionstauglichen, transportablen Inkubationssysteme der Eier und die Beschaffung von laichreifen Kabeljau und Polardorschen verwendet. Die Reisekosten wurden im Rahmen der beiden Großexperimente in Kristineberg und Tromsø ausgegeben.

WP 4.6:

Die Zuwendung wurde fast ausschließlich für die Finanzierung eines Doktoranden genutzt. Herr Matthias Schmidt hat das Thema des WPs hauptamtlich bearbeitet.

WP 4.8:

Der wesentliche Anteil der Fördergelder wurde für Personalkosten verwandt und kam damit der Ausbildung der Doktorandin zugute.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 1.2:

Im Hinblick auf die erarbeiteten Ergebnisse wurden die bereitgestellten Mittel optimal genutzt.

WP 1.3:

Im Hinblick auf die erarbeiteten Ergebnisse wurden die bereitgestellten Mittel optimal genutzt.

WP 1.6:

Die Durchführung der in diesem Teilprojekt geleisteten Arbeit erfolgte wie ursprünglich geplant. Insgesamt war das Teilprojekt (WP 1.6) im Rahmen von BIOACID II an der Durchführung von 4 Mesokosmenversuchen beteiligt. Dies ermöglichte einen umfassenden Einblick in die Wechselwirkungen zwischen MZP und anderen Organismengruppen im Plankton unter sich

ändernden Temperatur- und CO₂-Bedingungen, sowohl zu verschiedenen Jahreszeiten als auch an in unterschiedlichen Meeresökosystemen.

WP 1.7:

Die in diesem Projekt geleistete Arbeit ist so durchgeführt wie ursprünglich geplant. Es wurden zwei Mesokosmenversuche durchgeführt wie beantragt, und diese Experimente in unterschiedlichen Meeresgebieten waren notwendig um feststellen zu können in wie fern Befunde aus anderen Bereichen allgemeine Gültigkeit haben. Zudem wurde eine Reihe von Zusatzversuche durchgeführt, die Detailfragen vor allem zu der Reaktion von gelatinösem Zooplankton auf eine CO₂ Erhöhung beantworten konnten. Die Arbeiten sind also im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 1.14:

Die in diesem Projekt geleistete Arbeit ist so durchgeführt wie ursprünglich geplant. Es wurden zwei Mesokosmenversuche durchgeführt wie beantragt, und diese Experimente in unterschiedlichen Meeresgebieten waren notwendig um feststellen zu können in wie fern Befunde aus anderen Bereichen allgemeine Gültigkeit haben. Zudem wurde ein Selektionsexperiment durchgeführt, um direkt den Selektionsdruck von CO₂ abschätzen zu können. Lediglich der ursprünglich geplante Vergleich zwischen Organsimen aus unterschiedlichen Meeresgebieten hat nicht stattgefunden. Grund hierfür waren die relativ geringen Erfolgsaussichten aufgrund unsere bisherigen Erkenntnissen, verbunden mit relativ geringen Unterschieden im Lebensraum der einzelnen Arten. Die Arbeiten sind also im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 2.1:

Notwendigkeit der geleisteten Arbeit

Um die Entwicklung der Lebensgemeinschaften an unseren Küsten unter dem Aspekt der Klimaveränderung und Ozeanversauerung besser vorhersagen zu können, ist es nötig über die Aufklärung der Wirkmechanismen der Stressfaktoren Temperatur und angestiegener CO₂-Gehalt auf einzelne Arten hinaus, auch solche auf Lebensgemeinschaften zu untersuchen. Neben der Wirkung jedes einzelnen Faktors ist vor allem auch die Wirkung der Kombination beider Faktoren essentiell, um ein realistisches Szenario der Veränderungen zu entwerfen und mögliche Folgen in der Natur abzuschätzen. Die geleistete Arbeit ist daher unabdingbar um künftig Vorhersagen über klimabedingte Veränderungen der Biota im Küstenbereich zu treffen. Innerhalb des BIOACID-Konsortium untersucht das Teilprojekt 2.1 als einziges Teilprojekt Phytoplankton-Gemeinschaften des marinen Bereichs der Nordsee, während die meisten anderen Teilprojekte sich auf Brackwasserlebensgemeinschaften aus der Ostsee konzentrieren. Nur im Vergleich mit den Ergebnissen dieses WP kann so geprüft werden, ob unter Brackwassereinfluß die Stresswirkung der Faktoren und ihrer Kombination verstärkend wirkt.

Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Durch die Entwicklung der Mesokosmen-Anlage mit hohem personellem und finanziellem Eigenanteil speziell für die besagte Fragestellung und den Einsatz einer Doktorandenstelle wurde für einen vergleichsweise geringen Mittelbedarf ein gutes innovatives Ergebnis erzielt. Insbesondere die enge Verzahnung von technischem Know-how, experimentellem Design und modellierendem Ansatz führte zu einer effizienten Strategie der Datengewinnung und das Projekt stellt somit eine Pionierleistung dar. Begleituntersuchungen insbesondere beim Seegrasexperiment konnten in Form einer Bachelorarbeit (Universität Oldenburg) und der Mitarbeit eines DAAD-Stipendiaten (Prawny-

Universität, Kenia) durchgeführt werden, wodurch die Experimente auch zur Weiterbildung wissenschaftlichen Nachwuchses genutzt werden konnten.

WP 3.3:

Die im Rahmen der Feld- und Laboruntersuchungen geleistete Arbeit war zur Erfüllung der im Projektantrag genannten Ziele notwendig. Die bereitgestellten Mittel wurden in angemessener Weise zur Erfüllung der Arbeiten innerhalb des WP 3.3 verwendet.

WP 3.7:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 4.1:

Die in diesem Projekt geleistete Arbeit wurde so durchgeführt wie ursprünglich geplant. Es wurden in der Hauptsache die beiden großen 4-monatigen Inkubationen an Polardorsch und Atlantischem Kabeljau durchgeführt, sowie einige weitere im Zusammenhang stehende Experimente. Alle Experimente haben unser Verständnis der Zusammenhänge zwischen Ozeanversauerung und –erwärmung mit der organismischen Biologie mariner Fische um einige Einsichten bereichert, somit sind die Arbeiten im WP im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 4.2:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 4.3:

Zur Erlangung der Projektziele war die geleistete Arbeit notwendig und in Hinblick auf den Erkenntnisgewinn angemessen.

WP 4.4:

Die notwendigen Arbeiten zur Erlangung der Ziele sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel mehr als angemessen durchgeführt worden. Es wurde auf eine 3. Kabeljaupopulation im Vergleich verzichtet, weil die beiden untersuchten Populationen genau die gleichen Effekte zeigten, so dass die Notwendigkeit mit einer dritten Population die Experimente zu wiederholen nicht gegeben war. Statt dessen wurden zusätzliche Arbeiten zur Enzymaktivität durchgeführt, um die Mechanismen zu verstehen, warum die Larven beider Arten unter CO₂ kleiner waren. Der hohe zeitliche Aufwand durch die zuvor ungeplanten zwei großen Experimente in Kristineberg und Tromsø haben unsere Prioritäten auf die ersten beiden Ziele des Vorhabens setzen lassen.

WP 4.6:

Es handelt sich hier um einen wichtigen Beitrag zur Grundlagenforschung. Die Ergebnisse sollen dabei helfen geeignete Aussagen über zukünftige klimabedingte Veränderungen der Artenzusammensetzung im arktischen Ökosystem zu treffen.

WP 4.8:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 1.2:

Nicht zutreffend, da es sich bei diesem Projekt um Grundlagenforschung handelte, bei dem keine unmittelbare wirtschaftliche Verwendung möglich ist.

WP 1.3:

Nicht zutreffend, da es sich bei diesem Projekt um Grundlagenforschung handelte, bei dem keine unmittelbare wirtschaftliche Verwendung möglich ist.

WP 1.6

Im Rahmen dieses Teilprojekts entstanden eine Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten und Publikationen bzw. befinden sich derzeit in Bearbeitung, um bei internationalen Fachzeitschriften zur Publikation eingereicht zu werden (siehe Literaturliste). Diese Publikationen ermöglichen einen umfangreichen Einblick zum Einfluss von Klimaerwärmung und Ozeanversauerung auf Meeresökosysteme und fließen somit direkt in Berichte und Publikationen für Entscheidungsträger mit ein. Des Weiteren haben mehrere Nachwuchswissenschaftler zum Gelingen von WP 1.6 beigetragen. Im Rahmen von BIOACID II konnte somit ein beachtlicher Beitrag zur Aus- und Weiterbildung im Bereich Meereswissenschaften geleistet werden. Die wissenschaftliche Fragestellung von BIOACID II wurde außerdem in das Bildungskonzept des AWI integriert, sodass dieses Projekt wichtiger Bestandteil von mehreren Veranstaltungen im Bereich der Erwachsenenbildung (BAH-Kurs, Tag der offenen Tür, öffentliche Vorträge), Bildungsangeboten für Kinder- und Jugendliche (BAH-Rallye, Schul- und Kindergartengruppen) sowie im AWI-Schülerlabor war. Somit hat das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Bildung im Bereich Meereswissenschaften geleistet.

WP 1.7:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Allerdings hat dieses Teilprojekt einige hochrelevanten Publikationen (s.u.) hervorgebracht, und weitere werden folgen. Diese Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften führen zu einer deutlichen Erweiterung unserer Kenntnisse der Einflüsse von Ozeanversauerung auf pelagische Ökosysteme, und werden damit in Berichte und Publikationen für Entscheidungsträger einfließen. Zudem haben in diesem Projekt etliche Jungwissenschaftler ihre Examensarbeiten machen können, und damit hat dieses Teilprojekt einen wichtigen Beitrag zur Bildung in den Meereswissenschaften geliefert. Einige der Ansätze wurden zusätzlich in das Schülerlabor des AWIs integriert, um auch da der nächsten Generation die Tools zu geben aktuelle Forschung und Forschungsergebnisse zu verstehen.

WP 1.14:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Allerdings hat dieses Teilprojekt einige hochrelevanten Publikationen (s.u.) hervorgebracht, und weitere werden folgen. Diese Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften führen zu einer deutlichen Erweiterung unserer Kenntnisse der Einflüsse von Ozeanversauerung auf pelagische Ökosysteme, und werden damit in Berichte und Publikationen für Entscheidungsträger einfließen.

WP 2.1:

Die gesammelten Ergebnisse aus allen Messkampagnen werden in wissenschaftliche Publikationen international begutachteter Zeitschriften einfließen. Die Installation der Mesokosmen als auch die gewonnenen Erfahrungen bedeuten eine wesentliche Bereicherung für das AWI Sylt als auch für die Wissenschaftswelt, die auch die Arbeitsmöglichkeiten zukünftiger Projekte am AWI erweitert und Untersuchungen zum Nahrungsnetz und zur funktionellen Biodiversität im kommenden Jahrzehnt um eine experimentelle Komponente wesentlich bereichert. Die Mesokosmen werden in der internationalen Fachzeitschrift „Limnology and Oceanography: Methods“ vorgestellt und für die weltweite Wissenschaft zur Verfügung gestellt (Pansch et al. 2016).

Auch wenn dieses Projekt primär nichtkommerziellen Nutzungen dient, so konnte doch ein technisches Patent der Mesokosmenanlage bezüglich der Gezeitensimulation angemeldet werden (amtl. AZ 10 2015 011 264.3).

WP 3.3:

Der ökonomische Nutzen von Korallenriffen für lokale Fischerei, Tourismus, sowie als Küsten- und Erosionsschutz ist von großer Bedeutung und Wichtigkeit. Die Erkenntnisse zur Bedeutung der Ozeanversauerung und der sich dadurch stark verändernden Korallenriffe kann daher eine ausschlaggebende Rolle spielen für die Prognose zum Fortbestehen ganzer Riffgebiete und unmittelbar genutzt werden für die Ausweisung von Schutzgebieten zum Schutz und Fortbestehen der Korallenriffe in einer sich durch den Klimawandel verändernden Welt.

WP 3.7:

Bei dem Projekt handelte es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Anwendungen geplant sind. Die Ergebnisse wurden und werden auf internationalen Konferenzen präsentiert und in internationalen Fachzeitschriften publiziert. Weiterhin werden die erhobenen Datensätze in der Datenbank PANGEA archiviert und so für die interessierte Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

WP 4.1:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Jedoch wird erwartet, dass die in diesem Projektteil erarbeiteten Ergebnisse relevant für die Fischerei und Aquakultur sind.

WP 4.2:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestanden. Jedoch wurde mittlerweile die zum Patent angemeldete modifizierte Diffusionskammer in Zusammenarbeit mit der Fa. Loligo Systems zur Marktreife entwickelt und wird voraussichtlich ab Mitte 2016 in Lizenz produziert.

WP 4.3:

Es handelt sich im weiteren Sinne um Grundlagenforschung zum Wirken von Klimaveränderungen auf die Ökologie des Meeres mit Implikationen für die Sozioökonomie des Menschen. Eine direkte wirtschaftliche Verwertung ist nicht angedacht.

WP 4.4:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Klimafolgenforschung. Wirtschaftliche Anwendungen sind nicht unmittelbar geplant. Jedoch werden die Ergebnisse zur Sensitivität von

Fischeiern zweier wirtschaftlich relevanter Fischarten (Polardorsch und Atlantischer Kabeljau) direkt in Sozioökonomische Modelle einfließen, deren Aussagen im Weiteren wirtschaftsrelevant werden könnten. Die Grundlagendaten aus diesem Projekt sind daher für ein nachhaltigeres Wirtschaften von Wichtigkeit.

WP 4.6:

Siehe 3. Es handelt sich hier um einen wichtigen Beitrag zur Grundlagenforschung, daher kann ein Nutzen oder die Verwertbarkeit der Ergebnisse nicht vorhergesagt werden.

WP 4.8:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 1.2:

Keine.

WP 1.3:

Keine.

WP 1.6:

Der Kenntnisstand *in puncto* Klimaerwärmung und Ozeanversauerung ist in den letzten Jahren zwar enorm vorangeschritten, jedoch fehlen bislang noch ausreichende Erkenntnisse über die Interaktionen beider Faktoren und die Folgen, die das Zusammenspiel von Temperatur und CO₂ auf Meeresökosysteme ausübt. Im Rahmen von BIOACID II konnte ein wichtiger Wissenszugewinn geleistet werden, der das Projekt auch auf internationaler Ebene sichtbar gemacht und die Notwendigkeit zur Durchführung dieses Vorhabens zudem unterstrichen hat.

WP 1.7:

Ozeanversauerung ist ein hoch aktuelles Feld mit sehr vielen Publikationen. Es wurde zu weit führen hier einen ausführlichen Review zu veröffentlichen. Allerdings gab es während des Projektes keine Veröffentlichungen die es notwendig gemacht hätten Ziele und Durchführung zu ändern.

WP 1.14:

Ozeanversauerung ist ein hoch aktuelles Feld mit sehr vielen Publikationen. Es wurde zu weit führen hier einen ausführlichen Review zu veröffentlichen. Allerdings gab es während des Projektes keine Veröffentlichungen die es notwendig gemacht hätten Ziele und Durchführung zu ändern.

WP 2.1:

Der fünfte Sachstandsbericht des IPCC (2014) bildet die wesentliche aktuelle Grundlage für die durchgeführten Experimente. Außer dieser Quelle sind während der Durchführung dieses Teilprojektes dem ZE keine weiteren wissenschaftlichen und technischen Fortschritte bekannt geworden.

WP 3.3:

Unsere Ergebnisse sind komplementär zu den in der Arbeitsgruppe des AIMS an den Papua-Riffen erhobenen Daten und Ergebnissen in Bezug auf die Anpassungsfähigkeit von robusten und sensiblen Korallen an OA (Strahl et al. 2015a: DOI: 10.1016/j.cbpa.2015.02.018; und 2015b: DOI: 10.1093/icesjms/fsv194) und ergänzen diese durch die Einbeziehung weiterer Umweltfaktoren (Licht, Nährstoffe, Nahrungsaufnahme) über den reinen Effekt des erhöhten pCO₂ hinaus.

WP 3.7:

Neuste Studien berichten von einem positiven Übertragungseffekt zwischen den Generationen, wenn Elterntiere schon während der Reproduktion erhöhten CO₂ Partialdrücken ausgesetzt waren (siehe z.B. Parker et al. Global Change Biology 2012, Biology 2013, PLoS ONE 2015). Weiterhin zeigte die Studie von Thomsen et al. (Global Change Biology 2013) einen deutlichen Zusammenhang zwischen Nahrungsverfügbarkeit und OA Sensitivität bei Miesmuschel und damit einen Hinweis, dass OA Resilienz mit einem erhöhten Energiebedarf einhergeht, der sich jedoch bei erwachsenen Tieren und entsprechend ausreichendem Nahrungsangebot scheinbar nicht negativ auswirken muss.

WP 4.1:

Die Auswirkungen steigender Temperaturen auf die Physiologie beider Fischarten sind weitreichend dokumentiert. Darüber hinaus finden sich zahlreiche Publikationen über die Auswirkungen erhöhter CO₂-Werte in Aquakulturen auf Wachstum und Futteraufnahme von Kabeljau. Im Verlauf des Projektes sind unseres Wissens keine Publikationen erschienen, die diese Kenntnisse für die Einzelparameter bzw. ihrer synergistischen Auswirkungen erweitern.

WP 4.2:

Die Auswirkungen steigender Temperaturen auf die mitochondriale Physiologie beider Fischarten sind nur zum Teil dokumentiert und CO₂ Effekte auf den mitochondrialen Stoffwechsel bis auf einige frühe Ausnahmen (1960er Jahre) nicht erforscht. Im Verlauf des Projektes sind unseres Wissens keine Publikationen erschienen, die diese Kenntnisse für die Einzelparameter bzw. ihrer synergistischen Auswirkungen erweitern, insofern sind die Arbeiten im WP als innovativ und zeitgemäß zu beurteilen.

WP 4.3:

Trifft so nicht zu. Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn entsteht fortwährend in der Konkurrenz der Meinungen und im wissenschaftlichen Diskurs der Publikationen im Feld. Daran sind wir kontinuierlich mit unseren eigenen Arbeiten beteiligt.

WP 4.4:

Soweit bekannt ist dies die erste Studie zum Temperaturtoleranzfenster von Kabeljau und Polardorsch unter verschiedenen Ozeanversauerungsszenarien.

WP 4.6:

Dem ZE ist während der Durchführung des Vorhabens kein Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

WP 4.8:

Es sind in letzten drei Jahren weitere Publikationen erschienen, die keinen direkten Einfluss von CO₂ auf Copepoden zeigen (Mayor et al. 2012, J. Plankton Res., 34, 258-262, Weydmann et. al. 2012, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 428, 39-42). Wie auch unsere Untersuchungen belegen, sind daher im wesentlichen indirekte Effekte über ein verändertes Nahrungsangebot zu erwarten.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 1.2:

Veröffentlichungen

- Eberlein, T., Van de Waal, D. B., Brandenburg, K. M., John, U., Voss, M., Achterberg, E. P., and Rost, B. (2016). Interactive effects of ocean acidification and nitrogen limitation on two bloom-forming dinoflagellate species. *Marine Ecology Progress Series*, doi:10.3354/meps11568
- Van de Waal, D. B., Eberlein, T., John, U., Wohlrab, S. and Rost, B. (2014). Impact of elevated pCO₂ on paralytic shellfish poisoning toxin content and composition in *Alexandrium tamarense*. *Toxicon* 78 (2014) 58–67
- Van de Waal, D. B., Eberlein, T., Bublitz, Y., John, U. and Rost, B. (2014). Shake it easy: a gently mixed continuous culture system for dinoflagellates. *Journal of Plankton Research* 0(0): 1–6. doi:10.1093/plankt/fbt138
- Van de Waal, D. B., Tillmann, U., Zhu, M., Koch, B., Rost, B. and John, U. (2013). Nutrient pulse induces dynamic changes in cellular C:N:P, amino acids, and paralytic shellfish poisoning toxins in *Alexandrium tamarense*, *Marine Ecology Progress Series* 493: 57-69, doi:10.3354/meps10532, hdl:10013/epic.42060
- van de Waal, D., John, U., Ziveri, P., Reichart, G. J., Hoins, M., Sluijs, A. and Rost, B. (2013) Ocean Acidification Reduces Growth and Calcification in a Marine Dinoflagellate. *PLoS ONE*, 8 (6), pp. 1-10

Under review / in preparation

- Bach, L. T., Taucher, J., Boxhammer, T., Ludwig, A., The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg, E. P., Alguero-Muniz, M., Anderson, L. G., Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y., Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H. G., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M., and Riebesell, U.: *Influence of ocean acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. PLOS one.*
- Eberlein T. et al. Effects of ocean acidification on net primary production of phytoplankton communities in the Gullmar fjord mesocosm. in preparation for *PLOS one*
- Wohlrab et al.: Influence of ocean acidification on the occurrence of pycotoxins in the Gullmar Fjord. In preparation for *PLOS one*
- Wohlrab et al.: Eukaryotic nano- and picoplankton diversity in a mesocom experiment. In preparation for *PLOS one*

WP 1.3:

Veröffentlichungen

- Bach, L. T., Riebesell, U., Gutowska, M. A., Federwisch, L., and Schulz, K. G. (2015) *A unifying concept of coccolithophore sensitivity to changing carbonate chemistry embedded in an ecological framework.* *Progress in Oceanography*, 135. pp. 125-138. DOI [10.1016/j.pocean.2015.04.012](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.04.012).
- Bach, L. T. (2015) *Reconsidering the role of carbonate ion concentration in calcification by marine organisms.* *Biogeosciences (BG)*, 12 . pp. 4939-4951. DOI [10.5194/bg-12-4939-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-4939-2015).
- Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavsén, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) *Temperature Modulates Coccolithophorid Sensitivity of Growth, Photosynthesis and Calcification to Increasing Seawater pCO₂.* *PLoS ONE*, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).

- Sett, S., Bach, L. T., Schulz, K. G., Koch-Klavnsen, S., Lebrato, M., and Riebesell, U. (2014) *Temperature Modulates Coccolithophorid Sensitivity of Growth, Photosynthesis and Calcification to Increasing Seawater pCO₂*. PLoS ONE, 9 (2). e88308. DOI [10.1371/journal.pone.0088308](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088308).
- Zhang, Y., Bach, L. T., Schulz, K. G., and Riebesell, U. (2014): *The modulating effect of light intensity on the response of the coccolithophore Gephyrocapsa oceanica to ocean acidification*. Limnology and Oceanography, 60 pp. 2145 – 2157.
- Kottmeier, D., Rokitta, S., Tortell, P. and Rost, B. (2014). Strong shift from HCO₃⁻ to CO₂ uptake in *Emiliana huxleyi* with acidification: new approach unravels acclimation versus short-term pH effects. Photosynthesis Research 121: 265-275. DOI 10.1007/s1120-014-9984-9
- Kottmeier, D. M., Rokitta, S. D. and Rost, B. (2016). Acidification, not carbonation, is the major regulator of carbon fluxes in the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. New Phytologist, in press.
- Eberlein, T., Van de Waal, D. B., Brandenburg, K. M., John, U., Voss, M., Achterberg, E. P., and Rost, B. (2016). Interactive effects of ocean acidification and nitrogen limitation on two bloom-forming dinoflagellate species. *Marine Ecology Progress Series*, doi:10.3354/meps11568

Under review

- Bach, L. T., Taucher, J., Boxhammer, T., Ludwig, A., The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg, E. P., Alguero-Muniz, M., Anderson, L. G., Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y., Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H. G., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M., and Riebesell, U: *Influence of ocean acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. PLOS one*.
- Eberlein T. et al. Effects of ocean acidification on net primary production of phytoplankton communities in the Gullmar fjord mesocosm. in preparation for *PLOS one*

WP 1.6:

Veröffentlichungen

- Horn, H.G., Boersma, M., Garzke, J., Löder, M.G.J., Sommer, U., Aberle, N. (2015) Effects of high CO₂ and warming on a Baltic Sea microzooplankton community. ICES Journal for Marine Science DOI:10.1093/icesjms/fsv198
- Meunier, C.L., Algueró-Muñiz, M., Horn, H.G., Lange, J.A.F., Boersma, M. (2015) Direct and indirect impact of near-future pCO₂ levels on zooplankton dynamics. Marine and Freshwater Research (in press)
- Horn, H.G. et al. (in prep.) Low CO₂ sensitivity of microzooplankton communities in the Gullmar Fjord, Skagerrak: evidence from a long-term mesocosm study. To be submitted to PLOS One.
- Horn, H.G. et al. (in prep.) Effects of ocean acidification and warming on the succession of an autumn plankton community in the Baltic Sea.
- Horn, H.G. et al. (in prep.) Trophic upgrading in an acidified ocean: *Oxyrrhis marina* as a model organism.
- Bach, L. T. Taucher, J. Boxhammer, T. Ludwig, A. The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg E., Algueró-Muñiz, M, Anderson, L. Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y. Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H.G., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M. & Riebesell, U. (in prep). Influence of ocean acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. To be submitted to PLOS One.

Algueró-Muñiz, M., Álvarez, S., Bach, L., Esposito, M., Horn, H.G., Ecker, U., Malzahn, A. M. Thor, P., Boersma, M. (in prep). Ocean Acidification effects on mesozooplankton community development: results from a long-term near-natural conditions experiment. To be submitted to PLOS One.

Algueró-Muñiz, M., Álvarez, S., Bach, L., Horn, H.G., Spisla, C., Boersma, M. (in prep). Ocean acidification effects on a oligotrophic zooplankton community. To be submitted to Marine biology.

Vorträge

Horn, H.G., Aberle, N., Boersma, M. BIOACID II WP 1.6: The role of microzooplankton under future ocean acidification and warming scenarios. BAH Seminar, 20. Oktober 2012, Helgoland

Aberle, N., The impact of climate change on low and high latitude marine ecosystems. Sultan Qaboos University, 22. Mai 2013, Muscat, Sultan Oman

Horn, H.G., KOSMOS 2014 Gran Canaria WP 1.6: The role of microzooplankton. Canary Island mesocosm campaign – Planning meeting, 16.-17. September 2013, Kiel

Horn, H.G., Aberle, N., Boersma, M. KOSMOS 2013 Gullmar Fjord: First microzooplankton results. KOSMOS 2013 Data Workshop, 12.-13. Dezember 2013, Kiel

Aberle, N., Pathways through the plankton: the impact of external drivers on lower food-web dynamics. GEOMAR (Sektion Meereswissenschaften), 17. Dezember 2013, Kiel

Aberle, N., Pathways through the plankton: the impact of external drivers on lower food-web dynamics. IGB Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Stechlinsee, 18. Dezember 2013, Kiel

Horn, H.G., Aberle, N., Löder, M.G.J., Boersma, M. BIOACID summer experiment 2013: First microzooplankton results. BIOACID II Data workshop, 4. Juli 2014, Kiel

Horn, H.G. Effects of ocean acidification and warming on microzooplankton communities. POLMAR Seminar, 23. August 2014, Mariaspring

Aberle, N. Phytoplankton-protzooplankton interactions in a changing environment: shifts in phenology and trophic relations. Institut für Chemie und Biologie des Meeres, 4. Februar 2015, ICBM, Oldenburg

Horn, H.G., Sander, N. Effects of ocean acidification on North Sea microzooplankton communities. KOSMOS 2013 Kristineberg Data Workshop, 23.-24. April 2015, Kiel

Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Löder, M.G.J., Boersma, M., Riebesell, U., Aberle, N. Effects of ocean acidification on North Sea microzooplankton communities. AWI PhD Days, 1.-4. Juni 2015, Sylt

Aberle, N. Phytoplankton-protzooplankton interactions in a changing environment: shifts in phenology and trophic relations. Institut für Hydrobiologie und Fischereibiologie, 3. Juli 2015, Hamburg

Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Löder, M.G.J., Boersma, M., Riebesell, U., Aberle, N. Does ocean acidification affect North Sea microzooplankton communities? European Marine Biology Symposium, 20.-25. September 2015, Helgoland

Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Garzke, J., Löder, M.G.J., Ludwig, A., Boersma, M., Riebesell, U., Aberle, N. Life in the future ocean: effects of end-of-century warming and acidification conditions on microzooplankton. AWI Science Meeting, 27. Oktober 2015, Bremerhaven

Poster

- Horn, H.G., Aberle, N., Löder, M.G.J, Boersma, M. The role of microzooplankton under future ocean acidification and warming scenarios. BIOACID II Kick-off Meeting, 6.-7. November 2012, Kiel
- Horn, H.G., Aberle, N., Löder, M.G.J, Boersma, M. The role of microzooplankton under future ocean acidification and warming scenarios. BIOACID II Meeting, 1.-2. Oktober 2013, Warnemünde
- Horn, H.G., Aberle, N., Löder, M.G.J, Boersma, M. Small but important: Effects of ocean acidification and warming on microzooplankton communities. AWI PhD Days 2014, 5.-8. Mai 2014, Helgoland
- Horn, H.G., Aberle, N., Löder, M.G.J, Boersma, M. Effects of ocean acidification and warming on microzooplankton communities in North Sea and Baltic Sea. BIOACID II Meeting, 10.-11. September 2014, Kiel
- Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Löder, M.G.J., Boersma, M., Riebesell, U., Aberle, N. Effects of ocean acidification on North Sea microzooplankton communities. ASLO Conference, 22.-27. Februar 2015, Granada, Spanien
- Sander, N., Horn, H.G., Boersma, M., Aberle, N. Microzooplankton as a trophic upgrader in a high CO₂ ocean: evidence from a small-scale experiment. European Marine Biology Symposium, 20.-25. September 2015, Helgoland
- Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Löder, M.G.J., Boersma, M., Aberle, N. Ocean acidification and global warming: can we expect effects on the microzooplankton communities? BIOACID II Final Meeting, 6.-7. Oktober 2015, Kiel

Examensarbeiten

- Sander, N. (2015) Alterations in plankton community interactions under future ocean acidification conditions. Masterarbeit, Universität Hamburg

WP 1.7:

Veröffentlichungen

- Lesniewski, T.J., Gambill, M., Holst, S., Peck, M.A., Algueró-Muñiz, M., Haunost, M., Malzahn, A. M. & Boersma, M. (2015). Effects of food and CO₂ on growth dynamics of polyps of two scyphozoan species (*Cyanea capillata* and *Chrysaora hysoscella*). *Mar. Biol.*, 162, 1371-1382.
- Meunier, C.L., Algueró-Muñiz, M., Horn, H.G., Lange, J.A.F. & Boersma, M. (2016). Direct and indirect impact of near-future pCO₂ levels on zooplankton dynamics. *Mar. Freshwat. Res.*, in press.
- Algueró-Muñiz, M. Meunier, C. L., Holst, S., Álvarez, S. & Boersma, M. (in review). Withstanding multiple stressors: ephyrae of the moon jellyfish (*Aurelia aurita*, Scyphozoa) in a high temperature, high CO₂ and low oxygen environment. Submitted to *Global Change Biol.*
- Bach, L. T. Taucher, J. Boxhammer, T. Ludwig, A. The Kristineberg KOSMOS Consortium, Achterberg, E., Algueró-Muñiz, M, Anderson, L. Bellworthy, J., Büdenbender, J., Czerny, J., Ericson, Y. Esposito, M., Fischer, M., Haunost, M., Hellemann, D., Horn, H., Hornick, T., Meyer, J., Sswat, M., Zark, M. & Riebesell, U. (in prep). Influence of ocean acidification on a natural winter-to-summer plankton succession: First insights from a long-term mesocosm study draw attention to periods of nutrient limitation. To be submitted to *PLOS One*.
- Algueró-Muñiz, M., Álvarez, S., Bach, L., Esposito, M., Horn, H., Ecker, U., Malzahn, A. M. Thor, P., Boersma, M. (in prep). Ocean Acidification effects on mesozooplankton community

development: results from a long-term near-natural conditions experiment. To be submitted to PLOS One.

Algueró-Muñiz, M., Álvarez, S., Bach, L., Horn, H., Spisla, C., Boersma, M. (in prep). Ocean acidification effects on a oligotrophic zooplankton community. To be submitted to Marine biology.

Vorträge und Poster

Algueró-Muñiz, M., Malzahn, A. M. & Boersma M. (2012) Response of mesozooplankton to ocean acidification in the subtropical Atlantic and the North Sea. BIOACIDII Start Meeting (Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung; Kiel). Poster.

Algueró-Muñiz, M., Lesniewski, T.J., Malzahn, A. M. & Boersma, M. (2013) Ocean acidification: direct and indirect effects on the growth of *Cyanea capillata* and *Chrysaora hysoscella* polyps. Fourth International Jellyfish Bloom symposium, Hiroshima, Japan. Poster.

Algueró-Muñiz, M., Lesniewski, T.J., Malzahn, A. M. & Boersma, M. (2013) Direct and indirect effects of ocean acidification on the growth of *Cyanea capillata* and *Chrysaora hysoscella* polyps. BIOACIDII jährliches Meeting (Leibniz-Institut für Ostsee Forschung; Warnemünde). Poster.

Algueró-Muñiz, M., Lesniewski, J. T., Meunier, C. L., Lange, J., Horn, H., Ecker, U., Thor, P., Boersma, M. (2014): Direct and indirect effects of CO₂ in mesozooplankton: a review - AWI PhD days- Helgoland (Germany) Poster.

Algueró-Muñiz, M., Thor, P., Malzahn, A. M. & Boersma M. (2014) Mesozooplankton community development affected by ocean acidification: results from GullmarFjord KOSMOS2013 Expedition - GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (Germany) BIOACID Phase II Meeting Kiel. Poster.

Algueró-Muñiz, M., Malzahn, A. M. & Boersma M. (2015) Mesozooplankton community development affected by ocean acidification: results from a long-term near-natural conditions experiment. ASLO Konferenz - Aquatic Science meeting (Granada; Spanien). Vortrag.

Algueró-Muñiz, M., Meunier, C. L., Ecker, U., Holst, S. & Boersma, M. (2015) Climate change effects on early life stages of the Moon jellyfish (*Aurelia aurita*, Scyphomedusae): coping with ocean acidification, deoxygenation and warming. PHD-Days (Alfred Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar und Meeresforschung; Helgoland). Vortrag.

Algueró-Muñiz, M., Meunier, C. L., Ecker, U., Holst, S. & Boersma, M. (2015) Climate change effects on early life stages of the Moon jellyfish (*Aurelia aurita*, Scyphomedusae): coping with ocean acidification, deoxygenation and warming. 50. European Marine Biology Symposium, Helgoland, Germany. Vortrag.

Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Löder, M.G.J., Boersma, M., Riebesell, U., Aberle, N. Does ocean acidification affect North Sea microzooplankton communities? European Marine Biology Symposium, 20.-25. September 2015, Helgoland. Vortrag.

Algueró-Muñiz, M., Álvarez-Fernandez, S. & Boersma M. (2015) Does Ocean Acidification cause an effect on gelatinous zooplankton biomass? An insight on Hydromedusae and Scyphomedusae. . BIOACIDII Abschluß Meeting (Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung; Kiel). Poster.

Horn, H.G., Sander, N., Algueró-Muñiz, M., Garzke, J., Löder, M.G.J., Ludwig, A., Boersma, M., Riebesell, U., Aberle, N. Life in the future ocean: effects of end-of-century warming and acidification conditions on microzooplankton. AWI Science Meeting, 27. Oktober 2015, Bremerhaven. Vortrag.

Examensarbeiten

Ecker, U. (2015). Gelatinous zooplankton food web in the southern North Sea: trophic interactions between species and Importance of food quality under varying temperature and CO₂. M.Sc. Thesis. University of Kiel.

Mattmüller, R.M. (2015). Growth of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa) polyps dependent on temperature and salinity. B.Sc. Thesis. University of Bremen.

Möller, L. (2014). Effect of ocean acidification and temperature on the growth of polyp of the scyphozoan, compass jellyfish (*Chrysaora hasoscella*). B. Sc. Thesis. Technical University Braunschweig.

WP 1.14:

Veröffentlichungen

Meunier, C.L., Algueró-Muñiz, M., Horn, H.G., Lange, J.A.F. & Boersma, M. (2016). Direct and indirect impact of near-future pCO₂ levels on zooplankton dynamics. Mar. Freshwat. Res., in press.

van de Waal, D.B. & Boersma, M. (2012). Ecological Stoichiometry in Aquatic Ecosystems. In: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO (ed. Committee, U-EJ). EOLSS Publishers Oxford, UK.

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (in prep). Effects of ocean acidification on plankton communities: A metabarcoding approach. To be submitted to PLOS One.

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (in prep). Responses of *Acartia tonsa* to ocean acidification: From phenotypic plasticity to evolutionary adaptations. To be submitted to Global Change Biology.

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (in prep). Does ocean acidification alter plankton community composition under nutrient limitation? To be submitted to Marine Biology.

Vorträge und Poster

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2012) Mesozooplankton's adaptations to Ocean acidification (OA): Genetic responses. BIOACIDII Start Meeting (Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung; Kiel). Poster.

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2013) Can mesozooplankton organisms adapt to the changed chemical composition and degradation in food quality caused by ocean acidification? BIOACIDII jährliches Meeting (Leibniz-Institut für Ostsee Forschung; Warnemünde). Poster.

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2013) Ozean Versauerung übt einen Selektionsdruck auf Zooplankton Organismen aus. BIOACIDII Daten Workshop (Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung; Kiel). Vortrag.

Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2013) Ozeanversauerung und Evolution: eine experimentelle Analyse. Biologisches Kolloquium (Universität; Koblenz-Landau). Vortrag.

- Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2014) Ozeanversauerung und Evolution: eine experimentelle Analyse .PHD-Days (Alfred Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar und Meeresforschung; Helgoland). Vortrag.
- Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2015) Effects of ocean acidification on zooplankton: Metabarcoding results from a long-term mesocosmos experiment in the North Sea" ASLO Konferenz - Aquatic Science meeting (Granada; Spanien). Vortrag.
- Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2015) Effects of ocean acidification on zooplankton: Metabarcoding results from a long-term mesocosmos experiment in the North Sea. 50. European Marine Biology Symposium, Helgoland, Germany. Vortrag.
- Lange, J.A.F., Schwenk, K. & Boersma, M. (2015) Effects of ocean acidification on zooplankton: Metabarcoding results from a mesocosmos experiment. BIOACIDII Abschluß Meeting (Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung; Kiel). Poster.

WP 2.1:

Veröffentlichungen

- Pansch, A., Winde, V., Asmus, R., Asmus, H. (2016). Tidal benthic mesocosms simulating future climate change scenarios in the field of marine ecology. *Limnology and Oceanography: Methods*. Published online, DOI:10.1002/lom3.10086.
- Pansch, A., Winde, V., Asmus, R., Asmus, H. (in prep). Interactive effects of acidification, warming and eutrophication on a *Fucus vesiculosus* community – derived from ecological network analysis. In preparation.
- Pansch, A., Mensch, B., Winde, V., Asmus, R., Asmus, H. (in prep) Seasonal variation in a *Fucus vesiculosus* community under future climate change. In preparation.
- Pansch, A., Sokol, S., Werner, F., Asmus, H., Asmus, R., Wahl, M. (in prep). Ecological Network Analysis reveals habitat specific community responses under future climate change – comparing the North Sea and Baltic Sea. In preparation.

Vorträge

- Pansch, A., Asmus, R. and Asmus, H. (2014). Marine benthic mesocosms - A facility for climate change research at the ecosystem level. REEPON – Workshop, Bremerhaven, 26 May 2014, und AquaLife 2014, Kiel, 03 – 04 June 2014.
- Pansch, A., Asmus, H., Asmus, R., Mensch, B. and Winde, V. (2014). Effects of global warming and ocean acidification on benthic communities in the German Wadden Sea - examined with mesocosm experiments -BIOACID II - Annual Meeting 2014, GEOMAR Kiel, 10 – 11 September 2014.
- Pansch, A., Asmus, H. and Asmus, R. (2014). The effect of global warming and CO₂ increase on a *Fucus vesiculosus* community of the Wadden Sea, a mesocosm approach. INFOWEB - Annual Meeting - Bilateral Wadden Sea Research AWI Sylt, 30 September – 01 October 2014.
- Pansch, A., Asmus, H. and Asmus, R. (2015). Benthic mesocosms simulating future climate change scenarios in the field of marine ecology Mesocosm Workshop – Akkeshi marine station, Japan, 23 April – 28 April 2015.

Pansch, A., Asmus, H. and Asmus, R. (2015). Effects of global warming, ocean acidification and eutrophication on benthic communities in the German Wadden Sea - examined with mesocosm experiments - ECSA 55, London, 6 September - 9 September 2015

Examensarbeiten

Kirchhof, F., 2015. Impacts of abiotic and biotic stress factors on *Zostera noltii* – a mesocosm experiment. BSc Thesis, Universität Osnabrück, 37 pp.

WP 3.3:

Veröffentlichungen

Smith J., Strahl J., Noonan S.H.C., Schmidt G.M., Richter C., Fabricius K.E. (eingereicht) Reduced heterotrophy for the stony coral *Galaxea fascicularis* after life-long exposure to ocean acidification. Scientific Reports.

Wall M., Fietzke J., Schmidt G.M., Fink A., Hofmann L.C., de Beer D., Fabricius K.E. (eingereicht) Internal pH regulation facilitates *in situ* long-term acclimation of massive corals to end-of-century carbon dioxide conditions. Scientific Reports.

Schmidt G.M., Wall M., Hofmann L.C., Jung M., Richter C., Fabricius K.E. (in Vorbereitung)

Photophysiological response of scleractinian corals to light exclusion under high pCO₂.

Schmidt G.M., Wall M., Hofmann L.C., Richter C., Fabricius K.E. (in Vorbereitung) Metabolic response of the two scleractinian coral species *Porites lutea* and *Seriatopora hystrix* to nutrient enrichment under ocean acidification.

Schmidt G.M., Wall M., Hofmann L.C., Richter C. (in Vorbereitung) The effect of light stress on the photosymbiosis of the scleractinian corals *Acropora millepora* and *Pocillopora damicornis* under high pCO₂.

Wall M., Schmidt G.M., Fietzke J., Hofmann L.C., de Beer D. (in Vorbereitung) Immediate and short-term response of tropical corals' pH microenvironment to changing pCO₂ conditions.

Examensarbeiten

Jung, M. The effect of ocean acidification (OA) on the photosymbiosis of the two scleractinian coral species *Porites lutea* and *Seriatopora hystrix* – a light-exclusion experiment. BSc Thesis, Bremen University.

WP 3.7:

Veröffentlichungen

Stapp LS, Kreiss CM, Pörtner HO, Lannig G (2015). Differential impacts of elevated CO₂ and acidosis on the energy budget of gill and liver cells from Atlantic cod, *Gadus morhua*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 187:160–167.

Harvey BP, Al-Janabi B, Broszeit S, Cioffi R, Kumar A, Aranguren-Gassis M, Bailey A, Green L, Gsottbauer CM, Hall EF, Lechler M, Mancuso FP, Pereira CO, Ricevuto E, Schram JB, Stapp LS, Stenberg S, Santa Rosa LT. (2015) Evolution of Marine Organisms under Climate Change at Different Levels of Biological Organisation. Water 6: 3545-3574.

Zittier ZMC, Bock C, Lannig G, Pörtner HO. (2015). Impact of ocean acidification on thermal tolerance and acid–base regulation of *Mytilus edulis* (L.) from the North Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 473:16–25.

Schalkhauser B, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014). Escape performance of temperate king scallop, *Pecten maximus* under ocean warming and acidification. *Marine Biology* 161:2819-2829.

Sokolova IM, Sukhotin AA, Lannig G (2012). Stress effects on metabolism and energy budgets in mollusks. In: *Oxidative Stress in Aquatic Ecosystems* (Eds. Abele D, Vazquez-Medina J, Zenteno-Savin T), Wiley-Blackwell.

Dickinson GH, Ivanina AV, Matoo OB, Pörtner HO, Lannig G, Bock C, Beniash E, Sokolova IM (2012). Interactive effects of salinity and elevated CO₂ levels on juvenile eastern oysters, *Crassostrea virginica*. *Journal of Experimental Biology* 215:29-43.

Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (in prep) Long-term ocean acidification sensitivity of Baltic blue mussel *Mytilus edulis*: comparison of tolerant vs. sensitive families.

Stapp LS, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (in prep). Effect of long-term ocean acidification on enzyme capacities of the Baltic blue mussel *Mytilus edulis*: comparison of tolerant vs. sensitive families.

Stapp LS, Parker LM, O'Connor WA, Bock C, Ross PM, Pörtner HO, Lannig G. (in prep). Different sensitivities to ocean acidification between populations of the Sydney Rock Oyster: Role of filtration and ion-regulatory capacities.

Stapp LS, Bock C, Fromm A, Lannig G. (in prep). Impact of reef- dependent aragonite saturation level on bioenergetics of the Norwegian bivalve *Acesta excavata*.

Thomsen J, Stapp LS, Haynert K, Schade H, Danelli M, Wegner K, Melzner F. (in Revision). Naturally acidified habitat selects for ocean acidification tolerant mussels.

Vorträge

Stapp LS, Parker LM, O'Connor WA, Bock C, Ross PM, Pörtner HO, Lannig G. (2016). Different sensitivities to ocean acidification between populations of the Sydney Rock Oyster: Role of filtration and ion-regulatory capacities. 4th International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, Hobart, Tasmania, Australia, 3.-6. Mai 2016.

Lannig G, Schalkhauser B, Pörtner HO, Bock C. (2016). Higher sensitivity to ocean warming and acidification in boreal than temperate great scallop, *Pecten maximus*. 4th International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, Hobart, Tasmania, Australia, 3.-6. Mai 2016.

Stapp L, Bock C, Pörtner HO, Lannig G (2015). Adaptation and metabolic constraints of bivalves to ocean acidification. Final meeting of BIOACID II, Kiel, 6.-7. Oktober 2015.

Lannig G, Stapp L (2015). Thermal sensitivity of cell metabolism of different Antarctic fish species mirrors organism temperature tolerance. The 9th International Congress of Comparative Physiology and Biochemistry (ICCPB), Krakow, Poland, 23.-28. August 2015.

Schalkhauser B, Bock C, Pörtner HO, Lannig G (2015). Easy prey? – Great scallop escape performance under ocean warming and acidification. 20th International Pectinid Workshop, Galway City, Ireland, 22.-28. April 2015.

Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014) Variable phenotypic response of Baltic blue mussel (*Mytilus edulis*) to ocean acidification: integrating cellular response and organism performance. 2nd Annual Meeting BIOACID II, Kiel, 10.-11. September 2014.

- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014) Ocean acidification sensitivity of the Baltic blue mussel – variable phenotypic responses within a population. Annual Meeting of the Society for Experimental Biology, Manchester, UK, 1.-4- Juli 2014.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2014) Ocean acidification sensitivity of the Baltic blue mussel – a comparative study between sensitive and tolerant families. AWI PhD Days, Helgoland, 5.-8. Mai 2014
- Lannig G (2014). Comparative cellular physiology of marine organisms. BMB Symposium, Universität Bremen, 31. Januar 2014.
- Lannig G (2014). Impact of environmental parameters on energy metabolism of marine ectotherms: Linking cellular response and organism performance. Seminar Integrative Ökophysiologie. Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, 3. Juni 2014.
- Lannig G (2014). Impact of hypoxia and hypoxemia on the physiology of marine ectotherms: how do animals cope with it? Ocean Sciences Colloquium, BreMarE Day, Universität Bremen, 26. November 2014.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2013) WP 3.7: Adaptation and metabolic constraints of bivalve reefs to future climate change: Comparison between bivalve reefs from natural CO₂ sites. 1st Annual Meeting BIOACID II, Warnemünde,, 1.-2. Oktober 2013.
- Lannig G (2013). Coping with a changing ocean: Physiological responses to environmental factors in marine organisms. Seminar, Institute for Hydrobiology and Fisheries Science (IHF), Hamburg, 18 January 2013.
- Stapp LS, Thomsen J, Melzner F, Schade H, Bock C, Pörtner HO, Lannig G. (2012) WP 3.7: Adaptation and metabolic constraints of bivalve reefs to future climate change: Comparison between bivalve reefs from natural CO₂ sites. KickOff Meeting BIOACID II, Kiel, 16.-7. November 2012.
- Stapp L, Lannig G, Bock C, Beckmann M, Pörtner HO (2012). Cellular response to changing environmental parameters. Evolutionary potential in marine populations, List, Sylt, 17.-21. September 2012.
- Lannig G, Schalkhauser B, Bock C (2012). Impact of ocean warming and acidification on performance of scallops – a latitudinal comparison. Third International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, Monterey, CA, USA, 24.-27. September 2012.

Examensarbeiten

- Jansen B. (2015). Temperaturabhängigkeit des Energiestoffwechsels mariner Ektothermer: Zelluläre Respirationsraten und Energiekosten der Proteinbiosynthese. BSc Thesis, Universität Bremen.
- Kupprath F. (2014). Determination of acute protein biosynthesis rates in the blue mussel *Mytilus edulis*: The role of hemolymph parameters in temperature-dependent growth. MSc Thesis, Universität Bremen.

WP 4.1:

Veröffentlichungen

- Kunz, K.L., Frickenhaus, S., Hardenberg, S., Johansen, T., Leo, E., Pörtner, H.O., Schmidt, M., Windisch, H.S., Knust, R. & Mark, F.C. (subm.) Metabolism, growth and feed conversion efficiency under ocean acidification and warming in Arctic waters: Comparison of Polar cod (*Boreogadus saida*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*). In revision for Polar Biology.
- Kunz, K.L., Claireaux, G., Pörtner, H.O., Knust, R. & Mark, F.C. (in prep.) Aerobic performance of Polar cod (*Boreogadus saida*) under ocean acidification and warming conditions.
- Kunz, K.L., Pörtner, H.O., Richter, C., Knust, R. & Mark, F.C. (in prep.) Influence of water temperature and feeding status on swimming performance and the aerobic metabolic scope of Polar cod (*Boreogadus saida*).

Vorträge und Poster

- Kunz K.L., Pörtner H.O., Knust R. & Mark F.C. (2015) Warm and acidic: No problem for gadoid fish species? NOAA, Hatfield Marine Science Center, Newport, OR, USA, June 18, 2015 (invited seminar talk)
- Kunz KL, Pörtner H-O, Knust R & Mark FC (2015) Ocean acidification and warming: the physiology of two gadoid species under future ocean water conditions. ESSAS annual meeting, Seattle, WA, USA, June 15-17, 2015 (invited conference talk)
- Kunz KL (2015) Whole animal performance under OAW: A comparison of Polar cod and Atlantic cod. BIOACID II, data workshop "modelling", University of Bremen, Bremen, Germany, March 10, 2015 (workshop talk)
- Kunz KL (2014) Growth and food consumption under OAW: A comparison between Polar cod and Atlantic cod. Integrative Ecophysiology symposium, Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany, December 15, 2014 (seminar talk)
- Kunz KL (2014). Energy budget studies under OAW scenarios. Integrative Ecophysiology seminar, Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany, May 20, 2014 (seminar talk)
- Kunz KL (2013) Energy budget, growth and exercises as indicators for performance and fitness capacity. POLMAR, PhD days, Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Potsdam, Germany, June 3-6, 2013 (conference talk)
- Kunz KL, Pörtner H-O, Knust R & Mark FC (2015) Competitive strengths of Polar cod (*Boreogadus saida*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) under ocean acidification and warming scenarios. BIOACID II, final meeting, GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany, October 6-7, 2015 (Poster)
- Kunz KL, Claireaux G, Knust R, Pörtner H-O & Mark FC (2015) Aerobic performance of Polar cod (*Boreogadus saida*) under ocean acidification and warming conditions. SEB conference, Prague, Czech Republic, June 29 – July 3, 2015 (Poster)
- Kunz KL, Knust R & Mark FC (2015) Growth and food consumption of Polar and Atlantic cod under ocean acidification and warming scenarios. Arctic Frontiers conference, Tromsø, Norway, January 19-23, 2015 (Poster)
- Kunz KL, Knust R & Mark FC (2014) Growth and food consumption of juvenile Polar and Atlantic cod under ocean acidification and warming scenarios. CeMEB advanced course, University of Gothenburg, Fiskebäckskil, Sweden, December 1-7, 2014 (Poster)
- Kunz KL, Knust R & Mark FC (2014) Effects of ocean acidification and warming on growth and food consumption of juvenile Polar cod, *Boreogadus saida* and Atlantic cod, *Gadus morhua*. BIOACID II, second annual meeting, GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany, September 10-11, 2014 (Poster)
- Kunz KL, Knust R & Mark FC (2014) Effects of ocean acidification and warming on growth and food consumption of juvenile Polar cod, *Boreogadus saida*. POLMAR, PhD days, Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Heligoland, Germany, May 5-8, 2014
- Kunz KL, Knust R & Mark FC (2014) Effects of ocean acidification and warming on growth and food consumption of juvenile Polar cod, *Boreogadus saida*. ESSAS annual meeting, Copenhagen, Denmark, April 7-11, 2014
- Kunz KL, Windisch H, Knust R & Mark FC (2013) Effects of ocean acidification and warming on growth and food consumption of juvenile Polar cod, *Boreogadus saida*. BIOACID II, first annual meeting, Leibniz-Institut für Ostseeforschung, Warnemünde, Germany, October 1-2, 2013

WP 4.2:

Veröffentlichungen

Koenigstein, S., Mark, F.C., Gößling-Reisemann, S., Reuter, H., Pörtner, H.O. (2016) Modeling climate change impacts on marine fish populations: Process-based integration of ocean warming, acidification and other environmental drivers. *Fish & Fisheries*, in press.

Shama, L.N.S.; Mark, F.C., Strobel, A., Lokmer, A., John, U., Wegner, K.M. (2016) Transgenerational effects persist down the maternal line in marine sticklebacks: gene expression matches physiology in a warming ocean. *Evolutionary Applications*, in press.

Aze, T. , Barry, J. , Bellerby, R. G. , Brander, L. , Byrne, M. , Dupont, S. , Gattuso, J. P. , Gibbs, S. , Hansson, L. , Hattam, C. , Hauton, C. , Havenhand, J. , Fosså, J. H. , Kavanagh, C. , Kurihara, H. , Matear, R. J. , Mark, F. C. , Melzner, F. , Munday, P. , Niehoff, B. , Pearson, P. , Rehdanz, K. , Tambutte, S. , Turley, C. M. , Venn, A. , Warnau, M. and Young, J. R. , Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity (CBD Technical Series ; 75) / Hennige, S. , Roberts, J. M. and Williamson, P. (editors), Montreal, Québec, Canada, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 99 p., ISBN: 92-9225-527-4 . hdl:10013/epic.44430

Oellermann, M., Pörtner, H.O., Mark, F.C. (2014) Simultaneous high-resolution pH and spectrophotometric recordings of oxygen binding in blood microvolumes. *J Exp Biol, Methods & Techniques*, 217:1430-1436.

Shama, L.N.S.; Strobel, A., Mark, F.C., Wegner, K.M. (2014) Transgenerational plasticity in marine sticklebacks: maternal effects mediate impacts of a warming ocean. *Functional Ecology*, 28(6):1482-1493.

Leo, E., Kunz, K., Schmidt, M., Storch, D., Pörtner, H.O., Mark, F.C. (in prep) Mitochondrial acclimation potential to ocean warming and acidification of Polar cod (*Boreogadus saida*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*).

Leo, E., Graeve, M., Janssen, D., Kunz, K., Schmidt, M., Storch, D., Pörtner, H.O., Mark, F.C. (in prep) Mitochondrial enzymatic capacity and membrane structure in the heart of Polar cod and Atlantic cod incubated at high temperature and CO₂ levels.

Leo, E., Dahlke, F., Sswat, Clemmesen, C., M., Storch, D., Pörtner, H.O., Mark, F.C. (in prep) The role of the mitochondrial Complex I and Complex II in the thermal sensitivity of the embryos of Atlantic herring.

Leo, E., Mortensen, A., Bridges, C., Storch, D., Pörtner, H.O., Mark, F.C. (in prep) Effect of temperature and CO₂ on the mitochondrial metabolism of farmed Atlantic cod embryos during gastrulation.

Dahlke, F., Leo, E., Mark, F.C., Frickenhaus, S., Bickmeyer, U., Pörtner, H.O., Storch, D. (in prep) Elevated PCO₂ and temperature affect survival, respiratory performance, and resource allocation during embryonic development of Atlantic cod *Gadus morhua*.

Windisch, HS, JB Champilou, K Kunz, M Schmidt, E Leo, M Lucassen, M Oellermann, FC Mark (in prep) Haemoglobin expression and oxygen binding under chronic thermal and hypercapnic stress in *Boreogadus saida*.

Examensarbeiten

- Walter, K. Characterisation of the mitochondrial soluble adenylyl cyclase in teleosts. (2015) BSc, Universität Mainz, D
- Champilou, J.B. Influence of ocean acidification and warming on blood oxygen binding and Hb expression in the Polar cod, *Boreogadus saida*. (2014) MSc, UBO, Brest, F

Vorträge und Poster

- Mark, F.C. Global warming, ocean acidification & fish physiology: do we need to worry? Biology Seminar, Universität Bern (CH), 16. Juli 2015 (Vortrag)
- Mark, F.C. A role for mitochondria in transgenerational plasticity? Maternal effects mediate impacts of a warming ocean in marine sticklebacks. SEB Annual Meeting, Prag (CZ), 1.-3. Juli 2015 (Vortrag)
- Mark, F.C. The BIOACID fish consortium: Physiological Insights into species resilience and Interaction in two polar gadoids. Ocean acidification: what's it all about? UKOA Symposium, London (UK), 4./5. Juni 2015 (Vortrag)
- Mark, F.C. When the going gets hot & sour - can mitochondria set the cellular basis for acclimation in a changing ocean? DZG Annual Meeting, Göttingen, 11.-14. September 2014. (Vortrag)
- Mark, F.C. Fit For The Future: Mitochondrial Plasticity Forms The Basis For Aerobic Performance In A Changing Climate. 11th Congress on the Biology of Fish, Edinburgh (UK), 3.-8. August 2014 (Vortrag)
- Leo, E., Storch, D., Pörtner, H.O., Mark, F.C. Effects of Ocean Acidification and Warming on the mitochondrial physiology of Atlantic cod. 18th EBECongress, Lisbon (P), 12.-17. Juli 2014 (Vortrag)
- Mark, F.C. Vorträge und Radiointerviews über BIOACID II während des FS Heincke Tag des offenen Schiffs, European Maritime Day, Bremen, 18. Mai 2014 (Vortrag)
- Mark, F.C. Metabolic shifts involved in the response to ocean acidification and warming in fish. Invited Plenary Lecture, Conservation Physiology of Marine Fishes, SEB Annual Meeting, Valencia (ES), 5. Juli 2013 (Vortrag)
- Mark, F.C. Integrative Cell Biology in Times of Climate Change. Marine Biology Seminar, TAMUG, Galveston (USA), 15. April 2013 (Vortrag)
- Mark, F.C. Schwimmen in saurerem Wasser. Odyssee Klima, Bremerhaven, 15. Juni 2013 (Vortrag)
- Mark, F.C. Ocean Warming and Acidification – when fish mitochondria turn sour. Bioblast 2012, Innsbruck (AT), 10.-12. Dezember 2012 (Vortrag)
- Mark, F.C., Strobel, A., Leo, E., Bennecke, S., Graeve, M., Pörtner, H.O. Response of the stenothermal Antarctic fish *N. rossii* to ocean warming and acidification. Third International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, Monterey, CA, USA, 24.-27. September 2012. (Vortrag)
- Leo E, Storch D, Pörtner H-O, Mark FC. Effects of OWA on the functioning of fish heart mitochondria. BioAcid Annual Meeting, Kiel October 2015 (Poster)
- Leo E, Storch D, Pörtner H-O, Mark FC. Heart metabolism of two gadoid fish species at their distribution boundary under elevated temperature and pCO₂. SEB Annual Meeting, Prague July 2015. (Poster)
- Leo, E. , Storch, D. , Pörtner, H. O. and Mark, FC. Mitochondrial response to OAW in Atlantic cod embryos. BioAcid Annual meeting. Kiel, September 2014 (Poster)
- Leo, E. , Storch, D. , Pörtner, H. O. and Mark, FC. Mitochondrial effects of water warming and increased CO₂ on Atlantic cod embryos and adults: preliminary results. BioAcid Annual Meeting, Warnemunde, October 2013 (Poster)

Mark, F.C., Bock, C. H., Bridges, C. R., Claireaux, G., Clemmesen, C., Frickenhaus, S., Held, C., Knust, R., Lannig, G., Lischka, S., Lucassen, M., Niehoff, B., Piatkowski, U., Pörtner, H. O., Sartoris, F. J., Storch, D.) Effects of ocean acidification in a warming climate on species interactions at distribution boundaries Third International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, Monterey, CA, USA, 24.-27. September 2012. (Poster)

WP 4.3:

Veröffentlichungen

Michael, K., CM. Kreiss, MY Hu, N Koschnick, U Bickmeyer, S Dupont, HO Pörtner, M Lucassen (2016). Adjustments of molecular key components of branchial ion and pH regulation in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in response to ocean acidification and warming. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*: 193, Pages 33-46.

Kunz, KL, S Hardenberg, T Johansen, E Leo, H-O Pörtner, M Schmidt, HS Windisch, R Knust & FC Mark (in revision for *Polar Biology*) Effects of ocean acidification and warming on growth and food consumption of juvenile Polar cod, *Boreogadus saida* and Atlantic cod, *Gadus morhua*.

Michael, K., CM. Kreiss, HO Pörtner, S Frickenhaus, M Lucassen. (in prep) Integrating the responses of the ion homeostasis-related Transcriptome to elevated CO₂ and temperature: A multi-organ approach in Atlantic Cod (*Gadus morhua*).

Windisch, HS, JB Champilou, K Kunz, M Schmidt, E Leo, M Lucassen, M Oellermann, FC Mark (in prep) Haemoglobin expression and oxygen binding under chronic thermal and hypercapnic stress in *Boreogadus saida*.

Windisch, HS, K Kunz, M Schmidt, FC Mark, C Held, S Frickenhaus, M Lucassen (in prep) Transcriptional signatures at different thermal regimes and PCO₂ in liver of *Boreogadus saida*

Windisch, HS, E Iwaszkiewicz, C Papetti, FC Mark, M Lucassen, C Held (in prep) Population genetic structure of *Gadus morhua* from Kattegat to Svalbard.

Windisch, HS, M Lucassen, S Frickenhaus. (in prep) From De-novo sequencing to gene expression patterns: development of a comprehensive array in *Boreogadus saida*.

Weitere Publikationen, die in unmittelbarem Zusammenhang zum Projekt stehen und für eine Integration der Projekt-Daten essentiell sind:

Michael, K., N Koschnick, HO Pörtner, M Lucassen. (2016) Response of branchial Na⁺/K⁺ ATPase to changes in ambient temperature in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and whiting (*Merlangius merlangus*). *Journal of Comparative Physiology – B* (in press).

Kreiss, C.M., Michael, K. , Lucassen, M. , Jutfelt, F. , Motyka, R.J. , Dupont, S. and Pörtner, H.O. (2015). Ocean warming and acidification modulate energy budget and gill ion regulatory mechanisms in Atlantic cod (*Gadus morhua*), *Journal of Comparative Physiology B*- 185 (7), pp. 767-781.

Kreiss, C.M., Michael, K., Bock, C., Lucassen, M., Pörtner, H.O. (2015). Impact of long-term moderate hypercapnia and elevated temperature on the energy budget of isolated gills of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, (182), pp. 102.

Windisch, H.S., Frickenhaus, S., John, U., Knust, R., Pörtner, H.O. and Lucassen, M. (2014). Stress response or beneficial temperature acclimation: Transcriptomic signatures in Antarctic fish (*Pachycara brachycephalum*). *Molecular Ecology* (23, 14), pp. 3469-3482.

- Harms, L., Frickenhaus, S., Schiffer, M., Mark, F.C., Storch, D., Held, C., Pörtner, H.O. and Lucassen, M. (2014). Gene expression profiling in gills of the great spider crab *Hyas araneus* in response to ocean acidification and warming. *BMC Genomics*, 15 (1), p. 789.
- Schiffer, M., Harms, L., Lucassen, M., Mark, F.C., Pörtner, H.O. and Storch, D. (2014). Temperature tolerance of different larval stages of the spider crab *Hyas araneus* exposed to elevated seawater PCO₂. *Frontiers in Zoology*, (11, 1), pp. 87.
- Hüning, A.K. , Melzner, F. , Thomsen, J. , Gutowska, M.A. , Krämer, L. , Frickenhaus, S. , Rosenstiel, P. , Pörtner, H.O. , Philipp, E.E.R. and Lucassen, M. (2013). Impacts of seawater acidification on mantle gene expression patterns of the Baltic Sea blue mussel: implications for shell formation and energy metabolism. *Marine Biology*, 160 (8), pp. 1845-1861.
- Harms, L. , Frickenhaus, S. , Schiffer, M. , Mark, F.C. , Storch, D. , Pörtner, H.O. , Held, C. and Lucassen, M. (2013). Characterization and analysis of a transcriptome from the boreal spider crab *Hyas araneus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics* , 8 (4), 344 - 351.

WP 4.4:

Veröffentlichungen

- Dahlke, F.T., Elettra L., Mark F.C., Frickenhaus S., Bickmeyer U., Pörtner, H.-O., Storch, D. (in prep) Experimental ocean acidification and temperature shape survival, respiratory performance and growth during embryonic development of Atlantic cod *Gadus morhua*.

Vorträge und Poster

- Dahlke, F.T., Pörtner, H-O., Storch, D. Effects of ocean acidification and warming on the embryogenesis of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Herring (*Clupea harengus*). BIOACID Jahrestreffen 2013, Warnemünde.
- Dahlke, F.T., Pörtner, H-O., Storch, D. Effects of ocean acidification on the embryogenesis of Atlantic cod, *Gadus morhua*. ASLO Aquatic Science Konferenz 2015, Spanien, Granada.
- Storch, D., Dahlke, F.T., Nahrgang, J. Effects of ocean acidification on the embryogenesis of Atlantic cod, *Gadus morhua*. ESSAS (Ecosystem Studies of Sub-Arctic Seas) Konferenz 2015, Kopenhagen, Dänemark.
- Dahlke, F.T., Pörtner, H.-O., Storch, D. Effects of ocean acidification and warming on the embryogenesis of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Polar cod (*Boreogadus saida*). BIOACID Jahrestreffen 2014, Kiel.
- Dahlke, F.T., Nahrgang, J., Pörtner, H.-O., Storch, D. Double Trouble: Ocean acidification and warming affect the embryonic development of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and polar cod (*Boreogadus saida*). BIOACID Abschlusstreffen 2015, Kiel.
- Dahlke, F.T., Nahrgang, J., Puvanendran, V., Mortensen, A., Pörtner, H.-O., Storch, D. Ocean acidification and warming impair embryonic viability in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and polar cod (*Boreogadus saida*). FRAM Science Days 2015, Tromsø, Norwegen.

Pressemitteilungen: <https://www.awi.de/ueber-uns/service/presse/archiv/noch-mehr-stress-fuer-den-kabeljau-meeresbiologen-starten-neues-forschungsprojekt-zu-den-auswirkung.html>

WP 4.6:

Veröffentlichungen

- Schmidt M., Gerlach G., Leo E., Kunz K.L., Swoboda S., Pörtner H.O., Bock C., Storch D. (2016) The impact of ocean warming and acidification on the behaviour of two co-occurring Gadid species, *Boreogadus saida* and *Gadus morhua* from Svalbard. (under review).

- Schmidt M., Pörtner H.O., Storch D., Bock C. (2016). Untargeted neuroprofiling of two Gadid species under ocean warming and acidification (OWA) using NMR spectroscopy (in prep)
- Schmidt M., Pörtner H.O., Storch D., Bock C. (2016). Analysis of neurotransmitter changes in two Gadid species under ocean warming and acidification (OWA) (in prep)

Vorträge und Poster

- Schmidt M., Pörtner H.O., Storch D., Bock C. (2016) Exploratory analysis of neurophysiological changes under ocean warming and acidification (OWA) in two Gadid species using ¹H-NMR spectroscopy. 4th International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, (conference poster)
- Schmidt M., Pörtner H.O., Bock C., Storch D. (2016) Behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) is more resilient to ocean warming and acidification than that of Polar cod (*Boreogadus saida*). 4th International Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, (conference poster)
- Schmidt M., Pörtner H.-O., Bock C. (2014) A new set-up to investigate neurophysiological effects of CO₂-induced ocean acidification on the brain of fish via MR imaging and spectroscopy. Joint Annual Meeting ISMRM-ESMRMB 2014 (conference poster)
- Schmidt M., Bock C., Pörtner H.-O., Storch D. (2014) Effects of ocean acidification and warming on the behaviour of Polar cod *Boreogadus saida*. ESSAS annual meeting (conference poster)
- Schmidt M., Storch D., Bock C., Gerlach G., Munday PL., Pörtner H.-O. (2013) Behavioural changes in response to temperature and CO₂ in polar cod. YouMaRes 4 Conference 2013 (conference talk)

WP 4.8:

Veröffentlichungen

- Hildebrandt, N., Sartoris, F., J., Schulz, K., G., Riebesell, U., Niehoff, B. (2015) Ocean acidification does not alter grazing in the calanoid copepods *Calanus finmarchicus* and *Calanus glacialis*. ICES Journal of Marine Science; doi:10.1093/icesjms/fsv226
- Hildebrandt, N., Niehoff, B. and Sartoris F.J. (2014) Long-term effects of elevated CO₂ and temperature on the Arctic calanoid copepods *Calanus glacialis* and *C. hyperboreus*, Marine Pollution Bulletin 80, 59-70
- Aze, T. , Barry, J. , Bellerby, R. G. , Brander, L. , Byrne, M. , Dupont, S. , Gattuso, J. P. , Gibbs, S. , Hansson, L. , Hattam, C. , Hauton, C. , Havenhand, J. , Fosså, J. H. , Kavanagh, C. , Kurihara, H. , Matear, R. J. , Mark, F. C. , Melzner, F. , Munday, P. , Niehoff, B. , Pearson, P. , Rehdanz, K. , Tambutte, S. , Turley, C. M. , Venn, A. , Warnau, M. and Young, J. R. , Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity (CBD Technical Series ; 75) / Hennige, S. , Roberts, J. M. and Williamson, P. (editors), Montreal, Québec, Canada, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 99 p., ISBN: 92-9225-527-4 . hdl:10013/epic.44430
- Czerny, J., Schulz, K. G., Boxhammer, T., Bellerby, R. G. J., Büdenbender, J., Engel, A., Krug, S., Ludwig, A., Nachtigall, K., Nondal, G., Niehoff, B., Silyakova, A. and Riebesell, U. (2013) Implications of elevated CO₂ on pelagic carbon fluxes in an Arctic mesocosm study – an elemental mass balance approach, Biogeosciences, 10, 3109-3125. doi:10.5194/bg-10-3109-2013
- Niehoff, B., Schmithüsen, T., Knüppel, N., Dasse, M., Czerny, J. and Boxhammer, T. (2013) Mesozooplankton community development at elevated CO₂ concentrations: results from a mesocosm experiment in an Arctic fjord, Biogeosciences, 10, 1391-1406. doi:10.5194/bg-10-1-2013

- Tonkes, H., Sartoris F.J, Niehoff, B. The influence of altered food quality on the energy budget of Arctic Calanus species (geplant)
- Tonkes, H., Niehoff B., Sartoris F., J. Effects of temperature and elevated CO₂ on hemolymph pH of Arctic Calanus species in transition from diapause to activity (in Vorbereitung)

MPI Bremen (FKZ 03F0655C)

WP 3.1 + WP 3.2: Biogeochemie, Habitatcharakterisierung und mikrobielle Gemeinschaften an natürlichen CO₂-Quellen

Max-Planck-Institut
für Marine Mikrobiologie



Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie

Celsiusstrasse 1

28359 Bremen

Telefon: 0421 2028 – 802

dbeer@mpi-bremen.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 3.1:

Die Aufgabe von WP 3.1 bestand darin, den Einfluss von Ozeanversauerung auf mikrobielle Prozesse und Biogeochemie in Korallenriff-Sedimenten zu untersuchen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag im Gebiet Milne Bay (Papua Neuguinea) in dem hydrothermale CO₂ Quellen in einem Korallenriff eine pH-Reduktion verursachen, wie für das Jahr 2100 erwartet.

WP 3.2

Das Ziel von WP 3.2 war es, die mikrobiellen Gemeinschaften hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, Wechselwirkung mit anderen (Mikro-)organismen und ihrer Funktion in unterschiedlichen Habitaten an natürlich CO₂-reichen Standorten zu untersuchen. Der Schwerpunkt von WP 3.2 lag auf dem Untersuchungsgebiet in Milne Bay, Papua New Guinea, in dem hydrothermale CO₂ Quellen den Seewasser pH lokal reduzieren, sodass pH Werte erreicht werden, wie sie für das Jahr 2100 erwartet werden. An diesen CO₂ Quellen wurden die mikrobiellen Gemeinschaften im Sediment, auf Seegrassblättern und auf Besiedlungsplatten untersucht.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 3.1:

Die Untersuchung der mikrobiellen Prozesse und Biogeochemie wurde von einem PhD Studenten in der Arbeitsgruppe 'Mikrosensoren' am MPI für Marine Mikrobiologie in Bremen durchgeführt. Die Probennahme in Papua New Guinea (2013, 2014) fand in Zusammenarbeit mit dem Australian Institute of Marine Science (AIMS) statt. Alle Messungen wurden entweder direkt vor Ort oder am MPI durchgeführt. Im Rahmen eines Mikrosensoren-Workshops, welchen die Mikrosensoren-Gruppe am AIMS in den Jahren 2014 und 2015 leitete, wurden kontrollierte Versauerungs-Experimente an Sedimenten am National Sea Simulator (SeaSim, AIMS) durchgeführt.

Die Auswertung der Daten erfolgte in enger Zusammenarbeit mit WP 3.2 (Christiane Hassenrück, Alban Ramette), National Oceanography Centre Southampton (Anna Lichtschlag), Universität Gent (Katja Guilini), Technische Universität Graz (Sergey Borisov), MPI Bremen (Joost den Haan, Arjun Chennu) und AIMS (Katharina Fabricius, Sven Uthicke).

Im Rahmen einer weiteren Kollaboration innerhalb des BIOACID II Projekts (Laurie Hofmann, WP 3.8) wurden Untersuchungen an der Makroalge *Padina* durchgeführt.

WP 3.2:

Die Untersuchung der mikrobiellen Gemeinschaften wurde von einem PhD Studenten in der Arbeitsgruppe 'Deep-Sea Ecology and Technology' am MPI für Marine Mikrobiologie in Bremen durchgeführt. Die Probennahme in Papua New Guinea fand in Zusammenarbeit mit dem Australian Institute of Marine Science (AIMS) statt. Die Laboruntersuchungen (DNA- und RNA-Extraktionen, Gemeinschaftsanalyse, Zellzahlbestimmung, Enzymaktivität) wurde am MPI durchgeführt. Für die Sequenzierung der DNA- und RNA-Proben wurde zu Beginn des Projekts eine Firma beauftragt (Research and Testing Laboratories, Lubbock, Texas); der Hauptteil der Proben wurde jedoch in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Biotechnologie (CeBiTec) in Bielefeld sequenziert. Die

Auswertung der Daten erfolgte in enger Zusammenarbeit mit WP 3.1 (Dirk de Beer, Artur Fink) und AIMS (Katharina Fabricius), ebenso wie mit dem National Oceanography Centre Southampton, UK (Anna Lichtschlag) und der Universität Bremen (Laurie Hofmann, Kai Bischof, WP 3.8), die ebenfalls an der Ausfahrt nach Papua Neu Guinea beteiligt waren.

Im Rahmen weiterer Kollaborationen innerhalb des BIOACID II Projekts, wurden außerdem folgende mikrobielle Gemeinschaften untersucht: (i) Biofilm auf Besiedlungsplatten entlang einer pH Gradienten in der Kieler Förde (WP 3.4), (ii) Mikrobiom von Kaltwasserkorallen (WP 3.6) und (iii) Fischen (Konsortium 4), die experimentell erhöhter Temperatur und pCO₂ ausgesetzt waren. Hierfür fand die Probennahme und Datenauswertung in Zusammenarbeit mit dem AWI in Bremerhaven (Felix Mark) und dem GEOMAR in Kiel (Armin Form, Frank Melzner) statt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 3.1:

WP 3.1 verlief wie geplant. Zusätzlich zu dem ursprünglichen Projektplan wurde:

- in kontrollierten Labor-Experimenten am Australian Institute of Marine Science (AIMS, Australien) geprüft, ob eine Reduktion des pH-Wertes mikrobielle Prozesse in Korallenriff-Sedimenten vom Davies Reef (Großes Barriereriff, Australien) ähnlich beeinflusst, wie das der Fall an den CO₂-Quellen war.
- innerhalb des BIOACID II Projekts (Laurie Hofmann, WP 3.8) kollaboriert, um mithilfe von Mikrosensoren den Einfluss von reduziertem pH auf die Physiologie der Makroalge *Padina* durchzuführen.

Die obigen Abweichungen hatten keinen Einfluss auf das finanzielle Budget von WP 3.1.

WP 3.2:

WP 3.2 verlief wie geplant mit der Ausnahme folgender Abweichungen:

- Wie in den Zwischenberichten 2014 und 2015 erwähnt, kam es durch den Absprung des ursprünglich für WP 3.2 angestellten PhD Studenten 5 Monate nach Projektbeginn zu leichten Verzögerungen bei der Datenpublikation.
- Zusätzlich zu dem ursprünglichen Projektplan, wurden metagenomische und metatranskriptomische Daten generiert, um einen umfangreicheren Einblick in potentielle mikrobiologische Funktionen zu erhalten. Diese Daten haben sich als sehr wertvoll für die Bearbeitung der Aufgabenstellung herausgestellt.
- Weiterhin wurde zusätzlich zu dem ursprünglichen Projektplan mit Konsortium 4 kollaboriert, um die Darm-Mikroflora von Atlantischem und Polarkabeljau zu untersuchen, der experimentell erhöhter Temperatur und pCO₂ ausgesetzt wurde. Diese Kollaboration führte zu neuen Erkenntnissen bezüglich der differenziellen Effekte von Ozeanerwärmung und -versauerung auf Fischphysiologie und -mikroflora.
- Da es bei der Erhebung der Sequenzdaten zu Verzögerungen durch technische Schwierigkeiten kam, wurde die Laufzeit des Projekts um einen Monat verlängert.

Die obigen Abweichungen hatten keinen Einfluss auf das finanzielle Budget von WP 3.2.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*

WP 3.1:

Trifft nicht zu.

WP 3.2:

Trifft nicht zu.

- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 3.1 und 3.2.

Die für die Durchführung von WP 3.1 verwendete Fachliteratur ist in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht, z.B: Hall-Spencer et al. (2008) Nature 454:96-99, Fabricius et al. (2011) Nature Climate Change 1:165-169, Joint et al. (2011) ISME J. 5:1-7. Außerdem wurde auf die in BIOACID I veröffentlichte Literatur zurückgegriffen, e.g. Raulf et al. (2015) Environ Microbiol 17:3678-3691.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 3.1:

Es wurde intensiv mit folgenden Partnern kollaboriert:

- Institutsintern / BIOACID II WP 3.2 (Christiane Hassenrück, Alban Ramette) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation
- Institutsintern (Joost den Haan, Arjun Chennu) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation
- Universität Gent (Katja Guilini) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation
- Technische Universität Graz (Sergey Borisov) – Datenauswertung, Publikation
- National Oceanography Centre Southampton (Anna Lichtschlag) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation
- Universität Bremen / BIOACID II WP 3.8 (Kai Bischof, Laurie Hofmann) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation
- AIMS / BIOACID II WP 3.9 (Katharina Fabricius) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation

WP 3.2:

Es wurde intensiv mit folgenden Partnern kollaboriert:

- Institutsintern / BIOACID II WP 3.1 (Dirk de Beer, Artur Fink) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation

Universität Bremen / BIOACID II WP 3.8 (Kai Bischof, Laurie Hofmann) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation

GEOMAR, Kiel / BIOACID II WP 3.4 (Frank Melzner, Jörn Thomsen) – Probennahme, Datenauswertung

GEOMAR, Kiel / BIOACID II WP 3.6 (Armin Form, Janina Büscher) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation

AWI, Bremerhaven / BIOACID II Konsortium 4 (Felix Mark, Heidrun Windisch) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation

AIMS / BIOACID II WP 3.9 (Katharina Fabricius) – Probennahme, Datenauswertung, Publikation

National Oceanography Centre Southampton (Anna Lichtschlag) – Datenauswertung, Publikation

CeBiTec Bielefeld (Halina Tegetmeyer) – Datenauswertung, Publikation

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 3.1:

In WP 3.1 wurde der Einfluss von Ozeanversauerung auf mikrobielle Prozesse und die Biogeochemie von Korallenriff- Sedimente an (1) hydrothermalen CO₂-Quellen und in (2) Laborversuchen untersucht.

1. Sedimente an den hydrothermalen CO₂ Quellen in Papua Neuguinea wiesen einen zum Teil sehr stark reduzierten pH und eine erhöhte Temperatur auf. Dies ist durch den Einfluss von hydrothermalen Fluiden und Gasen, welche durch das Sediment strömen, zu erklären. Vermutlich aufgrund des verringerten pH-Wertes und der damit zusammenhängenden Auflösung von Karbonaten, ist der Karbonat-Gehalt der Sedimente stark reduziert. Dies führte dazu, dass die Sedimente größtenteils aus Silikatsanden bestanden. Im Vergleich zu den grobkörnigen und hochpermeablen Karbonatsanden der Referenz-Stelle, wiesen diese kleinere Korngrößen und damit eine verringerte Permeabilität auf. Eine kleine Permeabilität von Sedimenten geht üblicherweise mit einer Verringerung des Transports von Elektronenakzeptoren (z.B. Sauerstoff) und –donatoren (organisches Material) einher, sodass der mikrobielle Abbau von organischem Material verringert wird. Der mikrobielle Abbau (Sauerstoffzehrung und Sulfatreduktion) in Sedimenten an den CO₂-Quellen nahm zwar ab, allerdings kann nicht eindeutig bestimmt werden, welcher Faktor (pH, Permeabilität, die Versorgung mit organischem Material) der entscheidende ist. Die photosynthetisierende Gemeinschaft wurde in allen Sedimenten von Diatomeen dominiert, wobei der Anteil an Cyanobakterien an der Referenz-Stelle höher zu sein schien. Vorläufige Untersuchungen zeigen, dass trotz des erhöhten Angebots an CO₂ und gelöstem Silikat, die Photosyntheseraten in Sedimenten an den CO₂ Quellen abnahmen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte die erhöhte Konzentration von toxischen Substanzen (z.B. Arsen) aus den hydrothermalen CO₂-Quellen sein.

2. Versauerungsexperimente an Karbonat-Sedimenten vom Davies reef (Großes Barriereriff, Australien) zeigten, dass Sauerstoffzehrung, Sulfatreduktion, Photosynthese und das Wachstum von benthischen Mikroalgen durch einen verringerten pH nicht beeinflusst wurden. Allerdings führte ein verringerter pH zur Reduzierung der photosynthese-abhängigen Kalzifizierung und einer erhöhten Auflösung von Karbonat-Sedimenten bei Nacht, sodass insgesamt eine starke Dekalzifizierung der Karbonat-Sedimente festzustellen war.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass Sedimente an hydrothermalen CO₂-Quellen zwar die Langzeitfolgen von Ozeanversauerung für Sedimente aufzeigen können, allerdings durch ihre Komplexität nur zum Teil als Modellsysteme benutzt werden können. Gemeinsamkeiten aus den Feldstudien und den Laborexperimenten bestehen im Hinblick auf die erhöhte Auflösung von Karbonatsedimenten in Korallenriffen unter erhöhtem CO₂-Bedingungen.

Die Kollaborationen mit BIOACID II WP 3.8 ergaben, dass die Mikroumgebung im eingerollten Thallus der Braunalge *Padina australis*, eine entscheidende Rolle bei der Kalzifizierung dieser Braunalge auch unter reduzierten pH-Bedingungen spielt. Außerdem scheint diese Alge von den erhöhten CO₂-Konzentrationen an den CO₂-Quellen in Papua Neuguinea zu profitieren.

WP 3.2:

In WP 3.2 wurden entsprechend der Aufgabenstellung, mikrobielle Gemeinschaften bezüglich ihrer (1) Zusammensetzung, (2) Wechselwirkung mit anderen Organismen und (3) ihrer ökologischen Funktion untersucht.

Die mikrobiellen Gemeinschaften auf Besiedlungsplatten in Papua Neu Guinea waren sehr heterogen und zeigten nur eine sehr schwache Reaktion auf erhöhte pCO₂ Werte; Lichtintensität hatte einen weit größeren Einfluss. Es ist zweifelhaft, ob dieser schwache Einfluss von erhöhtem pCO₂ von biologischer Bedeutung ist. Die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften auf Seegrassblättern und im Sediment an den CO₂ Quellen in Papua Neu Guinea unterschied sich grundlegend von den mikrobiellen Gemeinschaften an Referenzstandorten, die keine erhöhten pCO₂ Werte aufwiesen. Die Unterschiede in den mikrobiellen Gemeinschaften im Sediment waren zudem stark von Änderungen in der Geochemie der Sedimente beeinflusst. Die in WP 3.1 gewonnenen Erkenntnisse erlaubten weiterhin eine umfangreiche Beurteilung, welche Änderungen in den mikrobiellen Gemeinschaften potentiell durch reduzierten pH (Ozeanversauerung) oder durch andere Umweltfaktoren wie z.B. Temperatur, erhöhte Eisenkonzentrationen oder Sauerstoffmangel verursacht wurden.

Die Entwicklung der eukaryotischen und der bakteriellen Gemeinschaften auf Seegrassblättern waren stark miteinander korreliert, was darauf schließen lässt, dass beide Bestandteile des Biofilms stark miteinander interagieren und sich gegenseitig beeinflussen. Diese enge Wechselwirkung war sowohl an Referenzstandorten als auch an den CO₂ Quellen feststellbar. Pfadanalyse der Besiedlungsplatten unter Berücksichtigung der Karbonatchemie der Wassersäule, der mikrobiellen Gemeinschaften, des Makrobewuchses der Besiedlungsplatten und der Korallenrekuten zeigte, dass auf der lichtzugewandten Oberseite der Besiedlungsplatten Veränderungen in der Karbonatchemie die mikrobiellen Gemeinschaften wahrscheinlich eher indirekt über Veränderungen in dem Makrobewuchs beeinflussen. Auf der Unterseite der Besiedlungsplatten wurde dies nicht beobachtet.

Die Sedimente an den CO₂ Quellen wurden weiterhin metagenomisch und metatranskriptomisch untersucht. Dadurch war es möglich, die aktiven Mikroorganismen von der Gesamtheit der Mikroorganismen zu unterscheiden. Im Zusammenhang mit den in WP 3.1 gesammelten Daten zu Stoffwechselraten, z.B. Sulfatreduktion, ließen sich Rückschlüsse auf mikrobielle Funktionen ziehen. An den CO₂ Quellen wurden Veränderungen an der Hauptelementzyklen (Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel) festgestellt, die nicht nur einen Austausch der Organismen, die eine bestimmte Funktion ausführen, sondern auch einen Einfluss auf die Stoffwechselraten selber vermuten lassen. Der Anteil von Cyanobakterien an der Phtotsynthese sank, während vermehrt Diatomeen aktiv waren. Insgesamt wurden an den CO₂ Quellen trotz des erhöhten Angebots an CO₂ jedoch leicht verringerte Photosyntheseraten gemessen, was möglicherweise auf ein erhöhtes Vorhandensein von potentiell toxischen Substanzen in den Hydrothermalfluiden zurück geht. Sulfatreduktionsraten und Genexpression waren an den CO₂ Quellen stark verringert. Weiterhin wurde eine Veränderung in der Zusammensetzung der Sulfat reduzierenden mikrobiellen Gemeinschaft festgestellt.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass sowohl die Zusammensetzung von mikrobiellen Gemeinschaften als auch deren Wechselwirkungen mit anderen Organismen, ihre Aktivität und Funktion sich an den CO₂ Quellen im Vergleich zu Referenzstandorten unterschieden. Ob diese Unterschiede auch durch Ozeanversauerung zu erwarten sind, ist tw. jedoch noch fraglich, da die CO₂ Quellen neben erhöhten pCO₂ und erniedrigtem pH auch andere extreme Bedingungen aufweisen, die unter zukünftigen Ozeanversauerungsszenarien nicht zu erwarten sind.

Die Kollaborationen mit WP 3.6 und Konsortium 4 ergaben Folgendes:

Änderungen in der Physiologie von Arktischem Kabeljau durch erhöhte Temperatur oder erhöhten pCO₂ schienen keine Auswirkungen auf die Darm-Mikroflora zu haben, während bei höheren Hälterungstemperaturen Veränderungen an der Zusammensetzung der Darm-Mikroflora von Atlantischem Kabeljau auftraten.

Die Auswertung der Daten zu dem Mikrobiom von Kaltwasserkorallen unter experimentell erhöhter Temperatur und pCO₂ ist noch nicht abgeschlossen.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 3.1:

Die größten Budgetpunkte waren Personalkosten (Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern), Die Kosten für die Ausfahrt nach Papua Neu Guinea, so wie Verbrauchsmaterial

WP 3.2:

Die größten Budgetpunkte waren Personalkosten (Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern), die Kosten für die Ausfahrt nach Papua Neu Guinea, so wie Verbrauchsmaterial, insbesondere für molekularbiologische Laborarbeiten.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 3.1:

Alle notwendigen und vorgesehenen Arbeiten wurden in Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt.

WP 3.2:

Alle notwendigen und vorgesehenen Arbeiten wurden in Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 3.1:

Da es sich bei dem Projekt um einen Beitrag zur Grundlagenforschung handelt, bestehen keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten. Zurzeit sind keine Erfindungen bzw. Schutzrechtanmeldungen geplant.

WP 3.2:

Da es sich bei dem Projekt um einen Beitrag zur Grundlagenforschung handelt, bestehen keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten. Zurzeit sind keine Erfindungen bzw. Schutzrechtanmeldungen geplant.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 3.1:

Trifft nicht zu.

WP 3.2:

Trifft nicht zu.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 3.1:

Hofmann L, Fink A, Bischof K, de Beer D (2015) Microsensor studies on *Padina* from a natural CO₂ seep: implications of morphology on acclimation to low pH. *Journal of Phycology*

Hassenrück C, Fink A, Lichtschlag A, Tegetmeyer H, de Beer D, Ramette A (2016) Quantification of the effects of ocean acidification on sediment microbial communities in the environment: the importance of ecosystem approaches. *FEMS Microbiology Ecology* (in review).

Weitere Manuskripte befinden sich in Vorbereitung:

Fink A, Hassenrück C, Guilini K, Lichtschlag A, Borisov S, Fabricius K, de Beer D (in prep.) Century-long acidification reveals possible consequences of ocean acidification on coral reef sediments.

Fink A, den Haan J, Chennu A, Uthicke S, Fabricius K, de Beer (in prep.) Effects of elevated CO₂ on microbial processes in coral reef sediments (Davies Reef, GBR)

Fink A*, Hassenrück C*, Tegetmeyer H, Hofmann LC, Lichtschlag A, Offre P, Ramette A, de Beer D (in prep.) Microbial processes in the sediment at a shallow-water hydrothermal vent in a tropical coral reef.

*equal contributions

WP 3.2:

Hassenrück C, Hofmann LC, Bischof K, Ramette A (2015) Seagrass biofilm communities at a naturally CO₂-rich vent. *Environmental Microbiology Reports*, 7: 516–525.

Hassenrück C, Fink A, Lichtschlag A, Tegetmeyer H, de Beer D, Ramette A Quantification of the effects of ocean acidification on sediment microbial communities in the environment: the importance of ecosystem approaches. *FEMS Microbiology Ecology* (in review).

Weitere Manuskripte befinden sich in Vorbereitung:

Fink A*, Hassenrück C*, Tegetmeyer H, Hofmann LC, Lichtschlag A, Offre P, Ramette A, de Beer D (in prep.) Microbial processes in the sediment at a shallow-water hydrothermal vent in a tropical coral reef.

*equal contributions

Hassenrück C, Windisch H, Schmidt M, Kunz K, Ramette A, Mark F (in prep.) Gut microbiome of Polar and Atlantic cod under experimental ocean warming and acidification scenarios.

Universität Oldenburg (FKZ 03F0655D)

WP 1.8: The response of marine dissolved organic matter to ocean acidification



Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Ammerländer Heerstr. 114-118

26129 Oldenburg

thorsten.dittmar@uni-oldenburg.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 1.8:

Gelöstes organisches Material („dissolved organic matter“, DOM) spielt als einer der größten aktiven Kohlenstoffspeicher auf der Erde eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf. Eine fortschreitende Versauerung der Ozeane könnte sowohl die Menge als auch die Reaktivität des vorliegenden DOM verändern und somit das Erdklima sowie Energie- und Stoffkreisläufe in marinen Nahrungsnetzen beeinflussen. Das übergeordnete Ziel dieses Teilprojektes war es, die Auswirkungen von Ozeanversauerung auf DOM in Meerwasser hinsichtlich der Größe des Kohlenstoffspeichers und seiner molekularen Zusammensetzung zu untersuchen.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 1.8:

Das Projekt lief vom 01. September 2012 bis zum 30. September 2015 mit einem Gesamtvolumen von 178.093,20 €. Durch eine Vielzahl an Projekten verfügt der Antragsteller über langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der DOM Forschung. Die Universität Oldenburg ist zudem Standort eines der weltweit hochauflösendsten Massenspektrometer (FT-ICR-MS), das einzige seiner Art in der Meeresforschung, welches die Charakterisierung der DOM-Zusammensetzung auf molekularer Ebene ermöglicht.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 1.8:

Um den Einfluss von erhöhten CO₂-Konzentrationen auf DOM zu untersuchen, war das Teilprojekt an zwei großskaligen pelagischen Mesokosmenexperimenten beteiligt, in denen die Bedingungen im zukünftigen Ozean durch die künstliche Anreicherung mit CO₂ simuliert wurden. Mittels ultrahochauflösender Fourier-transform Ionenzyklotronresonanz Massenspektrometrie (FT-ICR-MS) wurden Produktion und Abbau einzelner Stoffe über den Verlauf mehrerer Phytoplanktonblüten auf molekularer Ebene beobachtet. Das erste Experiment wurde 2013 im schwedischen Gullmar Fjord durchgeführt. Ein weiteres Experiment im subtropischen Atlantischen Ozean vor der Küste Gran Canarias musste im ersten Anlauf im Frühjahr 2014 witterungsbedingt abgebrochen werden, konnte jedoch erfolgreich im Herbst desselben Jahres wiederholt werden. Es wurden desweiteren Proben aus einem Indoor-Mesokosmenexperiment am GEOMAR (Kiel) ausgewertet, bei dem die kombinierten Auswirkungen von Temperatur und CO₂-Konzentration auf die Umsetzung von DOM untersucht wurden.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*
- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 1.8:

Die Auswirkungen von Ozeanversauerung auf DOM stellen ein wichtiges Forschungsgebiet dar, vor allem im Hinblick auf die enorme Menge des Kohlenstoffs, der in Form von DOM in den Meeren gespeichert ist (662 Pg C; Hansell et al. 2009). DOM spielt eine wichtige Rolle im marinen Nahrungsnetz, da etwa die Hälfte der produzierten marinen Biomasse von Mikroorganismen zu DOM umgesetzt (z.B. Kirchman et al. 1991, Williams 2000) und anschließend wieder zu CO₂ umgewandelt wird. Ein Teil des DOM ist jedoch resistent gegen den Abbau und akkumuliert in den Ozeanen über hunderte oder tausende von Jahren (Hansell & Carlson 1998). Der Grund für diese Anreicherung ist bisher unbekannt (z.B. Ogawa et al. 2001, Jiao et al. 2010, Dittmar 2015). Externe Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel Ozeanversauerung, könnten die zugrunde liegenden Prozesse nachhaltig beeinflussen und so die Menge an persistentem DOM, das in den Ozeanen gespeichert wird, verändern. Strukturelle Veränderungen einzelner Komponenten könnten Veränderungen in der Reaktivität des DOM bewirken, mit weitreichenden Konsequenzen für das marine Nahrungsnetz. Da Studien eine gesteigerte Primärproduktion im Zusammenhang mit Ozeanversauerung gezeigt haben (Riebesell, 2000), ist anzunehmen, dass durch eine höhere atmosphärische CO₂-Konzentration als direkte Folge mehr gelöstes organisches Material produziert wird.

DOM ist eine der komplexesten Substanzen auf der Erde und stellt eine Herausforderung an analytische Methoden dar (Dittmar & Paeng 2009). Mit der Entwicklung von ultrahochauflösender Fourier-transform Ionenzyklotronresonanz Massenspektrometrie (FT-ICR-MS) ist es inzwischen möglich, die einzelnen Bestandteile aufzutrennen, und die Elementzusammensetzung von mehr als zehntausend verschiedenen Verbindungen in DOM kann bestimmt werden (Koch et al. 2005).

Zur Bearbeitung der angeführten Fragestellung wurden sogenannte KOSMOS Mesokosmen (Kiel Off-Shore Mesocosms for Future Ocean Simulations) verwendet, die am GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung in Kiel entwickelt wurden (Riebesell et al. 2009).

Dittmar, T., Paeng, J. (2009) A heat-induced molecular signature in marine dissolved organic matter. *Nature Geoscience* 2: 175-179.

Dittmar, T. (2015) Reasons behind the long-term stability of marine dissolved organic matter. In: "The biogeochemistry of marine dissolved organic matter. 2nd edition." Hansell DA, Carlson CA (eds) Elsevier. 369-388.

Hansell, D.A., Carlson, C.A., Repeta, D.J., Schlitzer, R. (2009) Dissolved organic matter in the ocean – a controversy stimulates new insights. *Oceanography* 22: 202-211.

Hansell, D.A., Carlson, C.A. (1998) Net community production of dissolved organic carbon. *Global Biogeochemical Cycles* 12: 443-453.

Jiao, N., Herndl, G.J., Hansell, D.A., Benner, R., Kattner, G., Wilhelm, S.W., Kirchman, D.L., Weinbauer, M.G., Luo, T., Chen, F., Azam, F. (2010) Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. *Nature Reviews* 8: 593-599.

Kirchman, D.L., Suzuki, Y., Garside, C., Ducklow, H.W. (1991) High turnover rates of dissolved organic carbon during a spring phytoplankton bloom. *Nature* 352: 612-614.

Koch, B.P., Witt, M., Engbrodt, R., Dittmar, T., Kattner, G. (2005) Molecular formulae of marine and terrigenous dissolved organic matter detected by electrospray ionization Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69: 3299-3308.

MacGilchrist, G.A., Shi, T., Tyrell, T., Richier, S., Moore, C.M., Dumousseaud, C., Achterberg, E.P. (2014) Effect of enhanced pCO₂ levels on the production of dissolved organic carbon and transparent exopolymer particles in short-term bioassay experiments. *Biogeosciences* 11: 3695-3706.

Ogawa, H., Amagai, Y., Koike, I., Kaiser, K., Benner, R. (2001) Production of refractory dissolved organic matter by bacteria. *Science* 292: 917-920.

Riebesell, U. (2000) Photosynthesis: carbon fix for a diatom. *Nature* 470: 959-960.

Williams, P.J. leB. (2000) Heterotrophic bacteria and the dynamics of dissolved organic material. Pp. 153–200 in: "Microbial ecology of the oceans", Kirchman, D.L. (Ed.), Wiley-Liss, New York.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 1.8:

Die beiden KOSMOS Experimente im Gullmar Fjord und im subtropischen Atlantischen Ozean wurden in enger Zusammenarbeit mit dem GEOMAR unter der Leitung von Prof. Ulf Riebesell durchgeführt (Teilprojekt 1.1). Eine engere Zusammenarbeit bestand in diesem Rahmen außerdem mit dem Teilprojekt 1.5 unter der Leitung von Prof. Hans-Peter Grossart vom Leibniz-Institut für Gewässerkunde und Binnenfischerei in Berlin (IGB), mit Hinsicht auf eine gemeinsame Beprobung der mikrobiellen Gemeinschaft und der DOM Zusammensetzung. Desweiteren wurden in Zusammenarbeit mit Prof. Anja Engel (GEOMAR, Teilprojekt 1.11) und Prof. Ulrich Sommer (GEOMAR, Teilprojekt 1.9) ein Indoor-Mesokosmenexperiment beprobt.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 1.8:

Die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die Zusammensetzung des DOM war bisher weitestgehend unerforscht. In dem Projekt sollte daher die folgende zentrale Hypothese getestet werden: „Eine Versauerung der Ozeane wird die Lebensgemeinschaften und den Metabolismus einzelner Organismen beeinflussen, sodass sich die chemische Zusammensetzung und die globale Menge des DOM verändert.“ Die Zuwendungen wurden entsprechend dieser Zielsetzung eingesetzt.

Die Ergebnisse aus den beiden Mesokosmenexperimenten weisen darauf hin, dass Ozeanversauerung unter einem „business-as-usual“ Szenario (IPCC, 2013) bis zum Ende des Jahrhunderts wahrscheinlich keine Effekte auf das DOM haben wird. In beiden untersuchten Ökosystemen, einem schwedischen Fjord und dem oligotrophen Atlantik, wurden unter gleichen experimentellen Bedingungen mit CO_2 -Partialdrücken (pCO_2) von bis zu 1000 μatm keine signifikanten Effekte gefunden. Ab CO_2 -Partialdrücken von etwa 1250 μatm pCO_2 konnten für das Mesokosmen-Experiment im oligotrophen Atlantik Hinweise auf eine vermehrte DOM-Akkumulation beobachtet werden. Dieser Trend ist allerdings statistisch nicht signifikant und sollte in weiterführenden Studien näher untersucht werden. In beiden Mesokosmenexperimenten wurden nach einer Folge mehrerer Phytoplanktonblüten keine Effekte auf die molekulare Zusammensetzung des DOM beobachtet. Sowohl Produktion als auch Abbau einzelner Verbindungen variierten zwar deutlich über die Zeit, die Trends waren jedoch in allen Mesokosmen gleich und unabhängig vom jeweiligen CO_2 -Partialdruck. Insgesamt scheinen die Effekte von erhöhtem pCO_2 auf den DOM-Speicher in natürlichen Ökosystemen vergleichbar gering zu sein. Diese Ergebnisse wurden bereits in einer der führenden fachübergreifenden internationalen Zeitschriften veröffentlicht (Zark et al. 2015) und haben ein breites Echo in der Presse gefunden. Weitere Publikationen sind in Vorbereitung.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 1.8:

0812/0822 Beschäftigte

Eine Promovierende (TVL E13, 1 Jahr 50%, 2 Jahre 65%) wurde für die allgemeine Projektdurchführung eingestellt. Um die Durchführung des zweiten Mesokosmenexperimentes zu gewährleisten, wurde außerdem eine zweite wissenschaftliche Mitarbeiterin über einen Zeitraum von 3 Monaten (TVL E13, 50%) eingestellt. Mehrere wissenschaftliche Hilfskräfte wurden über einen Zeitraum von insgesamt 8 Monaten beschäftigt, um die praktischen Arbeiten zu unterstützen.

0843 Verbrauchsmaterial

Insgesamt wurden 510 Wasserproben auf die molekulare DOM-Zusammensetzung untersucht und 891 Proben wurden für die Analyse der Element-Konzentration (Kohlenstoff und Stickstoff) gesammelt und analysiert. Diese hohe Anzahl an Proben ist zum Einen durch den Abbruch des zweiten Mesokosmenexperimentes zu erklären, da sich die Beprobung um den Zeitraum des ersten Fehlversuchs verlängerte. Zum Anderen mussten nach dem Neustart des Experimentes auf Gran Canaria an drei Zeitpunkten eine Mehrfachbeprobung durchgeführt werden um die statistische Auswertung der Daten zu gewährleisten.

0846 Reisekosten

Der größte Teil der entstandenen Reisekosten verteilt sich auf Anreise, Unterkunft und Logis für die am Teilprojekt 1.8 beteiligten Mitarbeiter. Ein Teil der Reisekosten konnte über ein ASSEMBLE-Stipendium der EU gedeckt werden. Desweiteren wurden vom Antragssteller und den beteiligten Mitarbeitern mehrere Datentreffen, BIOACID-Jahrestreffen und zwei internationale Konferenzen (ASLO Aquatic Sciences Meeting in Granada (Spanien) 2015 und Gordon Research Conference: Chemical Oceanography in Holderness (USA) 2015) besucht.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 1.8:

Wie unter den Punkten 1. und 2. beschrieben, wurden die Arbeiten und die finanziellen Mittel entsprechend der im Verlauf des Projektes erhaltenen Ergebnisse ausgerichtet. Die erhaltenen Ergebnisse stellen eine wichtige Datengrundlage für erste Einblicke in die Auswirkungen von Ozeanversauerung auf die molekulare Zusammensetzung des DOM-Kohlenstoffspeichers.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 1.8:

Die erhobenen Daten dienen als wichtige Informationsgrundlage für Öffentlichkeit und politische Entscheidungsträger, vor allem da der Aspekt des DOM im Zusammenhang mit Ozeanversauerung bisher wenig diskutiert wurde. Der Datensatz kann weiterhin zur Verbesserung von biogeochemischen Modellrechnungen zur Klimaentwicklung verwendet werden.

Im speziellen werden die Daten in der nächsten BIOACID Phase III für ein integriertes Assessment der Effekte von Ozeanversauerung auf Ökosysteme verwendet.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 1.8:

Während der Laufzeit des Projektes wurden unterschiedliche Studien veröffentlicht, die die Auswirkungen auf die Konzentration bzw. Akkumulation von DOM untersuchen. In einem Mesokosmenexperiment in der Arktis wurden Hinweise auf eine vermehrte Anreicherung von DOC gefunden (Czerny et al., 2013; Engel et al., 2013), während in anderen Experimenten keine Effekte beobachtet wurden (Engel et al., 2014; MacGilchrist et al., 2014). Eine mögliche Erklärung für diese abweichenden Ergebnisse ist die gleichzeitige Anregung von mikrobiellem Abbau des produzierten DOM (Grossart et al., 2006; Piontek et al., 2010). Um die zugrundeliegenden Prozesse besser zu beurteilen und nicht nur quantitative sondern auch strukturelle Veränderungen zu erfassen, wurden in unserem Projekt zum ersten Mal Massenspektren als „molekularer Fingerabdruck“ verwendet. Keine Versauerungsstudie zuvor erreichte diese hohe Auflösung und bietet strukturelle Information über Veränderungen im DOM.

Czerny, J., Schulz, K.G., Boxhammer, T., Bellerby, R.G.J., Büdenbender, J., Engel, A., Krug, S.A., Ludwig, A., Nachtigall, K., Nondal, G., Niehoff, B., Silyakova, A., Riebesell, U. (2013) Implications of elevated CO₂ on pelagic carbon fluxes in an Arctic mesocosm study – an elemental mass balance approach. *Biogeosciences* 10: 3109-3125.

Engel, A., Borchard, C., Piontek, J., Schulz, K.G., Riebesell, U., Bellerby, R. (2013) CO₂ increases ¹⁴C primary production in an Arctic plankton community. *Biogeosciences* 10: 1291-1308.

Engel, A., Piontek, J., Grossart, H.-P., Riebesell, U., Schulz, K.G. Sperling, M. (2014) Impact of CO₂ enrichment on organic matter dynamics during nutrient induced coastal phytoplankton blooms. *Journal of Plankton Research* 36: 641-657.

Grossart, H.-P., Allgaier, M., Passow, U., Riebesell, U. (2006) Testing the effect of CO₂ concentration on the dynamics of marine heterotrophic bacterioplankton. *Limnology and Oceanography* 51: 1-11.

Piontek, J., Lunau, M., Händel, N., Borchard, C., Wurst, M., Engel, A. (2010) Acidification increases microbial polysaccharide degradation in the ocean. *Biogeosciences* 7: 1615-1624.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 1.8:

Die Ergebnisse aus beiden KOSMOS Experimenten wurden detailliert zusammengefasst in einer Dissertation mit dem Titel „The impact of ocean acidification on marine dissolved organic matter“, die der Universität Oldenburg von Frau Maren Zark vorgelegt wurde. Desweiteren wurden die Ergebnisse in mehreren Publikationen präsentiert:

Zark, M., Riebesell, U., Dittmar, T. (2015) Effects of ocean acidification on marine dissolved organic matter are not detectable over the succession of phytoplankton blooms. *Science Advances* 1:e1500531.

Zark, M., Broda, N.K., Riebesell, U., Dittmar, T. Dissolved organic matter dynamics during an oligotrophic ocean acidification experiment using large-scale mesocosms (in Vorbereitung).

Zark, M., Dittmar, T. Universal molecular structures in natural dissolved organic matter (in Vorbereitung).

Zark, M., Christoffers, J., Dittmar, T. Experimental evidence for structural diversity of deep-ocean dissolved organic matter (in Vorbereitung).

Der Datensatz zu dem Experiment im Gullmar Fjord wurde bereits auf Pangaea archiviert, der Datensatz aus Gran Canaria wird nach Veröffentlichung des entsprechenden Manuskriptes ebenfalls dort bereitgestellt werden:

Zark, M., Dittmar, T., Riebesell, U., 2015. Dissolved organic matter molecular composition and concentrations from a large scale mesocosm study KOSMOS 2013 (Kristineberg) on ocean acidification. Dataset #846137, doi:10.1594/PANGAEA.846137).

Tagungsbeiträge:

Bergen, B., Endres, S., Engel, A., Zark, M., Dittmar, T., Sommer, U., Jürgens, K. Effect of acidification and warming on planktonic bacterial communities during two seasonal phytoplankton bloom mesocosms. SAME14, Uppsala, Sweden, August 2015 (Poster).

Zark, M., Riebesell, U., Dittmar, T. Effects of ocean acidification on formation and turnover of DOM in a Swedish Fjord. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO) meeting, Granada, Spain, February 2015 (Vortrag).

Zark, M., Riebesell, U., Dittmar, T. Effects of ocean acidification on marine dissolved organic matter: a mesocosm study. Gordon Research Conference: Chemical Oceanography, Holderness, USA, Juli 2015 (Poster).

IGB Berlin (FKZ 03F0655E)

WP 1.5: Bacterial response to ocean acidification and DOM release. / Bakterielle Reaktion auf Ozeanversauerung und DOM Abgabe



Leibniz-Institut für Gewässerkunde und Binnenfischerei

Müggelseedamm 310

12587 Berlin Telefon: 0421 200-3254

hgrossart@igb-berlin.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 1.5

Das übergeordnete Ziel des Teilprojektes 1.5 bestand in der Quantifizierung des Umsatzes organischen Materials unter sich ändernden $p\text{CO}_2$ -Bedingungen. Im speziellen war es Gegenstand, den mikrobiellen Umsatz von endogen produziertem DOM in Abhängigkeit von erhöhten $p\text{CO}_2$ -Bedingungen, sowie mögliche Änderungen in der bakteriellen Produktion mit solchen der mikrobiellen Gemeinschaft zu untersuchen.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 1.5

Die Arbeitsgruppe um Prof. Grossart am IGB hat eine sehr gute Reputation auf dem Gebiet der Untersuchungen mikrobieller Gemeinschaften auf physiologischer (bakterielle Produktion und Respiration) und genomischer (PCR, DGGE) Ebene. Die genaue Kenntnis der Reaktion von heterotrophen Mikroorganismen auf die zukünftige (prognostizierte) Ozeanversauerung und die damit einhergehende Beeinflussung von Nährstoff- und Kohlenstoffkreisläufen sowie von Treibhausgasemissionen in marinen Systemen, wurde in der ersten Projektphase von BIOACID im Labormaßstab untersucht und bietet erste Hinweise auf die Reaktionsfähigkeit der heterotrophen bakteriellen Gemeinschaft. Die enge Zusammenarbeit zwischen den Teilprojekten 1.2.1- 1.2.5 in der ersten Projektphase umfasste die gemeinsame Planung und die Durchführung von Experimenten am IOW, AWI und an der TUHH. Aus dieser Zusammenarbeit resultierten zahlreiche gemeinsame Publikationen, welche unter Punkt 6. aufgelistet sind.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 1.5

Der Ablauf der Vorhaben entsprach weitestgehend den Planungsvorgaben aus dem WP-Antrag, mit Ausnahme der KOSMOS Kampagne Gran Canaria 2014. Der ursprünglich im Februar 2014 geplante Versuch musste abgebrochen werden, da die Mesokosmen irreparabel beschädigt wurden. Eine für das Projekt kostenneutrale, Wiederholung fand von Oktober bis Dezember 2014 an gleicher Stelle statt.

Die Kampagne KOSMOS Kristineberg im Jahr 2013 erfolgte wie im Antrag angegeben.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*
- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 1.5

Die Arbeit basiert auf dem aktuellen Kenntnisstand der Fachliteratur und den Vorarbeiten der ersten Projektphase. Die verwendeten Methoden sind dort detailliert beschrieben. Über den Einfluss von erhöhtem $p\text{CO}_2$ auf heterotrophe Bakterien ist relativ wenig bekannt, wie Liu et al. (2010) in einem Review berichteten. Die wenigen Veröffentlichungen zu diesem Thema zeigen entweder einen

geringen stimulierenden Effekt der Ozeanversauerung auf angeheftete Bakterien (Grossart et al. 2006) oder keinen nachweisbaren Effekt auf heterotrophe Bakterien (Allgaier et al. 2008, Tanaka 2008). Die Arbeiten dieses Teilprojektes sollen weitere Hinweise auf eine mögliche Reaktion, z.B. eine Stimulation heterotropher Bakterien unter erhöhtem $p\text{CO}_2$, liefern. Auch die Zusammensetzung des gelösten organischen Materials (DOM) und dessen Einfluss auf die mikrobielle Gemeinschaft soll berücksichtigt werden. Des Weiteren hat sich in Studien von Grossart und Gust gezeigt (2009), dass bei der Betrachtung von Partikel - Sinkflüssen aus der euphotischen Zone in tiefere Zonen der Meere, die Bestimmung der bakteriellen Abbau- und Umsatzrate unter in situ Druckbedingungen dringend erforderlich ist. Experimente mit in situ Druckkammern (gebaut durch Technik Service A.Meyer), welche in der ersten Projektphase erfolgten, konnten zwischenzeitlich erfolgreich publiziert werden (siehe Punkt 6).

Allgaier, M., Riebesell, U., Grossart, H.-P. (2008) Coupling of heterotrophic bacteria to phytoplankton bloom development at different $p\text{CO}_2$ levels

Grossart, H. P., Allgaier, M., Passow, U., and Riebesell, U. (2006) Testing the effect of CO_2 concentration on the dynamics of marine heterotrophic bacterioplankton, *Limnol Oceanogr*, 51, 1–11

Grossart, H. P. and Gust, G. (2009) Hydrostatic pressure affects physiology and community structure of marine bacteria during settling to 4000 m: an experimental approach. *Mar Ecol Prog Ser*. Vol. 390: 97–104, 2009

Liu, J., Weinbauer, M. G., Maier, C., Dai, M., Gattuso, J. P. (2010) Effect of ocean acidification on microbial diversity and on microbe-driven biogeochemistry and ecosystem functioning. *Aquat Microb Ecol*. doi: 10.3354/ame01446

Tanaka, T., Thingstad, T.F., Løvndal, T., Grossart, H.-P. and others (2008) Availability of phosphate for phytoplankton and bacteria and of glucose for bacteria at different $p\text{CO}_2$ levels in a mesocosm study. *Biogeosciences* 5:669–678

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 1.5

Im Zuge der KOSMOS Experimente erfolgte eine sehr enge Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen vor Ort. Zum einen (2013) mit dem e Sven Lovén Centre for Marine Sciences der Universität Göteborg in Kristineberg, Schweden und dessen Mitarbeitern. Zum anderen (2014) mit dem Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN) in Taliarte, Gran Canaria.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 1.5

Die Milestones wie im Antrag angegeben, wurden zum vorgegebenen Zeitpunkt erreicht, mit Ausnahme des KOSMOS Experimentes Gran Canaria 2014. Dieser Milestone verschob sich um 6 Monate nach hinten.

(1) Datensatz zur natürlichen Variabilität der bakteriellen Produktion in der zentralen Ostsee	Monat 5
(2) Daten zum bakteriellen Umsatz –Exp. KOSMOS I (Kristineberg)	Monat 10
(3) Daten zum bakteriellen Umsatz- Exp. KOSMOS II (Gran Canaria)	Monat 20
(4) Abschließende Beurteilung der Wachstumsregulation und des Stickstoffumsatzes von Bakterien unter verschiedenen	

pCO₂ Bedingungen

Monat 36

➤ Milestone 1: Datensatz zur natürlichen Variabilität der bakteriellen Produktion in der zentralen Ostsee.

Ein Datensatz zur natürlichen Variabilität der bakteriellen Produktion in der zentralen Ostsee und der pCO₂ abhängigen Veränderung in der bakteriellen Produktion wurden im Rahmen der Meteor Ausfahrt M87/4 2012 erhoben, ausgewertet und wird zurzeit zur Publikation vorbereitet. Es gibt erste Anzeichen dafür, dass sich in den Tanks mit höherem pCO₂ auch eine höhere bakterielle Produktion finden lässt (Abb.1)

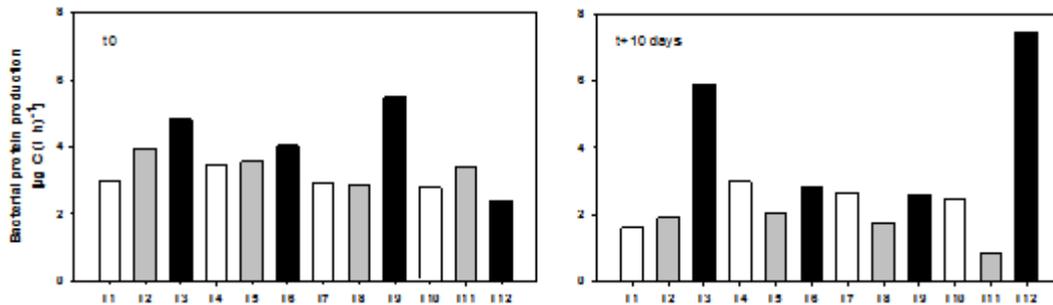


Abb. 1 Bakterielle Produktion der Gesamtfraction in den Tanks mit unterschiedlichem pCO₂ an den beiden Probenahmetagen. Tanks mit geringem pCO₂ werden durch weiße Balken repräsentiert, Tanks mit mittlerem pCO₂ durch graue Balken und Tanks mit hohem pCO₂ durch schwarze Balken.

➤ Milestone 2: Daten zum bakteriellen Umsatz –Exp. KOSMOS I (Kristineberg).

Der Datensatz zum bakteriellen Umsatz in Abhängigkeit vom pCO₂ wurde im Rahmen des KOSMOS Mesokosmen Experimentes 2013 erhoben und ausgewertet. Es zeigt sich im Langzeit-Mesokosmen-Versuch kein durchgehender signifikanter Effekt von erhöhtem pCO₂ auf die Produktion heterotropher Bakterien (Abb. 2). Es traten jedoch Zeitabschnitte mit erhöhter bakterieller Produktion unter hohem pCO₂ auf, vorwiegend durch die freilebende Fraction der Bakterien getrieben. Die bakterielle Respiration muss noch abschließend ausgewertet werden, um klare Aussagen insbesondere über die Wachstumseffizienzen der Bakterien treffen zu können. Zudem soll die bereits analysierte Struktur der bakteriellen Gemeinschaft mit der Zusammensetzung des gelösten organischen Materials (DOM) in Zusammenarbeit mit WP 1.8 (Dittmar) korreliert werden.

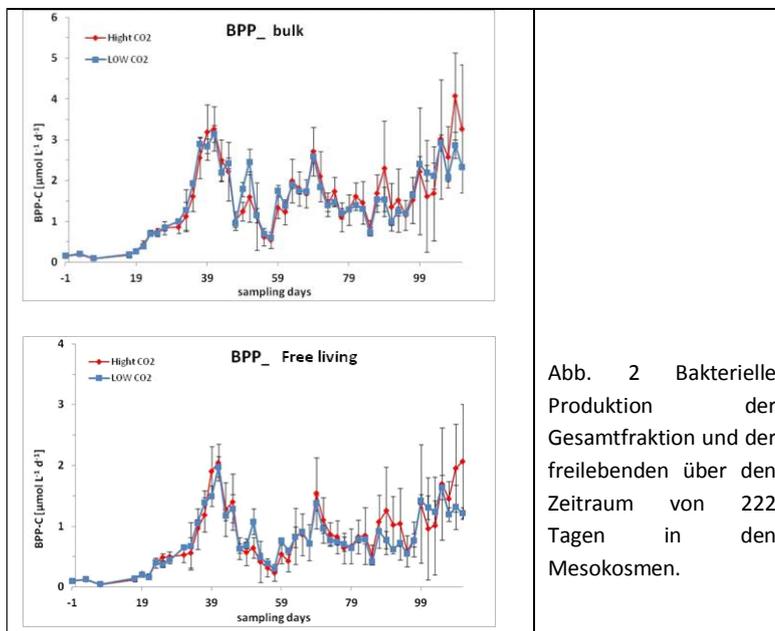


Abb. 2 Bakterielle Produktion der Gesamtfraction und der freilebenden über den Zeitraum von 222 Tagen in den Mesokosmen.

➤ Milestone 3: (3)Daten zum bakteriellen Umsatz- Exp. KOSMOS II (Gran Canaria) 1.0

Im Zeitraum Februar bis April 2014 sollte das KOSMOS Experiment auf Gran Canaria in der Bucht von Melenara unter der Leitung des GEMOAR Kiel stattfinden. Hierzu sollte die Reaktion einer natürlichen Planktongemeinschaft des Atlantiks auf erhöhte $p\text{CO}_2$ -Bedingungen getestet werden. Der Focus sollte auf dem bakteriellen Umsatz inklusive bakterieller Produktion, Respiration und Veränderung der bakteriellen Artenzusammensetzung liegen. Auf Grund von starken Winden wurde jedoch eine hohe Anzahl von Mesokosmen beschädigt, so dass die Beprobung der Mesokosmen am 19.02.2014 abgebrochen wurde. Eine Wiederholung des KOSMOS Experimentes wurde für Ende 2014 festgelegt.

- Da sich jedoch mehrere Master Studenten/Innen vor Ort befanden, welche einen fixen Zeitpunkt zur Abgabe ihrer Arbeit hatten, musste ein Alternativ- Experiment in kleinerem Maßstab geplant und durchgeführt werden. Es fiel die Wahl auf kleinere Flaschenexperimente (1L), in denen zum Einen Phytoplankton und heterotrophe Bakterien gleichzeitig inkubiert wurden, zum Anderen lediglich heterotropher Bakterien. Die Daten wurden in einer Master Arbeit von Elisabeth Walter 2014 veröffentlicht.

-

➤ Milestone 3: (3)Daten zum bakteriellen Umsatz- Exp. KOSMOS II (Gran Canaria) 2.0

Die Wiederholung des KOSMOS Experimentes fand von Oktober bis Dezember 2014 in Taliarte, Gran Canaria statt.

Anders als in den früheren KOSMOS Experimenten führten die erhöhten $p\text{CO}_2$ -Bedingungen zu einer Stimulation vor allem der an Partikel angehefteten Bakterien. Dies lag vor allem daran, dass in diesem nährstoffarmen System an Partikel angeheftete Bakterien > 60% der gesamten bakteriellen Produktion beitragen und auch die Phytoplankton-Zusammensetzung deutlich unterschiedlich zu den vorhergehenden Experimenten war. In dem sehr nährstoffarmen und warmen System scheint organischer Kohlenstoff zu akkumulieren, da sowohl die Phytoplankton- als auch die Bakterien-Biomasseproduktion durch das Fehlen essentieller Nährstoffe limitiert zu sein scheint. Auch in der Respiration und in der Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft zeigten sich $p\text{CO}_2$ -induzierte Veränderungen. Diese Daten werden im Moment noch ausgewertet und für eine Publikation vorbereitet.

➤ Milestone (4) Abschließende Beurteilung der Wachstumsregulation und des Stickstoffumsatzes von Bakterien unter verschiedenen $p\text{CO}_2$ Bedingungen

Die abschließende Beurteilung der Wachstumsregulation wird in einer Meta-Analyse im Rahmen von BIOACID III erarbeitet und veröffentlicht.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 1.5 WP

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten, inklusive Beschäftigung einer Nachwuchswissenschaftlerin (PostDoc 50%).

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 1.5 WP

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 1.5 WP

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 1.5 WP

Keine

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 1.5 WP

erfolgte:

Wannicke, N., Frindte, K., Gust, G., Liskow, I., Wacker, A., Meyer, A., & Grossart, H. P. (2015). Measuring bacterial activity and community composition at high hydrostatic pressure using a novel experimental approach: A pilot study. *FEMS microbiology ecology*, fiv036.

Nausch, M., Bach, L.T., Czerny, J., Goldstein, J., Grossart, H.-P., Hellemann, D., Hornick, T., Achterberg, E., Schulz, K., Riebesell, U. (2015) Effects of CO₂ perturbation on phosphorus pool sizes and uptake in a mesocosm experiment during a low productive summer season in the northern Baltic Sea. *Biogeosciences Discussions* 10/2015; 12(20):17543-17593. DOI:10.5194/bgd-12-17543-2015.

Gehring, M. M., & Wannicke, N. (2014). Climate change and regulation of hepatotoxin production in Cyanobacteria. *FEMS microbiology ecology*, 88(1), 1-25.

Unger, J., Endres, S., Wannicke, N., Engel, A., Voss, M., Nausch, G., & Nausch, M. (2013). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 3: Turnover of phosphorus compounds. *Biogeosciences*, 10(3), 1483-1499.

Endres, S., Unger, J., Wannicke, N., Nausch, M., Voss, M., & Engel, A. (2013). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 2: Exudation and extracellular enzyme activities. *Biogeosciences (BG)*, 10, 567-582.

Wannicke, N., Endres, S., Engel, A., Grossart, H. P., Nausch, M., Unger, J., & Voss, M. (2012). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 1: Growth, production and nitrogen cycling. *Biogeosciences*, 9(8), 2973-2988.

Grossart, H.-P., Gust, G. 2009. Hydrostatic pressure affects physiology and community structure of marine bacteria during settling to 4000 m - an experimental approach. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 390: 97-104.

geplante:

J. Fabian, M. Voss, J. Unger, M. Nausch, N. Wannicke. Microbial dynamics along a natural latitudinal and simulated pCO₂ gradient in the Baltic Sea Part I: Temperature and phosphate counteract stimulating effects of ocean acidification in heterocystous cyanobacteria. (AME, in review)

N. Wannicke, K. Frindte, J. Fabian, J. Unger, H.P. Grossart. Microbial dynamics along a natural latitudinal and simulated pCO₂ gradient in the Baltic Sea during a late summer phytoplankton bloom – Part II: Indication of ocean acidification effects on heterotrophic bacteria (AME, in review)

C. Wurzbacher, I. J. Grimmer, N. Wannicke, F. Bärlocher. Character of stream particle DNA, and the effect of particle size on microbial communities (*Limnologica*, in review)

T. Hornick, L. T. Bach, K. J. Crawford, K. Spilling, E.P. Achterberg, C. P. D. Brussaard, U. Riebesell, H.-P. Grossart. Ocean acidification indirectly alters production and biovolume of heterotrophic bacteria at low nutrient conditions. To be submitted to Biogeosciences

N. Wannicke, K. Frindte, M. Nausch, J. Fabian, H-P. Grossart, T. Niedermeyer, M. Gehringer, M. Voss. Evidence of ocean acidification effects on filamentous cyanobacteria productivity and toxicity and their modulation by the eutrophication status (in prep.)

Abschlussarbeiten im Rahmen von BIOACID

Eliesabeth Walter (2015) Einfluss von pH und pCO₂ auf die bakterielle Aktivität und Gemeinschaftsstruktur“, Universität Potsdam

IOW Warnemünde (FKZ 03F0655F)

WP 0.3: Carbonate chemistry analytics

WP 1.4: Diazotrophic nitrogen fixation and nitrogen cycling within the plankton community

WP 1.12: Responses and adaptations of heterotrophic and chemoautotrophic prokaryotic key players to a high CO₂ world. / Reaktion und Adaption von heterotrophen und chemoautotrophen prokaryotischen Schlüsselorganismen auf eine Welt mit erhöhtem CO₂

WP 2.6 Stress impacts on the biogeochemistry of macrophyte communities and calcification at small spatial and temporal scales



Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde IOW

Seestraße 15

18119 Rostock

Telefon: 0381 5197 209

maren.voss@io-warnemuende.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 0.3:

Die präzise Bestimmung des marinen Karbonat(CO_2)-Systems bildet das Rückgrat für alle experimentellen Studien zur Versauerung der Ozeane. Die Bestimmung des Karbonat -Systems erfordert die Messung von mindestens zwei der vier messtechnisch zugänglichen Variablen. Die Überbestimmung des CO_2 -Systems durch die Messung von mehr als zwei Parametern erlaubt eine Konsistenzprüfung der analytischen Verfahren. Die folgenden vier Parameter können mit hoher Genauigkeit im Meerwasser analysiert werden können: (1) gesamt gelöster anorganischen Kohlen (DIC), (2) Gesamtalkalität (AT), (3) pH und (4) Partialdruck von CO_2 (pCO_2). Es war die Aufgabe des Referenzlabors in WP 0.3 seine Expertise und sein analytisches Instrumentarium zur Qualitätssicherung von DIC- und AT-Analysen im Rahmen von BIOACID II zur Verfügung zu stellen. Da unabhängig vom Projektauftrag zeitgleich ein spektrophotometrisches Verfahren zur pH-Bestimmung im Referenzlabor eingeführt wurde, konnte auch die Variable pH in das Qualitätssicherungsprogramm aufgenommen werden. Für die Messung des pCO_2 in diskreten Proben existieren keine etablierten Messverfahren, der pCO_2 wird üblicherweise „underway onboard“ bestimmt.

WP 1.4:

Gesamtziel des Teilprojektes war es, die Verwendung von Stickstoff (organisch und anorganisch) für die Primärproduktion in Abhängigkeit von erhöhten pCO_2 Bedingungen zu untersuchen. Der Fokus liegt zudem auf der Veränderung von Wachstum, Produktion und Stöchiometrie von Cyanobakterien, sowie der Abgabe gelöster organischer Verbindungen (DOM) unter veränderten CO_2 Bedingungen.

WP 1.12:

Ziel des Teilprojektes war es den Einfluss von steigenden CO_2 Konzentrationen auf heterotrophe und chemotrophe Bakterien zu bestimmen. Im Fokus standen 16S DNA Diversität, bakterielle Aktivität und bakterielle Zellzahl. Hierdurch sollte sowohl innerhalb der in WP 1.2 beschriebenen Mesokosmos Experimente als auch durch Isolate die Reaktion und Adaptation ausgewählter Schlüsselorganismen untersucht werden.

WP 2.6:

Die detaillierte Darstellung der Ausgangsfragestellung ist dem Antrag des BIOACID II Verbundprojektes zu entnehmen und wird daher hier nur kurz zusammengefasst.

In früheren ökologischen Studien ist gezeigt worden, dass sich ändernde Umweltbedingungen, wie die Konzentrationen von Nährstoffen oder CO_2 , die chemische Zusammensetzung von Macrophyten in ihrer Element-Stöchiometrie oder den stabilen Isotopensignaturen verändern können (Fanganeli et al., 1986; Jaschinski et al., 2008, Machas et al., 2006; Papadimitrou et al., 2006; Steinarsdottir et al., 2010). Für *Fucus spec.* und *Zostera spec.* wurden diese Untersuchungen u.a. unter Berücksichtigung der Quellen der gelösten Substanzen sowie des Nahrungsnetzes analysiert (Hoshika et al., 2006). Insbesondere die Multiisotopenfraktionierung (C,N,S) konnte als ein sehr hilfreiches Mittel zur Erfassung der Umweltadaptionen eingesetzt (Fry, 2006; Jaschinski et al., 2008; Savaga and Elmgrenk, 2004). Unter Verwendung von S und N Isotopen konnte gezeigt werden, dass die Gewebe-Zusammensetzung von *Zostera* und *Fucus* auch durch die Aktivität benthischer Organismen beeinflusst werden kann (Matsua et al., 2010; Oakes and Conolly, 2004). Die stabile C-isotopendiskriminierung beim Aufbau von organischem Zellgewebe hängt ab von den

Wachstumsbedingungen, extern beeinflusst durch den CO₂ Gehalt, dem Nährstoffstatus und der Temperatur (z.B., Fry, 2006).

Für die isotopische und chemische Zusammensetzung von biogenen Karbonaten ist vorgeschlagen worden, dass diese durch organische Matrices und physiologische Prozesse beeinflusst werden können (z.B., Gussone et al., 2006). Die Reaktion von kalzifizierenden Organismen auf die akute Ozeanversauerung verläuft unterschiedlich (Ries et al., 2009) und wie für benthische Makrophyten, die zusammenwirkenden Stressfaktoren von Erwärmung, Nährstoffhöhung, hypoxischen Phasen, und Salinitätsänderungen auf das längerfristige Adaptionspotential von Organismen warten auf eine experimentelle Kalibrierung. Es kann angenommen werden, dass die Kombination unterschiedlicher Stressfaktoren die Biogeochemie und die konglomerierten Interaktionen der marinen Makrophytengemeinschaft vom Level der Makrophyten, über die epiphytischen Lagen bis zu den biologischen Kalzifizieren beeinflussen wird. Jedwede Restrukturierung der benthischen Gemeinschaft (Wahl et al., 2011) wird ebenfalls substantielle Effekte auf biogeochemischen Flüsse im Oberflächenwasser bis hin zu den Makrophytengürteln haben. Es steht zu erwarten, dass die geplanten Experimente nach dem Delta-Ansatz mit natürlich fluktuierenden Benthokosmen (Wahl et al., 2015) mehr Detailinformationen über die zukünftigen Änderungen erbringen werden.

Die zu bearbeitenden Haupt-Fragen des WP2.6 lauteten:

- Wie ist die biogeochemische und isotopische Reaktion der Benthokosmen auf einzelne oder kombinierte extern manipulierte Stressfaktoren (Temperatur, pH/PCO₂, Nährstoffangebot)?
- Gibt es einen experimentell erfassbaren Einfluss einzelner oder kombinierter Stressfaktoren auf die elementare (CNSP Stöchiometrie) und isotopische (C, N, S, Mo) sowie Spurenelementsignatur von Makrophyten (*Fucus*)?
- Ist der separate oder kombinierte Einfluss der Stressfaktoren experimentell im Wachstumsverhalten und der Spurenelement- oder Isotopensignatur von biogenen Karbonatbildern (*Spirorbis*) nachzuweisen?
- Welche Variabilität tritt in der elementaren (Stöchiometrie) und isotopischen Zusammensetzung natürlich auftretender *Fucus*-Pflanzen als Funktion der biogeochemischen Randbedingungen im südwestlichen Teil der Ostsee auf?

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 0.3:

Das CO₂-Labor des IOW ist mit dem analytischen Instrumentarium zur Bestimmung von DIC und AT gemäß dem „state of the art“ ausgestattet und verfügt über langjährige Erfahrung bei der Bestimmung dieser beiden Variablen. Die DIC-Bestimmung erfolgt nach einem coulometrischen Verfahren (SOMMA-System), mit dem eine Genauigkeit von 1 – 2 µmol/kg erreicht werden kann. Für die Alkalinitätsmessung stehen sowohl ein „closed cell“ als auch ein „open cell“ Titrationsverfahren zur Verfügung. Die Genauigkeit ist mit < 5 µmol/kg anzusetzen. Für die Kalibrierung dieser Messsysteme wurde certified Carbon Reference Material (CRM, Dr. A. Dickson, UCSD) verwendet. Unter Berücksichtigung gelegentlicher und unvermeidbarer technischer Störungen ist das Labor in der Lage mindestens 1000 Proben pro Jahr zu verarbeiten. Durch die Einführung eines hoch-präzisen spektrophotometrischen pH-Messverfahrens, konnte den BIOACID-Partnern zudem auch bei der Bestimmung dieser Variablen Unterstützung angeboten werden.

WP 1.4:

Langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet des marinen Stickstoffumsatzes und der Stickstofffixierung durch Cyanobakterien liegen am IOW vor. Zudem wird ein gut ausgestattetes Labor zur Analyse

stabiler Isotope in marinen Proben betrieben. Im Rahmen des BIOACID Projektes wird die Expertise genutzt, um das Verständnis dieser Prozesse unter erhöhten CO₂ Konzentrationen zu vertiefen. Die Reaktion von Mikroorganismen auf die zukünftige (prognostizierte) Ozeanversauerung und die damit einhergehende Beeinflussung von Nährstoffkreisläufen und Gasemissionen in der Ostsee, wurde in der ersten Projektphase von BIOACID im Labormaßstab untersucht und bietet erste Hinweise auf die Fixierungsleistung von stickstofffixierenden Cyanobakterien wie *Nodularia* und *Dolichosperma*. Die enge Zusammenarbeit zwischen den Teilprojekten 1.2.1- 1.2.5 in der ersten Projektphase resultierte in der gemeinsamen Planung und die Durchführung von Experimente am IOW (in Batchkultur) und AWI (in Chemostatkultur). Aus dieser Zusammenarbeit resultierten mehrere gemeinsame Publikationen, welche unter Punkt 6. aufgelistet sind.

WP 1.12:

Bereits während der BIOACID Phase I wurde Erfahrung zur Analyse von Fitness- und Wachstumsreaktionen bakterieller Isolate entlang von pH Gradienten gesammelt. Weiterhin bestehen in der Arbeitsgruppe spezielle Kenntnisse zu Hochdurchsatz Sequenzierung und deren Auswertung, Isolierung wichtiger Bakteriengruppen und in situ Quantifikationsmethoden. Auch wurde in vorangegangenen Experimenten bereits Erfahrung mit Ostsee Mesokosmos Experimenten gesammelt (AQUASHIFT), woraus ausführliche Kenntnisse zu bakteriellen Kohlenstoffflüssen und der bakteriellen Gemeinschaftszusammensetzung in der westlichen Ostsee resultierten.

WP 2.6:

Alle Antragsteller haben eine langjährige wissenschaftliche Erfahrung und die ersten beiden Antragsteller sind als Geochemiker international renommiert und etabliert. Als early-career scientist bringt Frau Dr. Taubner als Biologin substantielle Erfahrung mit den Bildungsmechanismen biogener calcifizierender Organismen mit in das Antragskonsortium ein. Alle drei Antragsteller sind besonders in der biogeochemischen Forschung zu Proxy-Bildungsmechanismen, Küstenökosystemen und den Wechselwirkungsprozessen zwischen aquatischen Lösungen und (biogenen) carbonatischen Festphasen ausgewiesen.

Prof.Dr. Michael E. Böttcher leitet seit 2016 die Arbeitsgruppe Geochemie & Isotopen-BioGeoChemie am Leibniz IOW, hat die Professur für Marine Geochemie an der EMA Universität Greifswald inne und ist assoz. Mitglied der MatNat Fakultät der Universität Rostock. Er hat über die Biogeochemie und Isotopengeochemie der benthisch-pelagische Kopplung für Kohlenstoff, Schwefel, und redox-sensitive Metallen an Küstenstandorten der Nord- und Ostsee gearbeitet. Innerhalb des Verbundprojektes BIOACID I hat MEB über den Einfluss von benthischen Prozessen auf die Pufferkapazität einer versauernden Nordsee gearbeitet.

Prof.Dr. Anton Eisenhauer leitete das Isotopengeochemie-Labor am GEOMAR, welches eine der führenden Institutionen zur Analyse sogenannter nicht-tradioneller Isotopensysteme (z.B, Mg, Ca, Sr, B Isotope) ist. Innerhalb von BIOACID I wurden Untersuchungen zur Spurenelement- und Isotopenfraktionierung in kultivierten Korallen, in Reaktion auf Änderungen von temperatur und Meerwasser pH durchgeführt.

Dr. Taubner ist zur Zeit als PostDoc am GEOMAR beschäftigt und arbeitete zur Biogeochemie und Physiologie von biogenen Karbonaten (Korallen und korall. Algen). Sie hat Korallen experimentell in unterschiedlichen T und OA Milieus kultiviert, um die regulierende Rolle für den Element- und Isotopen-Transport und der Biomineralisation in marinen kalzifizierenden Organismen zu verstehen. In BIOACID I waren Ihre Arbeiten fokussiert auf die Element- und Isotopen-Fraktionierung in kultivierten juvenilen Korallen, in Reaktion auf Ozeanversauerung und Nährstoff-Status. Ein Ussing-Kammer-Assay wurde für die Untersuchung von Ionentransport über Korallen-Gewebe entwickelt.

Die im Projekt angestellte Mitarbeiterin, Frau Dr. Winde, hatte in der AG Geochemie & Isotopen-BioGeoChemie des IOW bereits Ihre Doktorarbeit im Rahmen des BIOACID I Projektes erstellt, in der sie intensive Erfahrungen mit den Problemen der Ozeanversauerung, der Biogeochemie und des gelösten Karbonatsystems von Küstenmeeren erhalten konnte.

Am IOW waren neben dem PI zeitweise 2 Mitarbeiter*innen aus der Grundausrüstung des IOW sowie kontinuierlich 1 Projektangestellte am Vorhaben beteiligt. Da die BMBF-Finanzierung der Projektangestellten bereits im März 2015 auslief, wurde sie aus Hausmitteln des IOW bis zum Projektabschluss im September 2015 weiterfinanziert. Am GEOMAR hat ein weiterer Wissenschaftler (Dr. Böhm) die Untersuchungen an *Spirorbis* begleitet. Darüber hinaus wurden Qualifizierungsarbeiten, 1 BSc-Arbeit und 1 MSc-Kartierung (EMA Universität Greifswald) sowie 1 MSc-Arbeit (CA Universität Kiel) zum Projekt innerhalb der Projektlaufzeit erfolgreich fertiggestellt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 0.3:

Die Planung und der Ablauf der Arbeiten des Referenzlabors waren vorgegeben durch die Bedürfnisse der Projektpartner, denen durchweg Rechnung getragen werden konnte. Insgesamt wurden im Berichtszeitraum für BIOACID II 509 Analysen, vorwiegend zur Bestimmung von DIC, durchgeführt. Dabei wurden insbesondere die Arbeiten am IOW und dem GEOMAR unterstützt.

Weiterhin wurde ein Laborvergleich bezüglich der Analyse von DIC, AT und pH zwischen den an BIOACID II beteiligten CO₂ Laboren organisiert, an dem sich neben dem IOW als Referenzlabor noch 5 weitere Labore (2 GEOMAR (2), AWI/Bremerhaven (1), AWI/Sylt(1), MPI/Bremen(1)) beteiligten.

Es zeigten sich insbesondere bei der DIC-Bestimmung von zwei Laboren erhebliche, nicht tolerierbare Abweichungen von bis zu 100 µmol/kg vom Referenzwert (IOW), die sich durch unsachgemäße Probenbehandlung (Filtration) und offensichtlich ungeeignetes Kalibrierungsmaterial (Karbonatstandards) erklären ließen.

WP 1.4:

Der Ablauf des Vorhabens entsprach weitestgehend den Planungsvorgaben aus dem Antrag. Eine Abweichung ergab sich durch den Abbruch der KOSMOS Kampagne Gran Canaria, Spanien, 2014. Der ursprünglich im Februar 2014 geplante Versuch wurde von Oktober bis Dezember 2014 an gleicher Stelle wiederholt. Hierbei waren die Unterstützung und das Verständnis des Projektträgers äusserst hilfreich. Die KOSMOS Kampagne in Kristineberg, Schweden, im Jahr 2013 erfolgte wie im Antrag angegeben.

WP 1.12:

Der Ablauf des Vorhabens weicht von der ursprünglichen Planung ab, da die sehr detaillierte bioinformatische und statistische Auswertung der Mesokosmosexperimente sehr zeitintensiv war. Weiterhin befand sich der bearbeitende Doktorand Benjamin Bergen während der Projektlaufzeit 5 Monate in Elternzeit. Daraus resultiert, dass die Anfertigung der zweiten Veröffentlichung noch in Arbeit ist und die Daten erst 2015 auf dem Aquatic Sciences Meeting (ASLO) und dem Symposium of Aquatic Microbial Ecology (SAME) präsentiert wurden. Weiterhin waren die Ergebnisse der für 2014 geplanten Kultivierungsversuche nicht deckungsgleich mit dem Mesokosmosexperiment und dementsprechend konnten wir keinen derjenigen Organismen isolieren, welche in den Experimenten eine starke Reaktion auf Erhöhung der CO₂ Konzentration zeigten. Dies wäre eine Grundlage für die geplanten Evolutionsexperimente gewesen, welche deshalb nicht durchgeführt wurden. Stattdessen

wurden in enger Zusammenarbeit mit WP 1.11 und WP 1.8 die direkten und indirekten CO₂ Effekt beeinflussenden Faktoren durch Analysen des organischen Materials intensiv untersucht.

WP 2.6:

Der Ablauf des Vorhabens entsprach weitgehend den Planungsvorgaben aus dem WP-Antrag und die erhaltenen und noch zu erwartenden Resultate können als exzellent betrachtet werden. Anders, als ursprünglich zeitlich geplant, wurden die Benthokosmen-Experimente mit *Fucus* auf Sylt in das Jahre 2014 verschoben aufgrund von zeitlichen Verzögerungen bei der Etablierung der Vorort-Benthokosmen. Dadurch konnten, wie dem Projektträger frühzeitig mitgeteilt und mit der BIOACID II Projektleitung abgestimmt, Experimente mit *Zostera* im Projektzeitraum nicht durchgeführt werden. dadurch entfiel die Notwendigkeit eines Besatzes der Kosmen mit Sediment und es wurde auf den Einsatz von zeitintegrierenden DET/DGT Probenehmern sowie der Einsatz von Mikrosensor-Messungen in den Kosmen verzichtet. Die ursprünglich geplanten zu Kiel vergleichenden Experimente an *Spirorbis* konnten auf Sylt nicht durchgeführt werden, da keine ausreichenden epibiontischen Bestände auf *Fucus* gefunden wurden.

In Abstimmung mit allen an den Kieler Benthokosmen-Experimenten beteiligten Teilprojekte und Absprache mit der BIOACID II Koordination wurde das experimentelle Programm für 2014/15 auf *Fucus* sowie den stress-induzierenden Einfluss von Temperatur, CO₂-Partialdruck und Nährstoffangebot (Eutrophierung) konzentriert. Dieses wurde zusätzlich aufgrund der Verzögerungen durch Probleme im experimentellen Ablauf (z.B., temporärer Ausfall einzelner Kosmen) notwendig. Der ursprünglich geplante Zeitplan von Projektantrag wird daher weitgehend eingehalten und nur die experimentellen Randbedingungen um ein „Hypoxia Event“ reduziert.

Zu Projektbeginn von BIOACID II wurde erkannt, dass die Dynamik des für die neu etablierten Benthokosmen in Kiel im kontinuierlichen Durchfluss verwendeten Oberflächenwassers aufgrund der komplexen Mischungsverhältnisse in der Kieler Bucht zeitlich und räumlich sehr variable ist und sich diese in der Zusammensetzung der Eingangslösungen für die Benthokosmen demzufolge wiederfindet. Anders als ursprünglich geplant, wurde daher die Beprobungsfrequenz im Eingangswasser und den experimentellen Lösungen deutlich erhöht. Um die tägliche biologisch-induzierte Dynamik erfassen zu können, wurden die Beprobungskampagnen weiter um regelmäßige sehr arbeitsaufwendige, zeitlich hochaufgelöste 24-Stunden-Zyklen erweitert. Diese Herangehensweise hat sich für das biogeochemische Prozessverständnis innerhalb der Benthokosmen als äußerst hilfreich erwiesen. Der hierdurch massiv erhöhte zeitlich personelle Aufwand bei der Probenahme vorort und der späteren Analyse im Labor führte zu einer Fokussierung der geplanten Habitat-Kartierung der Zusammensetzung von natürlich auftretenden *Fucus*-Pflanzen auf die Kieler Förde. Nachfolgende Ziele wurden im Zeitraum des BIOACID II Projektes erreicht:

- I. Bestimmung der zeitlichen Variabilität der geochemischen und isotopischen Zusammensetzung der Eingangswässer für und verschiedenen experimentellen Lösungen in den verschiedenen Benthocosmos-Systemen an den Standorten Kiel und auf Sylt auf saisonalen, wöchentlichen und stündlichen (24 h Zyklen) Zeitskalen.

Experimentelle Kalibration der kompositionellen (Stöchiometrie, stabile Isotope (C, N, S, Mo)) Reaktion der neu gewachsener *Fucus*-Biomasse in den Benthocosmen auf separaten und kombinierten Stress (Temperatur, CO₂ Partialdruck, Nährstoffangebot) an den Standorten in Kiel und auf Sylt.

Experimentelle Kalibration der Wachstumsbedingungen und kompositionellen (stabile Isotope, Spurenelemente) Reaktion des neu gewachsener *Spirorbis spirorbis* Karbonatschale in den

Benthocosmen auf separaten und kombinierten Stress (Temperatur, CO₂ Partialdruck, Nährstoffangebot) am Standort in Kiel.

Kartierung der natürlichen Variabilität der stöchiometrischen (CNSP) und isotopischen (CNS) Zusammensetzung von *Fucus* in der Kieler Förde in Bezug auf die Zusammensetzung der umgebenden wässrigen Lösungen.

Im Rahmen des WP 2.6 fand ein regelmäßiger und reger akademischer intra-und inter-Projekt Austausch u.a. mit den KollegInnen des AWI Sylt, der Universität Rostock und, auch analytisch-beratend, dem GEOMAR Kiel statt. Dieser wurde u.a. durch regelmäßige Treffen in Kiel, aber auch auf Sylt und einmal in Warnemünde unterstützt sowie durch die gemeinsame Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse bei den jährlichen Statusseminaren.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*
- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 0.3:

Die analytischen Arbeiten des Referenzlabors basierten auf den langjährigen Erfahrungen im IOW und bedienten sich analytischer Verfahren, die gegenwärtig den „state of the art“ der marinen CO₂ Analytik darstellen. Die Verfahren orientieren sich stark an den Empfehlungen, die im „Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements“ von Dickson, A.G., Sabine, C.L. and Christian, J.R. (2007) publiziert wurden.

WP 1.4:

Die Arbeit basiert auf dem aktuellen Kenntnisstand der Fachliteratur und der vorangegangenen Experimente der ersten Projektphase. Die verwendeten Methoden sind dort beschrieben. Über den Einfluss von erhöhtem pCO₂ auf diazotrophe Cyanobakterien der Ostsee ist immer noch wenig bekannt und Experimente zeigen widersprüchliche Reaktionen. Zwei Veröffentlichungen (Czerny et al. 2009, Eichner et al. 2014) berichtet von einem negativen Effekt erhöhten CO₂ auf Wachstum und Fixierung von *Nodularia spumigena* im Labor, einer weit verbreiteten Art in der Ostsee. Wannicke et al. (2012) zeigten eine Stimulation derselben Art im Labor, während Karlberg und Wulf (2013) keinen Effekt einer natürlichen Gemeinschaft fanden. Für Cyanobakterien tropischer Gewässer vor allem *Trichodesmium* (nicht Heterocysten tragend) ergab sich allerdings ein einheitlicher stimulierender Effekt der Ozeanversauerung (e.g. Hutchins et al 2007).

Zitierte Literatur:

- Czerny J, Barcelos e Ramos J, Riebesell U (2009) Influence of elevated CO₂ concentrations on cell division and nitrogen fixation rates in the bloom-forming cyanobacterium *Nodularia spumigena*. *Biogeosciences* 6: 1865-1875
- Eichner, M., Rost, B., and Kranz, S. A.: Diversity of ocean acidification effects on marine N₂ fixers, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 457, 199–207, doi: 10.1016/j.jembe. 2014.04. 015, 2014.
- Hutchins et al (2007) CO₂ control of *Trichodesmium* N₂ fixation, photosynthesis, growth rates, and elemental ratios: Implications for past, present, and future ocean biogeochemistry. *Limnol. Oceanogr.*, 52(4), 1293–1304
- Karlberg, M. and Wulff, A.: Impact of temperature and species interaction on filamentous cyanobacteria may be more important than salinity and increased pCO₂ levels, *Marine Biology*, 160, 2063–2072, doi:10.1007/s00227-012-2078-3, 2013.
- Wannicke, N., Endres, S., Engel, A., Grossart H.P., Nausch, M., Unger, J., Voss, M. Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂ – Part I: Growth, production and nitrogen cycling. doi: 10.5194 / bgd-9-2481-2012.

WP 1.12:

Während der BIOACID Phase I konnte der Einfluss von pH und gelöstem anorganischem Kohlenstoff auf das Isolat eines chemoautotrophen Bakterienstammes („*Sulfurimonas Gotlandica*“ str. GD1) bestimmt werden (Mammitzsch et al., 2014). Die Ergebnisse zeigen, dass die vorhergesagten Änderungen in pH und gelöstem anorganischem Kohlenstoff keinen Einfluss auf Aktivität und Wachstum dieses potentiellen chemoautotrophen Schlüsselorganismus haben werden.

Der Effekt von erhöhten CO₂ Konzentrationen auf heterotrophe Bakterien ist unklar. Einige Studien fanden keinen Effekt auf bakterielle Aktivität und Abundanz (Allgaier et al., 2008; Krause et al., 2012; Newbold et al., 2012; Oliver et al., 2014), wohingegen andere von erhöhter Abundanz und Aktivität berichten (Grossart et al., 2006; Endres et al., 2014). Kürzlich erschienene Studien berichten entweder von keinem Effekt auf die Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft (Newbold et al., 2012; Oliver et al., 2014) oder von schwachen Veränderungen wegen Veränderungen der Phytoplankton Gemeinschaft (Allgaier et al., 2008; Arnosti et al., 2011; Roy et al., 2013).

- Allgaier, M., Riebesell, U., Vogt, M., Thyrraug, R., and Grossart, H.-P. (2008) Coupling of heterotrophic bacteria to phytoplankton bloom development at different pCO₂ levels: a mesocosm study. *Biogeosciences* 5: 1007–1022.
- Arnosti, C., Grossart, H., Mühling, M., Joint, I., and Passow, U. (2011) Dynamics of extracellular enzyme activities in seawater under changed atmospheric pCO₂: a mesocosm investigation. *Aquat. Microb. Ecol.* 64: 285–298.

- Bergen, B., Herlemann, D.P.R., Labrenz, M., and Jürgens, K. (2014) Distribution of the verrucomicrobial clade S partobacteria along a salinity gradient in the Baltic Sea. *Environ. Microbiol. Rep.* **6**: 625–630.
- Endres, S., Galgani, L., Riebesell, U., Schulz, K.-G., and Engel, A. (2014) Stimulated Bacterial Growth under Elevated pCO₂: Results from an Off-Shore Mesocosm Study. *PLoS One* **9**: e99228.
- Grossart, H., Fischerhuetten, A., Allgaier, M., and Passow, U. (2006) Testing the effect of CO₂ concentration on the dynamics of marine heterotrophic bacterioplankton. *Limnol. Oceanogr.* **51**: 1–11.
- Krause, E., Wichels, A., Giménez, L., Lunau, M., Schilhabel, M.B., and Gerds, G. (2012) Small changes in pH have direct effects on marine bacterial community composition: a microcosm approach. *PLoS One* **7**: e47035.
- Mammitsch, K., Jost, G., and Jürgens, K. (2014) Impact of dissolved inorganic carbon concentrations and pH on growth of the chemolithoautotrophic epsilonproteobacterium *Sulfurimonas gotlandica* GD1T. *Microbiologyopen* **3**: 80–88.
- Newbold, L.K., Oliver, A.E., Booth, T., Tiwari, B., Desantis, T., Maguire, M., et al. (2012) The response of marine picoplankton to ocean acidification. *Environ. Microbiol.* **14**: 2293–307.
- Oliver, A.E., Newbold, L.K., Whiteley, A.S., and van der Gast, C.J. (2014) Marine bacterial communities are resistant to elevated carbon dioxide levels. *Environ. Microbiol. Rep.*
- Roy, A.-S., Gibbons, S.M., Schunck, H., Owens, S., Caporaso, J.G., Sperling, M., et al. (2013) Ocean acidification shows negligible impacts on high-latitude bacterial community structure in coastal pelagic mesocosms. *Biogeosciences* **10**: 555–566.

WP 2.6:

Die Arbeit basiert auf dem aktuellen Kenntnisstand der Fachliteratur. Die verwendeten Methoden sind dort beschrieben oder in den AGs der Antragsteller entwickelt worden. Die im vorliegenden Projekt(-verlauf) erstmalig etablierten Benthokosmen sind als Resultat des benthischen BIOACID II Konsortiums gerade in der Fachzeitschrift *Limnology & Oceanography Methods* prominent publiziert worden (Wahl et al., 2015; Pansch et al., 2016).

Makrophyten und biogene Karbonate treten in den Küstenzonen weiter Teile Europas auf. Diese werden im Rahmen des stattfindenden Klimawandels durch die zunehmende Versauerung der Oberflächenwässer, den prognostizierten Anstieg der Temperatur und Änderung der Nährstoffeinträge in seinem Ökosystemzustand verändert werden. Da organische Material und die Karbonat-Schalen sind ideale Matrices für die Fixierung von elementaren und isotopischen Signaturen, die die Änderung einzelner oder kombinierter Stressoren reflektieren können. Neben dem Abbild der Umweltbedingungen und veränderlichen Quellen, können sich ändernden physiologische Bedingungen die sich ausbildenden biogeochemischen und isotopengeochemischen

Faganeli, J., A. Vukovic, F.I. Saleh and J. Pezdic. 1986. C-N-P Ratios and Stable Carbon and Hydrogen Isotopes in the Benthic Marine-Algae, *Ulva-Rigida* C Ag and *Fucus-Virsoides* J Ag. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 102:153-166.

Fry, B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. 1th:1-308.

Gussone, N., G. Langer, S. Thoms, G. Nehrke, A. Eisenhauer, U. Riebesell and G. Wefer. 2006. Cellular calcium pathways and isotope fractionation in *Emiliana huxleyi*. *Geology*. 34:625-628.

Hoshika, A., M. Sarker, S. Ishida, Y. Mishima and N. Takai. 2006. Food web analysis of an eelgrass (*Zostera marina* L.) meadow and neighbouring sites in Mitsukuchi Bay (Seto Inland Sea, Japan) using carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Aquatic Botany*. 85:191-197.

Jaschinski, S., D.C. Brepohl and U. Sommer. 2008. Carbon sources and trophic structure in an eelgrass *Zostera marina* bed, based on stable isotope and fatty acid analyses. *Marine Ecology-Progress Series*. 358:103-114.

- Machas, R., R. Santos and B. Peterson. 2006. Elemental and stable isotope composition of *Zostera noltii* (Horneman) leaves during the early phases of decay in a temperate mesotidal lagoon. *Est. Coast. Shelf Sci.* 66:21-29.
- Matsuo, H., N. Matsuka, K. Omori, Y. Koizumi and I. Takeuchi. 2010. Difference in the stable nitrogen isotope ratio of *Sargassum piluliferum* (Phaeophyceae: Fucales) associated with fish and pearl oyster aquaculture facilities. *Fisheries Science.* 76:147-153.
- Oakes, J.M. and R.M. Connolly. 2004. Causes of sulfur isotope variability in the seagrass, *Zostera capricorni*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 302:153-164.
- Pansch, A., Winde, V., Asmus, R., Asmus, H. 2016. Tidal benthic mesocosms simulating future climate change scenarios in the field of marine ecology. *Limnology and Oceanography: Methods*, on-line, 1-2016.
- Papadimitriou, S., H. Kennedy, R.M.N.V. Rodrigues, D.P. Kennedy and T.H.E. Heaton. 2006. Using variation in the chemical and stable isotopic composition of *Zostera noltii* to assess nutrient dynamics in a temperate seagrass meadow. *Organic Geochemistry.* 37:1343-1358.
- Ries, J.B., A.L. Cohen and D.C. McCorkle. 2009. Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO₂-induced ocean acidification. *Geology.* 37:1131-1134.
- Savage, C. and R. Elmgren. 2004. Macroalgal (*Fucus vesiculosus*) $\delta^{15}\text{N}$ values trace decrease in sewage influence. *Ecological Applications.* 14:517-526.
- Steinarsdottir, M., A. Ingólfsson and E. Ólafsson. 2010. Field evidence of differential food utilization of phytoplankton collected from *Fucus serratus* indicated by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotopes. *ESTUARINE COASTAL AND SHELF SCIENCE.* 88:160-164.
- Wahl, M., Buchholz, B., Winde, V., Colomb, D., Guy-Haim, T., Müller, J., Rilov, G., Scotti, M., Böttcher, M.E. 2015. A novel mesocosm concept for the simulation of shallow underwater climates: The Kiel Outdoor Benthocosms (KOB). *Limnology and Oceanography: Methods*, 13: 651-663.
- Wahl, M., H. Link, N. Alexandridis, J.C. Thomason, M. Cifuentes, M.J. Costello, B.A.P. da Gama, K. Hillock, A.J. Hobday, M.J. Kaufmann, S. Keller, P. Kraufvelin, I. Kruger, L. Lauterbach, B.L. Antunes, M. Molis, M. Nakaoka, J. Nystrom, Z. bin Radzi, B. Stockhausen, M. Thiel, T. Vance, A. Weseloh, M. Whittle, L. Wiesmann, L. Wunderer, T. Yamakita and M. Lenz. 2011. Re-Structuring of Marine Communities Exposed to Environmental Change: A Global Study on the Interactive Effects of Species and Functional Richness. *PLoS ONE.* 6

Weitere verwendete Literatur ist den jeweiligen Publikationen zu entnehmen, bzw. wird diesen zu entnehmen sein.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 0.3:

Eine enge Zusammenarbeit entwickelte sich insbesondere mit den im IOW sowie beim GEOMAR tätigen BIOACID-Arbeitsgruppen.

WP 1.4:

Im Zuge der KOSMOS Experimente erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen vor Ort. Zum einen mit dem Sven Lovén Centre for Marine Sciences der Universität Gothenburg in Kristineberg, Schweden und dessen Mitarbeitern 2013. Zum anderen mit dem Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN) in Taliarte, Gran Canaria 2014.

WP 1.12:

Die Mesokosmos Experimente wurden in enger Zusammenarbeit mit WP 1.2 und WP 1.11 durchgeführt. Die darauf folgende Analyse des organischen Materials wurde mit WP 1.8 durchgeführt.

WP 2.6:

Es fand eine enge Zusammenarbeit des WP2.6 mit den weiteren Teilprojekten (2.1-2.5) des benthischen BIOACID II Konsortiums im Rahmen der Experimente und deren Datenauswertung statt. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit diesen Teilprojekten erfolgte eine Zusammenarbeit mit dem GEOMAR (AG Wahl) und AWI Sylt (AG Asmus). Ferner wurden den am GEOMAR und Universität Rostock angesiedelten WPs 2.4 (Karsten) und 2.5 (Wahl) analytische und interpretatorische Unterstützung zum aquatischen Karbonatsystem gegeben. DIC Analysen wurden im Rahmen der analytischen BIOACID II Infrastruktur durch das WP0.3 (Schulz-Bull) ermöglicht. Die Vermessung der Isotopensignatur von gelöstem Mo und assimiliertem Mo im *Fucus*-Gewebe fand in Kollaboration mit Prof. T. Nägler an der Universität Bern (Schweiz) statt. Projektbegleitend fanden regelmäßige Treffen und Diskussionen mit BIOACID I Projektpartnern (Pätsch; Thomas) zur weitergehenden Auswertung und Publikation der in der ersten Projektphase erhalten Ergebnisse statt.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 0.3:

Die Analytik des Referenzlabors erfüllte die vorgegebenen Richtwerte. Dies ergab eine Teilnahme an einer von A. Dickson organisierten Intercalibration im Jahre 2013, deren Ergebnisse dem Labor seit Anfang 2014 vorliegen. In den Tabellen 1-3 sind die Ergebnisse dieser Intercalibration zusammengestellt. Dabei ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den Messungen aus frisch geöffneten und bereits für eine andere Messung verwendeter Flasche für die Parameter CT und pH zu erwarten waren. Dies beruht auf einen Gasaustausch mit dem Headspace der Probe (N₂, wenn zuerst CT gemessen, Umgebungsluft wenn zuerst pH gemessen). Die Alkalinität wird nicht durch den Gasaustausch beeinflusst. Daher wurde die Alkalinität aus den bereits zuvor für die CT- und pH-Messungen verwendeten Flaschen zuletzt bestimmt.

Tabelle 1:Ergebnisvergleich Intercalibration CT

	Sollwert	Unsicherheit	Istwert	Differenz zum Sollwert
Batch A, erste Messung aus Flasche [µmol/kg]	2015.72	± 0.74	2014.7	-1.02
Batch A, nach pH Messung µmol/kg]	2015.72	± 0.74	2014.3	-1.42
Batch B, erste Messung aus Flasche [µmol/kg]	2141.94	± 0.37	2143.1	1.16
Batch A, nach pH Messung µmol/kg]	2141.94	± 0.37	2140.1	-1.84

Tabelle 2:Ergebnisvergleich Intercalibration AT

	Sollwert	Unsicherheit	Istwert	Differenz zum Sollwert
Batch A	2215.08	± 0.49	2216.7	1.62
Batch A, nach 24 h	2215.08	± 0.49	2223.6 [*]	8.52 [*]
Batch B	2216.26	± 0.52	2217	0.74
Batch B, nach 24 h	2216.26	± 0.52	2216.3	0.04

[*] Ausreißer, da Probleme bei Referenzwertmessung, im Messablauf deutlich zu erkennen, daher würde so ein Wert in der Praxis erneut gemessen

Tabelle 3:Ergebnisvergleich Intercalibration pH

	Sollwert	Unsicherheit	Istwert	Differenz zum Sollwert
Batch A, erste Messung aus Flasche [total scale at 25 °C]	7.8796	± 0.0019	7.873	-0.0066
Batch A, nach CT Messung [total scale at 25 °C]	7.8796	± 0.0019	7.879	-0.0006
Batch B, erste Messung aus Flasche [total scale at 25 °C]	7.5541	± 0.0020	7.55	-0.0041
Batch B, nach CT Messung] [total scale at 25 °C]	7.5541	± 0.0020	7.565	0.0109

WP 1.4:

Die Milestones wie im Antrag angegeben, wurden zum vorgegebenen Zeitpunkt erreicht, mit Ausnahme des KOSMOS Experimentes Gran Canaria. Dieser Milestone verschob sich um 6 Monate nach hinten.

Optimierung der Methode zur N ₂ Fixierungsmessung	Monat 3
Datensatz zur natürlichen Variabilität der N ₂ Fixierung in der zentralen Ostsee	Monat 5
(1) Daten zum N-Umsatz –Exp. KOSMOS I (Kristineberg)	Monat 10
(2) Daten zum N-Umsatz- Exp. KOSMOS II (Gran Canaria)	Monat 20
(3) Abschließende Beurteilung der Wachstumsregulation und des Stickstoffumsatzes von Primärproduzenten und Bakterien unter verschiedenen pCO ₂ Bedingungen	Monat 36

➤ *Milestones (1) Optimierung der Methode zur N₂ Fixierungsmessung*

Nach Publikation einer Arbeit zur Löslichkeit des markierten ¹⁵N₂ Gases, die deutlich erhöhte Raten mit gelöstem gegenüber gasförmigem zugegebenen Gas vermuten ließ (Mohr et al. 2010), wurden einige vergleichende Studien durchgeführt, die diese Annahme stützten (Wilson et al. 2012, Grosskopf et al. 2012). Daher fanden Experimente zur vergleichenden Analyse der Mohr et. al. 2010 und Montoya et. al. 1996 Methode im Labormaßstab und im Freilandexperiment statt. Die Ergebnisse werden zurzeit statistisch ausgewertet. Es zeigt sich jedoch für die Ostsee keine Erhöhung der Fixierungsraten durch die Anwendung der Methode mit gelöstem ¹⁵N₂ gas (Fabian, Diplomarbeit 2012).

➤ *Milestones (2) Datensatz zur natürlichen Variabilität der N₂ Fixierung in der zentralen Ostsee*

Der Datensatz zur Variabilität der N₂ Fixierung in der Ostsee, unter Berücksichtigung des natürlichen pCO₂ Gradienten der Ostsee von West nach Ost wurde im Juli 2012, während der Meteor Ausfahrt M87/4, erhoben. Der vollständig ausgewertete Datensatz wird zurzeit zur Veröffentlichung vorbereitet (Fabian et al. in prep., Wannicke et al. in prep.). Es zeigte sich eine Stimulation der Produktion von Cyanobakterien in einer natürlichen Plankton Gemeinschaft in der Ostsee (C und N₂ Fixierung, Abbildung 1). Zudem konnte ein Zusammenhang zwischen dem erhöhten pCO₂ und einer erhöhten Toxin Produktion (Nodularin) nachgewiesen werden. Dieser Befund könnte von sozioökonomischer Bedeutung sein und sollte in der Zukunft weiter untersucht werden.

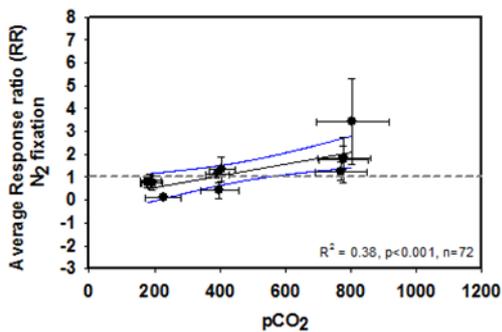


Abbildung 1. Reaktion der Stickstofffixierung auf erhöhten CO₂, bestimmt in einem Tankversuch 2012. Werte größer als 1 weisen auf eine Stimulation der Fixierung gegenüber der Kontrolle (380 μatm pCO₂) hin. Werte kleiner als 1 zeigen eine Verringerung gegenüber der Kontrolle (380 μatm pCO₂).

➤ *Milestones (3) Daten zum N-Umsatz –Exp. KOSMOS I (Kristineberg)*

Während der Frühjahrsblüte vor Südschweden wurde kein Effekt von pCO₂ auf die neue Produktion und den Umsatz von Stickstoff nachgewiesen. Es zeigte sich jedoch nach dem Zusammenbruch der Phytoplanktonblüte eine höhere Bedeutung der recycelten Produktion basierend auf der Remineralisation von organischem Material und der Nutzung der freiwerdenden Stickstoffkomponenten.

➤ *Milestones (4)- Daten zum Stickstoff- Umsatz- Experiment KOSMOS II (Gran Canaria) 1.0*

Im Zeitraum Februar bis April 2014 sollte das KOSMOS Experiment auf Gran Canaria in der Bucht von Melenara stattfinden. Hierzu wurden 9 Mesokosmen mit verschiedenen pCO₂ Konzentrationen in der Bucht von Melenara verankert, welche über einen gesamten Zeitraum von ca. 2 Monaten beprobt werden sollten. Auf Grund von starken Winden wurden jedoch mehrere Mesokosmen beschädigt, so dass die Beprobung am 19.02.2014 abgebrochen wurde. Eine Wiederholung des KOSMOS Experimentes wurde für Ende 2014 festgelegt.

Ein alternatives Experiment in zeitlicher Fortsetzung des KOSMOS Experimentes wurde in kleinerem Maßstab von Master Student/innen geplant und durchgeführt (vom IOW waren dies Regina Kolzenburg und Stefanie Linsenbarth), um Daten für die beiden Masterarbeiten zu gewinnen. Gewählt wurden 50 L Beutel, in welche Wasser aus der Bucht von Melenara eingeschlossen wurde. Als Arbeitshypothese diente die Annahme, dass die Stickstofffixierung durch erhöhte pCO₂ Werte gerade im oligotrophen Ozean stimulierend auf Cyanobakterien wirkt und diese daraufhin eine größere Bedeutung für die Ernährung von Zooplankton einnehmen. Es zeigte sich jedoch eine Blüte von Diatomeen mit max. 5.8±4.7 [mg/m³], wobei Cyanobakterien, die durch einzellige Picocyanobakterien wie *Synechococcus* und *Prochlorococcus* dominiert wurden, eher einen geringen Anteil an der Biomasse ausmachten mit max. (1.7±1.1 C[mg/m³]). Auf Grund der geringen Abundanz der Cyanobakterien befanden sich auch die Stickstofffixierungsraten an der Nachweisgrenze, eine Weitergabe von N in das Nahrungsnetz war nicht nachweisbar. Zudem ist eine Limitierung durch Mikronährstoffe nicht ausgeschlossen (z.B. Eisen, Molybdän). Das Experiment wurde Ende 2014 wiederholt und befindet sich in der Auswertung.

➤ *Milestones (4)- Daten zum Stickstoff- Umsatz- Experiment KOSMOS II (Gran Canaria) 2.0*

Im Zeitraum September bis Dezember 2014 erfolgte die zweite Kampagne des KOSMOS Experimentes. In neun Mesokosmen, die in der Bucht von Gando verankert waren, wurden ansteigende $p\text{CO}_2$ Konzentrationen eingestellt und über einen gesamten Zeitraum von 2 Monaten beprobt wurden. Auch hier lag der Fokus der Arbeiten auf der Messung der Stickstofffixierungsraten. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Raten insgesamt deutlich über den in der ersten Kampagne bestimmten Raten lagen (Abbildung 2). Es zeigt sich ein Trend zu höheren Raten bei höherem $p\text{CO}_2$ und kurz nach der Zugabe von Tiefenwasser. Möglich ist daher, dass die Stimulation durch den Eintrag von Phosphat mit dem Tiefenwasser herrührt.

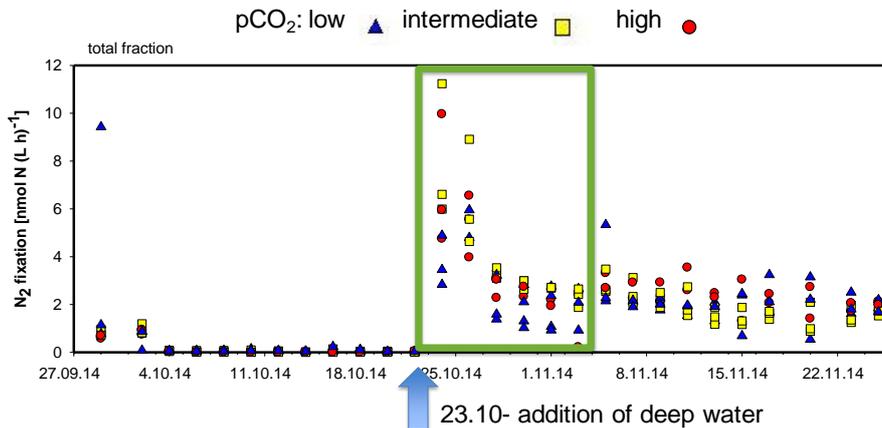


Abbildung 2. Veränderung der Stickstofffixierung in den Mesokosmen im November 2014. Blau= geringer $p\text{CO}_2$ (400 ppm), gelb = mittlerer $p\text{CO}_2$ (600-1000 ppm), rot = hoher $p\text{CO}_2$ (1250-2000 ppm).

➤ Milestone (5) Abschließende Beurteilung der Wachstumsregulation und des Stickstoffumsatzes von Primärproduzenten und Bakterien unter verschiedenen $p\text{CO}_2$ Bedingungen

Die abschließende Beurteilung der Wachstumsregulation wird in einer Meta-Analyse der bisher durchgeführten BIOACID Experimente im Rahmen von BIOACID 3 veröffentlicht.

WP 1.12:

Die Zuwendungen wurden für die Durchführung der Experimente sowie für die Aufarbeitung der dabei anfallenden Proben verwendet. Der Doktorand wird dabei die Daten für seine Dissertation nutzen Während der BIOACID Phase II wurden folgende Ergebnisse erzielt:

I: Mesokosmos Experimente 2012 und 2013:

Es wurden zwei Mesokosmosexperimente (beschrieben in WP 1.2, Organisation Geomar, Kiel) durchgeführt, um die Reaktion der bakteriellen Gemeinschaft auf veränderte CO_2 - und Temperaturszenarien zu untersuchen und potentielle Schlüsselorganismen und deren Reaktionen zu identifizieren. Es wurden Proben zur Analyse der bakteriellen Diversität, Abundanz und Aktivität genommen, mit dem Fokus auf dem Maximum der Phytoplanktonblüte. Zur genaueren Analyse wurde die bakterielle Diversität in 92 Proben aus beiden Mesokosmosexperimenten mittels 454-Pyrosequenzierung untersucht. Begleitend zur bakteriellen Diversitätsanalyse wurden durch WP 1.11 zur Verfügung gestellte bakterielle Abundanz- und Aktivitätsdaten, sowie Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) und des gelösten organischen Stickstoffs (DON) ausgewertet und in Bezug gestellt. Weiterhin wurde in Zusammenarbeit mit WP 1.11 die Aminosäurezusammensetzung in den untersuchten Proben bestimmt und als potentieller Einflussfaktor auf die bakterielle Diversität statistisch ausgewertet.

Um die Reaktion der gesamten bakteriellen Gemeinschaft auf veränderte CO₂- und Temperaturszenarien zu untersuchen, wurden zunächst für beide Mesokosmosexperimente die Parameter Aktivität, Abundanz, DOC und DON untersucht. Eine rmANOVA zeigte, dass lediglich der Faktor Temperatur einen signifikanten Einfluss auf die bakterielle Abundanz hatte. Ein schwacher Effekt von erhöhtem pCO₂ auf bakterielle Gemeinschaftsparameter deckt sich mit Angaben aus der Literatur.

Für eine genaue Analyse der bakteriellen Diversität wurden durch 454-Pyrosequenzierung generierte Sequenzdaten analysiert und sowohl bezüglich der Reaktion der gesamten bakteriellen Gemeinschaft als auch der Reaktion spezifischer abundanter Taxa statistisch ausgewertet. Für die Diversitätsanalyse wurden in beiden Experimenten zwei Zeitpunkte während des Phytoplanktonblüten-Maximums und zwei Zeitpunkte während des Blütenabbaus ausgewertet. Die hierbei beobachtete Sukzession der dominierenden Großgruppen, von *Proteobacteria* während des Maximums zu *Bacteroidetes* während des Abbaus, folgte in beiden Experimenten dem aus der Literatur bekannten Verlauf (Abbildung 1).

Um den Einfluss von Temperatur und pCO₂ auf die gesamte bakterielle Gemeinschaft zu überprüfen, wurden multivariate statistische Analysen verwendet. In einer PCoA Analyse konnte ein starker Einfluss von Temperatur und ein schwacher Einfluss von pCO₂ auf die bakterielle Gemeinschaft festgestellt werden und eine PERMANOVA Analyse bestätigte die Signifikanz dieser Effekte (Abbildung 2). Um festzustellen, ob diese Effekte indirekt durch eine Veränderung des Phytoplanktons und somit einer Änderung des für die Bakterien verfügbaren organischen Materials hervorgerufen wurden, wurde die Änderung der Aminosäurezusammensetzung, als Proxy für gelöstes organisches Material, mit den Änderungen in der Bakteriengemeinschaft in Bezug gesetzt. Hierbei konnte kein Zusammenhang festgestellt werden und es ist davon auszugehen, dass die beobachteten Effekte direkt auf die Bakteriengemeinschaft wirkten.

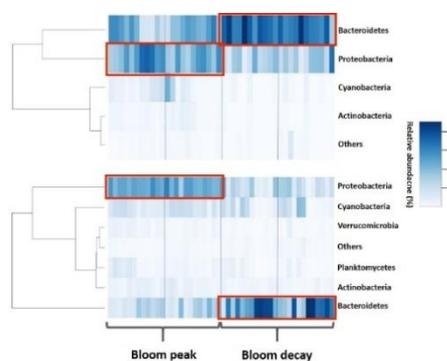


Abbildung 1: Heatmap der relativen Abundanz der bakteriellen Großgruppen in den Mesokosmosexperimenten von 2012 (oben) und 2013 (unten).

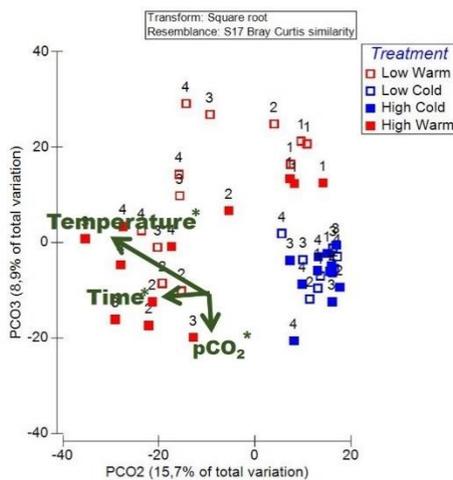


Abbildung 2: Ähnlichkeit der bakteriellen Gemeinschaften zu den vier Probezeitpunkten aus 2012 auf operational taxonomic unit Ebene und der Einfluss der Faktoren pCO₂ und Temperatur

Da zwar ein schwacher aber signifikanter Effekt von pCO₂ auf die Bakteriengemeinschaft gefunden wurde, wurde darauf aufbauend eine „linear discriminant analysis (LDA) effect size (LEfSe)“ Analyse durchgeführt, um direkt von pCO₂ und Temperatur beeinflusste Taxa zu identifizieren. Hierbei konnte für beide Experimente festgestellt werden, dass mehrere hoch abundante Taxa sowohl durch Temperatur, als auch durch pCO₂ signifikant beeinflusst wurden, wodurch eine Verschiebung der abundanten Taxa hervorgerufen wurde. Interessanterweise konnten hierbei mehrfach antagonistische Effekte von erhöhter Temperatur und erhöhtem pCO₂ festgestellt werden.

II: Kultivierung Schlüsselorganismen und Evolutionsexperiment:

Zumächst wurden Vorbereitungen getroffen, um potentielle Schlüsselorganismen mittels Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung zu quantifizieren. Da angenommen wurde, dass das Phylum *Verrucomicrobia* während der Cyanobakterienblüte des zweiten Mesokosmosexperiments einen großen Teil der Bakteriengemeinschaft ausmachen wird, wurden für eine zelluläre Quantifizierung am Fluoreszenzmikroskop spezifische Sonden entwickelt und entlang des Salinitätsgradienten in der Ostsee erfolgreich eingesetzt (Bergen et al., 2014).

Ergänzend zu den beschriebenen Analysen wurden Kultivierungsexperimente zur Isolierung potentieller Schlüsselorganismen aus dem zweiten Mesokosmosexperiment durchgeführt. Hierfür wurde Wasser aus den Mesokosmen auf Agarplatten inkubiert und gewachsene Kolonien wurden vereinzelt. Im Anschluss wurden diese Kolonien sequenziert, um potentielle Schlüsselorganismen zu identifizieren. Da die Kultivierbarkeit von Bakterien bekanntermaßen sehr gering ist, wurden bei diesem Versuch jedoch ausschließlich Sequenzen gefunden, die in dem Mesokosmosexperiment in sehr niedriger Abundanz auftraten. Aus diesem Grund hat das Evolutionsexperiment nicht stattgefunden und stattdessen wurde der Fokus auf die genauere Analyse des gelösten organischen Materials während der Mesokosmosexperimente gelegt.

III: Analyse von gelöstem organischem Material als potentieller indirekter Effekt auf die Bakteriengemeinschaft:

Die höher aufgelöste Analyse von organischem Material wurde durch eine Zusammenarbeit mit WP 1.8 durchgeführt und die Ergebnisse deuten darauf hin, dass erhöhte CO₂ Konzentrationen keinen Einfluss auf die Zusammensetzung des gelösten organischen Materials haben und es somit unwahrscheinlich ist, dass dieses einen indirekten Effekt auf die Bakterien ausübt

WP 2.6:

Die Fragestellungen und die diesbezüglich erhaltenen Ergebnisse lauten:

a) **Wie ist die biogeochemische und isotopische Reaktion der Benthokosmen auf einzelne oder kombinierte extern manipulierte Stressfaktoren (Temperatur, pH/PCO₂, Nährstoffangebot)?**

- Es wurden verschiedene Benthokosmen-Experimente an der Kieler Förde und auf Sylt für die Dauer von jeweils 2-3 Monaten durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher einzelner und kombinierter Stressbedingungen (Temperatur, CO₂-Partialdruck, Nährstoffangebot) auf das Wachstum und die Zusammensetzung von *Fucus vesiculosus* zu untersuchen. Es wurden dabei sowohl die wässrige Lösung als auch das neu gewachsene organische Material untersucht. Aufgrund der Variabilität in der Zusammensetzung des in den Mesokosmen in Kiel eingesetzten Förde-Oberflächenwassers, wurde die Beprobungsfrequenz, gegenüber den ursprünglichen Planungen erhöht und es wurden für jedes Experiment zeitlich hochaufgelöste 24 Stunden-Zyklen um die Response auf den täglichen Rhythmus von Licht und Temperatur auf das biologisch kontrollierte System zu erfassen. Es stellte sich hierbei heraus, dass sich die Zusammensetzung der wässrigen Lösungen in den benthischen Mesokosmen durch den Einsatz der Stress-induzierenden Randbedingungen voneinander deutlich unterscheiden, besonders in den Parametern des gelösten Karbonatsystems (Abb.1 und 2). Aufgrund unterschiedlicher experimenteller Ansätze in den Benthokosmen auf Sylt (temporäre Hälterung des Einlasswassers; kontinuierliche Simulation von tidalen Wasserstandsänderungen; Pansch et al., 2006) und in Kiel (direkter Einlass des ungehälterten Oberflächenwassers (Wahl et al., 2015) sind die biogeochemischen Reaktionen des aquatischen Systems z.T. nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

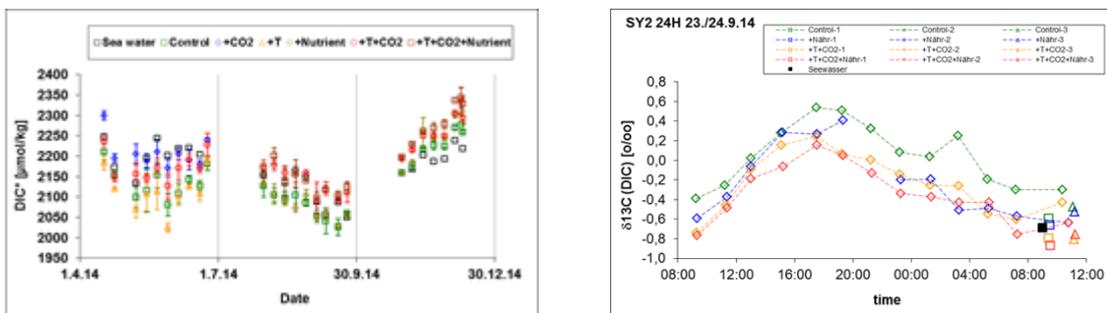


Abb.1 Variationen ausgewählter Parameter (Mittelwerte von Parallelexperimenten) während der Experimente unter verschiedenen Manipulationen in den Benthokosmen der AWI-Wattenmeerstation Sylt im Vergleich zum Einlasswasser basierend auf wöchentlichen (links) Probenahmen und während eines ausgewählten 24-Stunden-Zyklus (rechts). DIC* wurde aus den gemessenen TA und pH Werten mit CO₂SYS berechnet. Deutlich sind die sich saisonal ändernden biologischen Aktivitäten sowie der Photosynthese-Respirations-Zyklus unter den verschiedenen Stressbedingungen im Verlauf erkennbar.

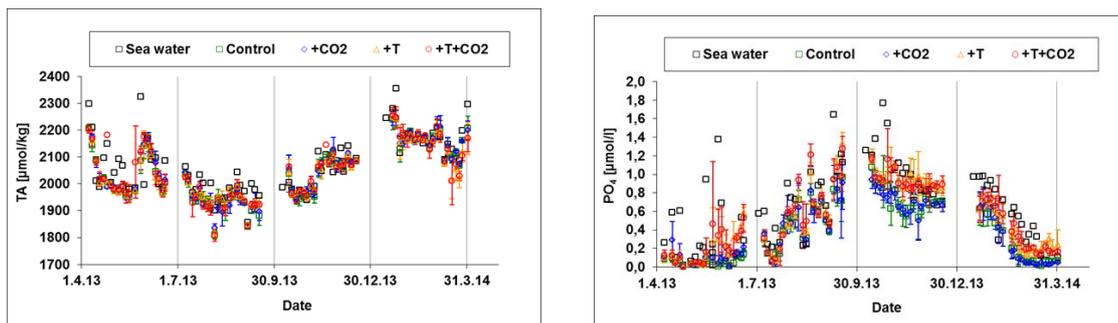


Abb.2 Variationen ausgewählter Parameter (Mittelwerte von Parallelexperimenten) während der Experimente unter verschiedenen Manipulationen in den Benthokosmen des GEOMAR in Kiel im Vergleich zum Einlasswasser basierend auf wöchentlichen Probenahmen (Wahl et al., 2015; Winde & Böttcher, unpubl.). Deutlich sind die sich saisonal ändernden biologischen Aktivitäten sowie die Assimilation von Phosphat unter den verschiedenen Stressbedingungen im Verlauf erkennbar.

- Vor der Durchführung der Experimente mit Nährstoffzugabe erfolgten in Kiel umfangreiche Farbtracer-Experiment zur Ermittlung der Auswaschungs- und Mischungsverhaltens in und damit System-Kenngrößen der Benthokosmen-Becken unter verschiedenen hydrologischen Randbedingungen (Wahl et al., 2015).
- Besonders deutlich wird die Bedeutung der zeitlich hoch aufgelösten 24-Stunden Beprobungen, die für das mechanistische Verständnis der unterschiedlich biologischen Prozessaktivitäten und ihrer biogeochemischen Konsequenzen im Tagesablauf fundamental sind. Die Daten werden auch nach Ablauf des Projektes weiter ausgewertet zu einer quantitativen Bilanzierung der Prozesse führen.

a) Gibt es einen experimentell erfassbaren Einfluss einzelner oder kombinierter Stressfaktoren auf die elementare (CNSP Stöchiometrie) und isotopische (C, N, S, Mo) oder Spurenelementsignatur von Makrophyten (*Fucus vesiculosus*)?

- Die saisonalen und durch die Manipulationen resultierenden Variationen in der Zusammensetzung der wässrigen Lösung fanden sich z.T. in Unterschiedenen der Elementstöchiometrie sowie der isotopischen Zusammensetzung des während der Laufzeit der Experimente neu gebildeten organischen Materials von *Fucus* wieder. Besonders die Temperatur aber auch die Kombination mit CO_2 -Erhöhung haben zu modifizierten Signaturen geführt (Abb.3+4). Gelöstes Sulfat wird isotopisch nahezu unfraktioniert assimiliert und es konnte kein Einfluss von Stressoren ermittelt werden. Die S-Isotopenzusammensetzung von *Fucus* kann daher zur Quellenidentifikation eingesetzt werden. Gelöstes Molybdat wird bei der Assimilation in der organischen Matrix am leichten Isotop angereichert; hier scheint die Temperatur Einfluss auf das Ausmaß der Fraktionierung zu haben (Tab.1), ein Ergebnis welches durch weitere laufende Messungen bestätigt werden soll.

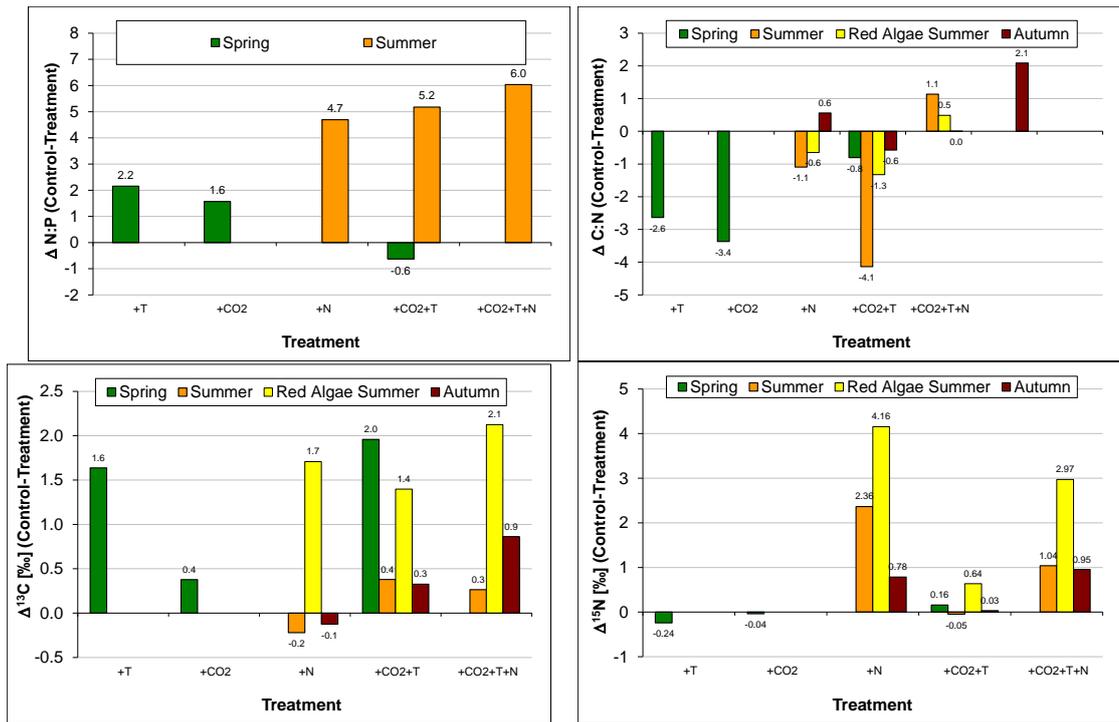


Abb.3 Der Einfluss von experimentellen Randbedingungen auf die stöchiometrische und isotopische Indikatorbildung in *Fucus vesiculosus* Gewebe am Beispiel der Sylter Benthokosmen. Ausgewählte Messungen für im Sommer in den Kosmen mitgewachsenen Rotalgen sind im Vergleich gezeigt. Hinweis: Nicht alle Stressor-Kombinationen konnten aus Sylt zu allen Jahreszeiten parallel untersucht werden.

Experiment	$\delta^{98}\text{Mo}$ (‰)
Kontrolle	1,5
CO ₂	1,5
T	1,1
CO ₂ + T	1,5
Nährstoffe	1,5

Table.1 Mo-Isotopensignatur von *Fucus vesiculosus* Gewebe während eines Experiments im Kieler Benthocosmos (Sommer). Das organische Material ist gegenüber der Zusammensetzung des gelösten Molybdats (etwa +2.2 ‰) am leichten Isotope angereichert. Unterschiede zur Kontrolle sind bisher nur bei singular erhöhter Temperatur erkennbar.

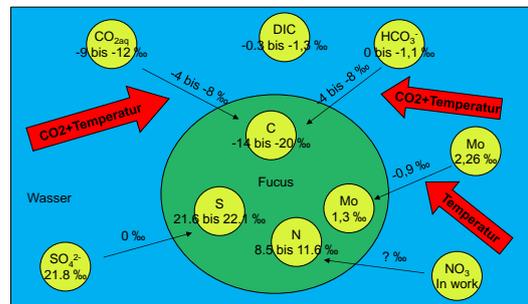


Abb.4 Generelles Schema über die experimentell bestimmten hauptsächlich Einfluss von Stressoren auf die isotopische Indikatorbildung in *Fucus* Gewebe.

Die Daten zur Abschätzung Einfluss der untersuchten Stressoren auf die multi-elementaren und isotonenchemischen Indikatoren in Blasentang werden zur Zeit für die wissenschaftliche Publikation weiter aufbereitet.

- Eine BSc Arbeit (A.-K. Jenner, Uni Greifswald, Betreuer Böttcher, IOW) zum Einfluss von Stressoren auf die Zusammensetzung von *Fucus* in den Benthokosmen auf Sylt wurde im Jahr 2015 im FB Umweltwissenschaften erfolgreich abgeschlossen.

b) Ist der separate oder kombinierte Einfluss der Stressfaktoren experimentell im Wachstumsverhalten und der Spurenelement- oder Isotopensignatur von biogenen Karbonatbildern (*Spirorbis*) nachzuweisen?

An *Spirorbis* konnte in den Benthokosmen in Kiel der Einfluss der Stressoren auf das Wachstum, die sich ausbildende Textur sowie die Spurenelement- und Isotopenverteilung im Vergleich zur Zusammensetzung der wässrigen Lösung ermittelt werden.

Die detaillierten Ergebnisse sind dem Kieler Unter-Unterteil des Abschlussberichtes vom WP2.6 zu entnehmen.

- Eine MSc Arbeit (N.Sha, Uni Kiel, Betreuer: Taubner, Böhm, Böttcher, Eisenhauer, Kiel, IOW) zum Einfluss von Stressoren auf die Zusammensetzung von *Spirorbis* in den Benthokosmen auf Kiel wurde im Jahr 2015 im FB Geowissenschaften erfolgreich abgeschlossen.

c) Welche Variabilität ist für die elementare (Stöchiometrie) und isotopische Zusammensetzung natürlich auftretender *Fucus*-Pflanzen als Funktion der biogeochemischen Randbedingungen im südwestlichen Teil der Ostsee zu beobachten?

Durch eine systematische Kartierung der natürlichen Variabilität der elementaren und isotopischen Zusammensetzung von *Fucus* konnte gezeigt, dass deutlich Variationen zu beobachten sind vor allem den nord-westlichen von süd-östlichen Bereich unterscheiden. Diese Unterscheidung reflektiert die durchschnittliche Zusammensetzung der Wassersäule und ist besonders in den Isotopenverhältnissen ablesbar (Winde et al., 2016). Die Faktoren, die für die Variabilität im Fjord verantwortlich sind, beinhalten Mischungsverhältnisse zwischen Süß- und Nordseewässern, Auf- und Abtriebsphänomene, den Eintrag von kleineren anthropogen beeinflussten Zuflüssen, benthisch-pelagische Austauschprozesse, und submarinem Grundwassereintrag (Winde et al., 2016).

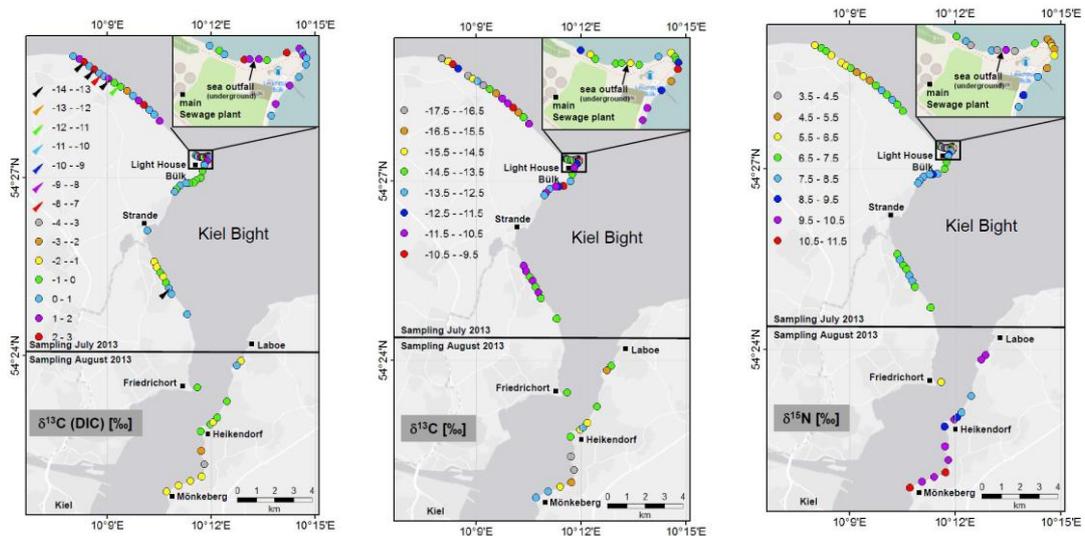


Abb.5 Ausgewählte Ergebnisse der Kartierung der aquatischen Chemie (links) und der korrespondierenden Zusammensetzung von *Fucus* Gewebe (Mitte, rechts) während zweier Sommer-Probenahme-Kampagnen (Winde et al., 2016).

- Eine MSc Kartierung (A. Mahler, Uni Greifswald, Betreuer: Böttcher, IOW) zur Variabilität der elementaren und isotopischen Zusammensetzung von *Fucus* im Vergleich zur Wasserchemie im Kieler Fjord wurde im Jahr 2014 im FB Geographie und Geologie erfolgreich abgeschlossen.
- Die Ergebnisse der verschiedenen Aspekte wurden auf diversen (inter)nationalen Tagungen der wissenschaftlichen Gemeinschaft vor- und zur Diskussion gestellt. Eine Reihe von Publikationen (siehe 6.) sind erstellt bzw. in Vorbereitung.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 0.3:

Die Mittel wurden antragsgemäß für die Pflege des analytischen Instrumentariums und die Ersatzbeschaffung von Verschleißteilen verwendet. Die Beschaffung von Referenzmaterialien (CRMs) wurde teilweise von den BIOACID-Partnern übernommen, für die das Referenzlabor Analysen durchgeführt hat.

WP 1.4:

Das Budget ist hauptsächlich für Personalkosten (PostDoc 50%) eingesetzt worden. Die Nachwuchswissenschaftlerin konnte so ihre Karriere in der Wissenschaft festigen und wichtige Kontakte durch die Auslandsaufenthalte knüpfen.

WP 1.12:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten, inklusive einer Doktorandenstelle, sowie die Unterstützung der Arbeiten durch Hilfwissenschaftler.

WP 2.6:

Die Auflistung der Projektausgaben über die Laufzeit des Vorhabens wurde über die Verwaltung des IOW zum Projektabschluss an die zuständigen Stellen übermittelt. Die größten Budgetpunkte waren

die Personalkosten, also hauptsächlich die wichtige Ausbildung von Nachwuchswissenschaftler*innen, aber auch die Verbrauchskosten, die durch die vielseitige und anspruchsvolle Aufgabenstellung für umfangreiche geochemische und isopenchemische Analytik notwendig waren. Die für die nicht eingesetzten DET/DGT und Isotopentracer verwendeten Verbrauchsmittel wurden durch das notwendige Mehr an Analysen für die Beprobung der Benthosomen in Kiel und auf Sylt überkompensiert. Die beantragten Gelder für externe Aufträge wurden für Molybdän-Isotopen-Messungen an der Universität Bern, Schweiz, bei Prof: Thomas Nägler verwendet. Die Publikationskosten wurden aufgrund des notwendigen erhöhten personalaufwendigen Aufwandes für die Probenahmekampagnen partiell in Hiwi-Mittel umgewidmet. Die Reisekosten wurden für Teilnahmen an Probenahmen (Experimentdurchführungen), Projektbesprechungen und Teilnahmen an Konferenzen verwendet. Das in BIOACID I angeschaffte hoch-präzise pH-Meter fand erneut bei den umfangreichen Experimenten Einsatz und wird auch bei zukünftigen Projekten in diesem Feld eingesetzt werden.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 0.3:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden. Es wurde ein Technischer Angestellter mit den Aufgaben betraut, der diese gewissenhaft durchgeführt hat. Mittel für Verbrauch und Reisen wurden ausschließlich projektbezogen genutzt.

WP 1.4:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden. Alle Verbrauchs- und Reisemittel kamen den Projektarbeiten zugute und es konnten sogar insgesamt drei Diplom- und Masterarbeiten durchgeführt werden.

WP 1.12:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen und erfolgreich durchgeführt worden

WP 2.6:

Die Mittel sind für Beprobung zahlreicher Benthokosmos-Experimente in Kiel und auf Sylt, die Unterstützung durch studentische Hilfskräfte sowie die analytische Vermessung der erhaltenen Proben verwendet worden und sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden. Weitere Mittel wurden angemessen für die externe Vermessung der Mo-Isotopensignatur an Wasser- und *Fucus*-Gewebeproben an der Universität Bern eingesetzt.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 0.3:

Bei den durchgeführten Arbeiten handelt es sich um Serviceleistungen ohne eigenständige wissenschaftliche Fragestellung. Die Verwertbarkeit äußert sich in der Verwendung der Messdaten durch die BIOACID-Partner.

WP 1.4:

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Es ist jedoch geplant die Daten aus Bioacid 2 und 3 in eine Metaanalyse und ein integrated Assessment zur Ozeanversauerung einfließen zu lassen. Dieses Dokument soll unmittelbar die politischen Entscheidungen zum Meeresschutz unterstützen und Argumentationshilfen hierfür liefern.

WP 1.12:

Nicht zutreffend.

WP 2.6:

Es handelt sich bei dem Teilprojekt um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Es ist geplant basierend auf den Ergebnissen der BIOACID Projektphasen I und II neue Forschungsprojekte zu beantragen.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 0.3:

Keine

WP 1.4:

Keine

WP 1.12:

Nicht zutreffend.

WP 2.6:

Der fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnisgewinn hat, soweit relevant, bei der Durchführung des Projektes Berücksichtigung gefunden und wird bei der weiteren Auswertung Berücksichtigung finden.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 0.3:

Publiziert in begutachteten Zeitschriften sind (Messung der Karbonatchemie):

Winde, V., Escher, P., Schneider, B., Böning, P., M. Al-Raei, A., Liebezeit, G., Böttcher, M.E. (2014): Carbon Isotopes in DIC trace submarine groundwater discharge and advective pore water efflux in tidal areas of the southern North Sea. In: Proc. SWIM 2014, 23rd Salt Water Intrusion Meeting, June 16-20 2014, Husum, Germany. H. Wiederhold, J. Michaelsen and B. Hinsby (eds.). Hannover: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik: 42-45, 978-3-00-046061-6, Book

Winde V., Böttcher, M.E., Escher P., Böning P., Beck M., Liebezeit G., Schneider B. (2014) Tidal and spatial variations of $\delta^{13}C$ and aquatic chemistry in a temperate tidal basin during winter time. J. Mar. Sys. 129, 394-404. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.08.005>

Winde V., Böttcher, M.E., Escher P., Böning P., Beck M., Liebezeit G., Schneider B. (2014): Corrigendum to: Tidal and spatial variations of $\delta^{13}C$ and aquatic chemistry in a temperate tidal basin during winter time. [J. Mar. Sys. 129, 394-404]. J. Mar. Syst. 139: 509, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.09.008>

Unger, J., Endres, S., Wannicke, N., Engel, A., Voss, M., Nausch, G., & Nausch, M. (2013). Response of *Nodularia spumigena* to pCO_2 -Part 3: Turnover of phosphorus compounds. Biogeosciences, 10(3), 1483-1499.

Endres, S., Unger, J., Wannicke, N., Nausch, M., Voss, M., & Engel, A. (2013). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 2: Exudation and extracellular enzyme activities. *Biogeosciences (BG)*, 10, 567-582.

Wannicke, N., Endres, S., Engel, A., Grossart, H. P., Nausch, M., Unger, J., & Voss, M. (2012). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 1: Growth, production and nitrogen cycling. *Biogeosciences*, 9(8), 2973-2988.

Publikationen in Vorbereitung:

J. Fabian, M. Voss, J. Unger, M. Nausch, N. Wannicke. Microbial dynamics along a natural latitudinal and simulated pCO₂ gradient in the Baltic Sea Part I: Temperature and phosphate counteract stimulating effects of ocean acidification in heterocystous cyanobacteria.

N. Wannicke, K. Frindte, J. Fabian, J. Unger, H.P. Grossart. Microbial dynamics along a natural latitudinal and simulated pCO₂ gradient in the Baltic Sea during a late summer phytoplankton bloom – Part II: Indication of ocean acidification effects on heterotrophic bacteria.

N. Wannicke, K. Frindte, M. Nausch, J. Fabian, H-P. Grossart, T. Niedermeyer, M. Gehringer, M. Voss. Evidence of ocean acidification effects on filamentous cyanobacteria productivity and toxicity and their modulation by the eutrophication status.

Abschlussarbeiten im Rahmen von BIOACID

WP 1.4:

Publiziert in begutachteten Zeitschriften sind:

Wannicke, N., Frindte, K., Gust, G., Liskow, I., Wacker, A., Meyer, A., & Grossart, H. P. (2015). Measuring bacterial activity and community composition at high hydrostatic pressure using a novel experimental approach: A pilot study. *FEMS microbiology ecology*, fiv036.

Gehringer, M. M., & Wannicke, N. (2014). Climate change and regulation of hepatotoxin production in Cyanobacteria. *FEMS microbiology ecology*, 88(1), 1-25.

Unger, J., Endres, S., Wannicke, N., Engel, A., Voss, M., Nausch, G., & Nausch, M. (2013). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 3: Turnover of phosphorus compounds. *Biogeosciences*, 10(3), 1483-1499.

Endres, S., Unger, J., Wannicke, N., Nausch, M., Voss, M., & Engel, A. (2013). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 2: Exudation and extracellular enzyme activities. *Biogeosciences (BG)*, 10, 567-582.

Wannicke, N., Endres, S., Engel, A., Grossart, H. P., Nausch, M., Unger, J., & Voss, M. (2012). Response of *Nodularia spumigena* to pCO₂–Part 1: Growth, production and nitrogen cycling. *Biogeosciences*, 9(8), 2973-2988.

Publikationen in Vorbereitung:

J. Fabian, M. Voss, J. Unger, M. Nausch, N. Wannicke. Microbial dynamics along a natural latitudinal and simulated pCO₂ gradient in the Baltic Sea Part I: Temperature and phosphate counteract stimulating effects of ocean acidification in heterocystous cyanobacteria.

N. Wannicke, K. Frindte, J. Fabian, J. Unger, H.P. Grossart. Microbial dynamics along a natural latitudinal and simulated pCO₂ gradient in the Baltic Sea during a late summer phytoplankton bloom – Part II: Indication of ocean acidification effects on heterotrophic bacteria.

C. Wurzbacher, I. J. Grimmet, N. Wannicke, F. Bärlocher. Character of stream particle DNA, and the effect of particle size on microbial communities (*Limnologia*, in review)

N. Wannicke, K. Frindte, M. Nausch, J. Fabian, H-P. Grossart, T. Niedermeyer, M. Gehringer, M. Voss. Evidence of ocean acidification effects on filamentous cyanobacteria productivity and toxicity and their modulation by the eutrophication status.

Abschlussarbeiten im Rahmen von BIOACID

Regina Kolzenburg (2014) "Nitrogen uptake by zooplankton under natural conditions and high CO₂ " 72pp. (Master Verteidigung Rostock 2.9.14)

Stefanie Linsenbarth (2014) Nitrogen fixation in subtropical waters (Atlantic) under different abiotic conditions during a late winter bloom". 73pp, Master Arbeit, Universität Potsdam

Stefanie Linsenbarth Zum Einfluss der Ozeanversauerung auf das Wachstum und die Toxizität von Cyanobakterien". Bachelor Arbeit, Universität Potsdam

Jenny Fabian (2012) Wachstum und Produktion einer natürlichen Cyanobakterienblüte der Ostsee in Abhängigkeit von der CO₂-Konzentration 69pp. (Diplom Verteidigung Rostock 25.5.2012)

WP 1.12:

Publiziert in begutachteten Zeitschriften sind:

Bergen, B., Herlemann, D.P.R., Labrenz, M., and Jürgens, K. (2014) Distribution of the verrucomicrobial clade Spartobacteria along a salinity gradient in the Baltic Sea. *Environ. Microbiol. Rep.* **6**: 625–630.

Bergen, B., Endres, S., Engel, A., Zark, M., Dittmar, T. and Jürgens, K. Acidification and warming affect prominent bacteria during two seasonal phytoplankton bloom mesocosms, in preparation

WP 2.6:

Publiziert in begutachteten Zeitschriften sind

Burt, W. J., Thomas, H., Hagens, M., Pätsch, J., Clargo, N.M., Salt, L., **Winde, V., Böttcher, M.E.** (2016): Carbon sources in the North Sea evaluated by means of radium and stable carbon isotope tracers. *Limnology and Oceanography*. On-line first since January 12th 2016

Pansch, A., **Winde, V.**, Asmus, R., Asmus, H. (2016): Tidal benthic mesocosms simulating future climate change scenarios in the field of marine ecology. *Limnology and Oceanography: Methods*, in press

Wahl, M., Buchholz, B., **Winde, V.**, Colomb, D., Guy-Haims, T., Müller, J., Rilov, G., Scotti, M., **Böttcher, M.E.** (2015): A novel mesocosm concept for the simulation of shallow underwater climates: The Kiel Outdoor Benthocosms (KOB). *Limnology and Oceanography: Methods*, **13**: 651-663

Winde, V., Böttcher, M.E., Voss, M., Jenner, A.-K., Schmiedinger, I. (2015): Reflektiert die biogeochemische Zusammensetzung von *Fucus vesiculosus* anthropogene Umwelteinflüsse auf die Küstenökosysteme von Ost- und Nordsee? IOW Jahresbericht 2014

Winde, V., Escher, P., Schneider, B., Böning, P., M. Al-Raei, A., Liebezeit, G., **Böttcher, M.E.** (2014): Carbon Isotopes in DIC trace submarine groundwater discharge and advective pore water efflux in tidal areas of the southern North Sea. In: Proc. SWIM 2014, 23rd Salt Water Intrusion Meeting, June 16-20 2014, Husum, Germany. H. Wiederhold, J. Michaelsen and B. Hinsby (eds.). Hannover: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik: 42-45, 978-3-00-046061-6, Book

Winde V., Böttcher, M.E., Escher P., Böning P., Beck M., Liebezeit G., Schneider B. (2014) Tidal and spatial variations of DI¹³C and aquatic chemistry in a temperate tidal basin during winter time. *J. Mar. Sys.* **129**, 394-404. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.08.005

Winde V., Böttcher, M.E., Escher P., Böning P., Beck M., Liebezeit G., Schneider B. (2014): Corrigendum to: Tidal and spatial variations of DI¹³C and aquatic chemistry in a temperate tidal basin during winter time. [*J. Mar. Sys.* **129**, 394-404]. *J. Mar. Syst.* **139**: 509, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.09.008

6.2 Eingereichte Publikationen:

Al-Janabi, B., Krusen, I., Graiff, A., **Winde, V.**, Wahl, M. (2016): Buffering and amplifying interactions among OAW (Ocean Acidification & Warming) and nutrient enrichment on early life-stage *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyceae) and their carry over effects to hypoxia impact. PLOS One, subm 11-2015; under review

Winde V., Mahler A., Voss M., **Böttcher M.E.** (2016) The elemental and stable isotope composition of the bladder wrack (*Fucus vesiculosus*) as environmental bio-monitor in an urbanized fjord of the western Baltic Sea. Mar Poll Bull, under review 1-2016

Publikationen in Vorbereitung:

Böttcher, M.E., Winde, V., Nägler, T.: Macrophytes as a sink for isotopically light molybdate in temperate coastal ecosystems

Böttcher, M.E., Winde, V., Schmiedinger, I., Escher, P., Asmus, R., v. Beusekom, J.J.: Controls of the pelagic dissolved carbon system in a temperate tidal basin: A long-term hydrochemical and stable carbon isotope study

Sha, N., Taubner, I., Böhm, F., **Winde, V.**, Saderne, V., Eisenhauer, A., **Böttcher, M.E.**: Effects of pCO₂ and temperature on growth and texture in shells of the tubeworm *Spirorbis spirorbis*.

Sha, N., Taubner, I., Böhm, F., **Winde, V.**, Saderne, V., Eisenhauer, A., **Böttcher, M.E.**: Effects of pCO₂ and T on trace elements and stable isotope partitioning in the tubeworm *Spirorbis spirorbis*.

Winde, V., Böttcher, M.E., Pansch, A., Schmiedinger, I., Voss, M., Asmus, H., Asmus, R., Jenner, A.-K.: *Fucus vesiculosus* as proxy for climate change induced impacts on North Sea coastal waters.

Winde, V., Böttcher, M. E., Schmiedinger, I., Voss, M.: The impact of acidification, warming, and eutrophication on the element and stable isotope composition of *Fucus vesiculosus* in brackish coastal benthocosms.

Abschlussarbeiten im Rahmen von BIOACID

Sha, N. (2015): Effect of ocean acidification and elevated temperature on growth, trace elements and oxygen isotopes in calcifying tubeworm shells – *Spirorbis spirorbis*. MSc Arbeit, CA University of Kiel

Mahler, A. (2014): Biogeochemische und isotopengeochemische Kartierung der Umweltbedingungen von Küstenabschnitten der Kieler Förde anhand von Blasentang (*Fucus vesiculosus*). MSc field mapping. Geology, EMA University of Greifswald

Jenner, A.-K. (2015): Der Einfluss von Umweltbedingungen auf die elementare und isotopische Zusammensetzung von *Fucus vesiculosus* in der Nordsee (Sylt). Bachelor thesis, Ecological science, EMA University of Greifswald

Winde, V. (2013) Zum Einfluss benthischer und pelagischer Prozesse auf das Karbonatsystem des Wattenmeeres der Nordsee. Dissertation, EMA Universität Greifswald.

Helmholtz-Zentrum Geesthacht (FKZ 03F0655G)

WP 1.15: Mesocosm data-model analyses– separating direct acidification response from ecosystem variability



Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung

Max-Planck-Straße 1

21502 Geesthacht

kai.wirtz@hzg.de

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Das übergeordnete Ziel dieses Projektes ist die Bestimmung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses von Ergebnissen aus Mesokosmos-experimenten. Spezifische Aufgaben beinhalten:

- 1) die Entwicklung eines Verfahrens zur Schätzung des "Signal-to-noise" Verhältnisses durch Anwendung prozessorientierter Modellierung
- 2) die Angabe von Unsicherheitsbereichen für kritische Parameter
- 3) die Synthese von Reaktionen auf Ozeanversauerung in aquatischen Ökosystemen aus unabhängigen Mesokosmos Datensätzen

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben ...

Die für alle Aufgaben (1-3) notwendigen Datensätze mussten in der ersten Projektphase aus Vorgängerprojekten (PeeCE II-III) integriert werden. Daten aus Partnerprojekten in BIOACID-II standen erst relativ spät zur Verfügung. Die Doktorandenstelle konnte zwar mit einer methodisch (d.h. mathematisch) versierten Kandidatin besetzt werden (M. Moreno); allerdings musste sich die Kandidatin in der ersten Projektphase biologisches Grundlagenwissen aneignen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Trotz der etwas längeren Anlaufphase blieb das Projekt im wesentlichen im vorhergesagten Zeitplan. Die Integration und Synthese der Daten von aus PeeCE II & III und BIOACID-II wurde abgeschlossen. Die Entwicklung aller methodisch-theoretischen Verfahren/Modellformulierungen und die Durchführung zahlreicher numerischer Experimente lief erfolgreich. Aufgrund von notwendigen Modellverbesserungen oder Neu-interpretationen der bestehenden Datensätze (zB refraktärer Anteil im Particulate Organic Carbon, POC) mussten Kalibrierungsläufe und nachfolgende Analysen wiederholt werden, was trotz der bestehenden Skript-Infrastruktur viel Zeit in Anspruch nahm. Dadurch verzögerte sich die Publikation der Ergebnisse; durch Hinzunahme von Institutionsressourcen konnte allerdings der voraussichtliche Abschluss der Promotion von M. Moreno im Frühjahr 2016, verbunden mit der Einreichung eines Manuskriptes (MS) und der Fertigstellung weiterer MS gewährleistet werden.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand ...

Die Forschungsarbeiten im Projekt beinhalten im wesentlichen methodische Neuentwicklungen, mit Bezug zu verwandten Verfahren aus nicht-biologischen Forschungsgebieten ("non-intrusive/intrusive uncertainty analysis")

Angabe der ... Informations- und Dokumentationsdienste

Die Datenintegration aus Vorgängerprojekten (PeeCE II-III) erfolgte mithilfe der Geodatenbank PANGAEA

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Datenintegration und -interpretation erfolgte mit Projektpartnern vor allem aus GEOMAR (AGs Oschlies, Sommer, Riebesell, Mathiessen) und AWI (Boersma).

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG ZU

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

1) Entwicklung einer modell-basierten Unsicherheitsanalyse

a) Basis der Methode ist die Erzeugung eines Referenz-Modelllaufs für die Dynamik von ökosystemaren Observablen (vgl. 2b)

b) Das neuartige Verfahren (Noise-Induced Variability Reconstruction, NIVAR) wurde über zwei Stufen entwickelt. Nicht kontrollierbare bzw unkontrollierte Variationen in Zustandsgrößen oder Prozessen für Mesokosmos-Experimente werden über normalverteilte, stochastische Perturbationen beschrieben. Diese Perturbationen werden entweder konstant (1. Stufe, s. MS-I) oder zeitvariabel (MS-II&III) erzeugt und das induzierte „Rauschverhalten“ von einer großen Anzahl von Simulationen quantifiziert und mit der beobachteter Varianz verglichen. Das zeitvariable NIVAR Verfahren wurde auf den realistischen Fall von intermittenten, d.h. zeitlich variablen Störungen hin erweitert. In Experimenten korrespondieren diese zB mit der Schwankung einer Kontrollgröße oder dem Auftreten eines Nebeneffektes wie Wandbewuchs oder starke Flokkulation. Die Simulation zeitvariabler Störungen machte allerdings die Implementierung komplizierter numerischer Verfahren von erforderlich, zB Verfahren zur Lösung stochastischer Modellgleichungen wie der gekoppelten Langevin Gleichung (Toral&Colet, Wiley-VCH, 2014).

2) Angabe von Variationsbereichen (tolerierbare Unsicherheiten)

a) Datenintegration: Mit eigens entwickelten MATLAB-Skripten konnten publizierte Messdaten, insbesondere beobachtete Phytoplankton-Größenspektren eingelesen sowie für den direkten Vergleich mit Modellen nutzbar gemacht werden. An vielen Stellen war allerdings die Bereinigung von Inkonsistenzen und die Abschätzung der Datenqualität bzw. Verlässlichkeit in Rücksprache mit den Autoren erforderlich. Die Datenintegration umfasst Ergebnisse aus den Outdoor-Experimenten von PeECE II & III und Labordaten aus BIOACID-II.

b) Es wurde ein relativ einfaches Ökosystemmodell entwickelt, das die Dynamik der Phytoplankton-Biomasse, Nährstoffe und Detritus simuliert; das Modell beschreibt mechanistisch plausibel die für Mesokosmen relevanten Prozesse wie vertikales Absinken/Aggregation und wurde um direkte Abhängigkeiten des Algen-wachstums vom pCO₂ erweitert. Durch umfangreiche Kalibrierungsläufe wurde eine Referenz-parametrisierung für alle drei Datensätze (s. 2a) gefunden.

c) Das NIVAR Verfahren (s. 1b) wurde auf OA-Plankton-Mesokosmen Daten (2a) angewandt und hat wichtige Quellen der Variabilität in der Wachstumsantwort auf CO₂-Veränderung identifiziert. Die möglicherweise kritischste Unsicherheit liegt demnach in der physiologische Konditionierung des Phytoplanktons sowie Differenzen in der Artenzusammensetzung in den verschiedenen Replikaten. Eine kritische Toleranz von 6% in der mittleren Zellgröße bedeutet, dass Unterschiede von 1.2µm etwa 20% der Variabilität nach der Blüte erklären können. Eine ähnlich hohe Relevanz bzgl. der post-blüten Variabilität kommt der anfänglichen Nährstoffkonzentration im Mesokosmosexperiment zu. Hier wurde mit NIVAR eine Toleranzgrenze von 5% bestimmt, was bedeutet, dass eine +/- 0.4 µmol/L Schwankung in anfänglichem Stickstoffkonzentration 25% der beobachteten Variabilität erzeugen kann. Die NIVAR-I Analyse legt schließlich eine möglichst genaue Erfassung von Mortalitätsfaktoren

nahe. Eine relativ niedrige Toleranz zeigten etwa herbivorer Abfraß (11%), Viren/Krankheiten (9%) oder die Sinkgeschwindigkeit (70%). Die Wirkung anderer Unsicherheitsfaktoren (z.B. max. Nährstoffaufnahme, spezifische Fressrate des Zooplanktons) nimmt tendenziell im Laufe des Blüten-Experimentes ab. Die resultierende Variabilität in POC steigt generell an, und übersteigt oft den Unterschied zwischen den über Replikate gemittelten Ergebnissen unterschiedlicher Experimente. Dann gibt die gemittelte Dynamik von POC nur noch begrenzt die biologische Wirkung der Behandlung (hier meist CO₂) wieder.

Intermittente Störungen lassen sich konsistent nur von der neuentwickelten stochastischen Variante des NIVAR Ansatzes (II) behandeln. Auf PeECE-II-Daten angewendet bestätigt der Ansatz die Ergebnisse der deterministischen Variante (I) in Bezug auf die Priorisierung kritischer Eingangsgrößen. Allerdings sind die gemittelten Trajektorien generell robuster unter stochastischen Variationen; die kleinere Sensitivität verbessert auch gängige Verfahren der Parameterkalibrierung. Variante (II) ermittelt Toleranzgrenzen für unsichere Eingangsgrößen, die generell größer sind als die von Verfahren I berechneten. Sporadische Perturbationen auch intensiverer Natur (etwa bei transienter Verschiebung des Phytoplankton-Größenspektrums oder Absinken) lassen nach ihrer Beendigung häufig eine schnelle Konvergenz zur Referenzdynamik zu.

3) Synthese aus unabhängigen Mesokosmos Datensätzen

a) Die direkte Zusammenführung und der Vergleich von 3 unabhängigen Datensätzen (2 outdoor und 1 indoor) bestätigte eine bereits von Projektpartnern gefundene Hypothese, i.e. schnelleres Blütenwachstum unter hohem CO₂.

b) Um weitergehende Aussagen für repräsentative Umweltbedingungen und längere Zeiträume zu generieren, auch als wichtige Grundlage für die BIOACID- Synthesephase, wurde ein einheitliches Referenzmodell für die unterschiedlichen Mesokosmen in PeECE und BIOACID-II geschaffen (vgl. 2a, MS I-II). Insbesondere die Parametrisierung des (moderaten) CO₂-Effekts auf die Primärproduktion kann damit als relativ allgemein gelten. Allerdings wurden auch Grenzen des einfachen Modells sichtbar. Daher und aufgrund der hohen Relevanz der Phytoplankton-Gemeinschaftstruktur (parametrisiert über mittlere Zellgröße, vgl. 2c) wurde begonnen, das Referenzmodell in Richtung auf ein „Adaptive Trait-Based Model“ (ATBM) weiterzuentwickeln. Hierzu wurde zum einen der mathematisch anspruchsvolle ATBM-Ansatz über ein Tutorial breiter zugänglich gemacht und in ein bestehendes ATBM CO₂-Sensitivitäten sowie multifaktorielle Abhängigkeiten (z.B. Zusammenwirken von CO₂-Erhöhung und Nährstofflimitierung) eingebaut und getestet (Wirtz & Kerimoglu, subm).

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Ausser der Promotionsstelle für M. Moreno wurden nur Reisemittel zum Besuch von internationalen Workshops und der BIOACID Treffen in Anspruch genommen, die zum teil aus der Grundfinanzierung des Institutes übernommen worden, genau wie die Rechner- und Softwareausstattung.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Forschungsarbeiten im Projekt beinhalten im wesentlichen methodische Neuentwicklungen im Bereich der Modellierung, ohne die die Abschätzung von bislang unbekanntem Kenngrößen für die experimentelle Forschung nicht möglich wäre.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das CO₂-sensitive Modell wurde in das modulare Modellsystem von MOSSCO (KÜNO, BMBF) eingebunden und vereinfacht damit zukünftigen Vorhaben potentiell die Simulation von OA-Effekten in Randmeeren. Die Projektergebnisse unterstützen methodisch und inhaltlich ein DFG-SPP-Projekt („Multiple Stressoren“ mit Prof. Sommer, DYNATRAIT) und die BIOACID-Synthesephase.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Diese Ergebnisse wurden bereits auf nationalen und internationalen Konferenzen präsentiert, incl. eingeladenen Keynotes.

(MS-I) Maria M. de Castro, Markus Schartau, Kai Wirtz. Tolerance of ocean acidification mesocosm experiments to time-varying uncertainties. (in prep)

(MS-II) Maria M. de Castro, Markus Schartau, Kai Wirtz. Potential sources of variability in ocean acidification mesocosm experiments (subm to BGD)

Kai Wirtz, Onur Kerimoglu. Optimality and variable co-limitation controls autotrophic stoichiometry (subm)

Institut für Weltwirtschaft Kiel (FKZ 03F0655H)

WP 5.4: An assessment of the economic impacts of ocean acidification (OA) on the local scale



Institut für Weltwirtschaft
Kiellinie 66
24105 Kiel
katrin.rehdanz@ifw-kiel.de

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Ziel des vorliegenden Teilprojektes von BIOACID II (Konsortium 5, Arbeitspaket 5.4) ist es, die Auswirkungen von Ozeanversauerung beispielhaft für zwei Regionen, die sich in ihrer ökonomischen Entwicklung deutlich unterscheiden, zu analysieren.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Erkenntnisse über die sozio-ökonomischen Auswirkungen der Ozeanversauerung sind bislang sehr begrenzt und nur wenige Studien existieren (Brander et al. 2009, Cooley and Doney 2009, Narita et al. 2012, Cooley et al. 2011). Im Vergleich zum Klimawandel deuten die bisherigen Studien auf einen eher geringen Einfluss von Ozeanversauerung auf die globale Wohlfahrt. Auf regionaler und lokaler Ebene gibt es aber erhebliche Unterschiede. Diese Unterschiede wurden bislang nicht untersucht.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der geplante Ablauf des Vorhabens wurde im Wesentlichen eingehalten. Die Aufgabenstellung wurde während der Projektlaufzeit an den aktuellen Erkenntnisstand angepasst. Alle Abweichungen wurden mit dem Projektträger abgesprochen. Der tatsächliche Ablauf und gegebene Anpassungen/Abweichungen innerhalb der jeweiligen Tasks werden in den nächsten Abschnitten einzeln erläutert.

Task 5.4.1 Der Fall einer einkommensschwachen Region

Das Vorhaben sah vor, Befragungen zur Wahrnehmung des Klimawandels und der Ozeanversauerung sowie einfache Feldexperimente in Papua Neu Guinea (PNG) durchzuführen. Es war ursprünglich geplant Projektpartner aus Konsortium 3 auf ihrer Feldforschungsreise in die Region von Dobu und Upa-Upasina (PNG) zu begleiten, um dort Befragungen und Feldexperimente durchzuführen. Es hat sich herausgestellt, dass die bestehenden Kontakte der anderen Projektpartner in diese Region für unsere Art der Forschung nicht ausreichend hergestellt sind. Dies hätte eine zeitnahe Durchführung unserer Forschung im Projekt gefährdet. Basierend auf Recherchen und Kontakten an der CAU Kiel entschieden wir uns die Feldforschung in ein anderes Forschungsgebiet in Papua Neu Guinea zu verlegen (Bougainville).

Ende des Jahres 2012 wurde mit der Vorbereitung für die erste Feldforschungsreise nach Bougainville begonnen. Diese Reise fand zwischen Juni und Juli 2013 zusammen Frau Prof. Dr. Mosel (Seminar für Allgemeine und Vergleichende Sprachwissenschaft an der CAU Kiel) statt. Durch Kooperation mit externen Partnern konnte die Feldforschung Ende 2013 durch eine weitere Inselregion im Pazifik (Palawan, Philippinen) erweitert werden. Mit beiden Bevölkerungsgruppen wurden unter anderem einfache Experimente für die Analyse von Risikopräferenzen gemacht sowie Befragungen zur Wahrnehmung von Klimawandel/Umweltproblemen (z.B. Ozeanversauerung, Anstieg des Meeresspiegels, Ausbleichen von Korallen etc.) durchgeführt. Die Auswertung und Evaluierung der

beiden Datensätze erfolgte Ende 2013 sowie im ersten Quartal 2014. Die Ergebnisse wurden in einem Artikel zusammengefasst und zur Veröffentlichung bei einer internationalen Fachzeitschrift eingereicht (Pondorfer et al. 2014). Ein weiterer Artikel ist in Bearbeitung (Monzel et al. mimeo).

Am Anfang des Jahres 2014 wurde mit der Vorbereitung für die zweite Feldforschungsreise nach Bougainville begonnen. Die Reise fand zwischen Oktober und Dezember 2014 statt. Durch die Erfahrungen aus der ersten Reise und die geknüpften Kontakte, konnten räumlich umfangreichere Befragungen im Vergleich zur ersten Reise umgesetzt werden. Ähnlich wie in der ersten Feldforschungsreise wurden einfache Experimente und Befragungen durchgeführt. Die Auswertung und Evaluierung der beiden Datensätze erfolgte Anfang des Jahres 2015. Die Ergebnisse wurden in einem Artikel zusammengefasst und zur Veröffentlichung bei einer internationalen Fachzeitschrift eingereicht (Pondorfer und Rehdanz 2015).

Task 5.4.2 Der Fall einer entwickelten Region

Das Vorhaben sah vor, eine partielle Gleichgewichtsanalyse der Auswirkungen von Ozeanversauerung und –erwärmung auf die Schalentierfischerei in Deutschland und Dänemark durchzuführen. Nachdem die sozio-ökonomischen Daten für diese beiden Regionen gesammelt und durchgesehen wurden, hat sich herausgestellt, dass die benötigten naturwissenschaftlichen Daten nicht in angemessener Zeit zur Verfügung stehen werden. In Abstimmung mit dem Projektträger haben wir uns daher entschlossen, die Ergebnisse der neueren Meta-Analysen zu den Auswirkungen von OAW als Grundlage zu verwenden und unsere Analyse auf Europa und die Regionen Europas auszuweiten. Die globale Analyse ist aus dem Grund entfallen.

Von 2012 bis Anfang 2014 wurden die benötigten sozio-ökonomischen Daten gesammelt. 2014 wurden die historischen Daten zu pH- und Temperaturwerten in den europäischen Meeressgewässern und Daten aus Klimawandelszenarien mit Hilfe von GIS aufbereitet und als Karten visualisiert. Die Berechnungen der Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die Produzenten und Konsumenten von Schalentieren in Europa wurden 2014 abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden in einem Artikel zusammengefasst und zur Veröffentlichung bei einer internationalen Fachzeitschrift eingereicht (Narita und Rehdanz 2015). Die Arbeiten haben auch zu Beiträgen in Hilmi et al (2014) und Brander et al. (2014a und b) geführt.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

• Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:

Für die Durchführung des Vorhabens wurden keine bekannten Konstruktionen, Verfahren oder Schutzrechte benutzt.

• Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Bereits vorliegende Studien zeigen, dass im Vergleich zum Klimawandel der Einfluss von Ozeanversauerung auf die globale Wohlfahrt eher gering ausfällt (Brander et al. 2009, Cooley and Doney 2009, Narita et al. 2011, Cooley et al. 2011). Auf regionaler und lokaler Ebene gibt es aber erhebliche Unterschiede. Diese Unterschiede wurden bislang in der Fachliteratur nicht berücksichtigt und sind Forschungsgegenstand dieses Arbeitspaketes. Für die Konkretisierung und Umsetzung der Arbeitspakete wurde weitere ökonomische und interdisziplinäre Fachliteratur herangezogen, welche hauptsächlich über die Kataloge der Universitätsbibliothek Kiel und der deutschen Zentralbibliothek für Wirtschaftswissenschaften (ZBW) recherchiert wurde. Die Analyse zu Europa basiert zu großen Teilen auf frei verfügbaren Datenbanken der FAO und und Sea Around Us.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Projekts fand ein enger Austausch zwischen den Mitgliedern in Konsortium 5 statt (durch gemeinsam organisierte Workshops und Meetings). Im Rahmen von Task 5.4.1 kam es zu einer engen Kooperation mit Frau Prof. Dr. Mosel (Sprachwissenschaftlerin), die mit ihrer fachlichen Kompetenz und Erfahrung mit Feldforschungsreisen wesentlich zum Erfolg des Arbeitspaketes beigetragen hat. Dadurch konnte auch ein enger Kontakt mit lokalen und regionalen Entscheidungsträgern in Bougainville etabliert werden. Durch die Kooperation mit Prof. Dr. Dr. Ulrich Schmidt (Professor an der Universität Kiel sowie Leiter der Forschungsgruppe Sozial- und verhaltensökonomische Ansätze zur Lösung globaler Probleme) konnte auch eine kulturübergreifende Analyse durchgeführt werden. Für Task 5.4.2 ist insbesondere der enge Austausch mit Kolleginnen und Kollegen des internationalen Workshops „Economics of Ocean Acidification“ zu nennen.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ziel des Projekts war die sozio-ökonomischen Auswirkungen der Ozeanversauerung beispielhaft für zwei Regionen, die sich in ihrer ökonomischen Entwicklung deutlich unterscheiden, zu analysieren.

Die dargelegten Forschungsleistungen wurden durch die Finanzierung einer Doktorandenstelle (Andreas Pondorfer, 01. Oktober 2012 bis 30. September 2015, 29,025 Std./Woche), einer studentischen Hilfskraft (wechselnde Stundenzahl) sowie wesentlichen Beiträgen von Prof. Dr. Katrin Rehdanz (Stammpersonal im Forschungsbereich Umwelt und natürliche Ressourcen des IfW sowie Professorin an der Universität Kiel) erreicht.

Task 5.4.1 Der Fall einer einkommensschwachen Region

Im Rahmen der ersten Feldforschungsreise (Juni-Juli 2013) wurde eine Befragung der Teops in Bougainville zur lokalen Wahrnehmung von Klimawandel und Ozeanversauerung durchgeführt. Durch Kooperation mit anderen Forschungsabteilungen am IfW konnte die Befragung um eine weitere Inselregion im Pazifik (Palawan, Philippinen) erweitert werden. Die Daten der ersten Befragung zeigen, dass ein Großteil der Bevölkerung in Papua Neu Guinea bereits über den Klimawandel informiert ist, Ozeanversauerung und dessen Ursachen weitgehend unbekannt sind. Ein Vergleich der Daten aus Bougainville und Palawan zeigt, dass Bildung einen kulturübergreifenden Effekt auf die allgemeine Wahrnehmung des Konzeptes Klimawandel hat, die Wahrnehmung der

Ursachen des Klimawandels jedoch kulturspezifisch ist. Die Ergebnisse sind in einem noch unveröffentlichten Arbeitspapier zusammengefasst (Monzel et al., mimeo).

Im Rahmen der ersten Feldforschungsreise (Juni-Juli 2013) haben wir weiterhin das Risikoverhalten und die Wahrnehmung von Risiken mittels einfacher ökonomischer Experimente untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich Risikopräferenzen zwischen den zwei Inselgruppen stark unterscheiden. Teilnehmer in Bougainville (PNG) zeigen insgesamt eine höhere Aversion gegenüber Risiko als Teilnehmer in Palawan (PHI). Außerdem konnte gezeigt werden, dass es zwischen Männern und Frauen keine Unterschiede im tatsächlichen Risikoverhalten gibt, die Wahrnehmung des Risikoverhaltens anderer jedoch stark vom kulturellen Hintergrund abhängt (Pondorfer et al. 2014).

Im Rahmen der zweiten Feldforschungsreise (November – Dezember 2014) wurde eine zweite Befragung der Teops in Bougainville durchgeführt. Es sollten Möglichkeiten zur Erhebung von Zahlungsbereitschaften für Umweltveränderungen untersucht werden. In dieser ökonomisch schwach entwickelten Region, spielt Geld als Zahlungsmittel im täglichen Gebrauch eine untergeordnete Rolle. Angaben sind also potentiell mit mehr Unsicherheiten behaftet. Aufbauend auf einem neuen methodischen Ansatz konnte gezeigt werden, dass Angaben in Form von Arbeitszeit mit weniger Unsicherheiten verbunden sind als monetäre Beiträge (Pondorfer und Rehdanz 2015).

Task 5.4.2 Der Fall einer entwickelten Region

Ziel der Analyse waren Erkenntnisse über die ökonomischen Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die nationale und sub-nationale Schalentierproduktion in Europa. Anhand einer partiellen Gleichgewichtsanalyse konnte gezeigt werden, dass die negativen Auswirkungen der Ozeanversauerung in den Ländern mit der größten Produktion am stärksten sind (Frankreich, Italien und Spanien). Insgesamt muss in Europa im Jahr 2100 mit einem Verlust von über 1 Milliarde USD in der europäischen Schalentierproduktion gerechnet werden. Aufgrund unterschiedlicher Produktionsschwerpunkte sind diese Verluste sehr ungleich zwischen den Ländern und Regionen verteilt. Die auf Austern spezialisierte Schalentierproduktion an der französischen Atlantikküste gehört zu der am stärksten betroffenen Region (Narita und Rehdanz 2015).

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises finden sich hier:

	Personal- kosten	Reisekosten	Vergabe von Aufträge	Gesamt
2012	12.488,09 €	0,00 €	00,00 €	12.488,09 €
2013	52.195,88 €	7.638,30 €	0,00 €	59.834,18 €
2014	46.132,32 €	1.874,53 €	105,00 €	48.111,85 €
2015	33.668,37 €	11.804,62 €	0,00 €	45.472,99 €
Gesamt	144.484,66 €	21.317,45 €	105,00 €	165.907,11 €

Die Differenz zwischen den tatsächlichen Kosten (165.907,11) Euro und den bewilligten Mitteln (165.053,00) wurde vom IfW übernommen.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Verlauf der Arbeiten des Projekts folgte im Wesentlichen der im Projektantrag formulierten Planung. Die im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden erfolgreich bearbeitet, es waren keine zusätzlichen Ressourcen seitens des BMBF notwendig. Die Ziele des Projekts wurden weitgehend mit den beantragten Mitteln erreicht. Das Projekt wurde kostenneutral um einen Monat verlängert.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Projekts wurden auf verschiedenen wissenschaftlichen Konferenzen und Workshops sowie intern am IfW vorgestellt und diskutiert. Katrin Rehdanz hat beispielsweise auf Einladung bei einem Workshop des UNFCCC's Subsidiary Body on Scientific and Technological Advice (SBSTA) einen Vortrag zum Thema gehalten und war als Expertin zu allen bisherigen internationalen Workshops „Economics of Ocean Acidification“ eingeladen.

Die aus der Projektarbeit hervorgegangenen wissenschaftlichen Artikel werden in angesehenen Fachzeitschriften veröffentlicht bzw. wurden in einem Kapitel im Bericht des Sekretariats der Convention on Biodiversity (CBD) zu den Auswirkungen der Ozeanversauerung (Brander et al. 2014a) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Während der Projektlaufzeit konnten Kontakte zur Regierung der Autonomen Region von Bougainville hergestellt werden. Die gehaltenen Vorträge über den Zusammenhang von Ozeanversauerung und Klimawandel beschränkten sich daher nicht nur auf die lokale Bevölkerung, sondern es konnte auch vor politischen Entscheidungsträger referiert werden. Mittels dieser Kontakte konnten Forschungsergebnisse direkt an die politischen Entscheidungsträger vor Ort weitergegeben werden.

Das Projekt hat zudem dazu beigetragen, die wissenschaftliche Expertise im IfW im Bereich der Analyse der öffentlichen Wahrnehmung und der Erhebung von Präferenzen in Entwicklungsländern zu festigen und auszubauen. Die Weiterentwicklung der kontingenten Bewertungsmethode und Feldexperimente wird am IfW auch im Rahmen anderer Projekte verfolgt und methodisch verfeinert, so dass das Projekt hier einen wichtigen Beitrag geliefert hat.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit des Projekts sind dem Zuwendungsempfänger keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Aus dem Vorhaben resultiert eine Reihe von wissenschaftlichen Publikationen. Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung ist ein Artikel bei einer internationalen Fachzeitschrift veröffentlicht worden (Hilmi et al. 2014). Drei Artikel sind bei internationalen Fachzeitschriften zur Veröffentlichung eingereicht (Narita und Rehdanz 2015, Pondorfer und Rehdanz 2015, Pondorfer et al. 2014). Zwei der drei Artikel wurden in überarbeiteter Fassung an die Fachzeitschrift zurückgeschickt. Eine endgültige Entscheidung, ob die Artikel zur Veröffentlichung angenommen werden, steht kurz bevor. Ein weiterer Artikel zur Wahrnehmung von Klimawandel und Ozeanversauerung befindet sich in der Vorbereitung und wird im Frühjahr 2016 bei einer internationalen Fachzeitschriften zur Veröffentlichung eingereicht (Monzel et al, mimeo).

Des Weiteren wurden Forschungsergebnisse in einem Buchkapitel (Brander et al. 2014b) und in einem im Bericht des Sekretariats der Convention on Biodiversity (CBD) zu den Auswirkungen der Ozeanversauerung (Brander et al. 2014a) zusammengefasst.

Liste der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen:

- Brander, L.M., Hattam, C. and K. Rehdanz (2014a) Impacts on ecosystem services, livelihoods and biogeochemical cycles, Hennige, S., Roberts, M., and P. Williamson (Eds) An updated synthesis of the impacts of ocean acidification on marine biodiversity, Montreal, Technical Series No. 75, pp. 62-70.
- Brander, L.M., D. Narita, K. Rehdanz and R.S.J. Tol (2014b) The Economic Impacts of Ocean Acidification, Paulo A.L.D. Nunes, P.A.L.D., Kumar, P. and Dedeurwaerdere, T. (Eds.) Handbook on the Economics of Biodiversity and Ecosystem Services, Edward Elgar , pp. 78-92.
- Hilmi, N., Allemand, D., Cinar, M., Cooley, S., Hall-Spencer, J. M., Haraldsson, G., Hattam C., Jeffree R.A., Orr J.C. , Rehdanz K., Reynaud S., Safa A., & Reynaud, S. (2014). Exposure of Mediterranean countries to ocean acidification. *Water*, 6(6), 1719-1744.
- Monzel, H., Pondorfer, A., & Rehdanz, K. *The perception of climate change and its causes: Cross-cultural evidence from two small island developing states (SIDS)*. Mimeo.
- Narita, D. and K. Rehdanz (2015) The Economic Impact of Ocean Acidification on Shellfish Production in Europe. Mimeo.
- Pondorfer, A., Barsbai, T., & Schmidt, U. (2014). *Gender differences in risk preferences and stereotypes: Experimental evidence from a matrilineal and a patrilineal society* (No. 1957). Kiel Working Paper.
- Pondorfer, A., & Rehdanz, K. (2015). *Eliciting preferences for public goods in non-monetized communities: Accounting for preference uncertainty* (No. 2010). Kiel Working Paper.

Literaturverzeichnis (siehe Text)

- Brander L, Rehdanz K, Tol R, van Beukering P (2009) The economic impact of ocean acidification on coral reefs. ESRI Working Paper 282, Economic and Social Research Institute, Dublin.
- Cooley SR, Doney SC (2009) Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environmental Research Letters* 4 (1 June 2009) 024007, doi:10.1088/1748-9326/4/2/024007.
- Cooley SR, Lucey L, Kite-Powerll H, Doney SC (2011) Nutrition and income from molluscs today imply vulnerability to ocean acidification tomorrow, *Fish and Fisheries* (published online, DOI: 10.1111/j.1467-2979.2011.00424.x).
- Narita D, Rehdanz K, Tol R (2012) Economic costs of ocean acidification: A look into the impacts on global shellfish production. *Climatic Change* (published online, DOI 10.1007/s10584-011-0383-3).

Universität Bremen (FKZ 03F0655J)

WP 0.2: Datenmanagement

WP 3.8: Adaptive traits of macrophyte performance and community structure at natural CO₂ vent sites

WP 5.6: Impacts of OAW on ecosystem services: participatory evaluation and stakeholder derived options for adaptive management



Universität Bremen

Bibliothekstraße 1

28359 Bremen

Telefon: 0421 218 2859

kbischof@uni-bremen.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 0.2:

Die Aufgaben des WP 0.2 - Datenmanagement umfassten Erfassung, Qualitätssicherung, Langzeitarchivierung und Bereitstellung von projektrelevanten Datensätzen und deren finale Publikation und Weiterverbreitung über ein standardkonformes, in die Projektwebseite eingebundenes Portal sowie die Bereitstellung und Aktualisierung der Webseite.

WP 3.8:

Aufgabe dieses Teilprojektes war die Untersuchung der Effekte der Ozeanversauerung auf die Ökophysiologie von Makroalgen gemäßigter und tropischer Regionen. Dabei sollten insbesondere die Auswirkungen auf die jeweilige Konkurrenzstärke von kalzifizierenden und nicht kalzifizierenden Arten charakterisiert werden. Der Fokus lag auf der Untersuchung adaptiver Prozesse mariner Makrophyten an natürlichen CO₂-Quellen. Es sollten Aussagen zu möglichen Artenverschiebungen in Küstenökosystemen unter dem Einfluss der Ozeanversauerung abgeleitet werden.

WP 5.6:

Aufgabe dieses Teilprojektes war einerseits die integrative Modellierung der Auswirkungen von Ozeanversauerung und -erwärmung auf regionale Ökosystemleistungen und andererseits die Einbeziehung betroffener Akteure in deren Bewertung und in die Erarbeitung von Anpassungsoptionen für die Veränderungen im Ökosystem. Dabei sollten a) relevante Ökosystemdienstleistungen und deren Nutzer in der Untersuchungsregion identifiziert werden, b) ein geeignetes ökologisches Computermodell entwickelt werden, das die wissenschaftlichen Erkenntnisse und das Wissen und die Sorgen der gesellschaftlichen Akteure integriert, und c) das entwickelte Modell zusammen mit den teilnehmenden Akteuren zur Bewertung von Veränderungen, Entwicklung von Anpassungsoptionen und Empfehlungen für ein nachhaltiges Management des sozial-ökologischen Systems genutzt werden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 0.2:

Das Datenmanagement nutzt die Infrastruktur und Expertise von PANGAEA®- Data Publisher for Earth & Environmental Science. Damit stand für das Projekt von Anfang an ein komplettes, ausgereiftes und erfolgreich in nationalen und internationalen Projekten angewandtes Datenmanagement System zur Verfügung. PANGAEA® wird von dem Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven und dem von der DFG geförderten Zentrum für Marine Umweltwissenschaften (MARUM) an der Universität Bremen unterhalten, mit dem Ziel einen langzeitlichen Betrieb zu gewährleisten. Im Vordergrund stehen die Archivierung, Publikation und Weiterverbreitung von wissenschaftlichen Daten gemäß der Open Access Direktiven.

WP 3.8:

Das Projekt wurde vorwiegend in der Abteilung für Meeresbotanik an der Universität Bremen durchgeführt. Die gesamte biochemische Analytik wurde dort vorgenommen. In Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie (Bremen) und dem Australian Institute of Marine Science (AIMS) wurden zwei Expeditionen zu den natürlichen CO₂-Quellen vor Papua-Neuguinea durchgeführt.

WP 5.6:

Das Projekt wurde am Fachbereich 4 der Universität Bremen, Fachgebiet Technikgestaltung und Technologieentwicklung, und Zentrum für Nachhaltigkeitsforschung (artec) durchgeführt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 0.2:

Das Datenmanagement ist als Querschnittsaktivität Teil des Projektmanagements. Sämtliche unternommenen Aktivitäten erforderten eine kontinuierliche, enge Zusammenarbeit mit den Koordinatoren und den anderen Teilprojekten.

WP 3.8:

Für die Projektlaufzeit wurden zwei Themenschwerpunkte identifiziert: (1.) Die mikro-skalige Wirkweise der Versauerungseffekte auf kalzifizierende Makroalgen; (2.) die adaptiven Prozesse in natürlichen, von pH-Verschiebungen betroffenen Systemen. Zu Förderbeginn wurde zunächst die Methode der Mikrosensoren-Messungen auf kalzifizierende Makroalgen adaptiert und die umfangreichen Vorbereitungen für die Expeditionen vorangetrieben.

An den natürlichen CO₂-Quellen wurden insbesondere Mikrosensoren-Messungen zur Quantifizierung der Kalzifizierung an Grün- und Braunalgen, sowie Korallen durchgeführt. Proben für eine Charakterisierung der Epiphyten-Besiedlung auf Seegräsern entlang von Versauerungsgradienten wurden gesammelt. Ferner wurden Labor- und Feldexperimente zu den interaktiven Effekten von CO₂ in Kombination mit veränderten Strahlungs-, Temperatur und Nährstoffbedingungen vorgenommen. In der Kombination ergaben die Studien vertiefte Einblicke in die physiologischen Mechanismen der schädigenden und adaptiven Prozesse der Versauerung einerseits und in die Konsequenzen auf Gemeinschaftsebene andererseits.

WP 5.6:

Es wurde zunächst eine gründliche Sichtung der relevanten wissenschaftlichen Literatur durchgeführt und Kontakt zu Akteuren in der Untersuchungsregion aufgebaut. Es wurden Interviews zur Einbindung der Interessen der Akteure und zur Feststellung ihres Wissensstandes durchgeführt.

Dabei wurde die Grundstruktur des Modells entwickelt. Auf dem ersten Akteursworkshop wurde den Akteuren ein Überblick über den Stand der Wissenschaft zu Ozeanversauerung und mögliche Auswirkungen auf regionale Ökosystemleistungen gegeben, und das entwickelte Modell den Akteuren vorgestellt.

Im Folgenden wurde die Modellstruktur basierend auf den Ergebnissen des Workshops überarbeitet, das Modell parametrisiert und validiert und Szenario-Modellläufe durchgeführt. Die als relevant identifizierten Ökosystemdienstleistungen (Fischerei, Tourismus, Kohlenstoffsequestrierung, Biodiversität) und experimentelle Ergebnisse aus dem Bioacid2-Konsortium 4 wurden in das Modell integriert. Weiterhin erfolgte die Konzeption einer Website, um den Akteuren grundlegende Zusammenhänge des Projekts zu präsentieren und den für 2015 geplanten Auswertungsworkshop per Webumfrage vorzubereiten.

Beim zweiten Akteursworkshop wurden die Ergebnisse der erarbeiteten Szenarienläufe des Modells den Akteuren vorgestellt und durch diese bewertet. Weiterhin erfolgte die Erarbeitung und Diskussion von Anpassungsoptionen.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*

WP 0.2:

Nicht zutreffend

WP 3.8:

Unsere experimentellen Arbeiten wurden auf der Grundlage des von der EU-Kommission veröffentlichten „Guide to Best Practices in Ocean Acidification Research“ durchgeführt.

WP 5.6:

Nicht zutreffend

- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 0.2:

Nicht zutreffend

WP 3.8:

Bei der Planung und Durchführung der Feldexpeditionen stützte sich das Projekt auf die bedeutende Publikation von Fabricius et al. (2011) Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. Nat Clim Chang 1(6): 165-169 und der direkten Kooperation mit K. Fabricius. Die Wahl von *Padina* als Modellorganismus für die Mikrosensoren-Untersuchungen basierte auf der Publikation von Johnson et al. (2012) Temperate and tropical brown macroalgae thrive, despite decalcification, along natural CO₂ gradients. Glob Chang Biol 18: 2792-2803

WP 5.6:

Zur Konzeption des Ökosystemmodells konnten die Ergebnisse verschiedener bestehender Mehrarten- und Ökosystemmodelle für die Untersuchungsregion genutzt werden. Zur Parametrisierung des Modells war eine große Menge an Daten aus Bestandsschätzungen der Fischbestände von Seiten des ICES (International Council for the Exploration of the Sea) verfügbar.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 0.2:

Eine enge Zusammenarbeit dem Datenmanagement Teams des GEOMAR fand statt, dessen Kuratoren Zugriff auf die PANGAEA Datenbank und unterstützende Systeme zur Langzeitarchivierung der Projektdaten bekamen und redaktionell unterstützt wurden.

PANGAEA® außerdem ist an einer Reihe von nationalen und internationalen Projekten und Konsortien aktiv beteiligt. Projektübergreifend wird sowohl mit beteiligten Wissenschaftlern als auch mit Datenbanken aus dem In- und Ausland an der Erstellung und Anwendung von gemeinsamen Standards, Parameterdefinitionen und technischen Anwendungen gearbeitet.

WP 3.8:

Innerhalb des BIOACID Konsortiums hat unser Teilprojekt intensiv mit folgenden anderen Teilprojekten kooperiert: 3.1 (Dirk de Beer, MPI Bremen), 3.2 (Alban Ramette, MPI Bremen), 3.3. (Claudio Richter, AWI Bremerhaven), 3.4. (Frank Melzner, Geomar Kiel). Ferner waren das Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (Bremen) und das Australian Institute of Marine Science (AIMS) an den Untersuchungen beteiligt.

WP 5.6:

Zur Einbindung experimenteller Ergebnisse aus verschiedenen Teilprojekten des Konsortium 4 erfolgte innerhalb des BIOACID-Projektverbunds eine Kooperation mit dem Alfred-Wegener Institut Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven und dem GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel. Mit Teilprojekten des Konsortium 5 (Ocean Services) erfolgte ein regelmäßiger Austausch und eine Diskussion möglicher Effekte auf die Ökosystemdienstleistungen Fischerei, Kohlenstoffaufnahme und Biodiversität. Weiterhin fand in der Untersuchungsregion in Norwegen eine Zusammenarbeit mit dem IMR (Institute for Marine Research), Bergen, und der Universität Tromsø statt.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 0.2:

Vom Projekt erhobene wissenschaftliche Daten wurden über das PANGAEA-Ticket System (<http://www.pangaea.de/submit/>) entweder von den verantwortlichen Wissenschaftlern selber oder von Datenkuratoren des in Kiel ansässigen Datenmanagementteams hochgeladen, mit internationalen Standards und Protokollen entsprechenden Metadaten ergänzt und - mit einer eindeutigen DOI versehen – über PANGAEA publiziert. PANGAEA stellt das für die Archivierung und Publikation notwendige technische Rahmensystem sowie die redaktionelle Unterstützung bei der Vorbereitung der Daten zur finalen Publikation. Außerdem wurden Workshops und Schulungen für Datenkuratoren veranstaltet um u.a. über aktuelle technische Weiterentwicklungen zu informieren.

Die Projektwebseite (<http://www.bioacid.de/>) wurde überarbeitet und unterhalten. Hier wurden die Inhalte und Fragestellungen des Projektes und seiner Teilprojekte dargestellt. Aktuelle Geschehnisse wie Veranstaltungen, erfolgte Expeditionen oder Presseauftritte wurden auf dieser Webseite präsentiert und vorgestellt. In die Webseite eingebettet wurde ein Datenportal, in dem vom Projekt erhobene, sowie für das Projekt relevante Daten zusammengefasst sind.

WP 3.8:

Das übergeordnete wissenschaftliche Ziel war es zu bestimmen, ob Ozeanversauerung zu einem erhöhtem Energiebedarf mariner Makrophyten führt und zu untersuchen, welche adaptiven Prozesse diese Organismen unter Versauerungseinfluss aktivieren. Dazu sollten vorwiegend Organismen untersucht werden, die sich in einem von natürlichen pH-Schwankungen betroffenen marinen System etabliert haben. Diese Aufgabenstellung wurde weitestgehend erreicht. Allein die geplanten Vergleichsuntersuchungen in der Kieler Förde führten aufgrund der höheren Variabilität des Systems auf relativ kleiner Amplitude zu keinen eindeutigen Aussagen zu den physiologischen Grundlagen adaptiver Prozesse in marinen Makrophyten. Dagegen konnten wir unter anderem den Versauerungseinfluss auf die metabolischen Funktionen der kalkifizierenden Braunalge *Padina*

australis bestimmen, welche an natürlichen Kohlendioxid-Quellen häufig zu finden ist. Ferner haben wir die mikrobielle Gemeinschaft auf Seegräsern entlang von Versauerungsgradienten und die Epiphyten-Gemeinschaft auf der kalzifizierenden Grünalge *Halimeda* unter einem kombinierten CO₂ und Nährstoffregime charakterisiert.

Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: (1.) *Padina australis* an natürlichen Kohlendioxid-Quellen ist in erster Linie durch ihre besondere Morphologie an erhöhten pCO₂ angepasst, die eine mikroskalige Isolation des Kalzifizierungsortes vom umgebenden Seewasser erlaubt. Auf physiologischer Ebene zeigte sich ferner, dass Individuen derselben Art entlang von Versauerungsgradienten unterschiedliche pH-Optima für ihre Photosynthese aufweisen. (2.) Ein zusätzliches Eutrophierungsereignis wirkt sich unter Versauerungsbedingungen nicht signifikant auf die Photosynthese und Kalzifizierung von *Halimeda* aus, aber führt zu einem verstärktem Epiphyten-Wachstum, welches sekundär den Basibionten schädigen könnte. (3.) Die Gemeinschaftszusammensetzung mikrobieller Biofilme auf Seegräsern unterscheidet sich stark entlang von Versauerungsgradienten, dabei fanden sich unter Versauerungseinfluss insbesondere Hinweise auf ein verstärktes Auftreten von Bakterien, welche mit Korallenkrankheiten in Verbindung gebracht werden. Dies könnte ein zusätzlicher Stressfaktor für Korallen unter Ozeanversauerungs-Szenarien sein.

WP 5.6:

Die Projektziele wurden im Sinne der eingangs formulierten Aufgabenstellung vollständig erreicht.

Das Modell wurde fertiggestellt und erfüllt die vorgegebenen Anforderungen an Einbindung von experimentellen Ergebnissen und von den Stakeholdern gewünschten Themen. Da auf dem zweiten Workshop noch Wünsche zur Anpassung des Modells geäußert wurden, führte die endgültige Auswertung des Modells zu einem erhöhten Arbeitsaufwand zum Projektabschluss, und die Erstellung einer wissenschaftlichen Veröffentlichung des Modells befindet sich noch in Arbeit.

Die Ergebnisse des Forschungsverbunds sowie allgemein zum Thema Ozeanversauerung wurden an die Akteure kommuniziert und mit diesen diskutiert. Die Projektionen des entwickelten Modells wurden bewertet und gesellschaftliche Anpassungsoptionen entwickelt. Die Veröffentlichung der Ergebnisse der Akteurworkshops wird derzeit erstellt.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 0.2:

Pro Projektjahr 2 Personenmonate wissenschaftlicher Mitarbeiter E13.

WP 3.8:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten für die Postdoktorandenstelle von Frau Dr. Hofmann. Weitere größere Punkte des Budgets waren die im Zusammenhang mit der Durchführung der zwei Expeditionen nach Papua-Neuguinea angefallenen Reise- und Frachtkosten.

WP 5.6:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten für die Doktorandenstelle von Herrn Stefan Königstein, der die Arbeiten zur Einbindung der Akteure und zur Entwicklung des Modells hauptsächlich durchführte. Weitere Kosten fielen an zur Vorbereitung und Durchführung der zwei Akteurworkshops, sowie als Reisekosten zur Durchführung von Interviews mit Akteuren und zur Kooperation mit Experten.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 0.2:

Das Datenmanagement begleitete während der gesamten Laufzeit in enger Zusammenarbeit mit den an dem Projekt beteiligten Wissenschaftlern und der Projektkoordination den Datenfluss von der Erhebung bis zu Archivierung und Publikation der Daten um die wissenschaftlichen Daten von BIOACID als einheitliches Vermächtnis für zukünftige Forschung zu bewahren.

WP 3.8:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

WP 5.6:

Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 0.2:

Die erhobenen, und in PANGAEA® langzeit-archivierten Daten und ihre Produkte können über den Projektrahmen hinaus durch die wissenschaftliche Gemeinde für weitere Projekte genutzt werden und bieten so eine wertvolle Basis für zukünftige Erdsystemforschung.

WP 3.8:

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur klimarelevanten, meeresbiologischen Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Die Verwertung der Ergebnisse besteht in erster Linie in der Veröffentlichung der Daten in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und in der Präsentation auf internationalen Fachtagungen.

WP 5.6:

Es handelt es sich zunächst um einen Beitrag zur sozial-ökologischen Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Verwertungsaussichten bestehen. Die Ergebnisse des Arbeitspakets wurden jedoch mehrfach in der Öffentlichkeitsarbeit des Gesamtprojekts über regionale Medien, Internetplattformen und soziale Netzwerke genutzt. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten von den teilnehmenden Akteuren für ihre wirtschaftliche Planung sowie von Regierungsstellen zur Verbesserung von Managementstrategien genutzt werden.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 0.2:

Nicht zutreffend.

WP 3.8:

Das Gebiet der Versauerungsforschung wird international nach wie vor intensiv untersucht. Neueste Erkenntnisse direkter Kooperationspartner sowie aus der Fachliteratur wurden laufend in die Planungen zum Projektablauf integriert.

WP 5.6:

Das Forschungsthema Ozeanversauerung wird international derzeit intensiv bearbeitet. Weiterhin gibt es intensive Bemühungen zum Voranbringen eines ökosystembasierten Managements von marinen Ressourcen, sowohl auf Forschungs- als auch politischer Ebene (z.B. durch die Europäische Union). Daher wurden neueste Erkenntnisse und Entwicklungen zu diesen Themen laufend in die Planungen zum Projektablauf integriert.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 0.2:

Alle über das Projekt archivierten Daten wurden standartkonform archiviert und mit einer DOI verstehen publiziert. Somit stehen sie langfristig eindeutig identifizierbar und referenzierbar zur Verfügung.

WP 3.8:

Hofmann LC, Fink A, Bischof K, De Beer D (2015) Microsensor studies on *Padina* from a natural CO₂ seep: implications of morphology on acclimation to low pH. *Journal of Phycology*, DOI: 10.1111/jpy.12347

Hassenrück C, Hofmann LC, Bischof K, Ramette A (2015) Seagrass biofilm communities at a naturally CO₂-rich vent. *Environmental Microbiology Reports* 7: 516-525

Hofmann LC, Bischof K, Baggini C, Johnson A, Teichberg M (2015) CO₂ and inorganic nutrients affect the performance of a calcifying alga and its non-calcifying epiphyte. *Oecologia* 177: 1157-1169

Hofmann LC, Bischof K (2014) Ocean acidification effects on calcifying macroalgae. *Aquatic Biology* 22: 261-279

Hofmann LC, Heiden J, Bischof K, Teichberg M (2014) Nutrient availability affects the response of the calcifying chlorophyte *Halimeda opuntia* (L.) J.V. Lamouroux to low pH. *Planta* 239: 231-242

WP 5.6:

Koenigstein S, Gößling-Reisemann S (2014) Ocean acidification and warming in the Norwegian and Barents Seas: impacts on marine ecosystems and human uses. Stakeholder consultation report. University of Bremen, artec Sustainability Research Center

Koenigstein S, Mark F, Gößling-Reisemann S, Reuter H, Pörtner HO (2015) Modeling climate change impacts on marine fish populations: Process-based integration of ocean acidification, warming and other environmental drivers. *Fish and Fisheries* (im Review-Prozess)

Koenigstein S, Ruth M, Gößling-Reisemann S (2016): Modelling climate change impacts on a subarctic marine ecosystem: stakeholder perceptions and adaptation options. *Frontiers in Marine Science* (in Erstellung, Abstract akzeptiert)

Universität Düsseldorf (FKZ 03F0655K)

WP 4.7: Influence of OAW on the Life Cycle of Polar and Arctic Cod – Effects of OAW pre-incubation on adult reproductive capacity, sustainability and adult welfare



Universität Düsseldorf
Universitätsstrasse 1
40225 Düsseldorf
Telefon: 0211 81 14991
bridges@uni-duesseldorf.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP Kristineberg 2013:

Im ersten Teil unseres Vorhabens sollten 2013 im schwedischen Kristineberg, adulte Dorsche *Gadus morhua* bis zum Abläichen bei verschiedenen CO₂-Konzentrationen und Temperaturen vor-inkubiert werden. Gonadenentwicklung, Stresslevel, div. Blutparameter und verschiedene physiologische Auswirkungen wurden von uns untersucht. Die Gameten und befruchteten Eier dieser Tiere sollten im Anschluss WP 4.5 und WP 4.5 zur Verfügung gestellt und (z.T. in Kooperation mit diesen) weiter untersucht werden.

WP Tromsø 2014:

Im zweiten Teil unseres Vorhabens wurden gezüchtete, adulte Dorsche *Gadus morhua*, in Norwegen bei verschiedenen CO₂-Konzentrationen und Temperaturen inkubiert. Gonadenentwicklung, Stresslevel, div. Blutparameter und verschiedene physiologische Auswirkungen wurden von uns untersucht. Die Gameten und befruchteten Eier dieser Tiere sollten im Anschluss WP 4.4 und WP 4.5 zur Verfügung gestellt und (z.T. in Kooperation mit diesen) weiter untersucht werden.

WP Tromsø 2015:

Im dritten Teil unseres Vorhabens wurden gezüchtete und wilde adulte Dorsche *Gadus morhua*, in Norwegen bei verschiedenen CO₂-Konzentrationen inkubiert. Gonadenentwicklung, Stresslevel, div. Blutparameter und verschiedene physiologische Auswirkungen wurden von uns untersucht. Die Gameten und befruchteten Eier dieser Tiere wurden im Anschluss WP 4.5 zur Verfügung gestellt und z.T. in Kooperation mit diesem, weiter untersucht.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP Kristineberg 2013:

Die Voraussetzungen in Kristineberg 2013 waren nicht optimal. Die versprochenen und bestellten **adulten** Dorsche stellten sich als **juvenile** Tiere heraus und leider konnte im gesamten Zeitraum, trotz unterschiedlichster Anstrengungen, kein adäquater Ersatz gefunden werden. Auch die eigentlichen Anlagen zur Hälterung der Tiere mussten in den ersten Wochen des Aufenthalts von uns selbst gefertigt und aufgebaut werden.

WP Tromsø 2014:

Die Voraussetzungen in Tromsø im „*Nasjonal avlsstasjon for torsk*“, der nationalen norwegischen Dorsch-Zuchtstation waren optimal. Im Rahmen des Projektes AQUAEXCEL und BIOACID konnten wir auf die jahrelange Erfahrung und die optimierten Anlagen vor Ort zurückgreifen.

WP Tromsø 2015:

Die Voraussetzungen 2015 waren fast noch besser als 2014, da aufgrund der von uns gesammelten Erfahrungen, die Anlagen weiter auf unsere Bedürfnisse zugeschnitten werden konnten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP Kristineberg 2013:

Planung und Durchführung lagen 2013 weit auseinander. Wie bereits erwähnt, wurden uns keine adulten Tiere zur Verfügung gestellt, so dass wir nicht wie geplant Gameten und befruchtete Eier für andere WPs zur Verfügung stellen konnten. Außerdem konnten wir die von uns geplanten Untersuchungen zu Spermaqualität und Gonadenentwicklung etc. nicht durchführen.

WP Tromsø 2014:

Auch im Jahr 2014 lagen Planung und tatsächlicher Ablauf unserer Experimente weit auseinander. Geplant waren Inkubationen und Untersuchungen mit atlantischen Dorschen *Gadus morhua* und Polardorschen *Boreogadus saida*. Leider konnten von *Boreogadus saida* nicht so viele Exemplare zur Verfügung gestellt werden, wie wir sie für unsere Experimente benötigt hätten. So konnten wir nur mit *Gadus morhua* arbeiten und die mit dieser Art geplanten Experimente durchführen.

WP Tromsø 2015:

In unserem letzten Projektteil deckten sich Planung und Ablauf, bis auf einen etwas verspäteten Start der Inkubation.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*

WP Kristineberg 2013:

Keine Angabe.

WP Tromsø 2014:

Keine Angabe.

WP Tromsø 2015:

Keine Angabe.

- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP Kristineberg 2013:

Es wurden die einschlägigen Informationsdienste wie PubMed, Biobar 2.0.9.1 u.a. verwendet. Eine vollständige Angabe der in den letzten 3 Jahren verwendeten Literatur würde den Rahmen dieses Berichtes übersteigen. Die Daten wurden in das Pangea-Netz geladen.

WP Tromsø 2014:

Es wurden die einschlägigen Informationsdienste wie PubMed, Biobar 2.0.9.1 u.a. verwendet. Eine vollständige Angabe der in den letzten 3 Jahren verwendeten Literatur würde den Rahmen dieses Berichtes übersteigen. Die Daten wurden in das Pangea-Netz geladen.

WP Tromsø 2015:

Es wurden die einschlägigen Informationsdienste wie PubMed, Biobar 2.0.9.1 u.a. verwendet. Eine vollständige Angabe der in den letzten 3 Jahren verwendeten Literatur würde den Rahmen dieses Berichtes übersteigen. Die Daten wurden in das Pangea-Netz geladen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP Kristineberg 2013:

Sven Lovén centrum för marina vetenskaper, Universität Göteborg

GEOMAR Kiel (03F0655A)

AWI Bremerhaven (03F0655B)

WP Tromsø 2014:

Nasjonal avlsstasjon for torsk, Nofima, Tromsø (AQUAEXCEL)

GEOMAR Kiel (03F0655A)

AWI Bremerhaven (03F0655B)

WP Tromsø 2015:

Nasjonal avlsstasjon for torsk, Nofima, Tromsø (AQUAEXCEL)

GEOMAR Kiel (03F0655A)

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

In der ersten Phase von BIOACID II war das Hauptziel, den Einfluss der Ozeanversauerung und Erwärmung (OAW) auf Polardorsch (*Boreogadus saida*) und Wild- und Zucht-Kabeljau (*Gadus morhua*) mit besonderem Augenmerk auf die Reproduktionsbiologie und Larvenaufzucht zu erforschen. Das Arbeitsprogramm bestand aus vier verschiedenen Elementen:

1. Einrichtung von Brutbeständen für Fortpflanzungszyklen, sowohl von Wilden und in Gefangenschaft gehaltenen Brutbestände von Kabeljau *Gadus morhua* und aus Wildbeständen von Polardorsch (*Boreogadus saida*)
2. Störeinflüsse auf Experimente mit Brutbeständen bei Standard pCO₂ Stufen 380 (Derzeit Grundlinie), 700 (2,5 * vorindustriellen, IPCC 'business as usual' für 2100), 1120 (4 * vorindustriellen) und 1960 µatm CO₂ (7 * vorindustriellen) und Temperaturen im Bereich zwischen 0 und 15 ° C
3. Reproduktionsphase Überwachung der Fortpflanzungsfähigkeit, Erfolg, überleben von Gameten und Wohlbefinden der Fische. (Verbunden mit Ei und Larvenentwicklung WPs)
4. „Remittance“ Experimente von OAW Störungen in der Kabeljau Aquakultur und deren Einfluss auf die Fortpflanzungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit.

Alle vier Elemente wurden während BIOACID II mit unterschiedlichen Erfolgsraten erzielt. Es war ursprünglich geplant entweder in Bremerhaven oder Tromsø Polardorsche als Brutbestände

zu halten. Diese Aktivität wurde abgebrochen, da es sich als unmöglich erwies sich als lebensfähig Brutbestände von Spitzbergen in erforderlicher Anzahl zu erhalten. Andererseits waren die Einrichtungen in Bremerhaven für größere Fische ungeeignet. Inkubationsversuche wurden für Kabeljau in Kristineberg und Tromsø (Nofima) I, II durchgeführt und die Fortpflanzungsfähigkeit in allen drei Inkubationen ermittelt, obwohl reife Laichfische in Kristineberg nicht vorhanden waren. „Remittance“ Experimente konnten in Tromsø II sowohl mit Zucht- als auch Wildfisch getragen werden.

WP Kristineberg 2013:

In diesem Szenario wurden Inkubationstanks mit wilden Kabeljau aus der Gullmar Fjord eingerichtet und mit verschiedenen CO₂-Konzentrationen inkubiert. Die meisten der ursprünglichen Aufbauarbeiten wurden mit BIOACID Mitteln durchgeführt, zusammen mit Kosten für Reise, Unterkunft und Fischressourcen. Dies war erfolgreich, und die Fische wurden für einen 4-Monats-Zeitraum mit saisonalen Probenahmen und einer Reihe von Meßparametern, wie im Arbeitsplan vorgesehen, inkubiert. Allerdings waren diese Fische nicht geschlechtsreife und Eier oder Larven konnten für die laufenden KOSMOS Experimente im Gullmar Fjord nicht zur Verfügung gestellt werden.

WP Tromsø 2014:

In diesen Feldversuchen wurden sowohl als auch die CO₂-Konzentration und Temperatur Inkubationen bei Zucht Kabeljau in einem kurzen Zeitexperiment durchgeführt. Wilder Kabeljau wurde gesammelt, aber nicht vor-inkubiert. Dabei gab es keine Korrelation zwischen OAW, GSI und Temperatur. Im Vergleich zu OA hatte die Temperaturen einen größeren Einfluss auf die Eierproduktion, mit geringerer Produktion bei hohen Temperaturen.

WP Tromsø 2015:

In diesen Feldversuchen gelangen langfristige OA Inkubationen in Zucht- und Wild-Kabeljau. Die Reproduktionsentwicklung war bei Wildfischen verzögert, Zuchtfische hatten einen höheren GSI. OA wies einen negativen Effekt auf die Eierproduktion von Wildfischen und einen positiven Effekt auf Zuchtfische. Die Entwicklung vor-inkubierter Zuchtbrutbeständen verbesserte sich im Vergleich zu Wildfisch.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wichtigster Budgetpunkt waren die Personalkosten. Des Weiteren wurde ein Großteil der Zuwendung für Dienstreisen genutzt (Schweden und Norwegen). Die Beschaffung der Dorsche in Schweden und Norwegen sowie die Aufenthalte in Kristineberg und Tromsø (Nofima) wobei Inkubationen von mehr als 5 Monaten nötig waren, die mit erheblichen Kosten verbunden waren. Sämtliche weitere Kosten sind von der Heinrich Heine Universität und AQUAEXCEL übernommen. Ohne die Anlagen in Tromsø 2014 und 2015 wäre die Arbeit des Konsortiums 4 von BIOACID II gescheitert.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP Kristineberg 2013, WP Tromsø 2014 & WP Tromsø 2015:

Die geleistete Arbeit war in diesem Rahmen angemessen und notwendig um Experimente in diesem Umfang durchzuführen und einen problemlosen Ablauf und eine ausreichende Überwachung zu gewährleisten.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP Kristineberg 2013, WP Tromsø 2014 & WP Tromsø 2015:

Alle Ergebnisse unseres Projekts können auf lange Sicht zu einer besseren Tiergesundheit und der Stressreduktion in der Aquakultur beitragen, da gezeigt werden kann ob ein geringerer CO₂-Gehalt beispielsweise der Reproduktion zu Gute kommt.

Außerdem dienen diese, von uns erforschten, Grundlagen der Begründung von Umweltschutzziele und deren Umsetzung.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP Kristineberg 2013:

Dem ZE ist nichts bekannt geworden.

WP Tromsø 2014:

Dem ZE ist nichts bekannt geworden.

WP Tromsø 2015:

Dem ZE ist nichts bekannt geworden.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP Kristineberg 2013:

Serge Caston (BSc)

Janina Moll (BSC)

Zudem werden Veröffentlichungen in einschlägiger Fachliteratur angestrebt.

WP Tromsø 2014:

Serge Caston (BSc)

Mona Norbistrath (BSc)

Zudem werden Veröffentlichungen in einschlägiger Fachliteratur angestrebt.

WP Tromsø 2015:

Rebecka Molitor (BSc)

Joschka Wiegleb (BSc)

Julia Gossa (BSc)

Jacqueline Dziergwa (MSc)

Gwendolin Göttler (PhD, in prep.)

Zudem werden Veröffentlichungen in einschlägiger Fachliteratur angestrebt.

Universität Rostock (FKZ 03F0655L)

WP 2.4: Physiological responses of macrophyte communities to interactive stress



Universität Rostock

A.-Einstein Str. 3

18059 Rostock

Telefon: 0381 498 6090

ulf.karsten@uni-rostock.de

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

Die große Bedeutung von makrophytendominierten Gemeinschaften für das Ökosystem Küste ist unumstritten, da sie im Flachwasser maßgeblich an der Habitatbildung und an der Steuerung von Nahrungsnetzen beteiligt sind. Jedoch sind die interaktiven Effekte von den erwarteten erhöhten CO₂ Konzentrationen und Temperaturen aufgrund des Klimawandels noch nicht untersucht und waren deshalb Ziel des beantragten Projektes. Als Untersuchungsobjekt wurde die Braunalge *Fucus vesiculosus* gewählt, da diese ein wichtiger Ökosystemingenieur in der Ostsee ist. Basierend auf den erwarteten neuen Erkenntnissen unseres Teilprojekts sollte es möglich sein, Vorhersagen über die Entwicklung der Makrophytenbestände in der Ostsee in Bezug auf Ozeanversauerung und Temperaturerhöhung zu erhalten.

Das Projekt war in drei Themenschwerpunkte gegliedert:

Quantifizierung der relativen oder interaktiven Wirkung der CO₂-Zunahme in Kombination mit einem Anstieg der Temperatur auf Photosynthese, Wachstum, Reproduktion und biochemische Parameter von *F. vesiculosus*.

Quantifizierung von Stresssignalen in *F. vesiculosus*.

Erfassung der Konsequenzen der physiologischen Veränderungen von *F. vesiculosus* für seine ökologische Funktion (Primärproduktion, Rekrutierung, Nährstoffqualität).

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Innerhalb des Konsortiums "Benthische Ökosysteme" wurde das Vorhaben in dem Zeitraum 1. September 2012 – 31. August 2015 durchgeführt. Zur Simulation verschiedener Klimawandelfaktoren wurde die Infrastruktur „Kieler Benthokosmen“ genutzt. Dort wurden gemeinsame Experimente mit den anderen Teilgruppen dieses Konsortiums unternommen.

Der Antragsteller (Ulf Karsten) verfügt über eine langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der Untersuchung von Umweltstress (Salinität, Temperatur, UV, Fraßdruck etc.) auf die Ökophysiologie und Biochemie von Makro- und Mikroalgen aus polaren und tropischen Gebieten was sowohl durch verschiedene DFG Projekte als auch durch eine große Anzahl an peer-review Publikationen nachgewiesen werden kann (e.g. Bartsch et al. 2008, Karsten 2008, Karsten et al. 2009a, Rothäusler et al. 2011, Karsten 2012).

Durch diese Vielzahl an Forschungsvorhaben in den Bereichen der Ökophysiologie und Biochemie wurden am Lehrstuhl des Antragstellers eine große Kompetenz und ein umfassendes Methodenspektrum (PAM, Optoden, HPLC, enzymatische Tests...) etabliert. Des Weiteren verfügt der Antragsteller über gute Kontakte zu Instituten, die Möglichkeiten für weitergehende physiologische und chemische Analysen (GC-MS, LC-MS) bieten. Zusätzlich hat der Antragsteller ein großes Interesse an der Entwicklung von neuen Methoden zur Beantwortung der Forschungsfragen (z.B. Gustavs et al. 2009, Karsten et al. 2009b, Woelfel et al. 2010, Graiff et al. 2015a). Außerdem war der Antragsteller PI im BioAcid 1 Teilprojekt 1.1.5 (Interactive effects of CO₂ concentration and temperature on microphytobenthic biodiversity and ecosystem function) und ist deshalb bestens vertraut mit allen Arten an CO₂-Effekten, die auf marine Ökosysteme einwirken. Das Projekt wurde von Angelika Graiff (Doktorandin) unter der Betreuung von Ulf Karsten (Universität Rostock) und Inka Bartsch (AWI) durchgeführt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung und Durchführung der Untersuchungen gliederten sich entsprechend des Projektantrages in verschiedene Experimente und Arbeitspakete. Änderungen in der Durchführung der Arbeitspakete ergaben sich aufgrund von technischen Problemen der Benthokosmos-Anlagen. So konnte das erste Kernexperiment erst im Januar 2013 gestartet werden. Des Weiteren kam es aufgrund eines Sturmes und den daraus resultierenden Problemen an den Anlagen zu einer weiteren Verzögerung um einen Monat. Die verbleibenden Experimente wurden optimiert, um den Doktoranden zusätzliche Freiräume für Datenauswertung und Publikation zu gewähren. Durch Kombination (statt orthogonaler Kreuzung) der bereits 2014 untersuchten Faktoren Erwärmung und Versauerung konnten die verbliebenen Untersuchungen auf 2 Großexperiment im Sommer 2014 und im Winter 2015 konzentriert werden. Insgesamt stellten diese Veränderungen eine Optimierung dar, da alle relevanten Faktoren erhalten blieben, gleichzeitig aber auch eine tiefere Analyse und gründlichere Bearbeitung der Ergebnisse gewährleistet wurden.

Simulierung von Erwärmung und Versauerung im saisonalen Vergleich (2013-2014)

Um den Effekt der beiden Faktoren Erwärmung (+5 °C) und Versauerung (1000 ppm CO₂) im saisonalen Vergleich zu untersuchen, wurden vier saisonale Experimente von Frühling 2013 bis Frühling 2014 durchgeführt. Antwortvariablen waren Wachstum, Photosynthese, Reproduktionszustand, Photoprodukte, Reservestoffe, CN-Gehalt der Biomasse, Proteinkonzentration und Antioxidative Enzyme.

Effekte von Erwärmung, Versauerung und Nährstoffanreicherung (2014)

Die 2013-2014 gesammelten Ergebnisse zeigten, dass erhöhtes CO₂ einen schwächeren Effekt als Erwärmung auf *F. vesiculosus* hatte. Deshalb wurde *F. vesiculosus* einer festen Kombination beider Faktoren Temperatur&CO₂ (als ‚heutige Umgebungsbedingungen‘ versus ‚erhöhte Zukunfts-Bedingungen‘) gekreuzt mit dem Faktor Nährstoffe (als ‚heutige Umgebungsbedingungen‘ versus ‚Nährstoffanreicherung‘) im Sommer (Juli – September 2014) ausgesetzt. In diesem Experiment waren Wachstum, Photosynthese und der Reproduktionszustand die Antwortvariablen.

Effekte von Erwärmung, Versauerung und Fraßdruck (2015)

F. vesiculosus wurde in diesem Experiment einer festen Kombination der beiden Faktoren Temperatur&CO₂ (als ‚heutige Umgebungsbedingungen‘ versus ‚erhöhte Zukunfts-Bedingungen‘) gekreuzt mit dem Faktor „Herbivore“ (als ‚Anwesenheit‘ versus ‚Abwesenheit‘ von herbivoren Organismen) im Frühling (März – April 2015) ausgesetzt. In diesem Experiment waren ebenfalls Wachstum, Photosynthese und der Reproduktionszustand die Antwortvariablen.

Einfluss der Erwärmung und Versauerung auf *F. vesiculosus*, Indoor Experiment, 2013 und 2015

Um den Effekt der beiden Faktoren Erwärmung (+5 °C) und Versauerung (1000 ppm CO₂) unter konstanten Bedingungen im Labor zu untersuchen, wurden zwei zusätzliche Experimente durchgeführt. Antwortvariablen waren Wachstum, Photosynthese, Reproduktionszustand, Photoprodukte, Reservestoffe und CN-Gehalt der Biomasse.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*

Infrastruktur Kieler Benthokosmen

Alle Experimente wurden in den "Kieler Benthokosmen" durchgeführt. Dieses System erlaubt es, die natürlichen Bedingungen der Kieler Förde mithilfe eines Durchflusssystems beizubehalten. Gleichzeitig können in einer Deltabehandlung gezielt Umweltfaktoren simuliert werden. Die Erwärmung wurde durch eine automatische Erhöhung der Temperatur um + 5°C erreicht, CO₂ wurde automatisch in der Atmosphäre über den Tanks, unter luftdichten Hauben, angereichert. Die Nährstoffanreicherung wurde manuell durchgeführt, während andere Prozesse, wie der Zufluss des Tiefenwassers, durch Pumpen gesteuert wurden. Regelmäßige automatisierte Messungen der abiotischen Faktoren wurden durchgeführt. Diese Anlage und ihre Funktionsweise sind im Detail in Wahl et al. (2015) beschrieben.

- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

Für das Verfassen der Manuskripte und der Dissertationsschrift wurde die wissenschaftliche Fachliteratur verwendet. Literaturrecherchen wurden mit den von der Universität Rostock bereitgestellten Diensten Web-of-Science und Scopus durchgeführt. Alle für Publikationen verwendete Daten wurden und werden in einer Datenbank (i.e. PANGAEA- Publishing Network for Geoscientific & Environmental Data) archiviert, und stehen damit auch anderen interessierten Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit zur Verfügung.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Es wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Chemie der Universität Rostock (Abteilung Analytische und Technische Chemie) eine neue Laminarin-Bestimmungsmethode erarbeitet (verschiedene Extraktionen, LC-MS), die zeigt, dass alle bisher publizierten Methoden nicht sauber funktionieren. Diese neue Methode kann auch für andere Projekte genutzt und auch international angewandt werden. Die Methode wurde im *Journal of Applied Phycology* veröffentlicht (Graiff et al. 2015a). Aufgrund des steigenden Interesses an „Bioprocessing“-Produkten aus Meeresalgen auch in anderen Forschungsbereichen und von anderen Nutzergruppen (pharmazeutische und kosmetische Nutzung) ist die Möglichkeit der genauen Charakterisierung von wichtigen Kohlenhydraten in Braunalgen äußerst relevant. Die erhobenen Daten wurden in der BIOACID-Datenbank archiviert und auf PANGAEA (dataset #843456) hinterlegt.

Ebenfalls wurde im Rahmen dieses Projekts ein spezieller Strahlungssensor mit einer angepassten LED (650 nm) und Faseroptik (Durchmesser 1,5 mm) in Zusammenarbeit mit Gademann Instruments GmbH (Würzburg) entwickelt, um Photosynthese-Messungen an sehr kleinen *F. vesiculosus* Keimlingen (Kooperation mit W.P. 2.5) durchzuführen. Die gewonnenen Daten und Erkenntnisse sind bereits veröffentlicht (Al-Janabi et al. 2016). Dieser neu entwickelte Mikrosensor ist auch für weitere Untersuchungen an Mikrostanien von Makrophyten relevant und kann für andere Projekte genutzt werden.

Es wurde eine Bachelor Arbeit (Daniel Liesner) zur Untersuchung der Temperaturansprüche von *F. vesiculosus* in Kooperation mit dem AWI in Bremerhaven durchgeführt und mit einer Publikation abgeschlossen (Graiff et al. 2015b). Die erhobenen Daten wurden in der BIOACID-Datenbank archiviert und auf PANGAEA (dataset #842937) hinterlegt.

Des Weiteren wurde in Kooperation mit W.P. 2.3 Daten der Benthokosmos-Experimente (2013-2014) ausgewertet und in einer Publikation zusammengestellt (Werner et al. 2015). In Kooperation mit W.P. 2.2 wurden Daten zu den physiologischen Antworten von *F. vesiculosus* forma *mytili* unter Erwärmung und Versauerung in den Sylter Benthokosmen ausgewertet und in einer Publikation dargestellt und diskutiert (Mensch et al 2015, *submitted*).

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Es wurden folgende Ergebnisse zu den in der Aufgabenstellung aufgelisteten Hypothesen erzielt:

Für die (a) Quantifizierung der relativen oder interaktiven Rolle der CO₂-Zunahme in Kombination mit einem Anstieg der Temperatur auf physiologische Parameter von *F. vesiculosus* wurden in den Benthokosmos-Anlagen des GEOMAR in Kiel dreimonatige Experimente in allen vier Jahreszeiten von Januar 2013 bis April 2014 durchgeführt. Hierbei wurden die Algen verschiedenen Klimawandelszenarien ausgesetzt. Es wurde ersichtlich, dass eine Erhöhung der CO₂-Konzentration zu einer Wachstumssteigerung von *F. vesiculosus* im Frühling und Sommer führte. Eine Erhöhung der Temperatur um +5°C resultierte ebenfalls in einer Wachstumssteigerung im Vergleich zur Kontrollgruppe unter Umgebungstemperaturen. Jedoch ist diese temperaturbedingte Wachstumssteigerung nur im Frühling und Frühsommer zu beobachten, da aufgrund der Temperaturerhöhung (+5°C zur Umgebungstemperatur) das letale Maximum von *F. vesiculosus* im weiteren Verlaufs des Sommers überschritten wurde. Die Charakterisierung der Temperaturtoleranzen von *F. vesiculosus* wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit im Labor genauer untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die obere Überlebenstemperatur von *F. vesiculosus* zwischen 26 und 27°C liegt. Diese Temperaturen könnten unter den zu erwartenden Temperaturerhöhungen aufgrund des Klimawandels in den Sommermonaten leicht erreicht und auch überschritten werden. Dies könnte dazu führen, dass diese für die Ostsee ökologisch äußerst wichtige Makrophytenart in den Flachwasserbereichen ganz verschwinden könnte (Graiff et al. 2015c).

Im Sommer 2014 wurde ein weiteres Experiment in den Benthokosmen zur Untersuchung des interaktiven Effekts von Temperatur-, CO₂-Konzentrationsanstieg und Eutrophierung auf die physiologischen Parameter von *F. vesiculosus* durchgeführt. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt der Nährstoffgehalte auf die Biomasse von *F. vesiculosus*. Unter Umgebungstemperaturen führte eine Eutrophierung zu einer deutlichen Steigerung der Biomasse. Die erhöhte Umgebungstemperatur führte jedoch zum Absterben der *F. vesiculosus* Individuen, was durch die Eutrophierung beschleunigt und verstärkt wurde. Während der Experimente wurden auch die Eigenschaften der Photosynthese (Sauerstoffproduktion und Chlorophyllfluoreszenz), der Respiration und der Fertilitätsentwicklung unter den jeweiligen Klimawandelszenarien quantifiziert.

Im zweiten Teil des Projektes (b) wurden biochemische Stresssignale in *F. vesiculosus* quantifiziert. Hierzu wurde z.B. die Lipidperoxidation (Malondialdehydgehalt) als auch die Konzentration des antioxidativ-wirkenden Enzyms Superoxid-Dismutase untersucht. In diesem Zusammenhang wurden noch weitere biochemische Untersuchungen an *F. vesiculosus* durchgeführt (z.B. Kohlenhydratgehalt (Mannitol, Laminarin), CN, Pigment- und Proteinkonzentration). Außerdem wurde eine neue Laminarin-Bestimmungsmethode erarbeitet (Details siehe oben).

Insgesamt bleibt festzustellen, dass alle Ziele äußerst erfolgreich und interdisziplinär im benthischen Konsortium bearbeitet wurden, und dass bereits zahlreiche Publikationen in international anerkannten, hochwertigen Zeitschriften veröffentlicht werden konnten.

Weiterhin bleibt festzustellen, dass die angestellte Doktorandin Angelika Graiff ihre Promotion innerhalb der Laufzeit des Projektes erfolgreich abschließen konnte.

Die Aussagen bzw. Untersuchungen zum dritten Schwerpunkt des Projektes (c) orientieren sich an den Ergebnissen der anderen beiden Schwerpunkte.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Material- und Personalkosten konnten für die experimentellen Zwecke wie geplant genutzt werden. Die regelmäßigen Dienstreisen zur Beprobung und Messung der Algen in den Hauptexperimenten in Kiel führten jedoch zu höheren Kosten als erwartet.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten wurden mit nur geringfügigen Abweichungen wie geplant durchgeführt.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Nicht zutreffend, da es sich um ein Projekt der Grundlagenforschung handelt.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nicht zutreffend, da das Vorhaben nicht bei anderen Stellen durchgeführt wurde.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Publikationen

Graiff A., Ruth W., Kragl U. & Karsten U. (2015a) Chemical characterization and quantification of the brown algal storage compound laminarin — A new methodological approach. *Journal of Applied Phycology* doi: 10.1007/s10811-015-0563-z

Graiff A., Liesner D., Karsten U. & Bartsch I. (2015b) Temperature tolerance of western Baltic Sea *Fucus vesiculosus* – growth, photosynthesis and survival. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 471:8–16.

Werner F. J., **Graiff A.** & Matthiessen B (2015) Temperature effects on seaweed-sustaining top-down control vary with season. *Oecologia* doi: 10.1007/s00442-015-3489-x.

Graiff A., Bartsch I., Ruth W., Wahl M. & Karsten U. (2015c) Season exerts differential effects of ocean acidification and warming on growth and carbon metabolism of the seaweed *Fucus vesiculosus* in the western Baltic Sea. *Frontiers in Marine Science* doi: 10.3389/fmars.2015.00112.

Al-Janabi B., Kruse I., **Graiff A.**, Karsten U. & Wahl M. (2016) Genotypic variation influences tolerance to warming and acidification of early life-stage *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyceae) in a seasonally fluctuating environment. *Marine Biology* DOI 10.1007/s00227-015-2804-8

Publikationen in Revision bzw. eingereicht

Al-Janabi B., Kruse I., **Graiff A.** & Wahl M. (2015, in revision) Buffering and Amplifying Interactions among Heat Wave, Hypoxic Upwelling and Nutrient Enrichment Impacting Early Life-Stage *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyceae). *Plos one*.

Werner F. J., **Graiff A.** & Matthiessen B. (2015, submitted) Even moderate nutrient enrichment negatively adds up to global climate change effects on a habitat-forming seaweed system. *Limnology and Oceanography*.

Mensch B., Neulinger S.C., **Graiff A.**, Pansch A., Künzel S., Fischer M.A. & Schmitz-Streit R.A. (2015, submitted) Restructuring of epibacterial communities on *Fucus vesiculosus* forma *mytili* in response to elevated pCO₂ and increased temperature levels. *Frontiers in Microbiology*.

Vorträge und Poster auf Konferenzen

Graiff A., Bartsch I., Gutow L., & Karsten U. Physiological responses of the macroalga key species *Fucus vesiculosus* to warming and acidification. Poster presentation. Bioacid Phase II, 1st Annual Meeting, 1-2 October 2013, Warnemünde, Germany

Graiff A., Al-Janabi B., Bartsch I., Gutow L., Kruse I., Karsten U. & Wahl M. Responses in different life-stages of a macroalgal key species to warming and acidification. Oral presentation. Bioacid Phase II, 1st Annual Meeting, 1-2 October 2013, Warnemünde, Germany

Graiff A., Bartsch I., Gutow L. & Karsten U. Physiological responses of the macroalga key species *Fucus vesiculosus* to warming and acidification in the Kiel Benthocosms. Oral presentation. 15th Scientific Conference of the Phycology Section of the German Botanical Society, 23-26 February 2014, Stralsund, Germany

Al-Janabi B., **Graiff A.**, Kruse I., Karsten U. & Wahl M. Interaction between intraspecific genetic diversity and environmental stress in early life-stage macroalgae. Poster presentation. Bioacid Phase II, 2nd Annual Meeting, 10-11 September 2014, Kiel, Germany

Graiff A., Ruth W., Kragl U. & Karsten U. A new methodological approach for the characterization and quantification of the brown algal storage compound laminarin. Oral presentation. Bioacid Phase II, 2nd Annual Meeting, 10-11 September 2014, Kiel, Germany

Matthiessen B., **Graiff A.** & Werner F.J. Temperature threshold explains disruption of *Fucus*-sustaining top-down control. Poster presentation. Aquatic Sciences Meeting (ASLO), 22-27 February 2015, Granada, Spain

Werner F.J., **Graiff A.** & Matthiessen B. Temperature-induced disruption of top-down control impairs the Baltic Sea *Fucus vesiculosus* system during summer. Oral presentation. Aquatic Sciences Meeting (ASLO), 22-27 February 2015, Granada, Spain

Graiff A., Al Janabi B., Asmus H., Asmus R., Bartsch I., Böhm F., Böttcher M., Eisenhauer A., Gutow L., Karsten U., Kruse I., Matthiessen B., Mensch B., Pansch A., Raddatz S., Schmitz-Streit R., Tauber I., Wahl M., Werner F.J. & Winde V. Effects of warming and acidification on a benthic community in the Baltic Sea – Kiel Benthocosms. Oral presentation. 6th European Phycological Congress (EPC6), 23-28 August 2015, London, England – FEMS Meeting Grant

Graiff A., Ruth W., Kragl U. & Karsten U. A new methodological approach for the characterization and quantification of the brown algal storage compound laminarin. Poster presentation. 6th European Phycological Congress (EPC6), 23-28 August 2015, London, England – FEMS Meeting Grant

Graiff A., Ruth W., Kragl U. & Karsten U. Chemical characterization and quantification of the brown algal storage compound laminarin - a new methodological approach. Poster presentation. Bioacid Phase II, 3rd Annual Meeting, 6-7 October 2015, Kiel, Germany

Werner F.J., **Graiff A.** & Matthiessen B. Mechanistic insights to the negative effects of global and local stressors on the Baltic Sea *Fucus vesiculosus* system. Poster presentation. Bioacid Phase II, 3rd Annual Meeting, 6-7 October 2015, Kiel, Germany

Mensch B, Neulinger S.C., **Graiff A.**, Pansch A., Künzel S., Fischer M.A., Hoffmann C. & Schmitz-Streit R. Restructuring of epibacterial communities on *Fucus vesiculosus* forma *mytili* in response to elevated $p\text{CO}_2$ and increased temperature levels. Poster presentation. Bioacid Phase II, 3rd Annual Meeting, 6-7 October 2015, Kiel, Germany

Universität Kiel(FKZ 03F0655M)

WP 2.2: Biofilm re-structuring and re-functioning

WP 5.2: Sensitivity of the oceanic carbon sink to changes in dissolved organic matter cycling and pelagic calcite dissolution under ocean acidification and climate change

WP 5.5: Ecological-economic modeling of OAW (ocean acidification and warming) effects on fisheries and potential feed-backs



CAU Kiel

Hermann-Rodewald-Straße 5

24118 Kiel

Telefon: 0431 880-00

bschneider@gpi.uni-kiel.de

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

WP 2.2

Ziel des Projektes war es, die Auswirkungen verschiedener Klimaszenarien (+pCO₂, +Temperatur, +Nährstoffe, Kombinationen der Behandlungen) auf bakterielle Gemeinschaften auf Makroalgen-Oberflächen und in der Wassersäule zu untersuchen. Für die phylogenetischen Analysen wurden moderne Amplikon-Sequenziermethoden genutzt (hypervariable Region V1-V2 der bakteriellen 16S rDNA); von der anfänglich genutzten 454-Pyrosequenzierung wurde im laufenden Projekt für die publikationsrelevanten Daten auf die Illumina MiSeq Technologie umgestellt.

WP 5.2

Das Ziel des Teilprojekts 5.2 war die Durchführung einer quantitativen Modellstudie über die Kohlenstoffaufnahmekapazität des Ozeans. Hierbei standen die Effekte von Ozeanversauerung und -erwärmung auf die Kreisläufe von organischem und anorganischem Kohlenstoff im Ozean und deren Interaktionen im Vordergrund. Die Simulationen der Stoffkreisläufe wurden mit einem marinen biogeochemischen Modell (PISCES) durchgeführt, angetrieben durch Ozeanzirkulationsfelder aus einem Ozeanmodell (NEMO). Letzteres war teilweise eingebettet in ein gekoppeltes Atmosphäre-Ozean Klimamodell (KCM).

WP 5.5

In WP 5.5 sollten die Auswirkungen von Ozeanversauerung und -erwärmung auf die Populationsdynamik von Fischbeständen und die damit verbundenen Fischereien untersucht werden. Dabei stand der Kabeljau / Dorsch als Art mit großer wirtschaftlicher Bedeutung und einer weiten Verbreitung in Nord-Atlantischen Raum im Fokus. Des Weiteren sollten potentielle Rückkopplungsmechanismen vom Fischereimanagement auf Ozeanversauerung untersucht werden. Dies könnte durch Fischerei-induzierte Änderungen im Nahrungsnetz, sogenannte trophische Kaskaden, ausgelöst werden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

WP 2.2

Die Experimente wurden am GEOMAR in Kiel (outdoor in den Kieler Benthokosmen, sowie indoor in kleinem Versuchsmaßstab) und am AWI in List (outdoor in den Sylter Benthischen Mesokosmen) durchgeführt. Probenmaterial wurde vor Ort entnommen und anschließend im Institut für Allgemeine Mikrobiologie der Christian-Albrechts Universität prozessiert und die Daten analysiert.

Im Laufe des Projektes wurde die Sequenzierungsmethode von 454 Pyrosequenzierung (Einstellung der Methode von Seiten der Firma Roche) auf Illumina MiSeq umgestellt. Die unerwartete Umstellung erforderte zusätzliche, nicht eingeplante Bearbeitungszeit für Anpassungen in der Probenaufbereitung, so dass Probenmaterial in Absprache mit allen anderen kooperierenden Projektpartnern im Konsortium z.T. zurückgestellt werden musste (CE5 „[TxpCO₂] x Nährstoffe“ und CE6 „Grazer x T“), um die Kernfragestellungen (CE1-4, SY1, IN2; jeweils „T x pCO₂“) für die geplanten Publikationen zuerst bedienen zu können.

(Abkürzungen: **CE** = Core Experiment, **SY** = Sylt Experiment, **IN** = Indoor Experiment)

WP 5.2

Für die Arbeiten im Projekt wurde Frau Dr. Regenberg (vormals Dürkop) als Postdoktorandin (66%) ab dem 18.9.2012 eingestellt. Aufgrund ihrer Vorarbeiten im Rahmen des Exzellenzcluster Ozean der Zukunft war sie bereits gut in die Thematik eingearbeitet. Erste Versuche der Implementierung einer Ballastparametrisierung im Modell PISCES haben eine hohe Sensitivität der simulierten Stoffverteilungen im Ozean auf Änderungen in den vertikalen Partikelflüssen ergeben. Daraus ergab sich die Notwendigkeit/Möglichkeit längere Gleichgewichts-Läufe (Spinups) mit einer inzwischen verfügbar gewordenen effizienteren Methode (PISCES-TMM) durchzuführen. Die hierfür benötigte Rechenzeit auf dem Hochleistungsrechnernetzwerk (HLRN) wurde von Frau Dr. Regenberg während der Projektlaufzeit beantragt und von Seiten des HLRN bewilligt. Verschiedene Hardwarewechsel im HLRN Rechnerverbund im Jahr 2013 haben die Arbeiten um mehrere Wochen verzögert, wobei die gewährte Rechenzeit entsprechend verlängert wurde.

Anfang Januar 2014 ging Frau Dr. Regenberg für ein Jahr in Mutterschutz und Elternzeit, nachdem ihr aufgrund von Problemen in der Schwangerschaft bereits im November ein ärztliches Beschäftigungsverbot auferlegt wurde, welches eine Überschreitung der Arbeitszeit von 2h pro Tag nicht erlaubte. Nach ihrer Rückkehr im Januar 2015 arbeitete sie - unterbrochen von kurzen Urlaubs- und Krankheitsphasen - bis zum 23. April 2015 und war ab dann bis über das Ende der Projektlaufzeit und der gewährten kostenneutralen Verlängerung hinaus dauerhaft krank geschrieben. Die Projektleiterin (B. Schneider) war ebenfalls während der Projektlaufzeit in Mutterschutz/Elternzeit und zwar vom 30. Januar 2014 bis zum 15. Juli 2014 sowie vom 16.2.2015-15.4.2015. Aufgrund der Abwesenheit der PI sowie der unklaren Verhältnisse über die mögliche Rückkehr von Frau Dr. Regenberg war es schwierig eine Ersatzkraft einzustellen, für vier Monate (Sept.-Dez. 2014) konnte jedoch Herr Dr. He als zwischenzeitlicher Ersatz gewonnen werden. Auf diese Weise sowie durch Eigenleistung von Seiten der CAU konnten die Kernexperimente erfolgreich durchgeführt, analysiert und interpretiert werden. Die Datensätze zur weiteren Verwendung in der ökologisch-ökonomischen Modellierung konnten so ebenfalls erstellt werden.

WP 5.5

Eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung des Projektes war eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit. Dazu haben die Partner des Verbundes ihre jeweiligen unterschiedlichen Expertisen eingebracht und die einzelnen Teilprojekte eng miteinander verzahnt. Die gute, kontinuierliche wissenschaftliche Kommunikation war ein Schlüssel, den Projekterfolg zu maximieren. In der Arbeitsgruppe „Umwelt-, Ressourcen- und Ökologische Ökonomik“ am Institut für Volkswirtschaftslehre der CAU Kiel arbeiten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen unterschiedlicher Disziplinen (Fischereibiologie, Ökologie und Volkswirtschaftslehre) zusammen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der ökologisch-ökonomischen Modellierung, welche biologische und ökonomische Komponenten in einem Modell verknüpft. Ein Hauptziel ist es, effiziente und nachhaltige Fischereimanagementstrategien unter Umweltunsicherheit und -wandel zu entwickeln und zu bewerten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WP 2.2

Es wurden Experimente mit lokal-dominierenden Makroalgen Arten in Kiel (Baltischer *Fucus vesiculosus*) und auf Sylt (Nordsee *Fucus vesiculosus* forma *mytili*) durchgeführt. Für die Core

Experimente des Consortiums 2 wurden die outdoor Benthokosmen-Anlagen in Kiel (GEOMAR) bzw. Sylt (AWI) genutzt. Zwei zusätzliche indoor Versuche wurden am GEOMAR Kiel durchgeführt.

Kiel Benthokosmen Experimente: Pilot-CE, CE1/CE2/CE3/CE4 (T x $p\text{CO}_2$; jeweils zu unterschiedlichen Jahreszeiten), CE5 ([$\text{T} \times p\text{CO}_2$] x Nährstoffe), CE6 (Grazer x T).

Sylter Benthokosmen Experiment: SY1 (T x $p\text{CO}_2$; Frühjahr); zusätzlich zum geplanten Programm teilgenommen!

Indoor Experimente: IN1 und IN2 (T x $p\text{CO}_2$). Zusätzlich Consortiums-unabhängig in einer GEOMAR-Klimakammer durchgeführt; kleine 5L-Versuchseinheiten.

Die experimentellen Arbeiten wurden im Mai 2015 abgeschlossen, gefolgt von Probenprozessierung, Sequenzierungen und Datenauswertungen. Das erste Manuskript (MS) ist eingereicht, die Datensätze des zweiten MS sind analysiert, die Datenauswertung für das dritte MS (IN2 Datensatz) wird voraussichtlich Ende Februar 2016 abgeschlossen.

WP 5.2

Unter Anwendung verschiedener Kombinationen von Ozean/Klima/marin biogeochemischen Modellen wurde eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt.

1. Sensitivität der pelagischen Kalklösung auf Ozeanversauerung:

Hierfür wurde das marine biogeochemische Modell PISCES mit Zirkulationsfeldern aus zwei verschiedenen Ozeanmodellen (NEMO, Bernd3-D) angetrieben. Diese entsprachen jeweils einer konstanten klimatologischen Zirkulation. Zusätzlich wurde der Effekt der Ozeanversauerung unter Annahme einer CO_2 -Zunahme in der Atmosphäre simuliert. Hierfür wurde ein idealisiertes Szenario mit 1% pro Jahr Anstieg über 140 Jahre bis zur Vervierfachung des atmosphärischen CO_2 angenommen, danach konstant hohes CO_2 bis auf 1000 Simulationsjahre. Es wurden 6 parallele Simulationen mit unterschiedlichen Annahmen zur Lösungskinetik für pelagisches Kalzit durchgeführt. Hinzu kam jeweils ein Kontrollexperiment (ohne CO_2 -Anstieg), d.h. insgesamt 12 Simulationen über je 1000 Jahre pro Modell. Die Ergebnisse sind publiziert in Regenberg, A., B. Schneider, and R. Gangstø (2013): Sensitivity of pelagic CaCO_3 dissolution to ocean acidification in an ocean biogeochemical model. *Biogeosciences Discuss.*, 10, 11343-11373, doi:10.5194/bgd-10-11343-2013.

2. Sensitivität der vertikalen Partikelflüsse auf Ozeanversauerung und -erwärmung (OAW):

Hier wurde ein Ensemble aus 8 Simulationen für zukünftige Klimaveränderungen (ausgehend von unterschiedlichen Startbedingungen) als Antrieb für das biogeochemische Modell PISCES gewählt. Neben einer Kontrollsimulation (kein OAW) wurden für jedes Klimaszenario (Erwärmung) je zwei biogeochemische Simulationen mit (OAW) bzw. ohne atmosphärischen CO_2 -Anstieg (W-only) durchgeführt. Die Simulationen hatten jeweils eine Länge von 100 Jahren, wobei das atmosphärische CO_2 über die ersten 70 Jahre mit einer Anstiegsrate von 1% pro Jahr verdoppelt und danach über 30 Jahre konstant gehalten wurde. Diese Serie von Experimenten wurde einmal mit der Standard-Formulierung für vertikale Partikelflüsse in der Wassersäule, sowie einmal mit einer für das Projekt entwickelten Ballastparametrisierung (Eigenleistung CAU) durchgeführt. Insgesamt wurden für diese Fragestellung 34 Simulationen mit einer Gesamtlänge von 7200 Modelljahren erstellt.

3. Sensitivität der tropischen ostpazifischen Kohlenstoffquelle auf interne Klimavariabilität:

Zur Abschätzung des Einflusses von Variationen interner Klimaschwankungen (z.B. El Nino/La Nina) auf den CO_2 -Gastaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre wurde das PISCES Modell mit Zirkulationsfeldern aus einer langen transienten Klimasimulation angetrieben, die den letzten 1000

Jahren (Holozän) entspricht. Der Klimaantrieb (Variation der Orbitalparameter) wurde mit einem Beschleunigungsfaktor von 10 durchgeführt, so dass die Simulation innerhalb von 1000 Modelljahren realisiert wurde.

WP 5.5

Das Teilprojekt 5.5 erstreckte sich über die gesamte Förderperiode. Im ersten Jahr stand die Frage der Auswirkungen von "bottom-up" Effekten im Vordergrund. Beobachtete physiologische Effekte von OAW wurden auf das Populationsniveau hoch skaliert und in ökologisch-ökonomischen Modellen quantifiziert. Im weiteren Verlauf des Vorhabens wurden die "top-down" Effekte unterschiedliche Fischereimanagement Optionen auf die Ozeanversauerung in einem weltweiten Modellansatz ermittelt.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere

- *Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden:*

WP 2.2

Für die Core Experimente wurde auf die outdoor Benthokosmen-Anlagen in Kiel (GEOMAR) und auf Sylt (AWI) zurück gegriffen. Die Indoor-Versuchsanlage war eine Eigenkonstruktion in einer GEOMAR-Klimakammer.

WP 5.2

In den durchgeführten Modellsimulationen kamen verschiedene etablierte Modelle für Klima (KCM; Park et al. 2009), Ozeanzirkulation (NEMO; Madec 1998) sowie marine Biogeochemie (PISCES; Aumont and Bopp 2006) zum Einsatz. Für eine Beschleunigung des PISCES-Modells wurden Tests mit der Transport-Matrix-Methode (TMM; Khaliwala 2007) vorbereitet. Der Modell-Datenvergleich wurde mit dem Glodap-Datensatz (Key et al 2004) durchgeführt.

WP 5.5

Nicht zutreffend

- *Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste*

WP 2.2

Die statistischen Analysen wurden mit dem Statistik-Programm „R“ durchgeführt; vgl. u.a. Literatur:

De Cáceres, M., and Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90, 3566-3574.

Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., and Wagner, H. (2015). vegan: Community ecology package. R package version 2.4-0. <https://github.com/vegandevs/vegan>.

Simpson, G.L. (2015). permute: Functions for generating restricted permutations of data. R package version 0.8-4. <http://CRAN.R-project.org/package=permute>.

Team, R.C. (2015). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria; 2014. URL <http://www.R-project.org>.

WP 5.2

Klimamodell KCM: Park, W. et al. (2009): Tropical Pacific climate and its response to global warming in the Kiel Climate Model. *J. Climate* 22, 71-92.

Ozeanmodell NEMO: Madec, G., Delecluse, P., Imbard, M., and Léey, C. (1998): OPA 8.1 Ocean General Circulation Model Reference Manual, Tech. Rep. 11, IPSL.

Marines biogeochemisches Modell PISCES: Aumont, O. and Bopp, L. (2006): Globalizing results from ocean in situ iron fertilization studies, *Global Biogeochemical Cycles*, 20, doi:10.1029/2005GB002691.

Transport-Matrix-Methode TMM: Khatiwala, S. (2007): A computational framework for simulation of biogeochemical tracers in the ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 21, GB3001, doi:10.1029/2007GB002923.

Vergleichsdaten: Key, B. et al. (2004): A global ocean carbon climatology: Results from Global Data Analysis Project (GLODAP). *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 18, GB4031, doi:10.1029/2004GB002247.

Analyse und Darstellung der Modellergebnisse mit Ferret: <http://www.ferret.noaa.gov/Ferret/>

WP 5.5

Es wurde die umfangreiche Literatur zu altersstrukturierten sowie zu stochastischen Fischereimodellen herangezogen. Die biologischen Daten stammen insbesondere vom International Council of the Exploration of the Seas (ICES) und der International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), ökonomische Daten vom dänischen Fischereidirektorat sowie vom europäischen Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF). Quantifizierbare Daten zur Auswirkung von OAW auf die Bestandsdynamik wurden aus den internationalen Literaturdatenbanken extrahiert.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

WP 2.2

Eine enge Zusammenarbeit erfolgte innerhalb des Consortiums 2 (zusammen mit: GEOMAR Kiel, AWI List, Universität Rostock und IOW Warnemünde), die Core Experimente wurden gemeinsam durchgeführt (Mesokosmen, Probennahmen von alle beteiligten Gruppen), um verschiedene Fragestellungen zu bearbeiten. Björn Buchholz (AG Wahl, GEOMAR) betreute die Kieler Benthokosmen Anlage technisch und dokumentierte die grundlegenden Wasserparameter, u.a. Temperatur, $p\text{CO}_2$, pH, O_2 (CE1–CE6). Enge Kooperationen erfolgten insbesondere: mit Angelika Graiff/PI Ulf Karsten (Uni Rostock) bezüglich Analysen zur Wirtsalge (SY1, IN1, IN2); mit Andreas Pansch/PI Ragnhild Asmus (AWI List) bezüglich der Sylter Mesokosmen Anlage und entsprechender Wasserdaten (SY1). Alle Sequenzierungen wurden am MPI Plön in Kooperation mit Dr. Sven Künzel (Prof. DR. John AG Baines, MPI Plön) durchgeführt.

WP 5.2

Im Rahmen des Projekts Bioacid bestand eine enge Zusammenarbeit, u.A. mit der AG Oschlies (Geomar). Neben allgemeinen Aspekten der marinen biogeochemischen Modellierung sowie der Anwendung der TMM-Methode (I. Kriest) betraf dies v.a. den erfolgreichen Einsatz der von W. Koeve in Bioacid 1 entwickelten TA*-Methode zur systematischen Auswertung von simulierten Alkalinitätsfeldern, getrennt nach Effekten von Zirkulation und mariner Biogeochemie. Mit der AG Quaas (WP5.5) bestand enger Austausch hinsichtlich des Bedarfs von Klimavariablen (Temperatur, Salzgehalt) sowie biogeochemischen Variablen (pH, CaCO₃-Sättigungsgrad, Sauerstoff, Nährstoffe, Biomasse, Plankton, Detritus) als Inputvariablen für ökonomisch-ökologische Modelle. Über die Projektgrenzen hinaus gab es engen Kontakt zu Dr. Wonsun Park (AG Latif, Geomar), dem Entwickler des Klimamodells KCM, zu Dr. Laurent Bopp (LSCE, Frankreich) zur Anwendung des PISCES Modells sowie zu Dr. Guy Munhoven (Uni Lüttich, Belgien) hinsichtlich möglicher Anwendungsoptionen der hier erzeugten Ergebnisse über Partikelflüsse in einem marinen Sedimentmodell.

WP 5.5

Das Teilprojekt 5.5 hatte Anschluss an die anderen Teilprojekte im Arbeitspaket 5, im besonderen Teilprojekt 5.2 und 5.3. Es bestand eine enge Verzahnung mit den Teilprojekten 4.1 (Wachstum), 4.4 (Eier), 4.5 (Larven), und 4.7 (Elternbestand).

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

WP 2.2

Die Zuwendungen wurden für die Personalmittel der Mitarbeiterin (PhD) Birte Mensch und die Sequenzierungskosten aufgewendet. Im BIOACID II Projektzeitraum (01.10.2012 – 31.08.2015) wurden folgende Experimente inklusive Probenaufbearbeitung und Analyse erfolgreich abgeschlossen:

1. Pilot-CE: Testphase Anfang 2013, T x pCO₂; Proben z.T. analysiert für erste Einschätzungen.

CE1, CE2, CE3, CE4 (Kiel), T x pCO₂, in unterschiedlichen Jahreszeiten 2013-2014

→ Hauptaussage: keine pCO₂ Effekte, aber signifikante Temperatur-Effekte in allen Jahreszeiten außer im Herbst. **Publikation in Vorbereitung:**

2. IN1 und IN2 (Indoor): T x pCO₂, mit stufenweiser pCO₂-Erhöhung → Datenauswertung voraussichtlich Ende Februar 2016 abgeschlossen. **Publikation in Vorbereitung**

3. CE5: [TxpCO₂] x Nährstoffe, Sommer 2014; und **CE6:** Grazer x T, Frühjahr 2015; Proben zurückgestellt (siehe oben)

4. SY1 Experiment (Sylt), T x pCO₂, Frühjahr 2014

→ Hauptaussage: schwacher pCO₂- und signifikanter Temperatur-Effekt auf bakterielle Gemeinschaften. **Publikation submitted** (Frontiers in Microbiology, Aquatic Microbiology; Einladung zum Research Topic „Epibacterial communities on macroalgae“)

Damit sind die Kernexperimente und Analysen zu *A-Paket 1 - 3* abgeschlossen, lediglich die zusätzlichen Experimente bezüglich des Einflusses von zusätzlichen pathogenen Bakterien und durch *Quorum sensing* auf den Restrukturierungsprozess wurden nicht abgeschlossen, da in Vorversuchen bereits gezeigt werden konnte, dass die Stabilität der QQ-Proteine nicht ausreichend war bzw. es lagen in dem exp. System keine nativen pathogenen Bakterien vor, die isoliert werden konnten.

WP 5.2

In WP5.2 wurden die Zuwendungen hauptsächlich für die Finanzierung von wissenschaftlichem Personal (Dr. Regenberg, Dr. He) eingesetzt. Wie bereits oben erklärt wurden zu folgenden Fragestellungen Modellsimulationen durchgeführt:

1. Sensitivität der pelagischen Kalklösung auf Ozeanversauerung:

Hier wurde gefunden, dass verschiedene Parametrisierungen für die Lösungsrate von Kalkpartikeln in der Wassersäule zwar keine wesentlichen Unterschiede in den mittleren Verteilungen von Kohlenstoff und Alkalinität erzeugen, jedoch die Sensitivität auf Ozeanversauerung deutlich unterschiedliche Eindringtiefen der Kalkpartikel und damit mögliche Effekte auf das Partikelballasting und damit die biologische Pumpe ergab.

Publikation Regenberg, A. et al. (2013): Sensitivity of pelagic CaCO₃ dissolution to ocean acidification in an ocean biogeochemical model. *Biogeosciences Discuss.*, 10, 11343-11373, doi:10.5194/bgd-10-11343-2013.

2. Sensitivität der vertikalen Partikelflüsse auf Ozeanversauerung und -erwärmung (OAW):

Das Hauptergebnis der Arbeit ist, dass neben einer klimawandel-induzierten Abschwächung der marinen Kohlenstoffsänke (geringere CO₂-Löslichkeit, geringere Produktivität), der Effekt von Ozeanversauerung auf das Partikelballasting - wie erwartet - eine zusätzliche Minderung der marinen Kohlenstoffaufnahme kapazität bewirkt. Bis zum Jahr 2100 ist der kumulative Effekt etwa doppelt so hoch wie derjenige, der allein auf die Erwärmung zurückzuführen ist. Der Einfluss der Ozeanversauerung auf den Ballasteffekt setzt allerdings mit starker Verzögerung ein, da das anthropogene CO₂-Signal bis zur Tiefe des CaCO₃-Sättigungshorizonts, der teilweise in mehreren 1000m Wassertiefe liegt, vordringen muss. Aufgrund des relativ kurzen Simulationszeitraums (100 Jahre) ist daher von einer Verstärkung des Effekts mit zunehmender Experimentdauer auszugehen (s. auch Regenberg et al. 2013).

3. Sensitivität der tropischen ostpazifischen Kohlenstoffquelle auf interne Klimavariabilität:

Die hier erzielten Ergebnisse zeigen, dass bei konstantem mittleren Klima trotz erheblicher Schwankungen der ENSO-Amplitude (+/- 50%) die CO₂-Gasaustauschraten im tropischen Ostpazifik über längere Zeiträume stabil bleiben. D.h. es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen SST-Variationen und Gasaustausch, so dass sich bei schlichter Erhöhung der Amplitude der internen Variabilität kein netto-Effekt auf den Gasaustausch einstellt. Die Ergebnisse wurden als **Poster** auf dem Bioacid Annual Meeting 2014 in Kiel dargestellt: Schneider et al. (2014): Sensitivity of the tropical Pacific carbon source to natural climate variability.

Die Auflistung zeigt, dass die Kernexperimente, v.a. im Hinblick auf die weitere Verwendung der Ergebnisse zur Synthese durch ökologisch-ökonomische Modelle, trotz personeller Engpässe erfolgreich realisiert werden konnten.

WP 5.5

Mit den Zuwendungsmitteln wurden wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt. Des Weiteren erfolgten Beiträge von aus dem Grundhaushalt beschäftigten Mitarbeitern. Sie haben insbesondere verbesserte gekoppelte ökologisch-ökonomische Modelle entwickelt, in die Umweltunsicherheiten einfließen. Außerdem wurde die Relevanz der Ergebnisse in Bezug auf Management und Politikberatung untersucht.

- Ökologisch-ökonomische Modelle wurden weiter entwickelt, um den Einfluss von Umweltunsicherheiten und Trends besser quantifizieren zu können. (i) Ein altersstrukturiertes Fischereimodell wurde erstellt (Tahvonen O, Quaas MF, Schmidt JO, Voss R. Optimal harvesting of an age-structured schooling fishery. *Environmental and Resource Economics* 54(1): 21-39.). Im Gegensatz zu vielen traditionellen fischerei-ökonomischen Modellen ermöglicht dieses Modell den Austausch mit in der Praxis verwendeten Fischereimodellen. Altersstrukturierte Modelle ermöglichen zudem Aussagen über die Bedeutung des Erhalts älterer Altersklassen eines Fischbestandes, insbesondere in Hinblick auf eine Risiko-Minimierung von Rekrutierungsausfällen. (ii) Zwei Modelle zum optimalen Fischereimanagement unter Umweltunsicherheit (Kapaun U and MF Quaas (2013). Does the optimal size of a fish stock increase with environmental uncertainties? *Environmental and Resource Economics* 54(2): 293-310; Quaas MF, Ruckes K, Requate T, Skonhofs A, Vestergaard N, and Voss R (2013). Incentives for Optimal Management of Age-Structured Fish Populations. *Resource and Energy Economics* 35(2): 113-134). Unsicherheit spielt bei der Ozeanversauerung eine wesentliche Rolle, einerseits hinsichtlich der Entwicklung der Ozeanversauerung insgesamt, andererseits auch hinsichtlich der Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die Meeresorganismen.
- Die Bedeutung der Ergebnisse im größeren Management und Politik-Kontext wurde herausgearbeitet (Möllmann C, Lindegren M, Blenckner T, Bergström L, Casini M, Diekmann R, Flinkman J, Müller-Karulis B, Neuenfeldt S, Schmidt JO, Tomczak M, Voss R, Gårdmark A (2014). Implementing ecosystem-based fisheries management: from single-species to integrated ecosystem assessment and advice for Baltic Sea fish stocks. *ICES Journal of Marine Science*, 71(5): 1187–1197; Visbeck M, Kronfeld-Goharani U, Neumann B, Rickels W, Schmidt JO, van Doorn E, Matz-Lück N, Proelss A (2014). A sustainable development goal for the ocean and Coasts: Global ocean challenges benefit from regional initiatives supporting globally coordinated solutions. *Marine Policy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2014.02.010>; Visbeck M, Kronfeld-Goharani U, Neumann B, Rickels W, Schmidt JO, van Doorn Erik, Matz-Lück N, Ott K, Quaas MF (2014). Securing Blue Wealth: The Need for a Special Sustainable Development Goal for the Ocean and Coasts. *Marine Policy* 48: 184–191). Dabei erweist sich Ozeanversauerung und –erwärmung als wesentlicher Faktor der zukünftigen Entwicklungen.
- Die physiologischen Effekte von OAW wurden auf Populationsniveau quantifiziert und ihre Auswirkungen auf die sozio-ökologischen Systeme (Fischerei) ermittelt (Voss R, Quaas MF, Schmidt JO and Kapaun U (2015). Ocean acidification may aggravate social-ecological trade-offs in coastal fisheries. *PLoS ONE* 10(3): e0120376. doi:10.1371/journal.pone.0120376; Blenckner T, Llope M, Möllmann C, Voss R, Quaas MF, Casini M, Lindegren M, Folke C, Stenseth N (2015). Climate and fishing steer ecosystem regeneration to uncertain economic

futures. Proceedings of the Royal Society B 282: 2014-2809). Dabei stellte sich heraus, dass ein adaptives Fischereimanagement benötigt wird, um wesentliche negative Effekte abzuf puffern. Es wird jedoch nicht in jedem Fall möglich sein, die historischen Fangerwartungen auch in Zukunft zu erfüllen.

- Die Bedeutung von „Global Change“, also Änderungen auch in den ökonomischen Rahmenbedingungen, im Vergleich zu OAW wurde untersucht. Dabei stand die Frage einer nachhaltigen Nutzung wichtiger Nordatlantischer Wildfischbestände im Fokus (Quaas MF, Reusch TBH, Schmidt JO, Tahvonen O, Voss R (2016). It is the economy, stupid! Projecting the fate of fish populations using ecological–economic modeling. Global Change Biology. 22(1): 264–270; Voss R, Quaas M, Schmidt J, Fricke L (2014) Four fish in 2048 – What will be the status of the wild ones? ICES CM/C:20 (Best Poster Award ICES Annual Science Conference). Ökonomische Parameter (Kosten, Preise, Nachfrage) haben einen ähnlich starken Einfluss auf die Befischungsdynamik wie ökologische Triebkräfte und müssen daher dringend in Zukunftsszenarien berücksichtigt werden.
- Die im Projekt gewonnenen Einsichten und Fortschritte in der Modellierung wurden in einem internationalen Rahmen diskutiert und weiter gegeben (Thébaud O, Doyen L, Innes J, Lample M, Macher M, Mahévas S, Mullon C, Planque B, Quaas MF, Smith T, Vermard Y (2014). Building ecological-economic models and scenarios of marine resource systems: Workshop report. Marine Policy 43: 382–386).

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

WP 2.2

Personalmittel: 1 Stelle als Wissenschaftliche Mitarbeiterin wie beantragt (E13/0,65/36 Monate).

Sequenzierungs-/Verbrauchsmittel und Dienstreisekosten: wie beantragt (siehe Finanzabschlussbericht).

WP 5.2

Personalmittel: eine Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin (66%). Aufgrund der lang andauernden Krankheit und der Unklarheit über den Zeitpunkt einer möglichen Rückkehr von Frau Dr. Regenber g, konnten nicht alle Personalmittel verausgabt werden. Ein Betrag von 12.960,63 Euro (incl. PP) wurde daher zur Kürzung angeboten (s. Schriftwechsel vom 25.11.2015).

WP 5.5

Es fielen Personalausgaben für Beschäftigte der Entgeltgruppen E13 sowie Reisekosten an.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

WP 2.2

Der erfolgreiche Abschluss des Projektes inklusive der umfangreichen Experimente war nur durch die finanzielle Hilfe des BMBF möglich. Erstmals konnten die Benthokosmen-Anlagen in Kiel und auf Sylt erfolgreich für Großversuche genutzt werden. Die Besonderheit dieser Core Experimente war die parallele Beprobung von 6 Gruppen des „Consortium 2“, welche sehr umfassende Studien ermöglichte.

Insbesondere die Personalkosten sowie die erheblichen Sequenzierungskosten konnten nicht aus Hausmitteln bestritten werden. Der erfolgreiche Projektabschluss – die detaillierte Untersuchung von Klimaveränderungen auf marine Bakteriengemeinschaften in großen, natur-nahen Versuchsanlagen – rechtfertigen die aufgewendeten Mittel.

WP 5.2

Die Quantifizierung möglicher Variationen der marinen Kohlenstoffsenske aufgrund von OAW ist ein hochaktuelles Forschungsthema von großer politisch-sozio-ökonomischer Relevanz. Die Kombination verschiedener hochkomplexer Modelle zur Beantwortung der Fragestellungen im vorliegenden Projekt erforderte den Einsatz hochqualifizierter und erfahrener Wissenschaftler/innen. Für solch umfangreiche Arbeiten stehen keine Mittel aus dem Grundhaushalt der Universität zur Verfügung.

WP 5.5

Die Weiterentwicklung von ökologisch-ökonomischen Modellen und sozio-ökologischen Modellen zu Zwecken der Folgeabschätzung von anthropogenen Einflüssen wie der Ozeanversauerung ist zeitaufwendig und bedarf der engen Zusammenarbeit von Biologen, Ökologen und Ökonomen. Ökologisch-ökonomische Modellierung in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe ist nur durch öffentliche Mittel zu finanzieren. Das Verständnis von Wechselwirkungen zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Systemen ist zentral für die Bewertung und Entwicklung von Management-Strategien. Die erzielten Fortschritte konnten erfolgreich auf internationalen Konferenzen vorgestellt werden, sowie in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht werden. Die Ergebnisse haben internationale Aufmerksamkeit erregt.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

WP 2.2

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Aus diesem Grund sind keine Erfindungen bzw. Schutzrechtsanmeldungen geplant. Die erzielten Ergebnisse werden in der anschließenden Synthesephase BIOACID III weiterführend verarbeitet werden (u.a. Modellierungen in der Synthesephase).

Die Ergebnisse des Projektes werden in 3 Hauptpublikationen zusammengefasst, die in internationalen Fachzeitschriften publiziert und auf nationalen sowie internationalen Konferenzen präsentiert werden. Diese sind die Grundlage der *PhD thesis* von Birte Mensch, die ebenfalls veröffentlicht wird. Die Messdaten sowie die Ergebnisse werden zum Abschluss des Projektes in der BIOACID-Datenbank (i.e. PANGAEA- Publishing Network for Geoscientific & Environmental Data) archiviert und stehen damit auch anderen interessierten Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit zur Verfügung. Sowohl die Publikation der Ergebnisse als auch die Datenarchivierung werden spätestens 2 Jahre nach Projektende abgeschlossen sein.

Die Ergebnisse wurden auf folgenden Tagungen als Poster präsentiert:

- 15th Scientific Conference of the Phycology Section of the German Botanical Society, Stralsund, 23.-26.02.2014; Poster: Mensch, B., Neulinger, S.C. & Schmitz-Streit, R.A. "Biofilm re-structuring on macroalgae driven by ocean acidification and warming"

FEMS Konferenz (6th Congress of European Microbiologists) Restructuring of epibacterial communities on *Fucus vesiculosus* forma *mytili* in response to elevated pCO_2 and increased temperature levels”

Sowie auf den jährlichen BioAcid Meetings. Zusätzlich: *Bachelorarbeit* Chriss Hoffmann (1/2015): „Epibacterial communities on *Fucus vesiculosus* forma *mytili*: Impacts of increased pCO_2 and rising temperature levels“

Im Anschluss an die erfolgreiche und ergebnisorientierte Phase 2 von BioAcid, planen wir 2-3 Syntheseprojekte, diese sind z.T. in der schon laufenden BioAcid Phase3 initiiert. Diese sollen eine synoptische Sicht der Gesamtergebnisse und der neu gewonnen Erkenntnisse im Workpackage 2 (Koordinator Martin Wahl) ermöglichen. Zu diesem Zweck werden in Zusammenarbeit mit allen PIs des Workpackages 2 Modellierungsansätze verfolgt, sowie eine GIS-basierte Umsetzung der Modelle. Letztere Applikation wird es Nicht-Fachleuten erlauben, die einzelnen und interaktiven Effekte von wichtigen Klimawandelfaktoren auf die Verbreitung relevanter Arten auszutesten. Auf diese Weise können verschiedene sozio-ökonomische Szenarien und ihre Auswirkungen durchgespielt werden. Entscheidungsfindungen sollen dadurch erleichtert werden.

WP 5.2

Bei diesem Teilprojekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen, daher sind keine Erfindungen bzw. Schutzrechtsanmeldungen geplant. Die hier erzielten Ergebnisse zur Quantifizierung der marinen Kohlenstoffsinken sind allerdings von weitreichender politisch-sozio-ökonomischer Relevanz. Sie werden daher auch in der anschließenden Synthesephase BIOACID III weiterführend verarbeitet werden (s. WP Quaa, Bioacid 3).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen in drei Publikationen veröffentlicht werden, entsprechend der o.g. Struktur der drei Kernstudien. Aufgrund der besonderen Situation von PI und wissenschaftlicher Mitarbeiterin (Mutterschutz und Elternzeit während der Projektlaufzeit) wurden die erzielten Ergebnisse bislang auf den jährlichen Bioacid Meetings, einem Workshop des Consortiums 5 (April 2013) sowie auf institutsinternen Arbeitsgruppenseminaren vorgestellt.

Die Ergebnisse aller Modellsimulationen werden auf dem Hochleistungsrechner der CAU archiviert. Dazugehörige Metainformationen mit Verweis auf die Archivierung werden im Laufe des Jahres 2016 in der Bioacid Datenbank veröffentlicht und stehen damit weiteren Nutzern zur Verfügung.

Die im vorliegenden Projekt erfolgreich entwickelte Ballastparametrisierung wird in der gerade begonnenen dritten Phase des SFB754 (Biogeochemical Interactions in the Tropical Ocean) für Paläoklimasimulationen verwendet werden, da die simulierten Sauerstofffelder eine deutliche Verbesserung gegenüber den bislang mit dem PISCES-Modell erzielten Ergebnissen darstellen.

Die Erfahrungen mit der Entwicklung der Ballastparametrisierung werden in einem BMBF-geförderten Folgeprojekt der nationalen Klimamodellierungsinitiative Palmod (From the Last Interglacial to the Anthropocene - Modeling a Complete Glacial Cycle) Eingang finden. Entgegen der ursprünglichen Planung wird dort nicht das marine biogeochemische Modell PISCES, für welches die Parametrisierung im vorliegenden Projekt entwickelt wurde, sondern ein äquivalentes Modell (HAMOCC) verwendet werden. Dies erlaubt keine direkte Übertragung der entwickelten Parametrisierung.

WP 5.5

Die Nutzung mariner Ressourcen, wie z.B. Fischbestände, muss eine Orientierung an den Prinzipien von Nachhaltigkeit und des Vorsorgeansatzes voraus setzen. Die Fischereien sollten sowohl die befischten Bestände als auch die Ökosysteme schonen und die Aufrechterhaltung der Biodiversität sicherstellen. Gleichzeitig sollten die Fischereien die Versorgung der Bevölkerung mit Protein sicher stellen und profitabel arbeiten, um den Lebensunterhalt der Fischer zu garantieren. Marine Fischbestände unterliegen starken jährlichen und längerfristigen Fluktuationen, die natürliche, aber auch anthropogene Ursachen haben. Wirtschaftlich erfolgreiches, nachhaltiges Fischereimanagement muss diese Bestandsschwankungen berücksichtigen und die Managementmaßnahmen entsprechend anpassen. Voraussetzung dafür ist das ausreichende Verständnis der relevanten abiotischen und biotischen Umweltprozesse, die den Rekrutierungserfolg des Bestands steuern. Außerdem konnten wir zeigen, dass darüber hinaus auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine wesentliche Rolle spielen und berücksichtigt werden müssen, um angemessene Managementempfehlungen aussprechen zu können. Der Erfolg des Vorhabens kann nicht an einem direkten wirtschaftlichen Gewinn gemessen werden. Stattdessen wird sich dieser mittelfristig und nachhaltig dann einstellen, wenn die Projektergebnisse Eingang in das Bestandsmanagement gefunden haben. Die Wildfischbestände bilden die Grundlage großer kommerzieller Fischereien. Die Erträge und die Bestände gilt es nachhaltig zu sichern, nicht zuletzt auch deswegen, weil sie in vielen Ökosystemen eine Schlüsselposition einnehmen. Eine Umsetzung der durch das Vorhaben zu erwartenden wissenschaftlichen Erkenntnisse ist durch die enge Zusammenarbeit mit ausländischen Forschergruppen im Rahmen des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES), der für die Bestandsüberwachung zuständigen internationalen Institution, sowie der EU Kommission, als Vertreter in den internationalen Kommissionen des Fischereimanagements, gewährleistet.

Die bisherigen wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektes werden in internationalen Fachzeitschriften publiziert und auf internationalen Konferenzen präsentiert. Sie fließen außerdem in fokussierte Arbeitsgruppen des ICES ein, die sich spezifisch mit Fragen des adaptiven Fischereimanagements befassen. Die Ergebnisse bilden außerdem die Grundlage für die BIOACID Synthese Phase, in der die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Ozean-Dienstleistungen bewertet werden soll.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

WP 2.2

Technik: Fortschritt in der Entwicklung moderner Sequenzierungsmethoden; daher erfolgte ein Umstieg von der 454-Pyrosequenzierung auf die neuere Illumina MiSeq Technologie.

Publikationen: Studien zu epibakteriellen Gemeinschaften auf Makroalgen und deren Reaktion auf Umweltveränderungen wurden veröffentlicht, z.B. Stratil et al. (2013 und 2014, s.u.) zu Gradienten-Untersuchungen von Temperatur und Salinität. Derartige Erkenntnisse flossen in die Analysen und Manuskripte mit ein. Darüber hinaus wurde bezüglich der Analyse der Daten mit Dr. Sven Neulinger aus der AG Schmitz-Streit zusammengearbeitet, der die entsprechend Expertise aufweist

Stratil, S.B., **Neulinger, S.C.**, Knecht, H., Friedrichs, A.K., and Wahl, M. (2013). Temperature-driven shifts in the epibiotic bacterial community composition of the brown macroalga *Fucus vesiculosus*. *Microbiologyopen* 2, 338-349.

Stratil, S.B., **Neulinger, S.C.**, Knecht, H., Friedrichs, A.K., and Wahl, M. (2014). Salinity affects compositional traits of epibacterial communities on the brown macroalga *Fucus vesiculosus*. *Fems Microbiology Ecology* 88, 272-279.

WP 5.2

Technik: die inzwischen erfolgreiche Implementierung der TMM-Methode für das biogeochemische Modell PISCES (AG Oschlies) eröffnete die Möglichkeit des Zugriffs auf eine sehr schnelle und effektive Methode zur Erstellung von Gleichgewichtsläufen (Spinups) für die Durchführung von Sensitivitätstests. Leider konnten aufgrund der speziellen Situation der Mitarbeiterin Frau Dr. Regenbergs mit Hilfe dieser Methode keine verwertbaren Ergebnisse erzeugt werden.

WP 5.5

Die BIOACID- Mitarbeiter verfolgen kontinuierlich die Fortschritte anderer Wissenschaftler und Forschergruppen zur weiteren Projektthematik in wissenschaftlichen Zeitschriften und Veranstaltungen. Allerdings gibt es z. Zt. kein anderes, entsprechend umfangreiches Vorhaben, welches sich mit einem quantifizierbaren Einfluss auf marine Nutzfische beschäftigt. Die Weiterentwicklung von Fischereimodellen findet auch in anderen Forschungseinrichtungen statt, mit denen die Arbeitsgruppe im engen wissenschaftlichen Austausch steht. Ergebnisse physiologischer Untersuchungen zur Auswirkung von OAW auf Individuen sind veröffentlicht worden. Auswirkungen auf dem Populationsniveau wurden für Invertebraten vorgelegt. Konkrete ökologisch-ökonomische Modelle, die bereits die Folgen der Ozeanversauerung für die Nutzung mariner Fischbestände untersuchen, gibt es unseres Wissens jedoch noch nicht.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

WP 2.2

Restructuring of epibacterial communities on *Fucus vesiculosus* forma *mytili* in response to elevated $p\text{CO}_2$ and increased temperature levels. Mensch B, Neulinger S C, Graiff A, Pansch A, Künzel S, Fischer M A, Schmitz R A. *Frontiers in Microbiology*, 2015, **submitted** [invited to Research Topic]

Epibacterial communities on Baltic *Fucus vesiculosus* respond to increased temperature, not to elevated $p\text{CO}_2$. Mensch B, Neulinger S C, Künzel S, Buchholz B, Wahl M, Schmitz R A. *Applied and Environmental Microbiology*, **in Vorbereitung**

Impacts of ocean acidification and warming on marine macroalgae and its microbiota. Mensch B, Graiff A, Künzel S, Schmitz R A. *FEMS Microbiology Ecology*, **in Vorbereitung**

WP 5.2

Regenberg, A., B. Schneider, and R. Gangstø (2013): Sensitivity of pelagic CaCO_3 dissolution to ocean acidification in an ocean biogeochemical model. *Biogeosciences Discuss.*, 10, 11343-11373, doi:10.5194/bgd-10-11343-2013, **Revision in Vorbereitung**

Segschneider, J. and B. Schneider: Impact of Ocean Acidification and Warming on the ocean carbon sink under consideration of particle ballasting. *Global Biogeochemical Cycles*, **in Vorbereitung**

Schneider, B. and Y. He: Sensitivity of the tropical Pacific carbon source to natural climate variability, *Global Biogeochemical Cycles*, **in Vorbereitung**

WP 5.5

Quaas MF, Reusch TBH, Schmidt JO, Tahvonen O, Voss R (2016). It is the economy, stupid! Projecting the fate of fish populations using ecological–economic modeling. *Global Change Biology*. 22(1): 264–270.

Voss R, Quaas MF, Schmidt JO and Kapaun U (2015). Ocean acidification may aggravate social-ecological trade-offs in coastal fisheries. *PLoS ONE* 10(3): e0120376. doi:10.1371/journal.pone.012037

Voss R, Quaas M, Schmidt J, Fricke L (2014) Four fish in 2048 – What will be the status of the wild ones? ICES CM/C:20 (Best Poster Award) ICES Annual Science Conference