

Sind Lebensgemeinschaften polarer Meere Verlierer der Klimaveränderung?

Gisela Lannig, Ute Jacob, Thomas Brey, Rainer Knust, Hans-O. Pörtner

Antarktische Tiere leben bei beständig kalten Wassertemperaturen von bis zu $-1,8$ °C. Die Körpertemperatur wechselwarmer Tiere, wie zum Beispiel von Fischen und Muscheln, entspricht der Umgebungstemperatur. Ihre Anpassung an die besondere antarktische Kälte geht einher mit einer deutlich verringerten Toleranz gegenüber Erwärmung. Einige wirbellose Tiere reagieren besonders empfindlich auf steigende Temperaturen, manche Fische können sich hingegen an längerfristige Erwärmung besser anpassen. Wir müssen daher Mechanismen und Grenzen der physiologischen Leistungsfähigkeit kennen, um die Auswirkungen von Klimaänderungen auf polare Tiere und die Struktur polarer Nahrungsketten abschätzen zu können.

Der Temperaturbereich, in dem ein Organismus überleben, sich entwickeln und fortpflanzen kann, wird maßgeblich durch die Sauerstoffversorgung im Organismus bestimmt. Außerhalb des optimalen Bereichs gehen die Sauerstoffversorgung und damit auch die Leistungsfähigkeit des Tieres bis zu dem Punkt zurück, wo ein Überleben nicht mehr möglich ist. Labor- und Feldbeobachtungen an Aalmuttern (*Zoarces viviparus*) aus der Nordsee bestätigen dieses konzeptionelle Modell (Abb. 13).

Bei Erwärmung des Wassers um nur wenige Grad haben somit empfindliche Organismen im Bereich des Antarktischen Schelfs geringe Überlebenschancen. Aufgrund fehlender Rückzugsgebiete werden solche

Does global warming pose a threat to polar ecosystems?

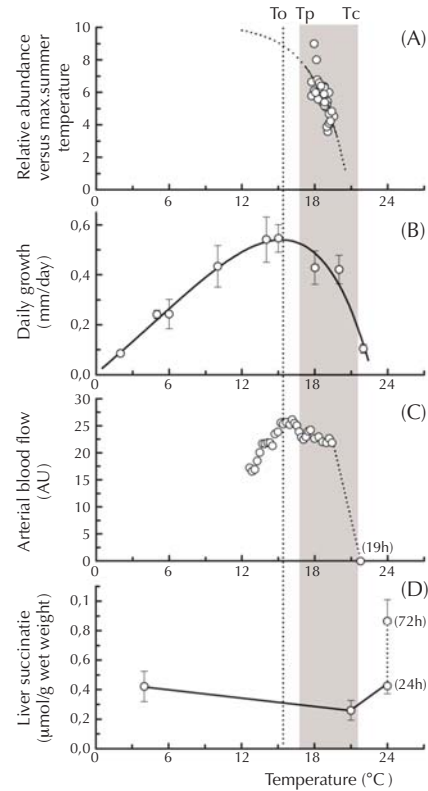
Gisela Lannig, Ute Jacob, Thomas Brey, Rainer Knust, Hans-O. Pörtner

Antarctic waters are extremely cold, with temperatures as low as -1.8 °C. The body temperatures of ectothermal animals like fish and mussels equal ambient temperature. Thus, the metabolism of Antarctic animals is optimally adapted to the cold, but this accomplishment causes them to be sensitive to warmer temperatures. Current evidence indicates that many Antarctic invertebrates are highly sensitive to warming, whereas some fish species may tolerate moderate temperature increments. To predict and estimate the effects of climate change on polar animals and on the structure of polar food webs it is necessary to gain a mechanistic understanding of the thermal limits of physiological capacity.

*The temperature range in which an animal is able to survive, to grow and to reproduce is mainly characterized by optimized oxygen supply to the organism. Beyond the optimal temperature range oxygen supply and metabolic performance decline until a temperature is reached where survival is no longer possible. This conceptual model is confirmed not only by laboratory but also by field data obtained in eelpout (*Zoarces viviparus*) from the North Sea (Figure 13). According to this model, even a small increase in water temperature may be effective in highly sensitive animals from the Antarctic shelf. Such species are prone to become extinct as there may be no cold habitat left as a retreat. In contrast, sub-polar species and those inhabiting "warmer" deep-sea layers can migrate to higher latitudes. There*

Abb.13: Im ostfriesischen Wattenmeer fällt der Bestand der Aalmutter (*Zoarces viviparus*) aufgrund steigender Sterblichkeit bei hohen Sommer-temperaturen (A). Mögliche Ursache dafür ist eine verminderte Sauerstoffversorgung im Organismus, die auch die Abnahme des Wachstums in der Wärme erklärt (B). Höchstes Wachstum findet sich bei hohem arteriellem Blutfluss und Sauerstofftransport (C) und definiert den optimalen Temperaturbereich. Oberhalb der optimalen Temperatur (T_o) nimmt die Leistungsfähigkeit der Tiere aufgrund abnehmender Sauerstoffversorgung des Gewebes ab. Dies wird deutlich im grau hinterlegten Pejusbereich (pejus = schlechter werdend), der zwischen der Pejustemperatur (T_p) und der kritischen Temperatur (T_c) liegt. Mit Erreichen der kritischen Temperatur bei 24 °C bricht die Sauerstoffversorgung ein und anaerobe Endprodukte (z.B. Succinat) werden gebildet (D).

Fig. 13: Abundance of eelpout (*Zoarces viviparus*) in the East Frisian Wadden Sea declines due to elevated mortality at high summer temperatures (A). Loss in abundance is associated with reduced oxygen supply to the organism, which also explains reduced growth rates at high temperatures (B). Growth rate is highest at high arterial blood flow and thus oxygen transport to tissues (C). The growth optimum characterizes the optimal temperature range. Beyond the optimal temperature (T_o) oxygen supply to tissues declines resulting in decreased growth performance. This becomes apparent in the pejus range (pejus = getting worse, marked grey) between pejus temperature (T_p) and critical temperature (T_c). Beyond the critical temperature at 24 °C oxygen supply drops more strongly and anaerobic end products (e.g. succinate) accumulate.



is preliminary evidence that large bottom-living crustaceans from the sub-Antarctic will soon be able to colonize Antarctic ecosystems.

Whether and to what extent extinction of existing or immigration of new species would affect the structure of Antarctic ecosystems depends on feeding links. It was long believed that the structure of the Antarctic food web is simple. At present we know, however, that the food web of the Weddell Sea is highly complex and different from other marine systems. More species and feeding links than elsewhere have been detected and the value of mean linkage density is higher than usually reported. Many species are so called generalists, i.e. they can exploit many different food sources, and the dietary overlap

Arten vermutlich aussterben. Hingegen können subpolare Arten und solche aus der „wärmeren“ Tiefsee ihre Verbreitungsgebiete in höhere Breiten ausdehnen. Es gibt erste Anzeichen, dass große bodenlebende Krebse (Seespinnen) der Sub-Antarktis gerade damit beginnen, die antarktischen Gewässer neu zu besiedeln.

Ob und wie der Wegfall oder Neuzugang der einen oder anderen Art auch Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat, hängt von den Nahrungsbeziehungen ab. Lange galten Nahrungsnetze der Antarktis als einfach strukturiert. Heute wissen wir aus dem Weddellmeer, dass das dortige Nahrungsnetz hochkomplex ist und sich von denen anderer Meere deutlich unterscheidet. Es gibt hier mehr Arten und Nahrungsbeziehungen als anderswo und die mittlere Anzahl von Beziehungen zwischen Arten ist sehr hoch. Viele Arten können bei Bedarf verschiedene Nahrungsquellen nutzen, sie sind Generalisten und die Überlappung der Nahrungsspektren verschiedener Arten ist hoch. In diesem Netzwerk kann der Ausfall einer Art oft durch eine andere kompensiert werden. Antarktische marine Systeme werden daher auf eine graduelle Veränderung der Umwelt vergleichsweise elastisch reagieren. Ereignisse, die viele Arten simultan und stark beeinträchtigen, wie zum Beispiel ein schneller Verlust der Schelfeisflächen, das Verschwinden von Schlüsselorganismen in der Nahrungskette wie dem Krill (Abb. 14) oder eine Einwanderung überlegener Räuberarten mit neuen ökologischen Ansprüchen, werden jedoch Struktur und Funktion des antarktischen Ökosystems drastisch verändern.

between different species is high. In such networks the extinction of one species can often be compensated by another species. Hence, small changes in the environment might have little impact on marine Antarctic foodwebs. However, events that affect many species simultaneously and seriously, such as the loss of shelf ice sheets, extinction of key organisms like krill (Figure 14), or invasion by competitive predators with new ecological needs will have profound consequences for structure and functioning of the Antarctic ecosystem.

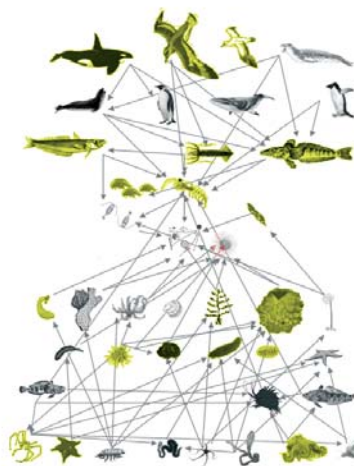


Abb. 14: Vereinfachtes marines Nahrungsnetz der sub-antarktischen Insel Bouvetoya. Die zentrale Nahrungsquelle des Systems ist Phytoplankton und Krill, die sowohl vom pelagischen als auch dem benthischen Teil des Nahrungsnetzes genutzt werden. Innerhalb beider Teilsysteme sind die Arten vielfach miteinander vernetzt.

Fig. 14: Simplified coastal food web at the sub-Antarctic Bouvet Island. Phytoplankton and krill are the central food resources of the system and are used by the pelagic as well as the benthic part of the food web. Species are highly interconnected within both sub-systems.