

The role of the thermal niche in past warming worlds

Die Rolle der thermischen Nischen von Arten während Zeiten globaler Klimaveränderungen in der Erdvergangenheit

Dr. Martin Aberhan

Summary

Understanding the dynamics of past and present ecosystems and predicting directional changes in response to climate change are long-standing challenges in (paleo-)ecology. We propose to apply the concept of the thermal niche to study the effects of climate warming on shifts in the latitudinal distribution of species and in the thermal structure of faunal assemblages. Using occurrence data of marine benthic macroinvertebrates and maps of seawater temperatures derived from oxygen isotopes and climate modelling, we address in detail the effects of climatic ups and downs during the Pliensbachian-Toarcian (Early Jurassic) time interval, and subsequently extend our analyses to the Phanerozoic eon. First, we test whether warming is narrowing the latitudinal ranges of species (hypothesis 1) alongside the hypothesis that warming preferentially results in poleward shifts of species. Second, we argue that the thermal structure of an assemblage determines its response to warming (hypothesis 2). Particularly we hypothesize that immigrants have warmer realized thermal niches than the pre-existing assemblage average; that extirpation prevails among species for which raised temperatures exceed their upper thermal limits; and that increase or decrease in the abundance of species is predicted by their respective pre-existing thermal niche. Third, we explore whether changes in the composition and thermal structure of faunal assemblages are most distinct at the warm edge accumulations of tropical and temperate species respectively (hypothesis 3). In this context, we predict that local population losses occurred preferentially in assemblages with high proportions of the warmest-affinity species, whereas immigrations are negligible; that a second maximum of population losses is located at the equatorward distribution edge of temperate species; and that this warm temperate zone also receives significant immigrations of tropical species resulting in peaks of faunal turnover within assemblages. Understanding the role of the thermal niche, we expect to contribute knowledge about the extent to which marine ecosystems remain cohesive or are transformed, involving replacements of incumbent species by immigrants or newly evolved species, in the face of climate change.

Zusammenfassung

Ein detailliertes Verständnis der Dynamik fossiler und moderner Ökosysteme als Reaktion auf Klimaänderungen ist eine große Herausforderung für die (Paläo-)Ökologie. Im hier beantragten Projekt soll mittels einer Charakterisierung der thermischen Nischen von fossilen Arten die Auswirkungen von Klimaerwärmungen auf die latitudinalen Verbreitungsmuster von Arten und die thermische Struktur von Fossilvergesellschaftungen untersucht werden. Mithilfe der geografischen Verbreitung benthischer mariner Makroinvertebraten und rekonstruierten Temperaturen des Oberflächenwassers, die aus Isotopendaten und Klimamodellierungen gewonnen werden, untersuchen wir im Detail die Auswirkungen von Klimaveränderungen während eines Zeitintervalls im Unterjura (Pliensbachium–Toarcium) und dehnen anschließend die Analysen auf das gesamte Phanerozoikum aus.

Wir testen ob Klimaerwärmung die latitudinalen Reichweiten von Arten einengt (Hypothese 1) zusammen mit der Hypothese, dass Erwärmung in erster Linie zu polwärtigen Wanderungen führt.

Wir postulieren, dass die thermische Struktur von Faunenvergesellschaftungen deren Reaktion auf Erwärmung bestimmt (Hypothese 2) und testen insbesondere: ob die realisierten thermischen Nischen von einwandernden Arten „wärmer“ sind als der Durchschnitt der Vergesellschaftung vor der Erwärmung; ob lokale Verluste vor allem Arten

betreffen deren ehemaliges oberes thermisches Limit überschritten wurde; und ob Häufigkeitszunahmen und -abnahmen aus den jeweils realisierten thermischen Nischen vorhergesagt werden können.

Schließlich untersuchen wir, ob Veränderungen der Faunenzusammensetzung und thermischen Struktur von Fossilvergesellschaftungen dort am ausgeprägtesten sind, wo sich die „warmen“ Verbreitungsränder von tropischen Arten bzw. von Arten aus gemäßigten Breiten jeweils häufen (Hypothese 3). Hier erwarten wir, dass lokale Populationen vor allem dort verschwinden, wo der Anteil von Arten die die wärmsten Gebiete bevorzugen besonders hoch ist. Die Einwanderung von Arten wäre für diese Gebiete unbedeutend. Ein zweites Maximum von Populationsverlusten erwarten wir für den Bereich in dem sich die äquatorwärtigen Verbreitungsenden von Arten aus der gemäßigten Zone konzentrieren. Für diese warm-temperierte Zone würde im Zuge von Klimaerwärmung auch eine signifikante Einwanderung von tropischen Arten erwartet, so dass das Ausmaß von Faunenänderungen hier besonders hoch wäre.

Insgesamt erwarten wir, dass die Projektergebnisse zu einem besseren Verständnis beitragen werden, in welchem Ausmaß marine Ökosysteme im Zuge von Klimawandel intakt bleiben oder durch die Verdrängung etablierter Populationen und Arten durch invasive oder neu evolvierte Arten transformiert werden.