

**Abiotic and biotic impacts on fish in the Wadden Sea. Evaluating the effect of large scale
climate oscillations, local ecosystem characteristics and invasive species**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Moritz Pockberger

Kiel, 2015

Prüfungskommission:

PD Dr. Harald Asmus (Erster Gutachter)

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

Prof. Dr. Oscar Puebla (Zweiter Gutachter)

GEOMAR, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel

Prof. Dr. Martin Wahl (Vorsitzender)

GEOMAR, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel

Univ. Doz. Dr. Harald Ahnelt

Universität Wien, Department für Theoretische Biologie, Wien

Prof. Dr. Maarten Boersma

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

Tag der mündlichen Prüfung: 12.05.2015

Zum Druck genehmigt: 12.05.2015

gez. Prof. Dr. Wolfgang J. Duschl, Dekan

By the time it comes to interpretations of the substantive conclusions, the assumptions on which the model has been based are easily forgotten. But it is precisely the empirical validity of these assumptions on which the usefulness of the entire exercise depends.

Wassily Wassilyovich Leontief

SUMMARY

Fish use coastal shallow waters, such as the Wadden Sea as nursery and are intrinsically tied on these systems as important predators on benthos and plankton but also as prey for other fish, birds and marine mammals. The composition of the fish community in the Wadden Sea varies not only with the season but also with many other environmental changes, as this unique landscape is constantly being formed and changed by tidal currents, the exchange of water with the adjacent North Sea and the discharge of rivers and streams. Beside these local factors, large scale climatic oscillations, such as the North Atlantic Oscillation (NAO), influence the climate and abiotic characteristics of the Wadden Sea. In succession abiotic characteristics define the species composition and abundance in the habitat Wadden Sea.

As the Wadden Sea represents a very dynamic and open habitat, species might be easily introduced and by successful reproduction become invasive, which may affect native species and in the course of time the food web. If invasive species occur in high abundances and dense aggregations new habitats may be formed. The occurrence of these bioengineer species can cause changes in local habitat characteristics and may impact the whole ecosystem. In the Wadden Sea two bioengineer species, the mollusc *Crassostrea gigas* (Pacific oyster) and the algae *Sargassum muticum* (Japanese wireweed), form new habitats, oyster reefs and dense algal forests respectively.

To investigate the impact of changing abiotic characteristics and the occurrence of invasive species on the ecosystem Wadden Sea, the following work plan was conducted. To uncover possible ongoing changes fish were chosen as the organismic subject group of the study. Fish are able to avoid unfavorable conditions by migration to other areas, indicating ongoing changes. They are also important as consumer components and links between different trophic levels in the food web of the Wadden Sea.

In Chapter I the fish community of a Wadden Sea area was investigated monthly over a period of 5 years to estimate species occurrence and abundance. The effect of local abiotic factors and NAO on the fish community were observed and calculated. To reveal the importance of presence or absence of an abundant fish species for the functioning of the food web, an Ecological Network Analyses (ENA) was conducted in Chapter II.

Due to the fact that new habitats are formed by invasive species the occurrence and abundance of fish species in these new habitats was compared to the fish abundance in sandy habitats in Chapter III. To reveal the energy transport inside a *S. muticum* forest and the possible effects for the whole food web in Chapter IV an ENA was conducted considering various meio- and macrofauna species.

Results show that changing abiotic factors together with large scale climate oscillations impact fish depending on their temperature preference, but also on the vertical habitat in which species forage. Changing conditions may cause changing species composition and impact the food web, as shown in Chapter I and II. Concerning the results of ENA the presence or absence of fish in the food web, is an important factor for energy transport, as in the absence less energy is transported to higher trophic levels. The occurrence of new habitats, e.g. *S. muticum* forests, may be beneficial for rare fish species dependent on subtidal vegetation (Chapter III) formed by native plant canopies that have been lost in the past in the Wadden Sea. Furthermore, in the new habitat other invasive species represent suitable and abundant prey items proving to be beneficial for native fish species as shown in Chapter IV.

In summary the here presented results investigate and reveal the relationships of ecosystem processes and invasive species in relation to the fish community. Revealing impacts and

factors influencing the fish community might help to estimate future developments and changes in Wadden Sea areas.

ZUSAMMENFASSUNG

Fische nutzen flache Küstengewässer, wie das Wattenmeer, als Kinderstube und Aufwuchsgebiet. In ihrer Rolle als Räuber von Benthos und Plankton oder als Beute von anderen Fischen, Vögeln und Seesäufern sind sie aber auch eng mit diesen Systemen verwoben. Im Wechsel der Jahreszeiten wird das Ökosystem Wattenmeer ständig durch lokale Einflüsse, wie den Gezeiten, den Wasseraustausch mit der Nordsee und den Eintrag von Flüssen geformt. Daher unterliegt die Zusammensetzung der Fischgemeinschaft des Wattenmeeres stark saisonale Schwankungen, aber auch vielen anderen Umweltfaktoren. Neben diesen lokalen Einflüssen wirken abiotische Faktoren, wie das Klima, beeinflusst durch großräumige klimatische Oszillationen, wie z.B. der Nord Atlantische Oszillation (NAO). Die abiotische Faktoren, das Klima eingeschlossen, bestimmen wiederum die Artzusammensetzung und Verteilung im Wattenmeer.

Da das Wattenmeer einen offenen und sich verändernden Lebensraum darstellt, ist das Einwandern von neuen Arten möglich. Wenn sich eine eingewanderte Art erfolgreich ausbreitet, wird diese als invasiv bezeichnet. Invasive Arten können mit heimischen Arten interagieren und so im Laufe der Zeit das gesamte Nahrungsnetz beeinflussen. Eingewanderte Arten die in großer Anzahl auf engem Raum vorkommen und so dichte Aggregate bilden, werden als Bioingenieur-Arten bezeichnet. Bioingenieur-Arten können durch ihre große Anzahl lokale abiotische Faktoren beeinflussen und so Ökosysteme nachhaltig beeinflussen.

Im Wattenmeer finden sich zwei eingewanderte Bioingenieur-Arten besonders häufig, die pazifische Auster *Crassostrea gigas* und die Japanische Braunalge *Sargassum muticum*. Diese beiden invasiven Arten bilden dichtbesiedelte Austernriffe und Algenwälder und somit neue Habitate im Wattenmeer.

Um den Einfluss und die Auswirkungen von veränderten abiotischen Parametern und das Auftreten von invasiven Arten auf das Ökosystem Wattenmeer aufzudecken, wurden die nachfolgenden Untersuchungen durchgeführt. Fische wurden dabei als eine Art Indikator gewählt, da diese schnell auf ungünstige Bedingungen reagieren können, z.B. durch Abwandern in andere Gebiete. Ungewöhnliche Schwankungen des Vorkommens und der Anzahl von Fischarten können so einen Hinweis auf veränderte Bedingungen in einem bestimmten Gebiet geben. Fische stellen außerdem wichtige Bestandteile im Nahrungsnetz dar, da sie als Bindeglied zwischen niedrigen und höheren trophischen Stufen im Nahrungsnetz des Wattenmeeres fungieren.

In Kapitel I wird die monatliche Untersuchung einer Fischgemeinschaft über einen Zeitraum von 5 Jahren im nördlichen Wattenmeer vorgestellt. Die Einflüsse von lokalen abiotischen Faktoren auf die Fischgemeinschaft und mögliche Korrelationen zu großräumigen klimatischen Oszillationen wurde statistisch berechnet. Der Einfluss und die Bedeutung der Präsenz einer abundanten Fischart im Nahrungsnetz und für den Energietransport wird mit Hilfe der Ecological Network Analysis (ENA) in Kapitel II dargestellt.

In einem weiteren Schritt (Kapitel III) wird untersucht welche Fischarten sich in neuen, von Bioingenieur-Arten gebildeten Habitaten, finden und aufhalten. Die Abundanz von Arten wird mit verschiedenen Methoden in sandigen Habitaten und in den Algenwäldern von *S. muticum* untersucht. Um den Transport von Energie und mögliche Effekte auf das gesamte Nahrungsnetz des Wattenmeeres abschätzen zu können, wird in Kapitel IV eine ENA vorgestellt, welche sich auf das Nahrungsnetz eines *S. muticum* Waldes konzentriert. Ergebnisse der hier vorgestellten Arbeiten zeigen, dass Fischarten nach ihrer Temperaturpräferenz, aber auch nach ihrem bevorzugten Habitat innerhalb der Wassersäule von abiotische Faktoren im Zusammenspiel mit großräumigen klimatischen Oszillationen

unterschiedlich beeinflusst werden. Veränderte abiotische Faktoren führen zu einer sich ändernden Artgemeinschaft und können somit das Nahrungsnetz nachhaltig beeinflussen (Kapitel I und Kapitel II). Die Ergebnisse der ENA zeigen besonders die Bedeutung der An- bzw. Abwesenheit von abundanten Fischarten für das Nahrungsnetz, da in deren Abwesenheit weniger Energie zu höheren trophischen Stufen transportiert wird. Das Vorkommen und die Etablierung von neuen Habitaten, z.B. Algenwälder, können durchaus vorteilhaft für Fischarten sein. Besonders seltene Fischarten und Fische, die auf Pflanzenbestände in flachen sublitoralen Bereichen angewiesen sind, scheinen von den neuen Habitaten zu profitieren (Kapitel III), da die Bestände entsprechender einheimischer Pflanzen im Wattenmeer in der Vergangenheit verschwunden sind. In Kapitel IV wird außerdem aufgezeigt, dass innerhalb der neuen Habitate, abundante Arten vorkommen, die von Fischen bejagt werden, und sich so als neue verfügbare Beute und Energieressource positiv auf heimische Fischarten auswirken (Kapitel IV).

Die hier vorgestellten Ergebnisse decken das Zusammenspiel und die Beziehungen von Ökosystemprozessen und invasiven Arten auf und stellen diese in Relation zur heimischen Fischgemeinschaft. Die Ergebnisse dieser Arbeit tragen dazu bei zukünftige Entwicklungen und Änderungen im Ökosystem Wattenmeer besser abschätzen zu können.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass die vorliegende Arbeit:

Abiotic and biotic impacts on fish in the Wadden Sea. Evaluating the effect of large scale climate oscillations, local ecosystem characteristics and invasive species.

mit Hilfe meiner Betreuer, Co-Autoren und Praktikanten und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Hilfsmittel und Quellen erstellt habe.

Die Arbeit wurde unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft verfasst.

Die Arbeit ist und wurde an keiner anderen Stelle im Rahmen eines Prüfungs- und Promotionsverfahrens vorgelegt und veröffentlicht, aber Teile dieser Arbeit wurden als Manuskript in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert oder werden zur Veröffentlichung eingereicht. Die Namen der entsprechenden Zeitschriften sind in der hier vorliegenden Arbeit unter Thesis Outline aufgeführt.

Ich habe bis zum heutigen Tage weder an der Christian Albrechts Universität zu Kiel noch an einer anderen Hochschule ein Promotionsverfahren endgültig nicht bestanden, noch befinde ich mich in einem entsprechenden Verfahren.

15.02.2015

Moritz Pockberger

Keep Ithaka always in your mind.

Arriving there is what you are destined for. But do not hurry the journey at all. Better if it lasts for years, so you are old by the time you reach the island, wealthy with all you have gained on the way, not expecting Ithaka to make you rich.

Constantine P. Cavafy