

## SCHLUSSBERICHT

### WTZ Israel: Vergleich der Auswirkungen des Klimawandels auf baltische und mediterrane Lebensgemeinschaften

#### Förderkennzeichen 03F0628A

## I. Kurze Darstellung zu

### *1. Aufgabenstellung*

Gesamtziel des Projektes war es, die Auswirkungen der Ozeanversauerung und der Meereseerwärmung auf benthische Lebensgemeinschaften der Ostsee und des östlichen Mittelmeeres vergleichend zu untersuchen. An beiden Standorten (Kiel, Deutschland und Haifa, Israel) wurden innovative Mesokosmenanlagen (Benthokosmen) installiert und in enger Absprache identische Experimente durchgeführt. Es sollte untersucht werden, ob Organismen aus stark fluktuierenden Habitaten wie der Ostsee besser an den Klimawandel angepasst sind, als funktional ähnliche Organismen, die unter stabileren Regimen abiotischer Umweltparameter leben. Hierbei sollten unterschiedliche Organisationsstufen untersucht werden; angefangen von den Toleranzgrenzen individueller Organismen, über Veränderungen derer Interaktionen, bis hin zu Veränderungen auf der Gemeinschaftsebene mit Implikationen auch für Ökosystemfunktionen und – diensleistungen.

### *2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde*

Die Arbeitsgruppe um Prof. Martin Wahl bot für den hier dargestellten Ostsee-Teil ein wissenschaftlich etabliertes und gut ausgestattetes Arbeitsumfeld. Sowohl die etablierten Methoden zur Probenahme und zur experimentellen Stressökologie mit verschiedensten benthischen Organismen, als auch die professionelle Infrastruktur des GEOMARs, wie beispielsweise die neuartige und festinstallierte Benthokosmen Anlage, trugen maßgeblich zum Gelingen der Experimente bei. Diese Anlage konnte erfolgreich von israelischer Seite nachgebaut und genutzt werden. Zeitgleich lief die 2. Phase von „Bioacid“. Das Benthische Kosortium mit 6 Teilprojekten und ebensovielen Doktoranden/Postdocs wurde von M. Wahl koordiniert. In diesem Rahmen wurde eine weitere konzept-gleiche Anlage an der AWI-Aussenstelle auf Sylt erreicht. Auf diesen beiden Forschungsplattformen entwickelten die Projekte Bioacid-II und BaltMed äußerst wertvolle Synergien. Die Bündelung technischer Erfahrungen in Kiel, auf Sylt und in Israel beflügelte eine Optimierung der sehr anspruchsvollen Infrastruktur. Zahlreiche gemeinsame Workshops und das Ablegen der Daten auf einer IT-Plattform gewährleisteten den zeitnahen und intensiven Informationsfluss zwischen allen Teilprojekten.

### *3. Planung und Ablauf des Vorhabens*

Der Ablauf des Vorhabens entsprach im Wesentlichen den Planungsvorgaben aus dem Projektantrag, jedoch gab es einige zeitliche Abweichungen durch die Schwangerschaft und den

anschließenden Mutterschutz der Doktorandin sowie einige experimentelle Modifikationen, auf Grund der Zusammenarbeit mit Kollaborationspartnern in einem Gemeinschaftsexperiment.

Die Abweichungen werden in II.1. erläutert.

#### *4. Wissenschaftlichem und technischer Stand, an den angeknüpft wurde insbesondere*

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

Die am GEOMAR entwickelte und festinstallierte Benthokosmen Anlage, die CO<sub>2</sub> Manipulations Anlage in den Klimakammern und die Thermobecken der AG Benthische Ökologie wurden für die Durchführung der Experimente verwendet. Wie zuvor schon erwähnt, wurde ein Teil dieser Infrastruktur geklont und laufend optimiert. Zwei Methoden-Artikel sind inzwischen zu dieser neuartigen Technik veröffentlicht.

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

Die benthische Gemeinschaft der Ostsee war ein ideales Model für eine solche Fragestellung, da es ausreichend Fachliteratur über die Physiologie und Ökologie der einzelnen Arten gibt. Studien über den Einfluss von Versauerung und Erwärmung auf diese Arten nehmen stetig zu, jedoch hauptsächlich basierend auf Kurzzeitexperimenten unter Laborbedingungen und unter Einwirkung nur eines Parameters. Eine Ausweitung der Experimente mit der Auswirkung beider Parameter auf ganze Gemeinschaften wird von der Fachwelt als nächster, wichtiger Schritt gefordert und wurde bis jetzt größtenteils nur in Form von Meta-analysen untersucht oder aus vorhandener Literatur zusammengefasst (Reviews). Die wenigen Mesokosmen Versuche waren zu unseren nicht redundant, da sie die natürlichen und jahreszeitlichen Schwankungen des Ökosystems nicht berücksichtigten und damit traditionelle Schwächen aufwiesen.

#### *5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen*

Das TP Ostsee wurde in enger Zusammenarbeit mit den Kooperationspartner in Israel (Gil Rilov, Tamar Guy-Haim vom IOLR, Haifa) durchgeführt. Weiterhin wurde ein Benthokosmen-Langzeitexperiment in Kollaboration mit dem Benthischen Konsortium des Projektes BIOACID II durchgeführt. Beteiligte Institutionen waren das IOW, das AWI, die Universität Kiel, die Universität Rostock und das GEOMAR Kiel. Es bestand über den gesamten Projektzeitraum eine intensive Zusammenarbeit zwischen Biogeochemikern, Physiologen, Genetikern, Mikrobiologen, Phycologen und Gemeinschaftsökologen.

## **II. Eingehende Darstellung**

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

(Hier die Ergebnisse kurz schildern und erwähnen, dass die Ergebnisse der Planung entsprechen und aber auch ggf. Abweichungen zu den vorgegebenen Zielen darstellen.)

### Toleranzgrenzen

Sowie im Projekt-Antrag geplant, wurden im ersten Jahr die Toleranzgrenzen der einzelnen Arten, die später in Kombination unsere Gemeinschaft bildeten, gegenüber Erwärmung und Versauerung untersucht. Hierfür wurden in enger Absprache mit den israelischen Partnern die Organismen sowie die zu messenden Antwortvariablen bestimmt.

Die Organismen wurden daraufhin an drei Stellen entlang der Schleswig-Holsteinischen Küste gesammelt, um eine genetische Diversität zu gewährleisten. Begonnen wurde mit der Sensitivität gegenüber Temperaturveränderungen. Die Nutzung von hochpräzisen Thermobecken ermöglichte es, die Organismen über 2 Wochen auf einer Temperaturskala von 5 – 25°C zu halten und deren spezifischen Antwortvariablen zu erfassen. Dieselben Antwortvariablen wurden daraufhin auch gegenüber sich verändernden pH Bedingungen gemessen. Dafür wurde ein voll-repliziertes Durchflusssystem aufgebaut, angeschlossen an 5 unterschiedliche CO<sub>2</sub> Stufen der festinstallierte CO<sub>2</sub> Manipulationsanlage in den Klimäräumen des GEOMAR-WEST.

*Fucus vesiculosus*: Als Antwortvariable wurden bei dieser Braunalge die Photosyntheserate gewählt. Die Netto Photosyntheseleistung (Photosynthese – Respiration) zeigte einen deutlichen, linearen Anstieg mit steigenden Temperaturen bis 25°C. Die überprüfte Temperaturspanne steht exemplarisch für die jahreszeitlichen Schwankungen im natürlichen System, an die sie optimal angepasst sind. Einen Abfall der Photosyntheseleistung und somit die Überschreitung ihrer maximalen Temperaturtoleranz konnte mit diesem Experiment oder auch der gewählten Antwortvariablen nicht ermittelt werden. Gegenüber sinkenden pH Werten konnte keine Veränderung in der Photosyntheseleistung festgestellt werden.

*Gracilaria vermiculophylla*: Bei dieser invasiven Rotalge wurde als Antwortvariable auch die Photosyntheseleistung gewählt. Wir beobachteten einen leichten linearen Anstieg der Sauerstoffproduktion mit steigenden Temperaturen und keine Veränderung in Bezug auf einen sinkenden pH Wert des Wassers.

*Idotea baltica*: Als Antwortvariable schauten wir und bei dieser herbivoren Crustacee die Fraßraten an. Hierfür analysierten wir über 24h den Anteil an gefressenem *F. vesiculosus*, als auch die Gewichtsmenge der Kotballen. Die Fraßmenge zeigte bei 15°C ein deutliches Optimum, wohingegen die Ausscheidungen mit steigenden Temperaturen sukzessive zunahmen. Auch in den Versauerungsexperimenten zeigte die Fraßmenge ein deutliches Optimum bei einem pH von 7.9 – 8. Die Ausscheidungsmenge blieb hingegen konstant.

*Mytilus edulis*: Bei dieser Muschel schauten wir uns als Antwortvariable die Herzrate an. Wohingegen sich von 5 auf 25°C die Herzschläge pro Minute verdoppelten, sanken sie leicht mit einem zunehmenden pH Wert des Wassers.

Die Toleranzen aller weiterer Arten (*Amphibalanus improvisus*, *Asterias rubens*) wurden in früheren Studien der Arbeitsgruppe ermittelt.

Im Allgemeinen lässt sich erkennen, dass die Temperatur einen stärkeren Einfluss auf die gemessenen Antwortvariablen der Organismen hat, als der pH Wert des Wassers. Es gilt jedoch zu bedenken, dass die unterschiedlich ausgewählten Temperatur und pH Werte noch im natürlichen Bereich der saisonalen Fluktuationen liegen. Die Toleranzbereiche konnten somit nicht genau definiert werden, scheinen die natürlichen Schwankungen der Ostsee jedoch abzudecken und im Vergleich zu den Toleranzbereichen der Mittelmeerarten wesentlich weiter zu sein. Die funktional entsprechenden Organismen im östlichen Mittelmeer zeigten gegenüber der Temperatur eine höhere Sensitivität und deutliche Fitnessabnahme jenseits bestehender Temperaturoptima. Eine unserer Arbeitshypothesen wurde somit bestätigt.

### Interaktionen

Wie schon zuvor im Zwischenbericht erläutert, wurde dieser Teil mit dem Benthokosmen-Langzeitexperiment kombiniert. Dies erschien uns als eine sinnvolle Vorgehensweise, die den Datensatz und das daraus entstehende Gesamtbild des Langzeitexperimentes vervollständigte.

Unter unterschiedlich simulierten, klimatischen Bedingungen in den Benthokosmen (Erwärmung, Versauerung, Erwärmung & Versauerung), wurden die sich verändernden Verteidigungsaktivitäten der strukturbildenden Alge *Fucus vesiculosus* gegenüber Fraß und Bewuchs untersucht. Fraß und Bewuchs gelten als wichtige Interaktionen mit gehörigem Stresspotential und beeinflussen maßgeblich die Populationsdynamiken dieser dominierenden Makroalge.

Zum Ende jedes saisonalen Durchgangs (etwa 10 – 12 Wochen), wurden Oberflächenextrakte der in den Benthokosmen gehälterten Algen hergestellt und in separaten Experimenten auf Verteidigungstärken hin untersucht. Die Verteidigung gegenüber einer Auswahl natürlich siedelnden Bakterienarten wurde im Labor analysiert und war saisonal sehr unterschiedlich. Unter natürlichen, nicht manipulierten Bedingungen war die Verteidigung im Winter am geringsten. Eine Erwärmung oder Versauerung zu dieser Jahreszeit scheint vorteilhaft und bewirkte eine Verstärkung der Verteidigung, im Vergleich mit den restlichen Jahreszeiten.

Die Verteidigungsstärke der Extrakte gegenüber Seepocken (*Amphibalanus improvisus*) und Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) wurde experimentell in der Kieler Förde untersucht. Hierfür wurden spezielle, mit Extrakt imprägnierte Filter für 5 Tage einer natürlichen Besiedlung ausgesetzt. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede der Verteidigung gegenüber der Besiedlung von Miesmuscheln, jedoch eine Temperatur und saisonal abhängige Verteidigung gegenüber Seepocken. Grundsätzlich scheint sich eine Erwärmung eher negativ auf die Verteidigungstärke auszuwirken. Im Sommer jedoch, schien Erwärmung und Versauerung in Kombination die Verteidigung gegenüber Seepocken zu verstärken.

Zum Ende jeder saisonalen Phase wurden auch Pflanzenspitzen aus den Benthokosmen entnommen und zu Futterpellets verarbeitet. Diese Pellets wurden dann in anschließenden Fraßexperimenten unbehandelten Idoteen angeboten, um Veränderungen in der Schmackhaftigkeit von *F. vesiculosus* zu ermitteln. Des Weiteren wurde der Mannitolgehalt und die C/N Raten des Pflanzenmaterials bestimmt, die nachweislich einen großen Einfluss auf Fraßraten haben. Temperatur und Saisonalität wirkten sich signifikant auf die Schmackhaftigkeit der Futterpflanze aus. Verteidigungsstoffe schienen jedoch hierbei einen geringeren Einfluss zu haben, da die Fraßraten signifikant mit erhöhten Mannitolwerten und geringen C/N Gehalten korrelierten.

Zusammengefasst ist auch hier zu erkennen, dass die Verteidigungsstärke und die Schmackhaftigkeit von *F. vesiculosus* Temperatur- und Jahreszeiten-abhängig sind und der pH Wert des Wassers in dem getesteten Bereich keinen Einfluss zu haben scheint.

### Veränderungen der benthischen Gemeinschaft

Die Arten-Zusammensetzung von Gemeinschaften bestimmt maßgeblich die Ökosystemfunktionen und – dienstleistungen. Um herauszufinden, ob sich die benthischen Gemeinschaften der Ostsee unter prognostizierten Umweltveränderungen re-organisieren, haben wir saisonale Langzeitexperimente in den Benthokosmen durchgeführt und die Temperatur und pH Werte des Jahres 2100 simuliert. Die Benthokosmen wurden zu Beginn jedes Experimentes gleichmäßig, d.h. mit denselben Arten in denselben Abundanzen, bestückt. Die Anzahl der Arten war hierbei saisonal jedoch unterschiedlich. Die Gemeinschaft setzte sich aus der Makroalge *F. vesiculosus*, den Weidegängern *Idotea spp.*, *Gammarus spp.* und *Littorina littorea*, den Besiedlern und Konkurrenten *M. edulis* und *A. improvisus* und deren Predator *A. rubens* zusammen. Abweichungen von ursprünglich geplanten Zusammensetzungen ergaben sich aus der Rücksichtnahme auf die Experimente der kooperierenden Doktoranden. Zu Beginn und zum Ende jedes Experimentes wurde bei jeder Art eine vorher festgelegte Antwortvariable gemessen: Abundanzen bei den Weidegängern und Wachstumsraten bei allen anderen Arten.

Die Veränderungen der Gemeinschaften zeigten eine deutliche Temperaturabhängigkeit. Der pH Wert des Wassers hingegen, scheint auch auf dieser Ebene keine Auswirkungen zu haben.

Das deutlichste Ergebnis war eine signifikante Verringerung der Biomasse von *F. vesiculosus* unter erwärmten Bedingungen. Dies ist zurückzuführen auf die steigenden Abundanzen des Weidegängers *Idotea spp.* gekoppelt mit der im ersten Jahr gemessenen Steigerung ihrer Fraßaktivität unter erhöhten Temperaturen. Im Sommer jedoch, stiegen die Temperaturen in den erwärmten Becken auf 29°C und überschritten somit deutlich das natürliche Jahresmaximum und die Toleranzgrenzen einiger Arten. Die *Idotea spp.* und *Gammarus spp.* Populationen brachen deutlich ein und der erheblich reduzierte Fraßdruckes ermöglichte ein Überwachsen der Makroalgen durch filamentöse Aufwuchsalgen, gefolgt von Rückgang und Biomasseverlust von *F. vesiculosus*. Des Weiteren war eine 100%ige Mortalität der Seesterne zu beobachten.

Um herauszufinden, ob der Verlust von Arten und eine nachfolgende Umstrukturierung der Gemeinschaft auch den Verlust wichtiger Ökosystemfunktionen bewirkt, wurde jede Art durch eine Anzahl funktionaler Eigenschaften charakterisiert. Die Kombination dieser Eigenschaften in funktionale Gruppen ermöglichte es zu ermitteln, ob gefährdete Funktionen durch äquivalente Funktion einer anderen Art ersetzt werden könnten. Das System der funktionalen Gruppierung haben wir vor Projektbeginn erarbeitet und publiziert.

Der potentielle Verlust von *F. vesiculosus* würde weitreichende Konsequenzen für das Ökosystem haben. Zum einen ist *F. vesiculosus* einer der dominierenden Primärproduzenten in den Küstengewässern der westlichen Ostsee und hat somit einen großen Einfluss auf die dortige Sauerstoffproduktion und die Kohlenstofffixierung, essentiell in Zeiten der Ozeanversauerung. Des Weiteren spielt diese Makroalge eine wichtige Rolle in der Nahrungskette und somit in der Weitergabe von Kohlenstoff an höhere trophische Ebenen. Innerhalb unserer Testgemeinschaft konnten diese Funktionen durch keine äquivalente Alge ersetzt werden. Es ist allerdings wahrscheinlich, dass diese funktionale Nische in der freien Natur durch funktional ähnliche Algen

wieder besetzt wird. Ein Beispiel wäre die invasive Rotalge *Gracilaria vermiculophylla*, die laut Projektantrag anfänglich als Konkurrent eingesetzt werden sollte aber durch Rücksichtnahme auf die Experimente kollaborierender Partner erst in einem Folgeprojekt getestet wurde.

## Fazit

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass die zukünftige Erwärmung der Ostsee der treibende Parameter für Veränderungen auf der Organismen-, Interaktions- und Gemeinschaftsebene sein wird. Ozeanversauerung spielt eine untergeordnete Rolle. Dieses Ergebnis wird durch weitere, aktuelle Studien bestätigt (Eklöf et al. 2015, Werner et al. 2015, Graiff et al. 2016).

## Vergleich zu Israel

Durch intensive Diskussionen mit den israelischen Partnern und durch Gespräche mit weiteren Kollegen, sind wir zu dem Entschluss gekommen, die Kern-Hypothese des Projektes in einer vergleichenden Meta-analyse umfassend zu untersuchen. Diese Analyse läuft derzeit noch.

## *2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises*

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten. Diese beinhalteten die Ausbildung einer Nachwuchswissenschaftlerin sowie das Gehalt des Benthokosmen-Technikers.

## *3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit*

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*

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Für die Schwesteranlage auf Sylt ist innerhalb von Bioacid-II ein Patent beantragt worden.

## *5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen*

International wurden einige Studien zu den Auswirkungen klimarelevanter Faktoren auf benthische Organismen und deren Gemeinschaften durchgeführt. Der entscheidende Mehrwert unserer Studie ist jedoch die Nutzung der innovativen Benthokosmen Anlage, und die dadurch ermöglichte naturnahe Einbeziehung natürlicher Fluktuationen auf verschiedenen zeitlichen Skalen. Dies wird seit Anfang 2015 in immer neuen Veröffentlichungen nachdrücklich eingefordert, da sich frühere Studien unter konstanten Behandlungsleveln oft als unrealistisch herausstellten.

## *6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6*

**Raddatz, S.**, Guy-Haim, T., Rilov, G. and Wahl, M. *Future warming and acidification effects on anti-fouling and anti-herbivory traits of the brown alga *Fucus vesiculosus**. (under review)

Guy-Haim, T., Silverman, J., **Raddatz, S.**, Wahl, M., Israel, A. and Rilov, G. *Life on the edge: photosynthesis, respiration and calcification of coralline algae in the fast-warming Levant coast* (under review)

**Raddatz, S.**, Graiff, A., Pansch, A., Guy-Haim, T., Rilov, G. and Wahl, M. *Re-organization and re-functioning of a baltic hard-bottom community under climate change induced stress* (in prep)

Guy-Haim, T., Silverman, J., **Raddatz, S.**, Wahl, M., Israel, A. and Rilov, G. *Epiphytes alleviate harmful effects of ocean acidification: The dressed coralline hypothesis* (in prep)

**Raddatz, S.**, Guy-Haim, T., Rilov, G. and Wahl, M. *Ocean warming and the impact on benthic communities: a meta-analysis* (in prep.)

Graiff, A., Bartsch, I., Ruth, W., **Wahl, M.**, Karsten, K. (2015) Season exerts differential effects of ocean acidification and warming on growth and carbon metabolism of the seaweed *Fucus vesiculosus* in the western Baltic Sea. *Front. Mar. Sci. - Global Change and the Future Ocean* (accepted)

**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* 13, 651-663

**Wahl, M.**, Saderne, V., Sawall, Y. 2016. 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.* 67: 25–36, doi: <http://dx.doi.org/10.1071/MF14154>

**Wahl, M.**, Molis, M., Hobday, A.J., Dudgeon, S., Neumann, R., Steinberg, P., Campbell, A.H., Marzinelli, E., Connell, S. 2015. The responses of brown macroalgae to environmental change from local to global scales: direct versus ecologically mediated effects. *Persp. Phycol.* 2 (1), 11-30

## 2. ERFOLGSKONTROLLBERICHT

### 1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms - (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts)

Die erzielten Ergebnisse tragen im vollen Umfang zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms bei.

### 2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

In diesem Projekt konnte gezeigt werden, dass die benthischen Organismen der westlichen Ostsee in unterschiedlichem Maße auf den zukünftigen Klimastress reagieren, die Temperatur jedoch der maßgebliche Faktor für Veränderungen sein wird. Darüber hinaus scheinen die baltische Organismen im Vergleich zu den funktional entsprechenden Organismen des östlichen Mittelmeeres relativ tolerant gegenüber zukünftig zu erwartenden  $p\text{CO}_2$  Werten zu sein. Dies basiert möglicherweise auf selektierter Toleranz der Organismen gegenüber den starken natürlichen Schwankungen von Temperatur und Karbonat-System in der Ostsee.

*3. Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden):*

*Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten,*

Nicht zutreffend, da es sich um ein Projekt der Grundlagen- bzw. Klimafolgen-Forschung handelt und keine wirtschaftlich verwertbaren Ergebnisse angestrebt wurden. Eine Ausnahme bildet das im Rahmen von Bioacid-II angemeldete Patent auf die Benthokosmenanlage.

*Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),*

Nicht zutreffend, da es sich um ein Projekt der Grundlagen- bzw. Klimafolgen-Forschung handelt und keine wirtschaftlich verwertbaren Ergebnisse angestrebt wurden.

*Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen,*

Die Publikation der Ergebnisse wird voraussichtlich Ende 2016/Anfang 2017 abgeschlossen sein. Die Primärdaten der Publikationen wurden und werden in PANGEA der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Nachfolgeprojekte in Kooperation mit den israelischen Partnern sind in Vorbereitung bzw. bereits beantragt, da sich diese Zusammenarbeit als äußerst angenehm und produktiv erwiesen hat.

*Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse,*

Nachfolgeprojekte, welche auf den erlangten Erkenntnissen aufbauen, sind zu den Themen Extremereignisse, Kipppunkte, Fluktuationen, Bioinvasionen und Krankheiten in Vorbereitung. Kooperationspartner werden in erster Linie das IOLR Haifa sein, aber auch gegebenenfalls die Universität Haifa, das IUI Eilat, das AWI Bremerhaven, die Universität Karthago (Tunesien) und die Universität Funchal (Portugal).

*4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben*

Es gab keine wissenschaftlichen Arbeiten, die ergebnislos geblieben sind.

## *5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)*

Ergebnisse dieses Projektes wurden auf internationalen Konferenzen präsentiert:

Raddatz S, Buchholz B, Guy-Haim T, Rilov G and Wahl M: Benthocosms in Marine Ecology: A new facility to simulate climate change scenarios. AMRS 2012, Heraklion, Kreta.

Raddatz S, Pansch A, Guy-Haim T, Rilov G and Wahl M: Benthic Community re-organization and re-functioning under climate change induced stress – a multifactorial approach using novel mesocosms. ASLO Aquatic Science Meeting 2015, Granada, Spanien.

Wahl, M. et al 2014: Scales Of Climate Change. ITRS, Perth, Australia

Wahl, M. et al. 2015: Responses of benthic assemblages to interactive stress. UKOA, London, GB

Weitere Vorträge auf internationalen Konferenzen wurden von unseren israelischen Projektpartnern Gil Rilov und Tamar Guy-Haim gehalten.

Die dazugehörigen Publikationen sind erschienen, befinden sich in der Begutachtung oder in Vorbereitung für die Veröffentlichung in internationalen Fachzeitschriften (s.o.)

## *6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung*

Der Finanzierungsplan wurde eingehalten. Der Zeitplan des Schreibprozesses weicht, wegen der Elternzeit der Doktorandin, jedoch vom geplanten Vorhaben ab. Die im Projekt-Antrag angegebenen Fragestellungen konnten weitestgehend beantwortet werden.