



**Forschungskooperation: „Konzept zum Monitoring der Entwicklung von
Flachwasser-Hartbodengemeinschaften in der s.-h. Ostsee“**

[Aktenzeichen 0608.451722]

- 2. Zwischenbericht -

von

Claas Hiebenthal
(GEOMAR)

IM AUFTRAG

DES LANDESAMTS FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME
(SCHLESWIG-HOLSTEIN)

NOVEMBER 2018

I Inhaltsverzeichnis

- 2. Zwischenbericht -	1
I Inhaltsverzeichnis	2
III Tabellenverzeichnis	4
1 Zusammenfassung	5
2 Einleitung	6
3 Methodisches Vorgehensweise in den Projektmodulen	7
3.1 Vorgehen Modul 1: Konzeptentwicklung	7
3.1.1 Beschreibung bestehender Monitorings an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste	7
3.1.2 In Monitorings fehlende Aspekte: Reaktion der Gemeinschaften auf abiotische Veränderungen und Identifikation wichtiger funktioneller „Player“ für Ökosystemdienstleistungen	8
3.2 Vorgehen Modul 2: Testmonitoring	8
3.2.1 Eingerichtete Monitoringplätze an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste	9
3.2.2 Stressexperimente	14
3.2.3 Auswertung Testmonitoring	17
3.3 Vorgehen Modul 3: Gutachterliche Vorhersagen zur Entwicklung der Gemeinschaften	19
4 Ergebnisse und Fazit	19
4.1 Ergebnisse Modul 1: Konzeptentwicklung	19
4.1.1 FFH und MSRL Überwachungsprogramme/Meldepflicht	19
4.1.2 Anwendung bestehender WRRL-Monitoring-Programme in Schleswig- Holstein (Übersicht)	21
4.1.3 RegLocDiv	23
4.1.4 BALDESH/Bio-HAB	24
4.2 Ergebnisse Modul 2: Testmonitoring	25
4.2.1 Zusammenfassung Ergebnisse des Testmonitorings und Test- Experiments	33
4.3 Bisheriges Fazit	34
4.4 Weitere Schritte	34
5 Quellen	35

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische bewachsene Besiedlungsplatte des seit 2015 laufenden Projekts Bio-HAB (Foto: M. Franz)	9
Abbildung 2: Messwerte von Temperatur [°C], Salinität und Sauerstoffgehalt [% und mg/L] von April bis September 2018 am Standort Staberhuk (Fehmarn)	10
Abbildung 3: Salinitäten der Stationen Falshöft (A), Boknis Eck (B), Bülk (C) und Katharinenhof (D) in den Jahren 2016 und 2017 gemessen an den Logger-Stationen des LLUR-Projekts Flachwasser-Abiotik.	13
Abbildung 5: Versuchsdesign (A) und technische Umsetzung des Salinitätsbehandlung (B) des Test-Experiments.	17
Abbildung 6: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf den Besiedlungsgrad der Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	25
Abbildung 7: MDS-Plot der Gemeinschaften an den beprobten Standorten.	26
Abbildung 8: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Anzahl der Taxa auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	27
Abbildung 9. Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Gleichverteilung (Evenness J') der Gemeinschaften auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	27
Abbildung 10: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von Balanus improvisus auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	28
Abbildung 11: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von Mytilus edulis auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	29
Abbildung 12: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von Polydora sp. auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	29
Abbildung 13: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von Polysiphonia fucoides auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	30
Abbildung 14: Auswirkung (Effect ratio ± Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von Ectocarpus sp. auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung)	31

Abbildung 15: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von benthischen Diatomeen auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).....	32
Abbildung 16: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz des Neobiots <i>Dasya baillouviana</i> auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).....	32

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tauchplätze (TP) an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste: Ausbringung der Besiedlungsplatten im September 2017 und Beprobung der Platten im September 2018.	11
---	----

1 Zusammenfassung

Als Vorbereitung für ein Langzeitmonitoring entwickelt das GEOMAR in der vorliegenden Kooperation ein Monitoringkonzept. In dem geplanten Monitoring sollen durch standardisierte Einheiten (Platten) im Flachwasserbereich angesiedelte Hartbodengemeinschaften mit dem lokalen Larven-/Artenpool und mit Umweltbedingungen (während der Besiedlungsphase, also z.B. im vorhergegangenen Jahr) korreliert werden. Auf diese Weise soll ermittelt werden, welche Bedingungen die Biodiversität wie beeinflussen, d.h. welche Arten sie -unter Berücksichtigung von biotischen Interaktionen (z.B. Konkurrenz, Fraß)- dominieren bzw. verschwinden lassen. Dabei sollen Schlüsselarten identifiziert und ggf. deren Gefährdung herausgestellt werden.

Bei der Entwicklung des Monitoringkonzepts werden bestehende/laufende und sich in Vorbereitung befindliche LLUR- und GEOMAR-Monitorings an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste sowie andere (laufende) inhaltlich verwandte Projekte berücksichtigt. Das Reg-LocDiv-(Regionale-Lokale-Diversität)-Monitoring des GEOMAR stellt dabei die methodische Basis für das hier erarbeitete Langzeitmonitoring von küstennahen Hartbodengemeinschaften entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste dar. Die Ergebnisse der laufenden LLUR-Projekte werden ebenfalls als wichtige Grundlagen in die Ausarbeitung des Langzeitmonitorings zum einen als Bewertungssystem (angepasstes MarBIT) und als konkrete Beprobungs- und Experimentiervorgaben (BALDESH/BioHAB) eingehen.

Zur Prüfung der Machbarkeit und gegebenenfalls Optimierung der Methodik wurde im Rahmen dieses Projekts das beschriebene Konzept für ein Langzeitmonitoring in der Praxis getestet. Im Zuge der im Rahmen des RegLocDiv-Projekts am GEOMAR jährlich durchgeführten Monitoringfahrt mit FK Littorina wurden deshalb im September 2017 an vier Standorten (Falshöft, Boknis Eck, Schönberg, Staber Huk) an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste in 3-4 m Tiefe jeweils sechs Bewuchsplatten ausgebracht. Die auf den Besiedlungsplatten siedelnde Benthosgemeinschaften wurden im September 2018 ans GEOMAR gebracht und dort in einem Test-Experiment einem zuvor anhand von Messdaten aus den Vorjahren (2016 und 2017) ausgewählten Umweltstress (spontan stark verringerte Salinität) ausgesetzt. Dabei zeigte sich eine Tendenz hin zu einer größeren Robustheit von Arten bzw. Gemeinschaften gegenüber Aussüßungsstress, wenn diese bereits zuvor Phasen stärkerer Aussüßung erfahren hatten.

Im Rahmen einer gutachterlichen Vorhersagen zur Entwicklung der Gemeinschaften werden im weiteren Verlauf des Projekts durch den Klimawandel erwartete Zukunftsszenarien für die physikalische Umwelt dargestellt und die wahrscheinlichen Reaktionen der Gemeinschaften durch Datenanalyse von rezenten Arbeiten am GEOMAR und in einer tiefgreifenden Diskussion entwickelt.

2 Einleitung

Der Wert der Biodiversität kann als ökologischen Serviceleistungen für Menschen betrachtet werden (z.B. Tilman & Downing 1994, Naeem et al. 1994, McGradySteed et al. 1997). Beispiele für diese Dienstleistungen im maritimen Bereich sind Reinigung von Wasser und Luft, Erosionsschutz, Nährstoffrecycling, Küstenschutz und Bereitstellung einer „Genbank“. Auch der finanzielle Wert dieser Serviceleistungen wurde wiederholt untersucht (z.B. Edwards & Abivardi 1998, Interwies et al. 2012). Ob für die zuverlässige Versorgung der Menschen mit diesen Diensten aber tatsächlich -über den rein statistischen Rückversicherungseffekt hinaus- eine generell hohe Artenvielfalt oder vielmehr bestimmte Schlüsselarten nötig sind, ist umstritten (Mooney et al. 1995, Doak et al. 1998, Loreau et al. 2001).

Der Flachwasserbereich der Ostsee ist für die dort lebenden marinen Organismen ein Lebensraum mit starken Schwankungen der abiotischen und biotischen Umwelt: neben Temperaturschwankungen variiert auch der Salzgehalt stark, und Salzwasser-Einstromereignisse aus der Nordsee bringen das saisonal aktuelle Set von Verbreitungsstadien von Algen und Evertebraten von dort mit. Darüber hinaus unterliegen selbst Flachwassergemeinschaften gelegentlichen Schwankungen der O₂-Konzentration, wenn wetterbedingtes Upwelling O₂-armes Tiefenwasser an die Küste treibt

(z.B. http://data.geomar.de/realtime/html/projects/kimocc/kimocc_data.html).

Innerhalb dieses „Chaos“ von Bedingungen ist es schwierig, bestimmte Einflüsse einer bestimmten Populations- oder Gemeinschaftsentwicklung zuzuordnen. Dennoch ist dies wichtig, um zu verstehen und vorauszusagen, in welcher Weise der Klimawandel und das Einwandern neuer Arten zukünftig die Zusammensetzung und Funktionsweise der Flachwassergemeinschaften der s.-h. Ostseeküste formen und verändern wird.

Biodiversität (wenn z.B. als reine Artenzahl betrachtet) kann auf verschiedenen räumlichen Skalen betrachtet werden (Whittaker 1972, Cornell & Karlson 1996). Die α -Diversität beschreibt die Artenzahl in der kleinsten räumlich abgrenzbaren ökologischen Einheit, zum Beispiel auf einer Versuchseinheit (Besiedlungsplatte, Greiferprobe) und die β -Diversität die Summe solcher gleichen Einheiten, die zum selben Habitat/Standort gehören. Die γ -Diversität dagegen beschreibt die Gesamtheit aller Habitats/Standorte eines größeren abgegrenzten geographischen Gebiets.

In der vorliegenden Kooperation entwickelt das GEOMAR ein Langzeit-Monitoringkonzept, bei dem durch standardisierte Einheiten (Platten) im Flachwasserbereich (3-4 m) angesiedelte Hartbodengemeinschaften (α -Diversität, Makroalgen und Makrovertebraten) mit dem lokalen (β -Diversität) und regionalem (γ -Diversität) Larven-/Artenpool einerseits und mit den Umweltbedingungen (während der Besiedlungsphase, also z.B. im vorhergegangenen Jahr) andererseits korreliert werden. Auf diese Weise soll ermittelt werden, welche Bedingungen die Biodiversität wie beeinflussen, d.h. welche Arten sie unter Berücksichtigung von biotischen Interaktionen (z.B. Konkurrenz, Fraß) dominieren bzw. verschwinden lassen. Dabei sollen Schlüsselarten identifiziert und ggf. deren Gefährdung herausgestellt werden.

Der langfristige Plan (jenseits der hier vorliegenden Kooperation) ist es, an geeigneten Stellen der s.-h. Ostsee-Küste Messstationen einzurichten, an denen sowohl Besiedlungsplatten als auch geeignete Messsonden für physikalische Bedingungen ausgebracht und gepflegt werden. Zuvor, im Rahmen dieser Kooperation, wurde ein -unter den Kooperationspartnern abge-

stimmtes- Monitoringkonzept entwickelt und an 4 Messstationen für 1 Jahr erprobt. Als Teil dieses Testmonitorings wurden Gemeinschaften in Mesokosmen des GEOMAR gezielt für ... Tage einem relevanten Stressor (Aussüßung) ausgesetzt, um dessen Effekt auf die betroffenen Gemeinschaften experimentell zu testen.

Die Ergebnisse dieser Studie, sollen dabei helfen, über ein langfristiges Messprogramm in einer neuen Kooperation zu entscheiden.

3 Methodisches Vorgehensweise in den Projektmodulen

Im Folgenden werden die Arbeitsschritte dieses Projekts als Module betrachtet. Die drei hier bearbeiteten Module sind „*Modul 1: Konzeptentwicklung*“, „*Modul 2: Testmonitoring*“, „*Modul 3: Gutachterliche Vorhersagen zur Entwicklung der Gemeinschaften*“.

3.1 Vorgehen Modul 1: Konzeptentwicklung

In diesem Modul soll ein Konzept für ein Langzeitmonitoring entwickelt werden, bei dem auf standardisierten Einheiten (Besiedlungsplatten) im Flachwasserbereich (3-4 m) angesiedelte Hartbodengemeinschaften (Makroalgen und Makrovertebraten) mit Umweltbedingungen während der Besiedlungsphase -also z.B. im vorhergegangenen Jahr- korreliert werden. So soll ermittelt werden, welche Bedingungen die Gemeinschaftszusammensetzung auf welche Weise beeinflussen und in der Folge welche Arten dominieren bzw. verschwinden lassen. Dabei sollen mögliche biotische Interaktionen (z.B. Konkurrenz, Fraß) berücksichtigt werden. Zusätzlich sollen Gemeinschaften auf Platten gezielt jeweils relevanten Stressoren für begrenzte Zeiträume (1-4 Wochen) (in den Mesokosmen des GEOMAR) ausgesetzt werden, um die Effekte des Stresses auf die Artenzusammensetzung bzw. auf die Robustheit der Arten experimentell zu testen.

Methodische Details zur Durchführung des Langzeitmonitorings sollten in einem Testmonitoring erprobt werden, das unter 3.2. Modul 2 erläutert wird.

3.1.1 Beschreibung bestehender Monitorings an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste

Bei der Entwicklung des Monitoringkonzepts für ein Langzeitmonitoring sollen bestehende und sich in der Entwicklung befindliche LLUR- und GEOMAR-Monitorings an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste sowie andere (laufende) inhaltlich verwandte Projekte berücksichtigt werden. Insbesondere werden die vom LLUR beauftragten Wasserrahmenrichtlinie(WRRL)-Monitorings BALCOSIS und MarBIT diskutiert, deren Bewertungen bisher als wichtigste Datengrundlage für den Flachwasserbereich bei Meldungen/Berichte für die FFH-Richtlinie bzw. die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) dienen.

Anknüpfen soll das hier zu entwickelnde Konzept methodisch vor allem an das RegLocDiv-Monitoring. In dessen Rahmen erforscht das GEOMAR seit 2004 die Beziehung der regionalen auf die lokale Diversität benthischer Flachwasser-Hartbodengemeinschaften. Hierfür werden an sechs Standorten an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (und einem Standort in Mecklenburg-Vorpommern) jährlich Besiedlungsplatten entnommen (bzw. ausgetauscht) und am GEOMAR ausgewertet (Wahl et al. 2013).

Ein weiteres laufende Monitoringprojekt, dessen Erkenntnisse direkt in die Entwicklung des Langzeitmonitorings einfließen werden, ist das „Abiotik-Projekt“ (LLUR-Projekt: „Aufnahme der Flachwasserabiotik in Schleswig-Holstein“). In diesem werden seit Anfang 2016 Informationen über abiotische Parameter im Flachwasser der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste an 13 Standorten von der Flensburger Förde bis zur Lübecker Bucht erfasst (Bock & Lieberum 2016).

3.1.2 In Monitorings fehlende Aspekte: Reaktion der Gemeinschaften auf abiotische Veränderungen und Identifikation wichtiger funktioneller „Player“ für Ökosystemdienstleistungen

Als Teil des Forschungsprogramms BALDESH, in dem als Kooperation von LLUR, CAU und GEOMAR flächendeckende Kartierungsarbeiten, Klassifizierungen und ökologische Bewertungen von Steinvorkommen im Flachwasser entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste durchgeführt werden, werden in dem Projekt „Bio-HAB“ Verfahren zur Ausweisung und Bewertung von (Flachwasser-)Riffen gemäß FFH-Richtlinie weiterentwickelt. Die hierdurch verbesserte FFH-Bewertung dient gleichzeitig Umsetzung von Überwachungsprogrammen des Küstenbereichs gemäß Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL, siehe 4.1.1). In experimentellen Studien am GEOMAR wird zudem die Stresstoleranz von Hartsubstratgemeinschaften der Ostsee untersucht.

Die in dem vorliegenden Projekt geplanten Experimente, die als Teil des Langzeitmonitorings konzipiert werden, sollen sich als deren Weiterentwicklung stark an den Bio-HAB-Experimenten orientieren. Dabei soll der Rolle von sogenannten Schlüsselarten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

3.2 Vorgehen Modul 2: Testmonitoring

Zur Prüfung der Machbarkeit und gegebenenfalls Optimierung der Methodik soll im Rahmen dieses Projekts das oben beschriebene Konzept eines erweiterten Monitorings getestet werden. Hierfür wurden auf Besiedlungsplatten siedelnde Benthosgemeinschaften der schleswig-holsteinischen Ostseeküste ans GEOMAR gebracht und dort unter Berücksichtigung der zuvor im Jahresgang erlebten physikalischen Bedingungen (in diesem Fall: Salinitätschwankungen) entsprechendem Stress ausgesetzt.

3.2.1 Eingerichtete Monitoringplätze an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste

Einrichtung des Testmonitorings im Feld: Im Zuge der jährlichen RegLocDiv-Monitoringfahrt des GEOMAR mit FK Littorina wurden im September 2017 an vier Standorten der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (Falshöft, Boknis Eck, Schönberg, Staberhuk) in 3-4 m Tiefe jeweils sechs Bewuchsplatten ausgebracht (Tab. 1). Die 11 x 11 cm großen Bewuchsplatten wurden horizontal an jeweils einer dafür ausgebrachten Beton-Grundplatte mit Stahlgewindestangen befestigt (Abb. 1). In der Nähe (200 m – 4,2 km Entfernung) der Besiedlungsplattenstandorte befinden sich an vom Ufer aus leicht erreichbaren Standorten Logger, die Temperatur, Salinität und Sauerstoffgehalt des Wassers sowie Licht messen. Zudem werden dort im Rahmen des Abiotik-Projekts („Aufnahme der Flachwasserabiotik in Schleswig-Holstein“) im 14-tägigen Abstand Wasserproben für Nährstoffanalysen (Nitrat, Nitrit, Phosphat, anorganischer Stickstoff, Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor) genommen.



Abbildung 1: Typische bewachsene Besiedlungsplatte des seit 2015 laufenden Projekts Bio-HAB (Foto: M. Franz).

Aufnahme der abiotischen Umweltdaten an den vier Standorten: Im Abstand von 3-6 Monaten werden die Standorte der Besiedlungsplatten (bzw. der Logger) von Tauchern des GEOMAR aufgesucht und die Logger ausgelesen. Im Abstand von zwei Wochen werden zudem dort Wasserproben für Nährstoffanalysen genommen. Die Nährstoffe (Nitrat, Nitrit, Phosphat, anorganischer Stickstoff, Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor) werden als Teil des „Abiotik-Projekts“ in einem externen Labor (PD Dr. Rhena Schumann, biologische Station Zingst) gemessen.

Eigene Messwerte zur lokalen Seewasser-Abiotik: Da sich die nächstgelegene Loggerstation des Flachwasser-Abiotik-Projekts am Strand Katharinendorf (Fehmarn) in einem anderen

Wasserkörper befindet, wurde die Station Staberhuk zusätzlich zu dem vorhandenen Temperaturlogger im April 2018 mit je einem Sauerstoff- und Salinitätslogger ausgestattet. Die Daten wurden im Rahmen der RegLocDiv-Ausfahrt mit FK Littorina im am 5. September ausgelesen (Abbildung 2).

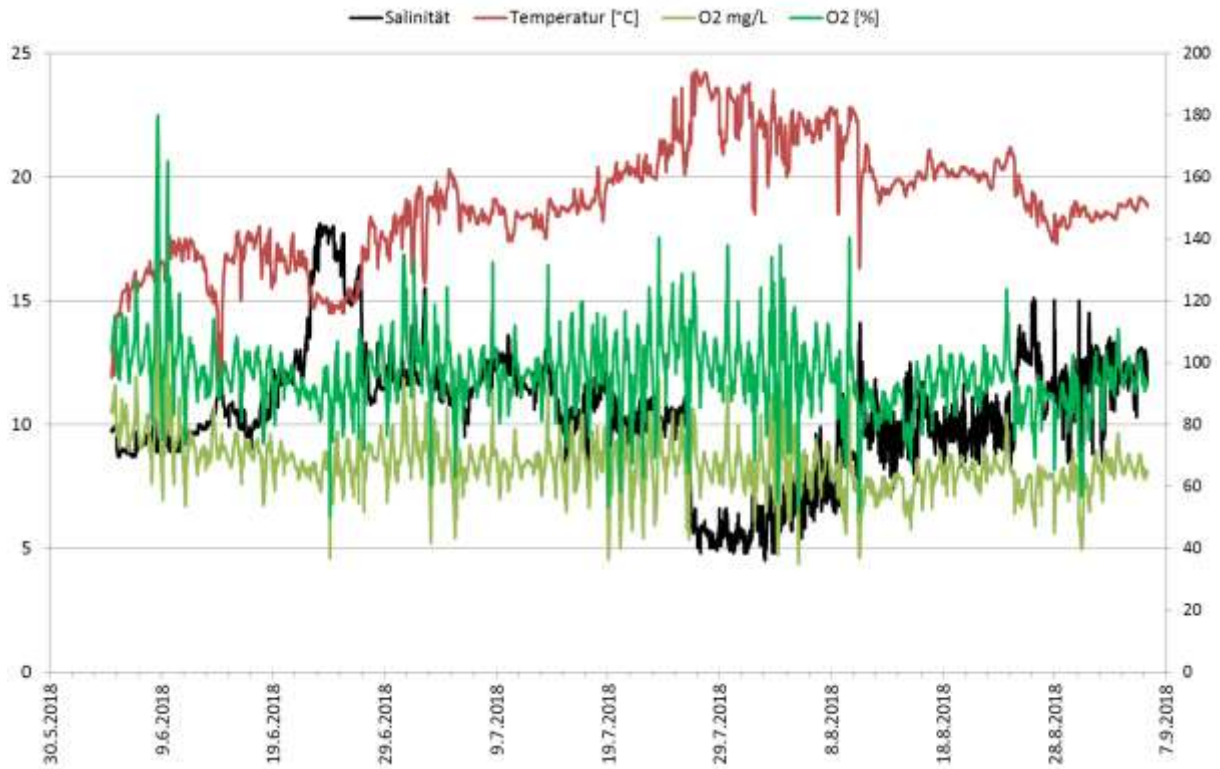


Abbildung 2: Messwerte von Temperatur [°C], Salinität und Sauerstoffgehalt [% und mg/L] von April bis September 2018 am Standort Staberhuk (Fehmarn).

Tabelle 1: Tauchplätze (TP) an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste: Ausbringung der Besiedlungsplatten im September 2017 und Beprobung der Platten im September 2018.

Datum	Tauchplatz (TP)	TP Name	Koordinaten N	Koordinaten E	Tiefe	Kommentar	Logger Flachwasser-abiotik 2017	14-tägiges Monitoring Flachwasser-abiotik	Koordinaten Logger N	Koordinaten Logger E
08.09.2017	1	Falshöft	54°46,935' 54°46,937' 54°46,933'	09°57,325' 09°57,321' 09°57,321'	4 m	6 Besiedlungsplatten ausgebracht , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht	Sauerstoff, Salinität und Temperatur, 2 m Tiefe	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 46.521'	9° 57.670'
09.09.2017	2	Boknis Eck	54°32,918 54°32,927	10°01,762 10°01,759	4 m	6 Besiedlungsplatten ausgebracht , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht	Sauerstoff, Salinität und Temperatur, 2 m Tiefe	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 32.535'	10° 0.808'
05.09.2017	3	Schönberg	54°24,269' 54°24,272'	10°27,046' 10°27,064'	4 m	6 Besiedlungsplatten ausgebracht , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht	Logger defekt,	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 24.236'	10° 26.846'
06.09.2017	5	Staberhuk	54°24,098' 54°24,109'	11°17,801' 11°17,781'	4 m	6 Besiedlungsplatten ausgebracht , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht.	Sauerstoff, Salinität und Temperatur, 2 m Tiefe	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 26.362' (bei Katharinenhof)	11° 17.215' (bei Katharinenhof)

Datum	Tauchplatz (TP)	TP Name	Koordinaten N	Koordinaten E	Tiefe	Kommentar	Logger Flachwasser-abiotik 2018	14-tägiges Monitoring Flachwasserabiotik	Koordinaten Logger N	Koordinaten Logger E
06.09.2018	1	Falshöft	54°46,935' 54°46,937' 54°46,933'	09°57,325' 09°57,321' 09°57,321'	4 m	6 Besiedlungsplatten eingesammelt , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht	Daten liegen noch nicht vor (Stand Nov 2018), 2 m Tiefe	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 46.521'	9° 57.670'
07.09.2018	2	Boknis Eck	54°32,918 54°32,927	10°01,762 10°01,759	4 m	6 Besiedlungsplatten eingesammelt , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht	Daten liegen noch nicht vor (Stand Nov 2018), 2 m Tiefe	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 32.535'	10° 0.808'
05.09.2018	3	Schönberg	54°24,269' 54°24,272'	10°27,046' 10°27,064'	4 m	6 Besiedlungsplatten eingesammelt , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht	Loggerstation versendet bzw. Logger defekt: keine Daten in 2018	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54° 24.236'	10° 26.846'
05.09.2018	5	Staberhuk	54°24,098' 54°24,109'	11°17,801' 11°17,781'	4 m	6 Besiedlungsplatten eingesammelt , Reg- LocDiv-T-Logger getauscht.	Sauerstoff, Salinität und Temperatur, 4 m Tiefe	Nährstoffe 0.5 – 1 m Tiefe	54°24,098' (Staberhuk)	11°17,801' (Staberhuk)

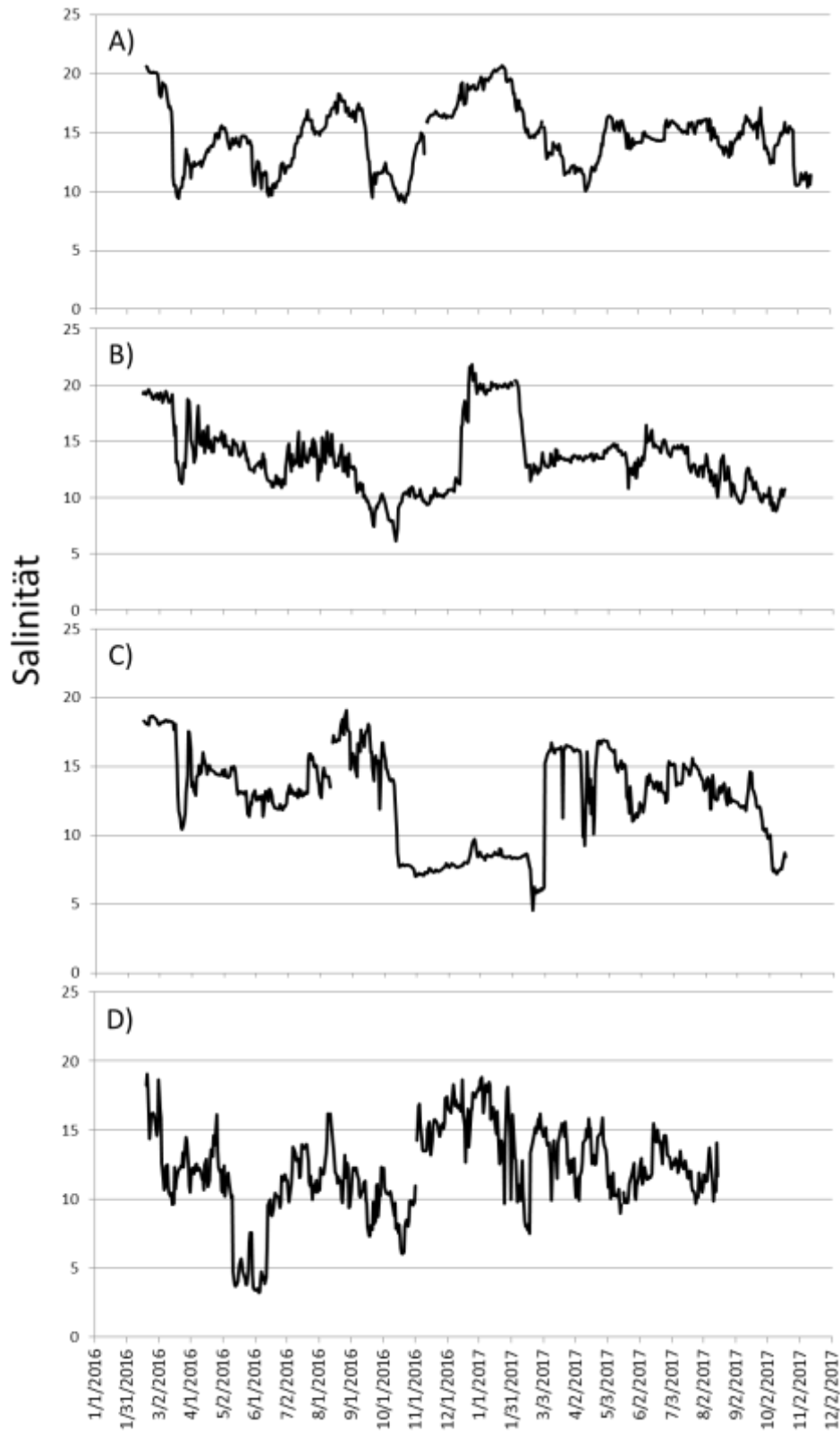


Abbildung 3: Salinitäten der Stationen Falshöft (A), Boknis Eck (B), Bülk (C) und Katharinenhof (D) in den Jahren 2016 und 2017 gemessen an den Logger-Stationen des LLUR-Projekts Flachwasser-Abiotik.

Beprobung der gesiedelten Benthosgemeinschaften: Im September 2018 wurden während der RegLocDiv-Monitoringfahrt mit FK Littorina die 2017 ausgebrachten und in der Zwischenzeit von lokalen Benthosgemeinschaften besiedelten Besiedlungsplatten wieder taucherisch eingesammelt. Hierzu wurden die sechs Platten jeweils von der Grundplatte abgeschraubt und in Kunststoffbeuteln verpackt vorsichtig an Bord von FK Littorina gebracht. Dort wurden sie -zur Zwischenhälterung wiederum auf Gewindestangen angebracht- in Wasserbädern bis zum nächsten Hafen gebracht.

Die Besiedlungsplatten der Stationen Boknis Eck, Schönberg und Staberhuk wurden am Tag der Beprobung direkt mit FK Littorina zum GEOMAR nach Kiel gebracht und dort in eine Zwischenhälterungsanlage eingesetzt. Die Besiedlungsplatten der Station Falshöft wurden im Hafen von Maasholm an Land und anschließend mit einem Transporter nach Kiel zum GEOMAR gebracht.

Die Salinität an den Stationen Falshöft, Boknis Eck und Schönberg entsprach bei der Beprobung derselben wie in der Kieler Förde am GEOMAR (Salinität 17). An der Station Staberhuk lag bei der Beprobung die Salinität mit einem Wert von 12 etwas niedriger, weshalb das Wasser, in dem die Platten an Bord transportiert wurden, in zwei Schritten an den Kieler Salzgehalt angenähert wurde (nach 2.5 Stunden: Salinität 12 auf Salinität 14, nach 5 Stunden Salinität 14 auf Salinität 16) bevor die Organismen in die Zwischenhälterung auf der GEOMAR-Pier (Durchfluss bei Salinität 17) überführt wurden.

Nachdem die gesammelten Gemeinschaften am GEOMAR in Zwischenhälterung genommen wurden, wurden sie konservativ, d.h. ohne Entfernung / Beschädigung der Organismen (Untersuchung per Binokular, Schätzung besiedelte Fläche der einzelnen Taxa) erfasst.

Beprobung der lokalen „Riff“-Gemeinschaft: Zur Beprobung der lokal auf natürlichem Untergrund siedelnden Gemeinschaft *sollten laut Projektplan* taucherisch parallel 5-10 Kratzproben (11 x 11 cm) von ausreichend großen Steinen genommen werden. Aufgrund ungünstiger Witterung (Wind) musste dieser Programmpunkt leider verworfen werden, da ansonsten nicht alle RegLocDiv-Stationen hätten bearbeitet werden können. Um diese Beprobungen durchzuführen, wären weitere Tauchgänge nötig gewesen, die zu längeren Verweildauern an den vier Stationen geführt hätten – bei einer begrenzten Tauchausfahrtdauer auf Kosten von der anderen Stationen.

3.2.2 Stressexperimente

Da zum Zeitpunkt der Beprobung (September 2018) noch keine Abiotikdaten der Stationen vorlagen (außer eigene Messwerte an der Station Staberhuk: Abbildung 2), musste auf Basis älterer Daten über die Stressbehandlung entschieden werden. Hierfür wurden die Daten der Stationen Falshöft, Boknis Eck, Bülk (statt Schönberg) und Katharinenhof (statt Staberhuk) aus den Jahren 2016 und 2017 verwendet (Die Gemeinschaften der nach Kiel transportierten (nicht fixierten) Besiedlungsplatten der vier beprobten Standorte wurden nach der Zwischen-

hälterung und Erfassung ihrer Zusammensetzung (siehe 3.2.1) am GEOMAR für 5 Tage einer starken Aussüßung als Stressor ausgesetzt (Stress-Behandlung: Salinität 9, Kontrolle: Salinität 18). Die Experimente wurden in bestehenden Experimentieranlagen (den „Kiel Outdoor Benthokosmen“) durchgeführt (**Error! Reference source not found.**). Hierfür wurden die Besiedlungsplatten jeweils einzeln in 10L-Hälterungsgefäße überführt, in denen sie im Durchfluss mit frischem Wasser versorgt wurden (Durchfluss 60ml/min, entspricht einem Wasserwechsel von ca. 10L in 2.5 Stunden).

Auf der Basis der Salinitätsdaten dieser vier Stationen wurde entschieden, dass eine spontane Aussüßung von einer erwarteten Salinität von 17-19 auf die jeweilige Hälfte für mehrere Tage nicht unrealistisch ist – und gleichzeitig ein ausreichend starkes Stress-Szenario darstellt, um im Experiment Effekte beobachten zu können.

Die Gemeinschaften der nach Kiel transportierten (nicht fixierten) Besiedlungsplatten der vier beprobten Standorte wurden nach der Zwischenhälterung und Erfassung ihrer Zusammensetzung (siehe 3.2.1) am GEOMAR für 5 Tage einer starken Aussüßung als Stressor ausgesetzt (Stress-Behandlung: Salinität 9, Kontrolle: Salinität 18). Die Experimente wurden in bestehenden Experimentieranlagen (den „Kiel Outdoor Benthokosmen“) durchgeführt (**Error! Reference source not found.**). Hierfür wurden die Besiedlungsplatten jeweils einzeln in 10L-Hälterungsgefäße überführt, in denen sie im Durchfluss mit frischem Wasser versorgt wurden (Durchfluss 60ml/min, entspricht einem Wasserwechsel von ca. 10L in 2.5 Stunden).

Um die Aussüßung des Ostseewassers im Durchfluss zu ermöglichen, wurde ein entsprechendes Misch-System erdacht und implementiert. Hierbei musste zum einen berücksichtigt werden, dass durch die Aussüßung des Ostseewassers mit salzfreiem Wasser nicht auch die Pufferkapazität (\approx Wasserhärte / Alkalinität) zu stark gesenkt wird, weil dies zu signifikanten Änderungen des pH und der Kalzifizierung kalkbildender Meeresorganismen führen würde. Da die Aussüßung zudem eine effektive Verdünnung des Ostseewassers auch hinsichtlich der enthaltenen Nahrungspartikel (Plankton) darstellte, musste eine vergleichbare Verdünnung auch für das Ostseewasser der Kontrolle durchgeführt werden, *jedoch ohne den Salzgehalt zu senken*.

Ostseewasser in der Kieler Förde hat bei einer Salinität von 18 in etwa eine Alkalinität von ca. 2000 μ mol/kg. Das Kieler Leitungswasser hat dagegen eine Alkalinität von ca. 4000 μ mol/kg. Zur Aussüßung des (ungefilterten) Ostseewassers wurde daher eine 1:1 – Mischung aus Leitungswasser und ionen-ausgetauschtem (VE-)Wasser genutzt, das aus 60L-Tanks bereitgestellt wurde. Aus den Tanks wurde dieses Wasser nach Bedarf in Mischbecken gepumpt, in denen es mit Ostseewasser vermischt wurde und die gleichzeitig als Hochbecken für den Wasserdurchlauf der Hälterungs-Gefäße dienen.

Die Aufrechterhaltung des korrekten Salzgehaltes im Mischbecken wurde durch den Einsatz eines GHK „ProfiLux“ Aquariencomputer gewährleistet, welches über einen Leitfähigkeitssensor die Salinität in den Becken gemessen und über Dosierpumpen synchron Leitungswasser und ionen-ausgetauschtes (VE-)Wasser (jeweils mit einer Pumpleistung von 120ml/min) zugemischt hat.

Um zu verhindern, dass die Gemeinschaften in den Kontroll-Einheiten nicht mit mehr Nahrungspartikeln (und Vermehrungsformen benthischer Organismen) versorgt werden, wurde das Durchflusswasser dieser Behandlung ebenfalls verdünnt – mit gefiltertem Ostseewasser. Hierfür wurde das Wasser durch einen Abschäumer, einen Sandfilter und einen Kartuschenfilter (Porengröße 10µm) geleitet, bevor es im Mischbecken (= Hochbecken) der Kontrolle 1:1 mit ungefiltertem Ostseewasser vermischt wurde.

[Auf weitere Messungen von sogenannten Ökosystemdienstleistungen (z.B. Sauerstoffproduktion/Respirationsraten) wurde dabei verzichtet, da Erfahrungen im Rahmen des Projekts Bio-HAB zeigten, dass bei den hier beprobten Gemeinschaften trotz enormem logistischem Aufwand nur Ergebnisse mit begrenzter Aussagekraft zu erwarten gewesen wären.]

Nach Abschluss der Experimente wurde die Zusammensetzung der Gemeinschaften erneut konservativ (per Binokular) erfasst und anschließend die Gemeinschaften für eine spätere detailliertere Analyse fixiert (3.2.3).

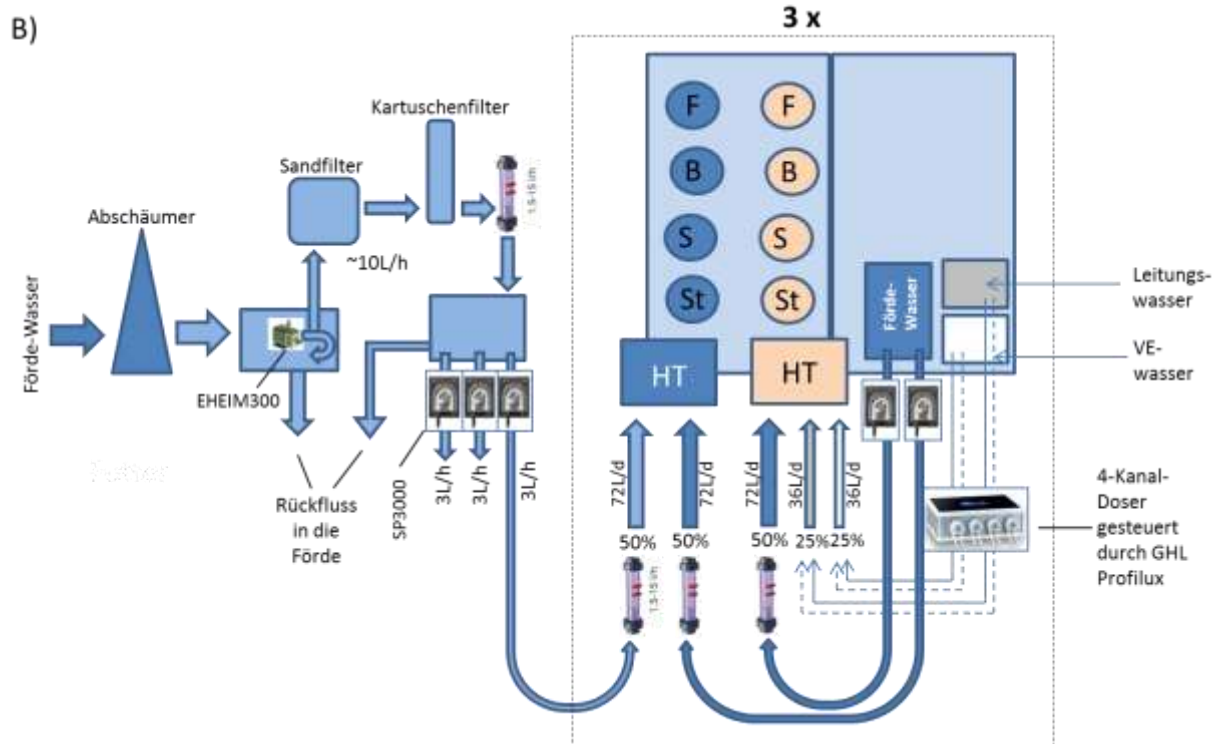
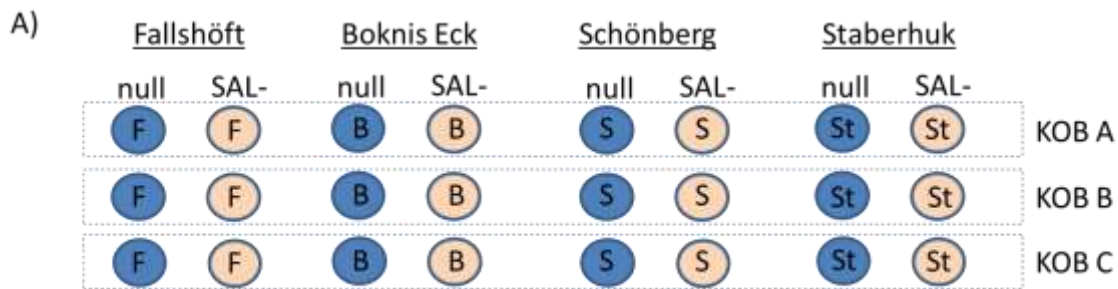


Abbildung 4: Versuchsdesign (A) und technische Umsetzung des Salinitätsbehandlung (B) des Test-Experiments.

3.2.3 Auswertung Testmonitoring

Bestimmung der Taxa. Wenn möglich wurden die (per Binokular identifizierbaren) Organismen, die auf den Besiedlungsplatten siedelten, bis zur Art bestimmt. In Fällen, in denen dies nicht möglich war, wurden die Taxa bis zur exakteren Bestimmung der fixierten Gemeinschaften mit Arbeitstiteln versehen oder in einzelnen Fällen auf höheren taxonomischen Ebenen zusammengefasst (z.B. Diatomeen). Von jedem Taxon wurde dann die Abundanz (besiedelte Fläche) pro Besiedlungsplatte ermittelt.

Gemeinschaftsanalysen. Zum Vergleich der Besiedlungsplatten-Gemeinschaften der vier beprobten Standort sowie jeweils vor und nach der experimentellen Stressbehandlung wurden multifaktorielle Gemeinschaftsanalysen auf der Grundlage des Bray-Curtis Ähnlichkeitsindex durchgeführt (ANOSIM, PRIMER6-Softwarepaket, siehe z.B. Pfaff et al. (2010)). Als Repli-

kationseinheit gilt jeweils eine Besiedlungsplatte. Im PRIMER6 Manual werden die als Ergebnisse der Analysen ermittelten R-Werte folgendermaßen interpretiert:

$R > 0,75$: gut getrennt

$R > 0,5$: überlappend aber klar getrennt

$R < 0,25$: kaum unterscheidbar

Um Informationen über den prozentualen Anteil der verschiedenen Taxa an den Unterschieden in den Gemeinschaften zu erhalten, wurden anschließend oben genannte Gemeinschaften mit einer SIMPER-Analyse (ANOSIM, PRIMER6-Softwarepaket) unterzogen.

Diversitätsanalysen. Anhand der gesammelten Gemeinschaftsdaten wurden Anzahl Taxa S und Pilon's Evenness E (siehe Modul 3, 3.3) berechnet und deren Muster in den Gemeinschaften der vier beprobten Standorte sowie in den Gemeinschaften desselben Standorts vor und nach der experimentellen Stressbehandlung verglichen. Hierfür wurden logarithmierte „Effect ratios“ aus dem Verhältnis der Werte nach dem Salinitätsexperiment zu den Werten vor der Behandlung berechnet. Dabei kann von einer signifikanten Veränderung der Anzahl Taxa oder der Evenness ausgegangen werden, wenn der Mittelwert ober oder unterhalb von „0“ und die Konfidenzintervalle nicht die „0“-Linie schneiden.

Häufige / Bedeutende Arten: Auf Basis der Gemeinschaftsanalysen (SIMPER-Analysen) wurden 6 Taxa identifiziert, die besonders Abundant waren und/oder besonders stark zur Unähnlichkeit von Gemeinschaften verschiedenen Standorte oder Behandlungen beigetragen haben: *Balanus improvisus*, *Mytilus edulis*, *Polydora* sp., *Polysiphonia fucooides*, *Chorda filum*, *Ectocarpus* sp., Diatomeen. Die Abundanzen dieser Taxa wurden vor und nach der experimentellen Stressbehandlung verglichen. Zum Vergleich der Abundanzen der einzelnen Taxa wurden -entsprechend dem Vorgehen bei den Diversitätsanalysen- die logarithmierten „Effect ratios“ verwendet.

Neobiota: Veränderungen in den Abundanzen der invasiven Art *Dasya baillouviana* wurden gesondert betrachtet und diskutiert.

3.3 Vorgehen Modul 3: Gutachterliche Vorhersagen zur Entwicklung der Gemeinschaften

In diesem Modul werden durch den Klimawandel erwartete Zukunftsszenarien der physikalischen Umwelt (aktuelle Projektionen zu Temperaturerhöhung, Sauerstoffmangelereignisse, verringerte Salinität, evtl. Ozeanversauerung) dargestellt und die wahrscheinlichen Reaktionen der Gemeinschaften als Reaktion auf die Szenarien in einer tiefgreifenden Diskussion entwickelt.

Als Basis für die Diskussion sollen neben Literaturrecherchen Daten aus GEOMAR-Projekten der letzten Jahre (RegLocDiv, Kiel Outdoor Benthokosmen, Kiel Indoor Benthokosmen, an-

dere ökologische und physiologische Arbeiten) sowie aus WRRL-Monitorings (BALCOSIS, MarBIT) dienen.

Zudem soll dargelegt werden, wie Zukunftsszenarien durch das in diesem Projekt entwickelte Langzeitmonitoring untermauert/getestet werden können. Auch hierfür ist der bisherige Besatz an Arten (s. Artenlisten aus Untersuchungen der AG Wahl am GEOMAR) zu beleuchten: Welche Arten haben hier Schlüsselfunktionen in der Gemeinschaftsentwicklung (z.B. als Strukturgebende Arten wie *Fucus* spp. oder *Mytilus* spp.) und wie wird sich dies künftig ändern?

4 Ergebnisse und Fazit

4.1 Ergebnisse Modul 1: Konzeptentwicklung

Bei der Entwicklung des Monitoringkonzepts für ein Langzeitmonitoring werden zunächst bestehende LLUR- und GEOMAR-Monitorings an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste sowie andere (laufende) inhaltlich verwandte Projekte betrachtet. Da die bestehenden Monitoringprogramme für die regelmäßige MSRL- und FFH-Berichtspflicht insbesondere im Küstenbereich lückenhaft sind, soll das hier entwickelte Langzeitmonitoring helfen, diese Lücken zu schließen. Entsprechend wird im Folgenden auch auf die Anforderungen an Überwachungsprogramme seitens MSRL und FFH (kurz) eingegangen und in der weiteren Konzeptentwicklung vertieft.

4.1.1 FFH und MSRL Überwachungsprogramme/Meldepflicht

Die im Rahmen der **Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL)** geforderten Überwachungsprogramme wurden auf der Grundlage der MSRL-Anfangsbewertung, gestützt durch MSRL-eigene Vorgaben (indikativen Listen in Anhang III, Liste in Anhang V) und auf die MSRL-Umweltziele Bezug nehmend, entwickelt. Aufgabe der Überwachungsprogramme (als Teil des Bund-/Länder-Messprogramms (BLMP)) ist, regelmäßig den aktuellen Umweltzustand (sowie Umweltziele und Maßnahmen) zu übermitteln. Dabei sollen die MSRL-Überwachungsprogramme auf bestehenden Bewertungs- und Überwachungsbestimmungen beruhen und mit diesen vereinbar sein.

Konkreter dienen die Monitoringprogramme:

- der Beobachtung und Bestimmung des **Zustands der Meeresökosysteme und ihrer Merkmale** sowie der Bewertung des erzielten Fortschritts und der verbleibenden Aufgaben im Hinblick auf das Erreichen bzw. die Erhaltung des jeweiligen Zielzustands nach MSRL
- der Überprüfung des Erreichens (Erfolgskontrolle) und der Aktualisierung von Umweltzielen nach § 45e WHG
- der Überprüfung der Wirksamkeit (Erfolgskontrolle) und der Aktualisierung von Maßnahmen und Bewirtschaftungsplänen

- der Erfassung und Bewertung von Belastungen durch menschliche Aktivitäten und ihren Auswirkungen (einschließlich der wichtigsten kumulativen und synergetischen Wirkungen) auf die Meeresumwelt
- der **Erfassung und Bewertung der natürlichen Variabilität und der langfristigen Entwicklungen und Änderungen der natürlichen Bedingungen, zum Beispiel verursacht durch den Klimawandel**
- der Erfassung und Bewertung relevanter grenzüberschreitender Auswirkungen und Belastungen
- der Ursachenforschung bei Verfehlung von Umweltzielen und/oder GES sowie Identifizierung neuer und sich abzeichnender Belastungen und Gefahren
- der Bereitstellung aggregierter Informationen als Beitrag für Bewertungen von Meeresregionen oder -unterregionen im Rahmen der MSRL

Die nationale Umsetzung der aktualisierten MSRL-Richtlinien für Monitoringprogramme befindet sich nach wie vor in der Entwicklung. Sie soll bei der abschließenden Konzeptentwicklung berücksichtigt werden. Bislang werden für die Bewertung des Küstenbereichs Ergebnisse der WRRL-Monitorings BALCOSIS und MarBIT genutzt. Ein gemeinsames, die bestehenden Lücken schließendes Monitoring im Sinne der MSRL- und FFH-Berichtspflicht für küstennahe Hartbodengemeinschaften, befindet sich ebenfalls in der Diskussion (siehe auch BALDESH, 4.1.4).

Inhalt der **FFH-Berichte** (gem. Artikel 17 der FFH-Richtlinie) sind Beschreibungen durchgeführter Maßnahmen und die Bewertung der erzielten Auswirkungen auf den Erhaltungszustand der FFH-Arten **und FFH-Lebensraumtypen** sowie die wichtigsten Ergebnisse des **FFH-Monitorings** (Artikel 11 der FFH-Richtlinie). Die zu übermittelnden Berichte bestehen dabei aus drei Teilen:

Anhang A: Allgemeines Berichtsformat (z.B. Gebietskulisse, Managementpläne, Maßnahmen, Wiederansiedlung von Arten)

Anhang B: Überwachung nach Art. 11 für Arten der Anhänge II, IV und V

Anhang D: Überwachung nach Art. 11 für **Lebensraumtypen** nach Anhang

In Anhang D wird der Erhaltungszustand aller FFH-Lebensraumtypen (LRT) und Arten der FFH-Richtlinie (Anhang I, II, IV, V) bewertet, wobei folgende Parameter überwacht werden müssen: "aktuelles natürliches Verbreitungsgebiet", "aktuelle Fläche", "Strukturen und Funktionen" und "Zukunftsaussichten".

Bewertet wird der Erhaltungszustand von Arten und Lebensraumtypen nach einem EU-weiten "Ampelschema". Das Schema unterscheidet vier Kategorien:

"günstig" = (grün),

"ungünstig-unzureichend" = (gelb),

"ungünstig-schlecht" = (rot) und

"unbekannt" (grau).

Bisher werden für die schleswig-holsteinische Ostseeküste -bei passender Überlappung- die Ergebnisse bestehender Bewertungssysteme (BALCOSIS, MarBIT) bei Lebensraumtypen des Küstenbereichs für die gemeldeten vorhandenen FFH-LRT-Vorkommen gemeldet. In Küstennähe gibt es demnach aber bislang keine „Riffe“ bzw. sind sie nicht gemeldet, obwohl große Teile der Küste der FFH-Definition von Riffen entsprechen. Das BfN nimmt ebenfalls eine Bewertung von Benthosgemeinschaften vor, bei welcher Flachwassergemeinschaften bisher aber nicht berücksichtigt werden. Da für den kommenden Bericht (2013/24) ein ausgereifteres Bewertungssystem vorliegen soll, wird aktuell von MariLim (MariLim Gesellschaft für Gewässeruntersuchung mbH, Schönkirchen) ein dem WRRL-Bewertungssystem MarBIT (siehe unten 4.1.2) ähnliches Monitoring für Riffe entwickelt. Im Projekt BALDESH werden außerdem Küstenriffe erfasst und Verfahren zum Ausweisen und Bewerten von Riffen weiterentwickelt.

Die Ergebnisse beider laufender Projekte werden als wichtige Grundlagen in die Ausarbeitung des Langzeitmonitorings zum einen als Bewertungssystem (angepasstes MarBIT) und als konkrete Beprobungs- und Experimentiervorgaben (BALDESH/BioHAB) eingehen.

4.1.2 Anwendung bestehender WRRL-Monitoring-Programme in Schleswig-Holstein (Übersicht)

Gemäß Anhang V WRRL müssen zur Bewertung des Zustands der Oberflächengewässer als „Qualitätskomponenten für die Einstufung des ökologischen Zustands“ der Küstengewässer der Nord- und Ostsee unter den biologischen Komponenten u.A., die Zusammensetzung und Abundanz sowie empfindliche und tolerante Taxa der „sonstigen Gewässerflora (nicht planktisch)“ und der benthischen wirbellosen Fauna erfasst werden.

Hierzu finden an der äußeren schleswig-holsteinischen Ostseeküste insgesamt 2 Bewertungsverfahren für küstennahes Makrobenthos statt: BALCOSIS („Baltic ALgae COmmunity analysis System, (Schories et al. 2006; Fürhaupter & Meyer 2009)) und MarBIT (Marine Biotic Index Tool, (Meyer et al. 2008)). Während mit dem MarBIT-Verfahren der Zustand des Makrozoobenthos bewertet wird, bewertet das BALCOSIS-Verfahren den Zustand der Makrophyten dieser Gewässer:

BALCOSIS-Verfahren

Zur Bewertung des Zustands der „sonstigen Gewässerflora (nicht planktisch)“, also der Makrophyten (gemäß Anhang V WRRL RandNr 1-2-4) zieht das BALCOSIS-Verfahren insgesamt sieben unterschiedlich gewichtete Parameter heran (Schories et al. 2006; Fürhaupter & Meyer 2009):

1. Tiefengrenze *Zostera marina*

2. *Zostera marina*-assoziierte Opportunisten
3. Tiefengrenze *Fucus* spp*.
4. Dominanz *Fucus* spp*. (in 0-2 m Tiefe)
5. Opportunisten auf Hartsubstrat (in 5-7 m Tiefe)
6. Artenreduktion auf Hartsubstrat (in 5-7 m Tiefe)
7. Anteil Biomasse *Furcellaria lumbricalis* auf Hartsubstrat (in 5-7 m Tiefe).

*= *F. vesiculosus* und *F. serratus*

Für jeden der Parameter wird im BALCOSIS-Verfahren eine Bewertung entsprechend einer von fünf Bewertungsstufen („sehr gut“, „gut“, „mäßig“, „unbefriedigend“ und „schlecht“) anhand messbarer Variablen (z.B. Tiefenverbreitung *Fucus* spp. $\geq 8,5$ m: „sehr gut“, $< 0,5$ m: „schlecht“) durchgeführt. Jeder Bewertungsstufe wurde zur Normierung ein Intervall zwischen 0 und 1 zugeordnet („sehr gut“: 1,0-0,8; „gut“: 0,8-0,6; „mäßig“: 0,6.-0,4; „unbefriedigend“: 0,4-0,2; „schlecht“: 0,2-0,0). So können die Werte verglichen werden und am Ende eine Gesamtbewertung für einen Wasserkörper berechnet werden (Schories et al. 2006; Fürhapter & Meyer 2009). Die Bewertung des Zustands der Makrophyten an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste wird durch MariLim jährlich einmal jeweils im Sommerhalbjahr (Zeitraum Juni-Oktober) durchgeführt.

MarBIT-Verfahren

Zur Bewertung des Zustands der benthischen wirbellosen Fauna (gemäß Anhang V WRRL RandNr 1-2-4) zieht das MarBIT -Verfahren vier Parameter heran (Meyer et al. 2005; Meyer et al. 2008):

1. Artenvielfalt: Taxonomic Spread Index (TSI)
2. Abundanz(-verteilung): (Test auf Log-Normalverteilung)
3. Obligatorische störungsempfindliche Taxa (spezialisiert auf einen Lebensraum und/oder spezialisiert auf eine Nahrung und/oder k-Strategie und/oder auf der Roten Liste der Ostsee)
4. Anteil toleranter Taxa (eutrophierungstolerant und/oder r-Strategie) im Vergleich zu Referenzanteil

Dem MarBIT-Verfahren liegen dabei eine Datenbank mit Informationen zur Autökologie vieler Ostseetaxa (z.B. Temperatur- oder Salinitätsansprüche und Sedimentpräferenzen) sowie eine Referenzartenliste zugrunde. Wie im BALCOSIS-Verfahren liefert auch im MarBIT-Verfahren jeder Parameter einen Wert zwischen 0 und 1. Als Gesamtbewertung dient im MarBIT-Verfahren der Median der den 4 Parametern entsprechenden Einzelwerten.

Die Bewertung des Zustand des Makrozoobenthos an der schleswig-holsteinischen (und mecklenburg-vorpommerschen) Ostseeküste geschieht auf der Grundlage von jährlich einmal jeweils im Sommerhalbjahr (Zeitraum Juni-Oktober) genommenen Greiferproben des LLUR und (im geringeren Umfang) des GEOMAR und wird in Zusammenarbeit mit MariLim (MariLim Gesellschaft für Gewässeruntersuchung mbH, Schönkirchen) durchgeführt.

Aktuell wird durch MariLim für die Bewertung von Flachwasservorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ ein Bewertungsverfahren erstellt, das auf dem MarBIT basiert. Im weiteren Verlauf dieses Projekts wird geprüft, inwieweit sich dieser „Riff-MarBIT“ für die Bewertung im Rahmen des hier entworfenen Langzeitmonitorings eignet (oder sich anpassen lässt).

4.1.3 RegLocDiv

Das RegLocDiv-(Regionale-Lokale-Diversität)-Monitoring des GEOMAR stellt die methodische Basis für das hier erarbeitete Langzeitmonitoring von küstennahen Hartbodengemeinschaften entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste dar – und liefert gleichzeitig eine bestehende umfangreiche Datenbasis (die in Modul 3 in größerer Tiefe betrachtet werden soll), da es bereits seit Jahren durchgeführt wird.

Im RegLocDiv-Monitoring werden seit 2004 jährlich im September insgesamt 6 Standorte der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (von Nord-West nach Süd-Ost: Falshöft, Boknis Eck, Schönberg, Fehmarn NW, Staberhuk, Kellenhusen/Schwarzgrund) mit FK Littorina angefahren und beprobt. An den Standorten liegen jeweils 7-9 Betonplatten aus, die mit jeweils 2 PVC-Besiedlungsplatten (11 x 11 cm) an Edelstahlgewindestangen ausgestattet sind. Eine der Besiedlungsplatten einer Betonplatte wird jährlich taucherisch ausgetauscht, die andere (Mehrjahresplatte) in unregelmäßigen Abständen. Die jährlich entnommenen Besiedlungsplatten werden an Bord von FK Littorina gebracht und dort fixiert. Die Erfassung und Analyse der Gemeinschaften auf den Platten erfolgt später am GEOMAR. Seit 2013 werden zudem an den Standorten die lokalen Temperaturen geloggt.

Die Datenerhebung/Probennahme des hier entwickelten Langzeitmonitorings kann also auf dem RegLocDiv-Monitoring aufbauen, wenn dieses langfristig weitergeführt wird und die Standorte mit Datenloggern zur Messung physikalischer Parameter (Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff) ausgestattet werden/sind.

Für die Verwendung der RegLocDiv-Platten als repräsentative Probeneinheiten/Replikate für die lokalen Riffgemeinschaften gemäß FFH muss dabei sichergestellt werden, dass sie die Hartbodengemeinschaften repräsentieren. Zu diesem Zweck sollten im Langzeitmonitoring regelmäßig -wie im Testmonitoring- Kratzproben der lokalen Benthosgemeinschaft genommen und die Zusammensetzung mit den Gemeinschaften der PVC-Platten verglichen werden.

Neben der Absicherung, dass die Besiedlungsplatten die lokalen Gemeinschaften repräsentieren und deshalb für eine Zustandserhebung der Riffgemeinschaften herangezogen werden können, können die Kratzproben auch als Stichprobe der lokalen Larvengemeinschaft und damit als das Potential zur Erholung der lokalen Gemeinschaft betrachtet werden.

Außerdem kann so die Frage beantwortet werden, inwieweit die auf den Platten vorgefundene Diversität (tatsächlich) von der Diversität der lokalen Gemeinschaft abhängt.

4.1.4 BALDESH/Bio-HAB

Im Rahmen des Projekts BALDESH werden flächendeckende Kartierungsarbeiten im Flachwasser entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste durchgeführt, um Steinvorkommen zu vermessen, zu klassifizieren und einer ökologischen Bewertung zu unterziehen. So sollen Verfahren zum Ausweisen und Bewerten von Riffen gemäß FFH weiterentwickelt werden.

Im Teilprojekt Bio-HAB werden durch Feldstudien und Laborexperimente Umweltbedingungen erforscht, die die Struktur der Hartsubstratgemeinschaften (Riffgemeinschaften) formen. Auf diese Weise sollen Faktoren identifiziert werden, die in Bewertungsverfahren Berücksichtigung finden müssen. In Zusammenarbeit mit dem Schwesterprojekt „Geo-HAB“ werden Strategien zur Ausweisung von Riffflächen erarbeitet. Neben dieser Weiterentwicklung von bisherigen Monitoringstrategien dienen die experimentellen Studien auch der Erforschung der Stresstoleranz von Hartsubstratgemeinschaften der Ostsee. Ziel dieses Ansatzes ist es, die Auswirkungen *zukünftiger* Stressoren auf die Funktionalität der Gemeinschaften und die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen zu untersuchen.

Für den experimentellen Teil von Bio-HAB wurden PVC-Besiedlungsplatten an RegLocDiv-Standorten ausgebracht. Die besiedelten Platten wurden nach einem Jahr taucherisch entnommen und samt lebender siedelnder Gemeinschaft ans GEOMAR gebracht. Dort wurden/werden die Experimente zur Stressresistenz der Gemeinschaften durchgeführt. Hierfür werden die Besiedlungsplatten samt siedelnder Gemeinschaften Temperatur- oder Sauerstoffmangelstress ausgesetzt.

4.2 Ergebnisse Modul 2: Testmonitoring

Es konnten erfolgreich Besiedlungsplatten von den vier geplanten Standorten nach Kiel gebracht und dort für ein Test-Experiment verwendet werden. Im Mittel nahm im Laufe des Experiments der Besiedlungsgrad der Platten stärker unter der Salinitätsbehandlung zu als in der Kontrollgruppe (Abbildung 5).

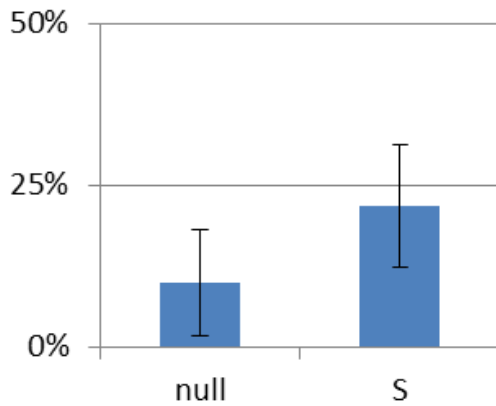


Abbildung 5: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf den Besiedlungsgrad der Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

Gemeinschaftsanalysen. Die benthischen Gemeinschaften auf den Besiedlungsplatten unterschieden sich klar nach ihrer Herkunft von den vier beprobten Standorten (ANOSIM, $R = 0.844$, Abbildung 6).

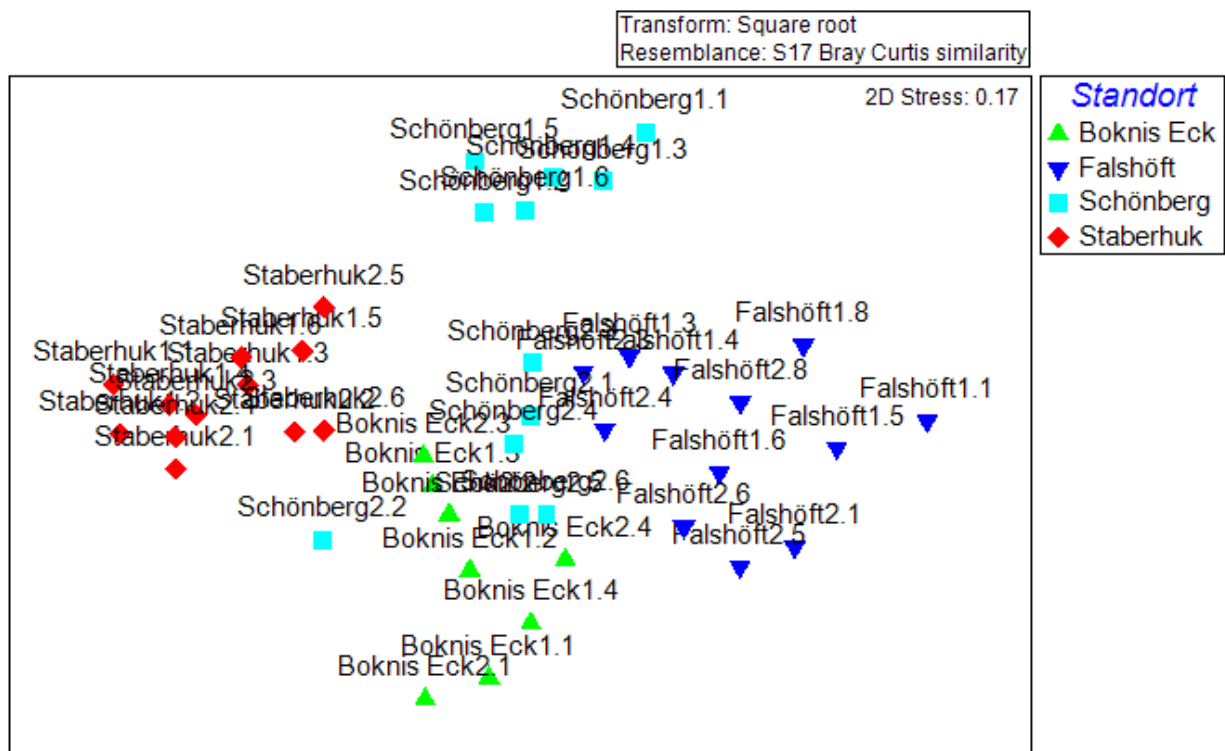


Abbildung 6: MDS-Plot der Gemeinschaften an den beprobten Standorten.

Bei den Gemeinschaften der Standorte Falshöft (PERMANOVA, Pseudo-F = 8.71, p = 0.014) und Schönberg (PERMANOVA, Pseudo-F = 7.80, p = 0.013) konnten darüber hinaus nach dem Testexperiment signifikante Veränderungen der Gemeinschaftstrukturen gegenüber den Gemeinschaften vor dem Experiment festgestellt werden. Jedoch zeigte sich kein signifikanter Effekt der Aussüßung auf die Gemeinschaften, sie veränderten sich also sowohl unter der Salinitätsbehandlung als auch in der Kontrollgruppe.

Als wichtigste Taxa, die zur Unterschiedlichkeit der Gemeinschaften der vier Standorte beitrugen wurden *Balanus improvisus*, *Mytilus edulis*, *Polydora* sp., *Polysiphonia fucoides*, *Dasya baillouviana*, *Ectocarpus* sp., *Chorda filum* sowie benthische Diatomeen identifiziert (SIMPER-Analyse, kumulativer Beitrag zu mind. 50% der Unterschiedlichkeit)..

Diversitätsanalysen.

- **Anzahl Taxa S:** Die Anzahl der identifizierten Taxa auf den Besiedlungsplatten wurde kaum durch das Experiment beeinflusst. Sie nahm nur an den Kontrollen von Boknis Eck (-1.5 ± 0.5 StAbw) und Schönberg (-3.3 ± 1.25 StAbw) jeweils leicht ab (Abbildung 7).

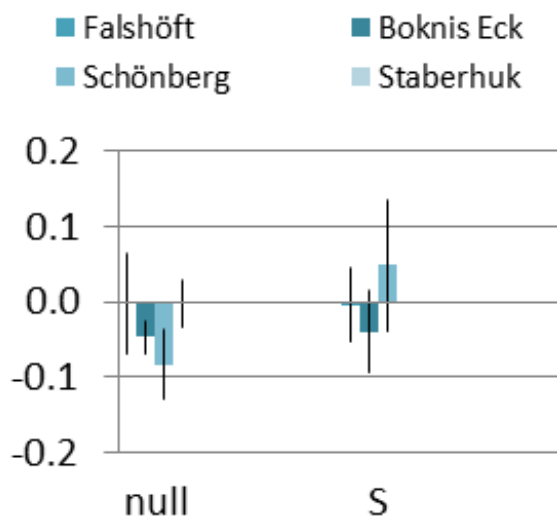


Abbildung 7: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die **Anzahl der Taxa** auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

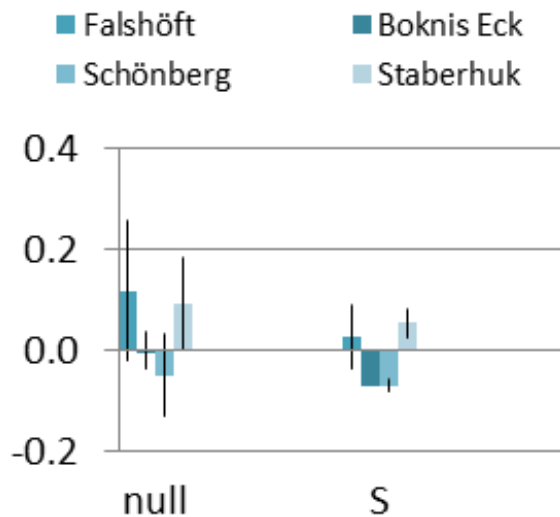


Abbildung 8. Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Gleichverteilung (**Evenness J'**) der Gemeinschaften auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

- **Pilou's Evenness E:** Die Salinitätsbehandlung beeinflusste die Gleichverteilung (,Evenness') der Taxa der Gemeinschaften von den Standorten Boknis Eck, Schönberg und Staberhuk, nicht jedoch von Falshöft (Abbildung 8). Unter verringerter Salinität verringerte sich die Gleichverteilung der Gemeinschaften von Boknis Eck und Schönberg (die Dominanz einzelner Taxa nahm also zu). Auf den Platten von Staberhuk erhöhte sich dagegen die Gleichverteilung unter verringerter Salinität (die Dominanz einzelner Taxa nahm also ab).

Häufige / bedeutende Arten (gem. Ergebnisse SIMPER-Analyse):

- ***Balanus improvisus:*** Über die Gemeinschaften aller Standorte gemittelt betrachtet nahm die Abundanz der Seepocke *Balanus improvisus* unter der Kontroll-Salinität leicht zu, jedoch nicht unter der ausgesüßten Behandlung. Bei Betrachtung der Gemeinschaften der einzelnen Standorte zeigt sich, dass die Salinitätsbehandlung die Abundanz von *B. improvisus* in der Boknis Eck-Gemeinschaft unter Aussüßung sogar leicht abnahm (Abbildung 9). In der Staberhuk-Gemeinschaft nahm die *B. improvisus*-Bedeckung bei höherer Salinität stärker zu als bei niedrigerer Salinität. Als Teil der Schönberg-Gemeinschaft dagegen profitierte *B. improvisus* im Mittel sogar etwas stärker von der Aussüßung, da der Zuwachs unter der Kontroll-Salinität stark schwankte.

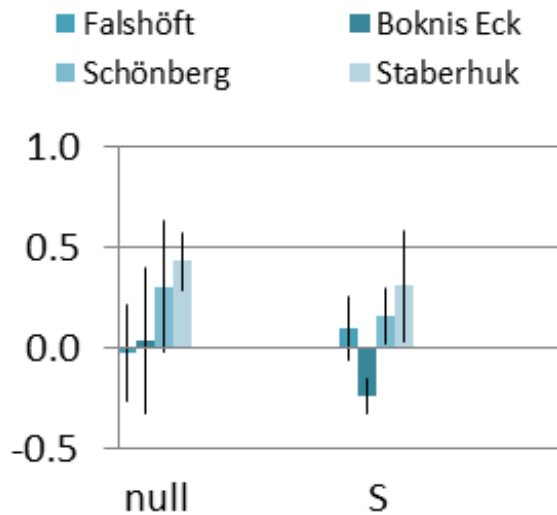


Abbildung 9: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von *Balanus improvisus* auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

- *Mytilus edulis*: Nur bei den Gemeinschaften von Boknis Eck und Schönberg zeigten die Miesmuscheln eine Reaktion auf die Salinitätsbehandlung. In beiden Fällen nahm die Bedeckung von *M. edulis* stärker bzw. konsistenter in der Kontrollbehandlung zu als unter ausgesüßten Bedingungen (Abbildung 10).

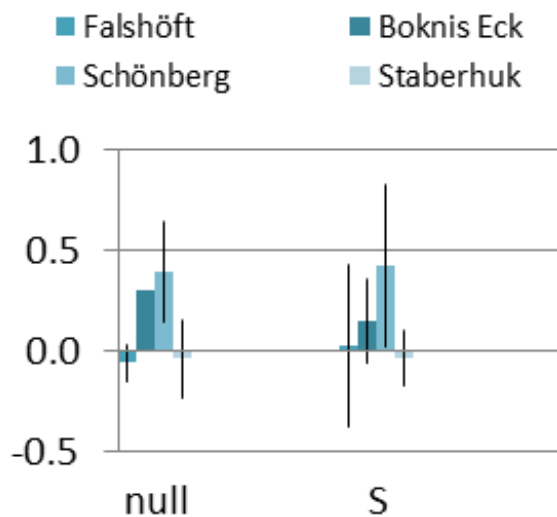


Abbildung 10: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von *Mytilus edulis* auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

***Polydora* sp.:** Polychaeten der Gattung *Polydora* profitierten auf den meisten Besiedlungsplatten von der Hälterung in der Versuchsanlage, bei starker Streuung im Mittel etwas stärker unter der ausgesüßten Behandlung (

- Abbildung 11). Am konsistentesten nahm in der Gemeinschaft aus Falshöft die *Polydora* sp.-Abundanz unter verringerter Salinität zu – und in der Staberhuk-Gemeinschaft unter beiden Behandlungen.

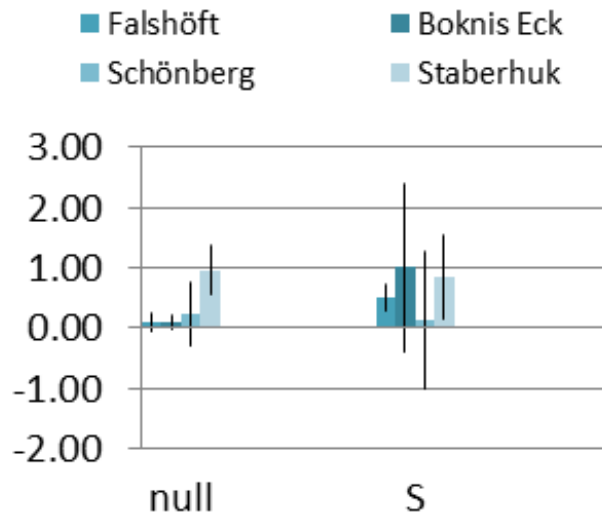


Abbildung 11: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von ***Polydora* sp.** auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

- ***Polysiphonia fucoides*:** Die Abundanzen der fädigen Rotalge *Polysiphonia fucoides* wurden nur wenig – oder wenig konsistent – durch die Salinitätsbehandlung beeinflusst. Nur in der Falshöft-Gemeinschaft nahm die Abundanz von *P. fucoides* und nur unter Kontrollbedingungen signifikant zu (Abbildung 12).

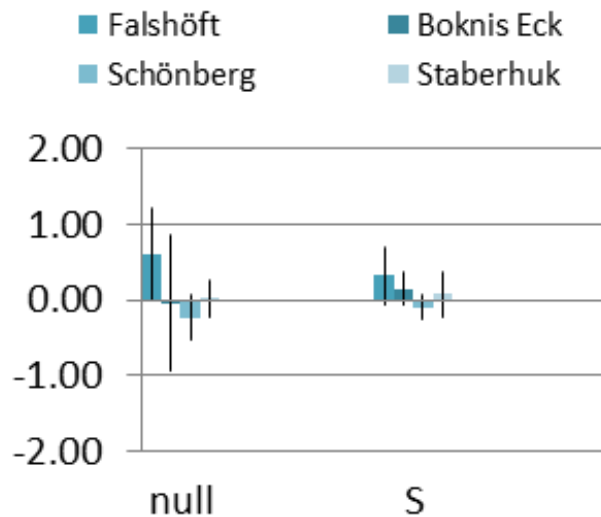


Abbildung 12: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von *Polysiphonia fucooides* auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

- *Ectocarpus* sp.: Fädige Braunalgen der Gattung *Ectocarpus* nahmen im Mittel in ihrer Abundanz stärker unter Kontrollbedingungen ab als unter ausgesüßten Bedingungen (Abbildung 13). Während die Abundanz von *Ectocarpus* sp. in den Boknis Eck-Gemeinschaften generell abnahm, war dieser Effekt auf den Platten von Schönberg unter Kontrollbedingungen deutlich stärker als unter ausgesüßten Bedingungen.

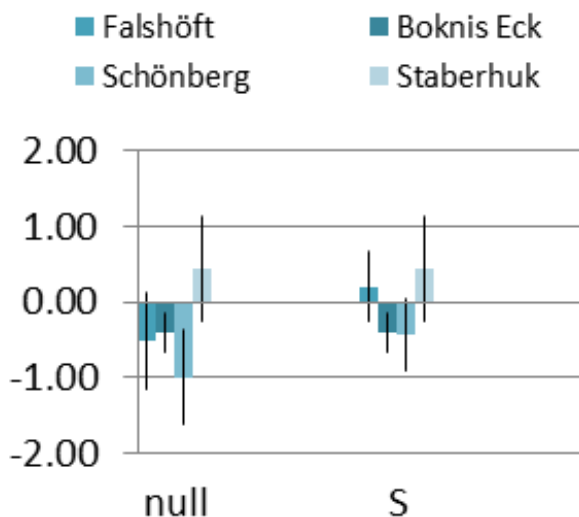


Abbildung 13: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von **Ectocarpus sp.** auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

- **Chorda filum:** Diese Braunalgenart kam nur bei Boknis Eck vor und ihre Abundanz wurde nicht signifikant durch die Salinitätsbehandlung beeinflusst
- **Diatomeen:** Die Bedeckung der Besiedlungsplatten durch benthische Diatomeen nahm auf vielen Platten sowohl der Kontrolle, als auch der ausgesüßten Behandlung, zu. Unter ausgesüßten Bedingungen war dieser Effekt jedoch im Mittel etwas stärker als in der Kontrolle (Abbildung 14). Am deutlichsten wurde dieser Effekt in den Gemeinschaften von Schönberg und Staberhuk sichtbar. Auf den Platten aus Falshöft wuchsen die Diatomeen dagegen stärker unter Kontrollbedingungen als unter verringerter Salinität.

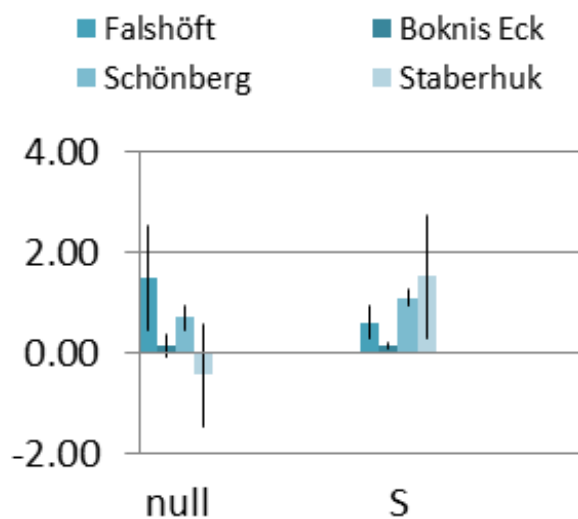


Abbildung 14: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz von benthischen **Diatomeen** auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

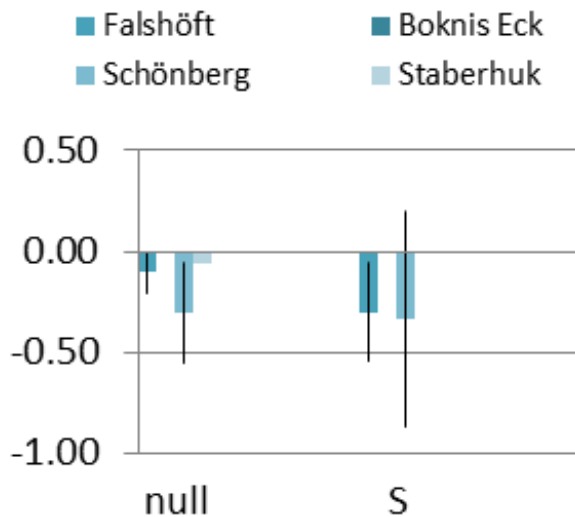


Abbildung 15: Auswirkung (Effect ratio \pm Konfidenzintervalle) des Testexperiments auf die Abundanz des Neobiots *Dasya baillouviana* auf den Besiedlungsplatten (null: Kontrolle, S: Salinitätsbehandlung).

Neobiota: Veränderungen in den Abundanzen der invasiven Art *Dasya baillouviana* wurden gesondert betrachtet. Die Rotalge *D. baillouviana* kam vor allem auf Platten von Falshöft und Schönberg vor. In beiden Gemeinschaften nahm die Abundanz von *D. baillouviana* sowohl in der Kontrolle als auch unter Salinitätsstress ab – im Mittel mit etwas stärkerem Effekt unter verringertem Salzgehalt (Abbildung 15).

4.2.1 Zusammenfassung Ergebnisse des Testmonitorings und Test-Experiments

Im Rahmen des Testmonitorings wurden erfolgreich die -auf zuvor ausgebrachten Besiedlungsplatten siedelnden- Benthos-Gemeinschaften der vier ausgewählten Standorte taucherisch beprobt und anschließend in einem Test-Experiment am GEOMAR einer Stressbehandlung (Aussüßung) ausgesetzt. [Aufgrund ungünstiger Witterung konnten jedoch keine zusätzlichen Kratzproben der lokalen Riffgemeinschaften genommen werden.]

Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, die unterschiedlichen Benthosgemeinschaften verschiedener Standorte in der Kieler Bucht schnell und schonend ans GEOMAR in Kiel zu transportieren und dort für Experimente zu nutzen. Im Test-Experiment hatte die angewendete Stressbehandlung zwar meist nur schwache aber (trotz geringer Replikation (n=3)) durchaus signi-

fikante Effekte auf die beprobten Gemeinschaften, die sich je nach Herkunft der Gemeinschaften unterschieden.

Die Gemeinschaft des Standortes Falshöft zeigte nach der Aussüßung gegenüber der Kontrolle verringerte Abundanzen der Rotalgen *Dasya baillouviana*. Die Abundanzen von *Polysiphonia fucoides* und von benthischen Diatomeen nahmen weniger zu als in der Kontrolle. Polychaeten der Gattung *Polydora* konnten dagegen von der Aussüßung profitieren.

Die Gemeinschaften der Standorte Boknis Eck und Schönberg zeigten im Test-Experiment ähnliche Reaktionen: Während benthische Diatomeen unter der verringerten Salinität stärker wuchsen, nahm die Abundanz von Miesmuscheln unter der höheren Salinität stärker zu. An beiden Standorten nahm außerdem die Gleichverteilung („Evenness“) unter der Aussüßung ab, die Dominanz einzelner Taxa (insb. Diatomeen) nahm also zu. Während die Abundanz der Seepocke *Balanus improvisus* durch die Aussüßung in der Boknis Eck-Gemeinschaft leicht abnahm, nahm die in der Schönberg-Gemeinschaft unter geringerem Salzgehalt leicht zu.

Die von *M. edulis* und *Balanus improvisus* dominierte Staberhuk-Gemeinschaft zeigte relativ geringe Einflüsse der Salinitätsbehandlung. Während die Abundanz von *Balanus improvisus* unter niedriger Salinität weniger zunahm als unter hoher, vermehrten sich die benthischen Diatomeen nur bei verringertem Salzgehalt signifikant. Hierdurch wurde die Dominanz von Miesmuscheln und Seepocken verringert, was sich in einer höheren Evenness widerspiegelt.

Laut den Salinitätsdaten aus 2016 und 2017 kann für Falshöft die geringste Wahrscheinlichkeit von spontanen mehrtägigen Exkursionen des Salzgehalts unter eine Salinität von 10 angenommen werden (Abbildung 3). Die Gemeinschaft dieses Standorts mit hohem Anteil an Rotalgen zeigte relativ klare Reaktionen auf die applizierte Aussüßung. Die Gemeinschaft von Staberhuk, wo die benthische Gemeinschaft schon früher in diesem Jahr längere Phasen von Salinitäten unter 10 erlebt hat (Abbildung 2), zeigte sich dagegen bis auf eine leicht Zunahme von benthischen Diatomeen im Experiment (erwartungsgemäß) robust gegenüber geringem Salzgehalt.

Eine vollständigere Diskussion der Ergebnisse des Text-Experiments vor dem Hintergrund lokal erfahrenen Salinitäten kann erst nach Vorliegen der Loggerdaten von Falshöft und Boknis Eck vorgenommen werden. Wenn zudem die genaueren Analysen der fixierten beprobten Gemeinschaften vorliegen, soll deren Zusammensetzung mithilfe / anhand der diesjährigen Loggerdaten analysiert werden.

4.3 Bisheriges Fazit

Folgende Punkte wurden *bislang* erarbeitet:

- Ausbringung von Besiedlungsplatten an 4 Standorten im Rahmen der jährliche Ausfahrt mit FK Littorina
- Identifizierung passender Erhebungen von Umweltdaten

- Identifizierung verwandter Monitorings (RegLocDiv), Bewertungsverfahren (BALCOSIS, MarBIT) und experimenteller Projekte (Bio-HAB), auf denen aufbauend das Langzeitmonitoring-Konzept entwickelt werden soll
- Planung und Durchführung des Testmonitorings, inkl. Rückholens der Platten im September 2018 und anschließendem Test-Experiments.
- Weitgehende Auswertung des Test-Experiments
- Beginn Konzeptentwicklung Langzeitmonitoring

4.4 Weitere Schritte

Folgende Punkte werden im weiteren Verlauf des Projekts bearbeitet:

- Vertiefte Interpretation der Ergebnisse des Test-Experiments anhand diesjähriger Loggerdaten
- Vertiefte Auswertung der beprobten Gemeinschaften anhand fixierter Proben und diesjähriger Loggerdaten
- Vertiefte Entwicklung d. Langzeitmonitorings inkl. Bewertungsverfahren
- Gutachterliche Vorhersage für Gemeinschaften auf der Basis von Literatur und Daten bisheriger Arbeiten am GEOMAR

5 Quellen

- 92/43/EWG (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie). Der Rat der Europäischen Gemeinschaften: 44 S.

- 2000/60/EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie). Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: 83 S.

- 2008/56/EG (2008): Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie). Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: 22 S.

- Cornell, H. V. & Karlson, R. H. (1996). Species richness of reef-building corals determined by local and regional processes. *Journal of animal ecology*, 65:233-241.

- Bock G, Lieberum C (2016) Aufnahme der Flachwasserabiotik in Schleswig-Holstein – Zwischenbericht. Im Auftrag des Landesamts für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR). GEOMAR, 33 S.

- Dixon, P.S. & Irvine, L.M. (1995): Seaweeds of the British Isles. Vol. 1 Rhodophyta. Part 1 Introduction, Nemaliales, Gigartinales. The Natural History Museum: 252 S.
- Doak, D. F. et al. (1998). The statistically inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *The American Naturalist*, 151(3):264-276.
- Edwards, P. J. & Abivardi, C. (1998). The value of biodiversity: Where ecology and economy blend. *Biological Conservation*, 83(3):239-246.
- Fürhaupter, K. & Meyer, T. (2009): Handlungsanweisung zum Monitoring in den äußeren Küstengewässern der Ostsee nach den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Qualitätskomponente Makrophyten. BALCOSIS-Verfahren. Bearbeitungsstand 31. März 2009. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) Schleswig-Holstein und Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. MariLim, Schönkirchen: 38 S.
- Interwies, E., Angeli, D., Bertram, C., Dworak, T., Friedrich, R., Görlitz, S., Hiebenthal, C., Kugler, U., Meyerhoff, J., Preiss, P., Rumohr, H., Reumann-Schwichtenberg, J., Rehdanz, K., (2012). Methodische Grundlagen für sozio-ökonomische Analysen sowie Folgenabschätzungen von Maßnahmen einschließlich Kosten-Nutzen Analysen nach EG-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL): Abschlussbericht an das Umweltbundesamt (Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3710 25 202). Unter der Leitung von: InterSus Sustainability Services, Berlin. 453 S.
- Loreau, M. et al. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294:804-808.
- McGradySteed, J. et al. (1997). Biodiversity regulates ecosystem predictability. *Nature*, 390(6656):162-165.
- Meyer, T., Berg, T. & Fürhaupter, K. (2008): Ostsee-Makrozoobenthos-Klassifizierungssystem für die Wasserrahmenrichtlinie. Referenz-Artenlisten, Bewertungsmo-
dell und Monitoring. MariLim, Schönkirchen: 131 S.
- Meyer, T., Reincke, T., Fürhaupter, K. & Krause, S. (2005): Ostsee-Makrozoobenthos-Klassifizierungs-system für die Wasserrahmenrichtlinie. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU). Flintbek: 73 S.
- Mooney, H. A. et al. (1995). Biodiversity and ecosystem functioning: Basic principles. In: *Global Biodiversity Assessment*, Eds. Heywood, V. H. & Watson, R. T., Cambridge: Cambridge Univ. Press, pp. 279-325.
- Naeem, S. et al. (1994). Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, 368(6473):734-737.
- Pfaff, M. C., Hiebenthal, C., Molis, M., Branch, G. M. & Wahl, M. (2010): Patterns of diversity along experimental gradients of disturbance and nutrient supply - the confounding assumptions of the Intermediate Disturbance Hypothesis. *African Journal of Marine Science* 32(1): 127-135.
- Reimers, H. C. (2005): Typologie der Küstengewässer der Nord- und Ostsee. In: P. Feldens (Bearb.): *Typologie, Bewertung, Management von Oberflächengewässern*. Limnologie aktuell Band 11. Stuttgart (Schweizerbart): 37-45.
- Schories, D., Selig, U. & Schubert, H. (2006): Testung des Klassifizierungsansatzes Mecklenburg-Vorpommern (innere Küstengewässer) unter den Bedingungen Schleswig-Holsteins

und Ausdehnung des Ansatzes auf die Außenküste. Küstengewässer-Klassifizierung deutsche Ostsee nach EU-WRRL. Teil A: Äußere Küstengewässer. Stand 16.3.2006. 187 S.

- Schubert, H., C. Blümel, Eggert, A., Rieling, T., Schubert, M. & Selig, U. (2003): Entwicklung von leitbildorientierten Bewertungsgrundlagen für innere Küstengewässer der deutschen Ostseeküste nach der EU-WRRL (Förderkennzeichen. 0330014). FORSCHUNGSBERICHT zum BMBF Projekt ELBO. UNIVERSITÄT ROSTOCK Institut für Aquatische Ökologie, Rostock: 183 S.

- Selig, U., Marquardt, R. & Porsche, C. (2008): Vorläufige Handlungsanweisung zur Erfassung der Angiospermen der Deutschen Ostseeküste - Bewertung entsprechend der Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Stand: 28.4.2008. Bericht für das LUNG-MV. 21 S.

- Tilman, D. & Downing, J. A. (1994). Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 367(6461):363-365

- Wahl M, Hinrichsen, H-H, Lehmann A, Lenz M (2013): Natural variability in hard-bottom communities and possible drivers assessed by a time-series study in the SW Baltic Sea: know the noise to detect the change. *BIOGEOSCIENCES* 10(7): 5227-5242.

- Weber v., M. (2005): Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in den Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns
- Results of the status quo analysis 2004 for the implementation of the Water Framework Directive (WFD) in the Mecklenburg-Western Pomeranian coastal waters. Rostock. *Meeresbiolog. Beitr.* 14: 7-15.

Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21:213-251.