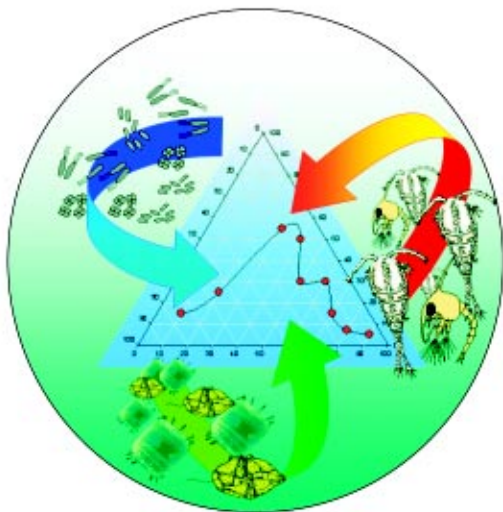


Nahrungsnetze – das Helgoland Foodweb Projekt

Karen Wiltshire, Maarten Boersma, Gunnar Gerdts, Reinhard Saborowski, Antje Wichels

Seit Ernst Haeckel im 19. Jahrhundert den Begriff Ökologie geprägt hat, wurden die Themen „Interaktionen von Organismen“ und „Nahrungsnetze“ vielschichtig diskutiert. Dies beinhaltet nicht nur Fragen nach „Wer frisst wen?“, sondern auch „Was bestimmt das Vorkommen von Organismen in einem Lebensraum?“. Diese Fragen sind nicht nur grundlegender wissenschaftlicher Natur, sondern auch für die Folgeabschätzung anthropogener Einflüsse relevant.

Obwohl das Auftreten von Organismen bereits über Jahrzehnte beobachtet wurde, ist das Wissen über deren biologische Funktion in marinen Systemen noch gering. In diesem Zusammenhang ist das Hel-



The Helgoland Foodweb Project

Karen Wiltshire, Maarten Boersma, Gunnar Gerdts, Reinhard Saborowski, Antje Wichels

Since Ernst Haeckel in the 19th century coined the term ecology, multifaceted thinking has been applied to studies on organism interactions and food webs. This not only includes questions on who eats whom, but also what governs the patterns of occurrence of organisms. These questions are not only relevant to fundamental science, but also a basic requirement to the understanding of human impacts.

Although scientists have monitored the occurrence of organisms for centuries, the understanding of biological function of marine systems is still small. The Helgoland Foodweb Project has been established to investigate interactions between microalgae, zooplankton, bacteria and larval fish. The main question is: what are the biological and environmental factors governing the seasonal succession of organisms in the sea. To answer this question bacterio-, phyto-, zooplankton populations and physical parameters are followed in situ, key organisms are isolated from the water column, and interactions between these organisms are studied in the laboratory.

*One of the intriguing results is that the shape and size of marine microalgae can be influenced by the presence of zooplankton, their consumers. The diatom *Thalassiosira rotula* occurs in chains or as single cells, and the algae increase the chain length with copepods present. Whether longer chains of*

Abb. 28: Logo des Helgoland Foodweb Projekts.

Fig. 28: Logo of the Helgoland Foodweb Project.

goland Foodweb Projekt initiiert worden, um Interaktionen zwischen Mikroalgen, Zooplankton, Bakterien und Fischlarven zu untersuchen. Eine wesentliche Frage ist, welche Faktoren die saisonale Abfolge der Organismen im Meer steuern. Um dies zu beantworten, werden Phytoplankton, Zooplankton, Bakterien und auch physikalische Parameter in situ erfasst. Schlüsselorganismen werden isoliert und Interaktionen zwischen den Organismen im Labor untersucht.

Ein faszinierendes Ergebnis der bisherigen Untersuchungen ist, dass die Gestalt und die Größe mariner Mikroalgen durch die Anwesenheit von Zooplankton, ihren Fressfeinden, beeinflusst werden kann. Die Kieselalge *Thalassiosira rotula* tritt als Einzelzelle oder in Ketten auf. In Anwesenheit von Copepoden (Ruderfußkrebse) verlängern sich diese Ketten. Ob die langkettigen Algen weniger gefressen werden und welche Kosten es für die Alge bedeutet, ihre äußere Gestalt zu ändern, wird zur Zeit untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass der Energieaufwand und die notwendige Stoffwechselaktivität gering sind. Ob Bakterien einen Einfluss auf die morphologische Variabilität mariner Mikroalgen haben, ist unklar.

Die Anwesenheit von Bakterien ist allerdings für viele Mikroalgen lebensnotwendig. Die Bakterienzahlen, die in einer Algenkultur zu Beginn niedrig sind, nehmen während des Algenwachstums deutlich zu, auch über die Wachstumsphase der Alge hinaus. In der Natur können die Algen von Bakterien durch das Recycling von Nährstoffen profitieren. Die Schlüsselarten, die mit Mikroalgen vergesellschaftet sind sollen identifiziert werden, ihre Bedeutung im marinen Nährstoffkreislauf wird untersucht.

In der südlichen Nordsee treten die Frühjahrsblüten der Mikroalgen zunehmend verspätet auf. Dies

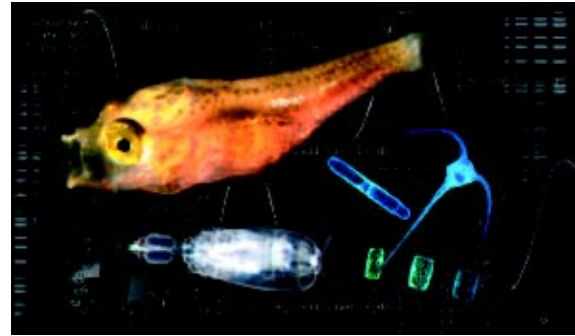
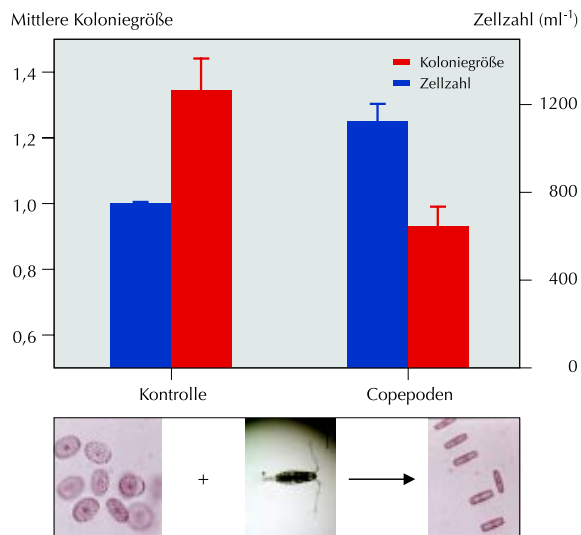


Abb. 29: Mikroalgen (*Ceratium horridum*, *Corethia hystrix*, *Thalassiosira rotula*), Zooplankton (*Corycaeus anglicus*), Ichtyoplankton (*Callionymus lyra*) und Bakterioplankton (symbolisch als Zahlen und molekularbiologische Symbole im Hintergrund).

Fig. 29: Microalgae (*Ceratium horridum*, *Corethia hystrix*, *Thalassiosira rotula*), zooplankton (*Corycaeus anglicus*), ichtyoplankton (*Callionymus lyra*) and bakterioplankton (symbolised as numbers and molecular biological symbols in the background).

cells are indeed grazed to a lesser extent, and the costs incurred by algae when they change shape are currently under investigation. First results suggest that the costs are low in terms of energy or metabolic activity. It is unclear whether bacteria play a role in morphological variance.

However, bacterial-algal interactions are vital for many microalgae. Bacterial numbers are low at the beginning of active algal growth, and densities increase when algal growth stagnates. In nature, these associated bacteria could benefit algal popu-



könnte ein Hinweis sein, dass die Interaktionen zwischen den Spielern im Nahrungsnetz gestört sind und sich somit die Produktivität des Ökosystems verändern könnte. Dieses Projekt soll dazu beitragen, Erkenntnisse über Folgen solcher Verschiebungen im Ökosystem zu gewinnen, insbesondere da Mikroalgen die Produktivität im System antreiben. Letztlich wollen wir erreichen, das Vorkommen und die Zusammensetzung des Planktons zu bewerten und damit unser Wissen über dieses faszinierende Ökosystem zu erweitern.

Abb. 30: Grafik zeigt die Zellzahlen und Koloniegröße von einer Mikroalge (Diatomee) gewachsen mit und ohne Wasser, wo vorher Frassfeinde (Copepoden) mit gehältert wurden. Schematisch ist die Reaktion der Alge unten aufgezeichnet.

Fig. 30: Diagram shows the cell number and colony sizes of a microalga (Diatom) grown with and without copepod incubation water. The schematic interpretation of this graph is depicted underneath.

lations by recycling nutrients. Key species of bacteria are identified in natural algal blooms, pointing in the direction of the remobilisation and sequestration of substances in the marine water-suspended matter regime.

In the southern North Sea, the spring bloom of microalgae now come progressively later in the year. Thus, the finely-tuned interactions between players in the food web may be disturbed and the productivity of the ecosystem might change. This project should yield insights into potential changes due to these shifts in phenology, especially as the microalgae drive most of the systems production. Ultimately, the aim is to be able to evaluate the patterns and occurrence of plankton, and increase our understanding of this fascinating ecosystem.

Changes in the faunal composition at Helgoland

Heinz-Dieter Franke, Lars Gutow

Faunenveränderung bei Helgoland

Heinz-Dieter Franke, Lars Gutow

Arealveränderungen von Arten gibt es seit es Arten gibt. Natürliche Umweltveränderungen wie Klimaschwankungen, Zufallereignisse, die Individuen in weit abgelegene Lebensräume verschlagen, aber auch die evolutive Entwicklung von Arten selbst sind die Ursachen. Tief greifende Umweltveränderungen durch den Menschen haben diese Prozesse stark beschleunigt. Bewusstes Neueinführen sowie unabsichtliches Verschleppen von Arten durch den Menschen haben zudem eine biologische Globalisierung angestoßen, an deren Ende eine extrem verringerte Biodiversität stehen könnte. Arealveränderungen von Arten können gravierende ökologische und ökonomische Probleme mit sich bringen. Die Forschung sollte deshalb frühzeitig hierauf aufmerksam machen und Ursachen sowie mögliche Schutzmaßnahmen benennen.

Faunenveränderungen lassen sich nur ermitteln, wo langfristige Vergleichsdaten vorliegen. Dies gilt z. B. für die seit mehr als 100 Jahren intensiv untersuchte Helgoländer Hartboden-Lebensgemeinschaft. Die dauerhafte Etablierung einer neuen Art hängt entscheidend von ihren komplexen Interaktionen mit potentiellen Feinden und Konkurrenten ab. Das lokale Auftreten der ersten Individuen einer neuen Art setzt somit ein Naturexperiment in Gang, dessen Analyse genauere Kenntnisse der Ökologie von Arten und Lebensgemeinschaften vermitteln kann als jedes Laborexperiment unter zwangsläufig stark vereinfachten Bedingungen.

Exotische Neubürger bei Helgoland sind bisher relativ selten. Hierzu zählen die neuseeländische Seepocke *Elminius modestus* (seit 1954), die in den

Changes in the geographic ranges of species, a phenomenon as old as species themselves, can be caused by natural processes such as changes in climate, incidental transport of individuals to remote locations, and the adaptive evolutionary development of species. The profound human impact on the environment has accelerated significantly these permanent changes in species distributions. Furthermore, intentional as well as accidental man-made introductions of species have initiated a biological globalisation which might result in an extreme reduction of local biodiversity. Changes in the geographic ranges of species might cause severe ecological and economic problems. Therefore, scientific research should address these problems early in order to point out appropriate preventive measures.

Changes in faunal composition can be identified only by comparing data sets from long-term observations such as those conducted for the Helgoland hard bottom community for more than 100 years. The permanent establishment of a new species depends largely on its complex interactions with potential predators and competitors. Thus, the local arrival of a few individuals of a species which was previously absent from the area, initiates a natural experiment that can provide a deeper insight into the ecology of species and communities than any laboratory experiment dealing with strongly simplified conditions.

*Up to date only relatively few exotic immigrants have been recorded for Helgoland: e.g. the barnacle *Elminius modestus* from New Zealand (since 1954),*



Abb. 31: Erstes bei Helgoland gefundenes (juveniles) Exemplar einer Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*), Frühjahr 2003.

Fig. 31: First record of a (juvenile) pacific oyster (*Crassostrea gigas*) at Helgoland, spring 2003.
(Photo: U. Schilling)

letzten Jahren zunehmend ihren heimischen Hauptkonkurrenten *Semibalanus balanoides* zurückdrängt, und die Pazifische Auster *Crassostrea gigas* (seit 2003; Abb. 31). Diese wurde vor etwa 40 Jahren zu Kulturzwecken im friesischen Wattenmeer eingeführt, um die praktisch ausgestorbene heimische Auster zu ersetzen. Entgegen den Prognosen gelang es *Crassostrea*, sich auch außerhalb der Kulturlächen zu etablieren. Es war nur eine Frage der Zeit, bis die Art auch Helgoland erreichen würde. Ihr künftiges Schicksal und möglicher Einfluss auf die lokale Artengemeinschaft werden nun untersucht.

Seit den 1990er Jahren treten bei Helgoland immer mehr Arten auf, die zuvor nur atlantisch bis in den

which in recent years seems to progressively replace its competitor *Semibalanus balanoides*; and the pacific oyster *Crassostrea gigas* (since 2003; Fig. 31). The latter species has been introduced to the Frisian Wadden Sea for culturing about 40 years ago to substitute for the virtually extinct native oyster. Contrary to all expectations *Crassostrea* proved to be able to establish populations outside the culture areas. It was just a matter of time that the species reached Helgoland where its future status and possible impact on the local community will be investigated.

Since the early 1990s an increasing number of oceanic species has been recorded at Helgoland (e. g. the hermit crab *Diogenes pugilator*, the isopod *Idotea metallica*, the nudibranchs *Elysia viridis* and *Gleitorodoris planata*). The range extensions of these species obviously result from the increasingly oceanic character of the North Sea. Since the 1960s the average water temperature and salinity around Helgoland increased by 1.1 °C and 1 ‰, respectively, with the most profound changes occurring during the winter months of the past 15 years (Fig. 32). The predicted climate changes will most likely increase the biodiversity of the North Sea even if species that have their southernmost distributional limit in this region might go extinct here.

Bereich des Ärmelkanals verbreitet waren (z. B. der Einsiedlerkrebs *Diogenes pugilator*, die Assel *Idotea metallica*, die Nacktschnecken *Elysia viridis* und *Glebotodoris planata*). Ihre Arealausweitung hängt offensichtlich mit dem zunehmend ozeanischen Charakter der Nordsee zusammen. Seit den 1960er Jahren hat sich die Wassertemperatur bei Helgoland im Mittel um 1,1 °C, die Salinität um etwa 1 ‰ erhöht. Die wesentlichen Veränderungen entfallen dabei auf die letzten 15 Jahre und, im Jahresverlauf, auf die Wintermonate (Abb. 32). Die prognostizierten Klimaveränderungen werden vermutlich zu einer erhöhten Biodiversität in der Nordsee führen, wenngleich auch mit einem Verlust solcher Arten gerechnet werden muss, die hier den südlichen Rand ihres Verbreitungsgebietes aufweisen.

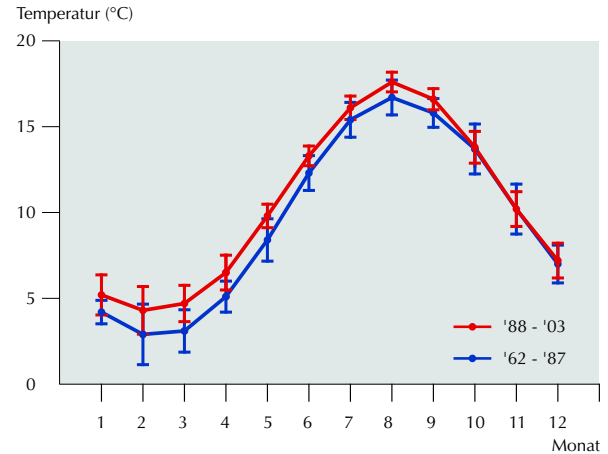


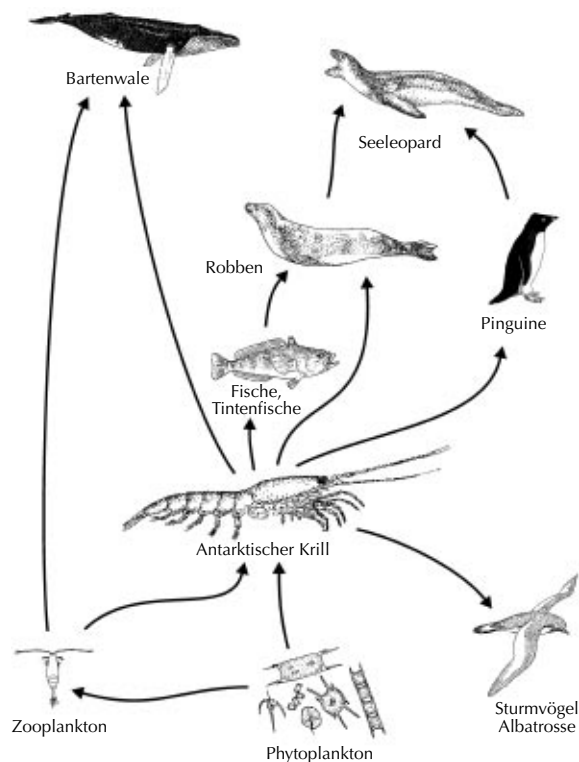
Abb. 32: Wassertemperaturen bei Helgoland (Monatsmittel und Standardabweichung) für den Zeitraum 1962-1987 und 1988-2003.

Fig. 32: Water temperatures at Helgoland (monthly means and standard deviations) for the periods 1962-1987 and 1988-2003.

Der antarktische Krill, ein Schlüsselorganismus im Südozean

Bettina Meyer

Krill ist ein Schlüsselorganismus im marinen antarktischen Ökosystem, da er die Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Tieren darstellt (Abb. 33). Mit einer geschätzten Gesamtbiomasse von ca. 60-155 Millionen Tonnen stellt er ein enormes zukünftiges Potential für die Fischereiwirtschaft dar. Aufgrund seiner biochemisch interessanten Inhaltsstoffe ist Krill in den



The Antarctic krill, a key organism in the Southern Ocean

Bettina Meyer

Krill is a key organism in the marine Antarctic ecosystem, being a major food item for a large number of predators (Fig. 33). Its total biomass is estimated to be between 60 and 155 million tons, which makes it a enormous prospective resource for the fishing industry. Due to its interesting biochemical composition, krill has recently received increasing commercial interest. However, fundamental scientific knowledge is still required to develop self-sustaining management programs for the krill fishing industry. In conformity to provisional precautionary measures, the catch limits are being enacted conservatively before the commercial fishing of krill can be expanded and research is forced to react in hindsight. The open questions that need to be answered are:

- *How high is the krill abundance?*
- *Is there more than one population in Antarctica?*
- *How do krill survive during winter, when food supply is low?*

Since 1999, the krill working group at the AWI, supported by project funding from the BMBF, has focussed its research on the over-wintering mechanisms of krill in the Southern Ocean. A question that is essential to understand the population development of krill. Our work is imbedded in the international SO-GLOBEC Program (Southern Ocean-Global

Abb. 33: Stellung von *Euphausia superba* im Nahrungsnetz des Südozeans.

Fig. 33: Position of *Euphausia superba* in the food web of the Southern Ocean.

letzten Jahren zunehmend in das kommerzielle Interesse gerückt. Jedoch fehlen noch eine Reihe wissenschaftlich fundierter Grunddaten, um eine nachhaltige Bewirtschaftung zu ermöglichen. Entsprechend dem Vorsorgeprinzip wurden die Fangobergrenzen bisher konservativ gestaltet, bevor eine kommerzielle Fischerei auf Krill expandiert und die Forschung den dadurch entstehenden „Sachzwängen“ hinterherläuft. Zu den noch offenen Fragen zählen:

- Wie hoch ist die gegenwärtige Krillabundanz?
- Gibt es eine oder mehrere Populationen?
- Wie übersteht Krill den nahrungsarmen Winter?

Die Krillgruppe des AWI beschäftigt sich, mit Hilfe der finanziellen Projektförderung des BMBF, seit 1999 mit den Überwinterungsmechanismen des Krill im Südozean, eine Fragestellung, die für eine Abschätzung der Populationsentwicklung essentiell ist. Unsere Arbeiten sind eingebunden im internationalen SO-GLOBEC Programm (Southern Ocean-Global Ocean Ecosystem Dynamic), in dem Krill eine zentrale Rolle einnimmt.

Unsere Untersuchungen im antarktischen Herbst zeigen, dass im Vergleich zum Sommer ausgewachsener Krill bis zu 50% geringere Stoffwechselraten aufweist (Abb. 34) und die Tiere vorhandene, hohe Phytoplanktonkonzentrationen nicht nutzen (Abb. 35). Unterstützt werden diese Ergebnisse durch Aktivitätsmessungen der Citratsynthase, ein Schlüsselenzym des Stoffwechsels, dessen Aktivität im Herbstkrill gegenüber Krill aus den Sommermonaten deutlich reduziert ist. Bisher ist nicht geklärt, was diese Stoffwechselreduktion auslöst, jedoch stellt sie eine erhebliche Energieersparnis dar. In der Kombination mit dem hohen Lipidgehalt des Krill im antarktischen Herbst (ca. 40% pro Körpermasse) können die Tiere

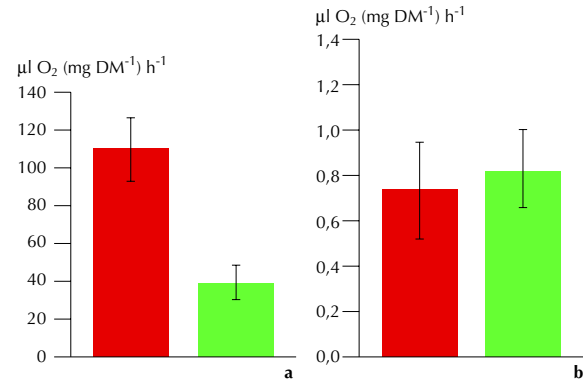
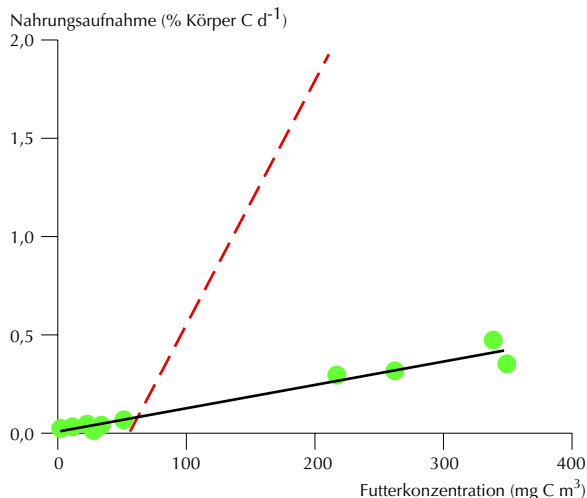


Abb. 34: Sauerstoffverbrauchsraten (µl O₂) pro mg Trockenmasse (DM-1) und Stunde (h-1) von adultem Krill (a) sowie den Larven des Stadiums Furcilia III (b) im Sommer (rot) und im Herbst (grün).

Fig. 34: Oxygen consumption rates (µl O₂) per mg dry mass (DM-1) and hour (h-1) of adult krill (a) and the larval stages Furcilia III (b) in summer (red) and autumn (green).

Ocean Ecosystem Dynamic), in which krill plays a central role.

Our studies, carried out in the Antarctic autumn have shown that during this period adult krill have a 50% lower metabolic rate than in summer (Fig. 34) and that the animals do not utilize high phytoplankton concentrations when they are available (Fig. 35). These results are confirmed by studies on the citrate synthase activity, a key metabolic enzyme. In autumn, the enzyme activity is significantly reduced compared to that of krill caught in the summer months. The reasons for these changes in metabolic activity are not yet clear, however, it appears to be a considerable energy saving mechanism. This process



über 200 Tage und somit den gesamten Winter ohne Nahrungsaufnahme überstehen.

Die Krilllarven schlüpfen im antarktischen Sommer und entwickeln sich zum juvenilen Tier bis zum kommenden Frühjahr. Im Gegensatz zum erwachsenen Krill zeigen sie keine Anpassungsmechanismen, um die nahrungsarmen Herbst- und Wintermonate zu überstehen. Die Ergebnisse der Nahrungsaufnahme, Stoffwechselraten sowie Enzymaktivitäten aus dem Herbst sind vergleichbar mit denen aus den Sommermonaten (Abb. 34). Um ihren Energiebedarf zu decken, müssen Krilllarven stetig Nahrung aufnehmen. Es ist bisher jedoch unklar, in wie weit die Larvenstadien lange Hungerperioden überstehen können.

Die Frage nach den möglichen Ursachen der Stoffwechselreduktion beim erwachsenen Krill sowie der Quantifizierung von Indikatoren zum Fitnesszustand des Krill im Jahresverlauf, die Aussagen zum Rekrutierungserfolg und der Sterblichkeitsrate einer Nachfolgegeneration ermöglichen, sind unsere zukünftigen Arbeitsschwerpunkte.

Abb. 35: Tägliche Kohlenstoff -(C)-aufnahme (DR) in % Körper C (body C) pro Tag (d-1) in Abhängigkeit der Futterkonzentration (food concentration) in mg C pro m³ des adulten Krill im Sommer (rot) und Herbst (grün). Die gestrichelte Linie stellt die tägliche C-Aufnahme von bis zu 36 % in den Sommermonaten, dar (Nahrungskonzentration 256-1164 mg C pro m³, Atkinson and Snýder 1997).

Fig. 35: Daily ration (DR) in % body Carbon (C) in relation to food availability in mg C m⁻³ of adult krill in summer (red) and autumn (green). The dotted line is the daily ration of up to 36 % in the summer months (food concentration 256-1164 mg C m⁻³, Atkinson and Snýder 1997).

combined with the high lipid content of the animals in the Antarctic autumn (ca. 40 % body mass) ensure a survival for up to 200 days, and hence the entire winter, without food.

Krill larvae hatch in the Antarctic summer and have developed to juveniles by the following spring. In contrast to adult krill, they do not appear to have adaptive mechanisms to survive the autumn and winter months of low food supply. In autumn, the ingestion, metabolic rates and enzyme activity of larval krill are comparable to those of the summer months (Fig. 34). They have to feed continuously to ensure their energy supply. It is not yet clear how larval krill survive long starvation periods.

Future research is aimed at investigating the likely reasons for a reduction in adult krill metabolism as well as quantifying fitness indicators which will permit the prediction of recruitment success and mortality rates of the following generation.

Ein Engel mit außergewöhnlicher Lipidbiochemie

Marco Böer, Martin Graeve, Gerhard Kattner

Wie ein Engel schwebt die Flügelschnecke *Clione limacina* (Abb. 36) in der Wassersäule. Sie ist schon sehr lange bekannt und hat bereits bei den frühen Polarforschern wegen ihres besonderen Aussehens und massenhaften Auftretens großes Interesse geweckt. Diese zum Zooplankton gehörende Art findet man sowohl in den nördlichen als auch in den südlichen Ozeanen, jedoch nicht in tropischen Gebieten.

Clione limacina ernährt sich ausschließlich von einer anderen Flügelschneckenart, *Limacina helicina* (Abb. 37), die wiederum von Phytoplankton lebt. Diese Nahrungsspezialisierung kann zu langen Hungerperioden führen, wenn die Nahrung einmal ausbleibt. Vermutlich hat *C. limacina* daher die Fähigkeit entwickelt, seltene Lipide (Fette), sog. Etherlipide, in größeren Mengen (Abb. 38a) zu synthetisieren, die eine Langzeitspeicherung von Fett und damit Energie ermöglichen. Diese Etherlipide, chemisch 1-O-Alkyl-diacylglycerinether (Abb. 38b) genannt, kommen in der Natur sehr viel seltener vor, als die Triacylglycerine, welche die üblichen Speicherlipide sind. Ein weiterer Vorteil der Etherlipide ist, dass sie einen besseren Auftrieb haben und *C. limacina* dadurch vermutlich das Schweben im Wasser erleichtern.

Zu den ungewöhnlichen Etherlipiden kommt noch eine weitere Besonderheit. Wir konnten feststellen, dass ein erheblicher Anteil der Fettsäuren, die zu dieser Verbindung gehören, eine ganz besondere Struktur aufweist. Es handelt sich um Fettsäuren mit einer ungeraden Anzahl von Kohlenstoffatomen. Solche Fettsäuren findet man sonst nur in Bakterien

An angel with exceptional lipid biochemistry

Marco Böer, Martin Graeve, Gerhard Kattner

Clione limacina is a “winged” pteropod with fascinating morphology and behaviour in that it appears to float like an angel in the sea (Fig. 36). This zooplankton species has long been known to polar researchers because of massive abundance in the northern and southern oceans. It is essentially restricted to temperate and high latitudes and does not occur in the tropics.

Clione limacina feeds exclusively on another pteropod species, *Limacina helicina* (Fig. 37), a phytoplankton mucous trapper. This specialisation in nutrition on a single species can result in long periods of starvation when food is scarce or even unavailable. We hypothesize that this dependence is the reason why *C. limacina* has evolved the ability to synthesise large amounts of unusual lipids, ether



Abb. 36: *Clione limacina* (max. Länge: 70-85 mm)

Fig. 36: *Clione limacina* (max. length: 70-85 mm)
(Photo: AWI)



Abb. 37: *Limacina helicina* (max. Durchmesser: 11-12 mm)

Fig. 37: *Limacina helicina* (max. diameter: 11-12 mm) (Photo: AWI)

in größeren Mengen. Auch bei der Biosynthese dieser Fettsäuren hat sich *Clione limacina* besonders spezialisiert. Sie nutzt wahrscheinlich einen Teil einer chemischen Verbindung, des Dimethylsulfoniumpropionats, das von Algen produziert und über die Nahrung von *C. limacina* aufgenommen wird. Dabei handelt es sich um das Propionat in dieser Verbindung, ein Molekül mit drei Kohlenstoffatomen, das für die Biosynthese dieser ungeradzahligen Fettsäuren benötigt wird.

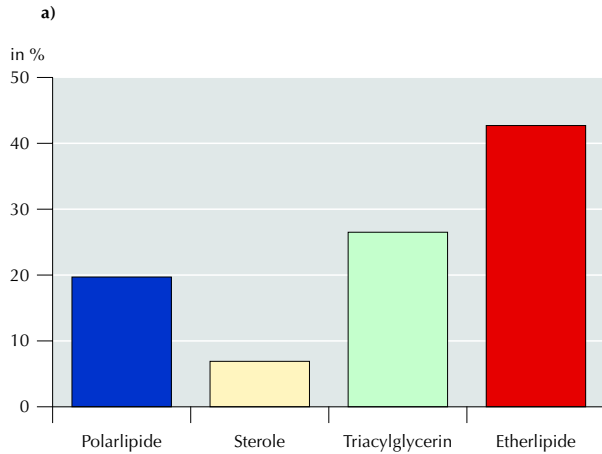
Es ist bekannt, dass ungeradzahlige Fettsäuren eine pilztötende Wirkung besitzen, so dass man annehmen kann, dass sich *Clione limacina* mit dieser sehr effizienten Ausnutzung der Nahrung nicht nur einen großen Fettspeicher anlegt, sondern sich auch noch gleichzeitig gegen den Bewuchs von Bakterien und Pilzen schützt. Da *C. limacina* ein sehr empfindliches

lipids, chemically called 1-O-alkyl-2,3-diacylglycerol ether (Fig. 38b). They serve as long-term storage products with high calorific value. In general, ether lipids are much rarer than triglycerols, which are the common deposit lipids. The increased buoyancy (lower density) of ether lipids is a further advantage that helps *C. limacina* to float in the water.

In addition to the unusual ether lipids, *Clione limacina* has developed another particularity in lipid biosynthesis. We found that a considerable proportion of the fatty acids are unusual in that they contain an odd number of carbon atoms – these structures are only common in bacteria. For biosynthesis of these odd-chain length fatty acids, *C. limacina* has developed a highly specialised pathway, probably depending on the use of a part of the compound, dimethylsulfoniopropionate, which is produced by microalgae and ingested via food. The propionate moiety, containing three carbon atoms, is a necessary precursor to synthesise these odd-chain length fatty acids.

Odd-chain length fatty acids are known to have fungicidal properties. We suggest, therefore, that this may be a protection against epizootic fungi and bacteria that may attempt to colonize the animal's surface. Since *Clione limacina* is also a very fragile organism with no protective shell (as have other pteropod species) it also has to defend itself against predatory animals. As a consequence, it produces another interesting compound, called pteroenone, which is a very effective feeding deterrent against fishes, for example.

The pteropod *Clione limacina* has evolved the ability to produce exceptional chemical compounds that enables it to survive the harsh conditions in



Lebewesen ist und kein schützendes Schneckengehäuse, wie andere Arten der Flügelschnecken besitzt, muss sie sich auch gegen Fraßfeinde wehren. So produziert sie eine Substanz, das so genannte Pteronon, das Fische davon abhält, sie zu fressen. Die Flügelschnecke *C. limacina* hat sich durch die Produktion von ungewöhnlichen chemischen Substanzen an die rauen Polarregionen angepasst und sichert sich so das Überleben. Diese Zusammenhänge und auch die Biosynthese der außergewöhnlichen Lipide sind noch nicht vollständig geklärt und werden weiter erforscht.

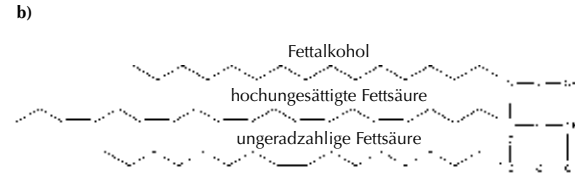


Abb. 38: Zusammensetzung und Struktur der besonderen Lipide in *Clione limacina*. a) prozentuale Anteile der Lipidklassen; b) Strukturformel von 1-O-Alkyl-diacylglycerinether.

Fig. 38: Composition and structure of the unusual lipids in Clione limacina. a) Percentage of lipid classes; b) chemical structure of 1-O-alkyl-diacylglycerol ether.

polar regions. This organism is able to very efficiently exploit its food resources to optimize storage of huge amounts of lipids and also to chemically protect itself. Nevertheless, the general and detailed mechanisms leading to the biosynthetic pathways of these exceptional lipids are not yet fully understood and are still under investigation.