

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Institut für Biowissenschaften

Fachgebiet: *Meeresbiologie*

Betreuer: Prof. Dr. Hendrik Schubert, Dr. habil. Timo Moritz

Vivian Fischbach

(e-mail: vivian.fischbach@uni-rostock.de)

Integrative approach to the analysis of the ecology and morphology of keystone Baltic Sea fish species

Deutsche Zusammenfassung

Seit Jahrhunderten ist der Atlantische Hering von großer Bedeutung für die Bevölkerung Nordamerikas und Europas und auch heute ist er noch ein wesentlicher Bestandteil der Fischereiindustrie. Aufgrund seiner Rolle in den marinen Nahrungsnetzen der gemäßigten Breiten wird er als Schlüsselart bezeichnet. Heringsbestände, wie der Hering der westlichen Ostsee, verzeichnen aufgrund jahrzehntelanger Überfischung und nachlassender Reproduktionserfolge rückläufige Bestandszahlen. Eine erhöhte Mortalität während der frühen Entwicklung ist stark mit klimawandelbedingten Umweltveränderungen, wie der Ozeanerwärmung verknüpft. Arten werden aufgrund ihrer physiologischen Toleranzen, in „Klimawandelgewinner“ und „-verlierer“ eingeteilt, allerdings weisen frühe Entwicklungsstadien oft geringer physiochemische Toleranzen als Adultstadien auf. Der Hering wird generell als „Klimawandelverlierer“ gehandelt, während Arten wie der Hornhecht aufgrund seines großen Verbreitungsgebiets im Adultstadium als „Gewinner“ gelten. Diese Arbeit analysiert Mortalitätsflaschenhälse während der frühen Lebensphasen von Ostseefischen und verknüpft morphologische und ökologische Methoden. Zuerst wurden morphologische Methoden angewandt, um die Skelettentwicklung von Hering und Hornhecht zu charakterisieren und Klassifizierungssysteme für Entwicklungsstadien zu erstellen. Die Entwicklung beider Arten unterscheidet sich stark, was auf unterschiedliche Mortalitätsflaschenhälse hindeutet. Durch die Expressionsanalyse von Genen, welche während der Larvalentwicklung des Herings in den Entwicklungsprozessen involviert sind, konnten Phasen identifiziert werden, in denen entweder Wachstum oder Entwicklung priorisiert werden und dementsprechend Prozessen zugeteilt werden, die akut Energie benötigen. Dies legt nahe, dass veränderte Umweltbedingungen sich auf die Energieverteilung auswirken und eine Umverteilung der Energie von Wachstums- zu Entwicklungsprozessen verursachen könnten. Es wurden zudem vulnerable Stadien, wie z.B. das „First-Feeding“-Stadium identifiziert und ein Survival-Index aus dem Anteil von Heringslarven, welche Hauptstrukturierungsengpässe überlebt hatten berechnet. Einbrüche in der Zooplanktonabundanz sind hoch korreliert mit höherer Larvenmortalität und offensichtlich kausal. Schließlich wurden die thermischen Toleranzgrenzen während der Embryogenese von Hering und Hornhecht bestimmt. Der optimale Temperaturbereich des frühesten Heringsembryonalstadiums liegt zwischen 3-15°C und stellt unter zukünftigen

Erwärmungs-Szenarien keinen thermalen Flaschenhals dar. Eine zu schnelle Erwärmung könnte allerdings in darauffolgende Stadien zu akutem Hitzestress führen. Außerdem hat sich der Laichzeitraum des Hornhechts in der Saison bereits nach vorne verschoben, höchstwahrscheinlich aufgrund früher ansteigenden Temperaturen. Hornhechte in der späten Embryonalphase weisen zudem erhöhte Mortalitäten bei Temperaturen $>21^{\circ}\text{C}$ auf. Dieser Schwellenwert stellt somit einen temperaturbedingten Engpass dar, der das „Klimawandelgewinner“-Image des Hornhechts in Zweifel zieht. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein besseres Verständnis der Fischentwicklung es uns erlaubt, Reaktionen einzelner Stadien auf sich verändernde Umweltbedingungen besser nachzuvollziehen und ihre Klimavulnerabilität der Arten besser einzuschätzen. Die hier präsentierten Studien zeigen auf, dass Informationen zu allen Entwicklungsstadien mit einbezogen werden müssen, um Arten in „Klimawandelgewinner“ und „-verlierer“ einzuteilen. Diese Arbeit trägt dazu bei, die Datenlage über die frühen Lebensstadien von Hering und Hornhecht zu verdichten und kann als Rahmen für weitere Studien genutzt werden.

Englisch Zusammenfassung

The Atlantic herring has been of great importance to North American and European societies for centuries and even today, it still plays a major role for the commercial fishing industry. Due to its importance in temperate marine food webs, it is also considered a key stone species. Herring stocks, such as the western Baltic herring, show declining stock sizes resulting from decades of overexploitation, low recruitment and reduced reproductive success. Environmental changes related to climate change are often connected to an increased mortality during early life stages. In general, species can be categorized as potential climate change “winners” and “losers” based on their physiological tolerance ranges. However, these tolerances can vary between the developmental phases, with early life stages supposedly being most vulnerable. Atlantic herring has been classified as potential climate change “loser”, while other species, such as the garfish have been labeled “winners”, for example due to their large distribution range as adults. This thesis aims to identify and understand mortality bottlenecks during the early life of Baltic Sea fishes by bridging morphological and ecological research. First, classic morphologic methodologies were used to analyze the development of skeletal structures in garfish and herring to characterize developmental stages. Development of herring and garfish differs, hinting at the occurrence of different mortality bottlenecks. By analyzing the expression of genes involved in developmental progresses during herring larval development, phases were found in which either growth or developmental processes are emphasized. This suggests stage-specific energy allocation to processes which benefit the larvae most. It can be hypothesized that shifts in the energy allocation may occur with changing environmental conditions, for example increased speed of development or decreased growth at higher ambient temperatures. Furthermore, potentially vulnerable developmental stages such as the first feeding stage were identified and a survival index for herring larvae was derived by calculating the proportion of larvae which survived the main structuring bottlenecks from the total abundance. When correlating the survival index with the abundance of zooplankton, it became evident that a decrease in zooplankton abundance over the last

decade affected herring larval survival substantially. Lastly, the thermal threshold for herring and garfish embryogenesis were determined. For herring, the optimal thermal range during early embryogenesis was established at a range of 3-15°C. Under future warming scenarios, it can therefore be assumed that embryonic development in general will not be affected by warming seas. However, the rate of warming is particularly concerning for later life stages which could suffer acute heat stress. For garfish, it was found that the time of spawning and the occurrence of early life stages had already shifted to an earlier point in the season, most likely due to an earlier increase in temperatures. Also, garfish embryos in advanced stages show less tolerance to sudden heat occurrences and temperatures above 21°C, which most likely constitutes a major thermal bottleneck, undermining their previous climate change “winner” label. In conclusion, understanding the early life history of fishes allows us to better predict responses of developmental stages towards environmental drivers and thus to assess their vulnerability in future climate scenarios. The studies presented in this thesis further illustrate that all developmental stages and their tolerance ranges towards abiotic and biotic factors should be considered when classifying species into climate change “winners” and “losers”. Ultimately this thesis contributes to the growing data on the early life history of herring and garfish and can be used as a framework for future research.