

Impacts of warming and increasing $p\text{CO}_2$ on natural phytoplankton communities

Dissertation

**zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**vorgelegt von
Carolin Paul**

Kiel 2015

Referent: Prof. Dr. Ulrich Sommer

Koreferent: PD Dr. Nicole Aberle-Malzahn

Tag der mündlichen Prüfung: 10.02.2016

Zum Druck genehmigt: 10.02.2016

gez.: Prof. Dr. W.J. Duschl, Dekan

Zusammenfassung

Nach Vorhersagen der IPCC (2014), wird die Oberflächentemperatur der Ozeane voraussichtlich um 3-5°C ansteigen, während gleichzeitig damit gerechnet wird, dass sich die CO₂ Konzentration im Wasser bis zum Jahre 2100 verdoppelt haben wird. Zahlreiche Experimente stellten den Einfluss von Erwärmung bzw. vom Anstieg des CO₂ Gehalts im Wassers auf die Biomasse, das Wachstum und die chemische Zusammensetzung des Phytoplanktons fest. Die Auswirkungen beider Klimafaktoren zusammen sind jedoch größtenteils noch unbekannt, besonders hinsichtlich natürlicher Phytoplanktongemeinschaften. Da das Phytoplankton die Basis des pelagischen Nahrungsnetzes bildet, wird vermutet, dass sich Veränderungen in deren Artengemeinschaft und in deren Biomasse aufgrund des Klimawandels auf die Futterverfügbarkeit und die trophischen Beziehungen im Ökosystem auswirken werden.

Um die gemeinsamen Einflüsse von Erwärmung und Anstieg des pCO₂ Gehalts auf natürliche Phytoplanktongemeinschaften zu untersuchen, führte ich drei Mesokosmenexperimente durch. Es war des Weiteren mein Ziel herauszufinden, ob saisonale Blütenereignisse, mit ihren charakteristischen Unterschieden in der Artenzusammensetzung und in den Wachstumsbedingungen des Phytoplanktons, in ihren Antworten auf die Klimaveränderung variieren.

Im ersten Kapitel (Kapitel I) untersuchte ich die Einflüsse des Klimawandels auf eine typische Diatomeen-dominierte Herbstblüte der Ostsee. Meine Ergebnisse zeigten eine temperatur-bedingte frühere Blüte und eine Abnahme der Phytoplanktonbiomasse. Der Phytoplanktonkohlenstoffgehalt, zum Beispiel, sank mit Anstieg der Temperatur um mehr als die Hälfte ab. Keine Hinweise dagegen konnten für einen direkten Einfluss des steigenden pCO₂ Gehalts oder dessen Interaktion mit Erwärmung gefunden werden.

Im zweiten Kapitel (Kapitel II) konnte ich nachweisen, wie bereits in Kapitel I vermutet, dass Erwärmung zu einer Verstärkung des Fraßdruckes seitens der Copepoden (Mesozooplankton) führt. Des Weiteren zeigten meine Ergebnisse, dass Auswirkungen von Erwärmung auf die nächst höhere trophische Ebene übertragen werden können. Auf diese Weise veränderte sich die Sommer-Phytoplanktongemeinschaft von einem "bottom-up" zu einem vornehmlichen "top-down" kontrollierten System. Dies zeigte sich in einer signifikanten Abnahme der

Phytoplanktonbiomasse und in einem Anstieg der Zooplanktonabundanz bei steigender Temperatur. Hohe $p\text{CO}_2$ Werte beeinflussten hingegen Copepoden Nauplien negativ. Deren Abnahme der Abundanz und eine Verringerung ihres Fraßes spiegelte sich in einer signifikanten Zunahme der Phytoplanktonbiomasse in den kalten CO_2 -erhöhten Mesokosmen wieder.

Im dritten Kapitel (Kapitel III) untersuchte ich experimentell die Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Fettsäurezusammensetzung und den Fettsäuregehalt zweier natürlicher Sommer-Phytoplanktongemeinschaften. Meine Ergebnisse zeigten, dass Erwärmung das Potenzial aufweist, den Gehalt an essenziellen mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) im Phytoplankton zu verändern. Dies lässt eine mögliche Beeinflussung der Futterqualität für höhere trophische Ebenen vermuten, wenngleich sich das Ausmaß der Effekte zwischen den beiden Sommerstudien unterschied. Entgegen der allgemeinen Theorie korrelierten die Veränderungen in den Fettsäuren als Reaktion auf die Klimaveränderung nicht mit entsprechenden Veränderungen in der taxonomischen Zusammensetzung des Phytoplanktons.

Insgesamt zeigen meine Ergebnisse, dass die ansteigende Wassertemperatur potenziell die chemische Zusammensetzung des Phytoplanktons verändern kann, was sich möglicherweise auf höhere trophische Ebenen auswirken wird. Des Weiteren belegen meine Studien, dass Erwärmung zu einem erhöhten Fraßdruck führt und die trophischen Beziehungen zwischen dem Phytoplankton und deren Fraßfeinden verschieben kann. Steigende $p\text{CO}_2$ Werte indessen, scheinen die Biomasse und die chemische Zusammensetzung natürlicher Phytoplanktongemeinschaften nur in geringerem Maße zu beeinflussen.

Summary

Following the predictions of the IPCC (2014), the water surface temperature in the oceans is proposed to increase by 3-5°C, while at the same time CO₂ concentrations in the water are expected to double until the year 2100. A large number of experiments observed effects of warming or rising CO₂ concentrations in the water on phytoplankton's biomass, growth and chemical composition. The combined effects of both climate change factors are to a large extent still unclear, especially for natural phytoplankton communities. As the phytoplankton represents the base of the pelagic food web, changes in their community composition and biomass due to climate change are supposed to affect food availability and trophic relations in the ecosystem.

To address the combined effects of warming and rising pCO₂ on natural plankton communities, I conducted three mesocosm experiments. Furthermore, I wanted to find out, if seasonal bloom events with their characteristic differences in phytoplankton species composition and growth conditions vary in their responses to climate change.

In the first chapter, I investigated the effects of climate change on a typical diatom-dominated autumn bloom of the Baltic Sea. My results showed a temperature-induced earlier bloom-time and a time-dependent decrease in all phytoplankton biomass parameters. Phytoplankton carbon, for instance, declined by more than half with increasing temperature. No evidences, instead, were found for a direct effect of rising pCO₂ or an interaction with warming.

In chapter II, I provided evidence for my suggestion of chapter I that warming enhances the grazing pressure of copepods (meso-zooplankton). Furthermore, my results showed that warming effects can be translated to the next higher trophic level by switching a summer plankton community from a bottom-up to a mainly top-down controlled system. This was reflected by a significant decrease in phytoplankton carbon and an increase in zooplankton abundance under higher temperature. High pCO₂ levels, instead, indicated a negative impact on copepod nauplii. Their decrease in abundance and their release from grazing was mirrored by a significant increase in phytoplankton carbon in the cold high pCO₂ mesocosms.

In the third chapter (chapter III), I intended to experimentally explore the effects of climate change on the fatty acid composition and contents of two natural

phytoplankton summer communities. My results showed that warming has the potential to change the content of essential polyunsaturated fatty acids (PUFAs). This suggests a possible impact on the food quality for higher trophic levels, however, the magnitude of the effects differed between the two studies. Contrasting to a general assumption, the observed changes in fatty acids due to climate change could not be related to changes in taxonomic composition.

Overall my results point out that an increase of the water temperature has the potential to influence phytoplankton's chemical composition, possibly affecting higher trophic levels. Moreover, my studies evidence that warming enhances grazing pressure and can alter trophic relations between phytoplankton and their grazers in the pelagic food web. Increasing $p\text{CO}_2$ concentrations, instead, seem to affect biomass and chemical composition of natural phytoplankton communities only to a lesser extent.