

Die Bedeutung des Eisalgen-Kohlenstoffs für die Nahrungsökologie des Eisamphipoden *Onisimus glacialis*

Bachelorarbeit

Im Studienfach Geowissenschaften,
FB Geowissenschaften der Universität Bremen

vorgelegt von

Leah Maria Schroedter

Bremen, 3. Juli 2014

1. Gutachterin: Prof. Dr. Antje Boetius^{1,2,3}

2. Gutachter: Prof. Dr. Michal Kucera^{2,3}

Fachliche Betreuung: Dr. Hauke Flores^{1,4}

1 Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, 27515 Bremerhaven; 2 MARUM Zentrum für marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen, 28334 Bremen; 3 Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, 28359 Bremen; 4 Universität Hamburg, Zoologisches Institut und Museum, 20146 Hamburg

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung.....	3
2. Einleitung.....	4
2.1. Kohlenstoffkreislauf im Meer.....	5
2.2. Trophisches Netz der Arktis.....	7
2.3. Fokus der vorliegenden Studie.....	8
3. Material und Methoden.....	10
3.1. Magen- und Darmanalyse.....	11
3.1.1. Präparation.....	11
3.1.2. Analyse am Inversmikroskop.....	12
3.1.3. Analyse am Rasterelektronenmikroskop.....	13
3.2. Messungen Stabiler Isotope.....	13
3.2.1. Filter.....	14
3.2.2. Amphipoden und Polardorsch.....	14
3.2.3. Messprinzip Massenspektrometer.....	14
3.2.4. Messablauf Massenspektrometer.....	17
3.2.5. Lipidkorrektur.....	17
4. Ergebnisse.....	18
4.1. Magen- und Darmanalyse.....	18
4.1.1. Analyse am Inversmikroskop.....	18
4.1.2. Analyse am Rasterelektronenmikroskop.....	21
4.2. Messungen Stabiler Isotope.....	23
4.2.1. Filter	23
4.2.2 Amphipoden und Polardorsch.....	24
4.3. Fehlerbetrachtung.....	25

5. Diskussion.....	26
5.1. Magen- und Darmanalyse.....	26
5.1.1. Identifizierung des Mageninhaltes	26
5.1.2. Diatomeenbruch unter dem Rasterelektronenmikroskop....	28
5.2. Messungen Stabiler Isotope.....	29
5.2.1. Ergebnisse für Filter.....	29
5.2.2. Ergebnisse für Amphipoden und Polardorsch.....	29
5.3. Trophische Einstufung.....	29
5.4. Bedeutung Eisalgen-Kohlenstoff.....	31
5.5. Räumliche Variabilität.....	33
6. Schlussfolgerung.....	35
6.1. Ausblick.....	37
7. Danksagung.....	38
8. Literatur.....	39
9. Anhang.....	43

1. Kurzfassung

In der vorliegende Studie wurde die Bedeutung des Eisalgen-Kohlenstoffs in der Nahrungsökologie des Eisamphipoden *Onisimus glacialis* für den August/September 2012 untersucht. Für diesen Zweck wurden 12 Magen- und Darmanalysen sowie Messungen der Stablen Isotope C und N durchgeführt.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung machten die in Eisalgen dominierenden Diatomeen einen Anteil von nur 5,8% an der Gesamtzusammensetzung der Nahrung aus. Die abundante Eisalge *Melosira arctica* konnte nicht gefunden werden. Vielmehr dominierten unidentifizierbare Protisten-Hüllen und Filamente in jeder Probe. Die Messungen der stabilen Isotope C und N kamen allerdings zu einem anderen Ergebnis: Das Isotopensignal der Eisamphipoden für $\delta^{13}\text{C}$ ($-18,7 \pm 1,0\text{‰}$) stimmte eher mit dem der Eisalgen ($-21,4 \pm 0,1\text{‰}$), als dem des Phytoplankton ($-25,8 \pm 1,6\text{‰}$) überein.

Bei den Protisten-Hüllen handelte es sich wahrscheinlich um Flagellaten, während der Ursprung der Filamente unklar blieb. Dennoch schienen Eisalgen zu früherem Zeitpunkt im Sommer 2012 von größerer Bedeutung für *Onisimus glacialis* gewesen zu sein. Die trophische Einstufung auf Grundlage des $\delta^{15}\text{N}$ ergab, dass *Onisimus glacialis* in den Wochen vor der Probennahme eindeutig auf einem herbivoren Trophie-Niveau einzuordnen war ($\delta^{15}\text{N} = 6,8 \pm 0,4\text{‰}$).

2. Einleitung

Die zentrale Arktis ist ein stark von Meereis geprägter Lebensraum. Das Ausmaß dieser Meereisbedeckung befindet sich über den Jahresverlauf in einem steten Wandel. Im Sommer, wenn die Sonne am Nordpol 24 h lang scheint, schrumpft die Eisbedeckung auf ein Minimum von 5×10^6 km². Im krassen Gegensatz dazu herrscht im polaren Winter für mehrere Monate komplette Dunkelheit. Die daraus resultierenden extrem niedrigen Temperaturen begünstigen die Eisbildung in den Wintermonaten und das Meereis dehnt sich bis zu 15×10^6 km² aus (Arrigo, 2013). Sowohl aufgrund der Extrema von Licht und Temperatur, als auch der starken Variabilität dieser Parameter untereinander handelt es sich bei der Arktis um ein sehr dynamisches und sensibles Ökosystem.

In den letzten 30 Jahren wurde zusätzlich zu dem gewohnten Wandel ein stetiger Rückgang von insgesamt 45% der Sommer-Meereisbedeckung in der Arktis beobachtet (Arrigo, 2013). Im Sommer 2012 gipfelte diese Entwicklung in einem Rekordminimum von $3,5 - 4,5 \times 10^6$ km² (Arrigo, 2013). Diese Veränderung wird mit der anthropogenen Klimaerwärmung in Verbindung gebracht, die auf einen steigenden CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zurückzuführen ist (IPCC, 2013).

Besonders anfällig gegenüber dem Klimawandel gelten die Polarregionen mit ihren schmelzenden Eismassen. Seit Ende des Pliozän vor 3,3 Ma ist der Nordpol vereist (De Schepper et al., 2014) und es fand dort ein Wechsel von Kalt- zu Warmzeiten mit einem Abschmelzen und wieder Aufbauen der Eismassen statt. In natürlichen Zeitskalen ist dies jedoch ein langsamer Prozess, der sich über Hunderttausende Jahre hinzieht und den Lebewesen eine Chance zur Anpassung gewährleistet. Was ein durch den anthropogenen Klimawandel beschleunigter

Rückgang des Meereises für Folgen für die arktischen Lebewesen mit sich bringt, ist schwer vorauszusagen. Schon jetzt sind allerdings signifikante Änderungen in der Struktur des Ökosystems sichtbar (z.B. Post et al., 2010; Wassmann et al., 2011; Johannesen und Miles, 2011), die mit Auswirkungen für die Biodiversität und den Kohlenstoffkreislauf einhergehen.

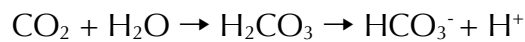
2.1. Kohlenstoffkreislauf im Meer

Kohlenstoff gelangt in Form von gasförmigem CO_2 aus der Atmosphäre in den Ozean. Dies geschieht im Zuge eines fortlaufenden Austausches zwischen der Atmosphäre und dem Ozean und passiert ebenso in entgegengesetzter Richtung. Ausschlaggebend ist der Gradient des pCO_2 , denn Atmosphäre und Ozean streben stets ein chemisches Gleichgewicht an (Schlitzer, 2004). Aufgrund physikalischer und biologischer Prozesse im Ozean und einer damit einhergehenden Reduktion bzw. Anreicherung des anorganischen Kohlenstoffs in den oberen Wasserschichten, ist das System in ständiger Bewegung.

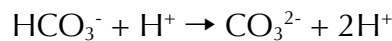
Ist etwa Kohlenstoff im Oberflächenwasser reduziert, wird ausgleichend CO_2 aus der Atmosphäre entzogen und in den Ozean eingeleitet. Nur ein sehr geringer Anteil davon, ca. 1%, bleibt in Form von physikalisch gelöstem CO_2 erhalten (Zeebe und Wolf-Gladrow, 2007). Abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Wassers, wie Temperatur, Salinität und Löslichkeit, wird es von der Wassermasse aufgenommen und transportiert. Je geringer die Temperatur und der Salzgehalt des Wassers sind, desto mehr CO_2 kann sich darin lösen. Der arktische Ozean gilt unter anderem deshalb als Senke für CO_2 (MacGilchrist et al., 2014). Seiner größeren Dichte wegen sinkt das kalte, arktische Oberflächenwasser in tiefere Wasserschichten ab und befördert dabei CO_2 in die Tiefsee, wo es im Zuge der Thermohaline-Zirkulation für tausende Jahre im Ozean gespeichert bleibt. Diesen Prozess bezeichnet man allgemein als physikalische Kohlenstoffpumpe des Ozeans.

Der weitaus größere Teil des in den Ozean eingetragenen CO_2 s (~99%) reagiert jedoch zu anderen Kohlenstoffverbindungen (Zeebe and Wolf-Gladrow, 2007).

Zusammen mit Wassermolekülen bildet sich aus dem CO₂ Kohlensäure, die direkt im Anschluss unter Abgabe eines H⁺-Protons zu Hydrogenkarbonat dissoziiert:



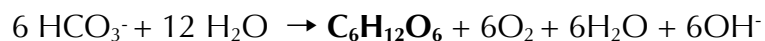
8% davon reagieren unter Abgabe eines zweiten Protons weiter zu CO₃²⁻:



Das so gebildete CO₃²⁻ reagiert wiederum direkt mit eingetragendem CO₂:



In dieser Form steht der Kohlenstoff dann für die Photosynthese der Primärproduzenten zur Verfügung. Mithilfe von Sonnenlichteinstrahlung wird aus HCO₃⁻ und Wasser neue Biomasse produziert:



Solange ein Meereslebewesen am Leben ist, hält es den in seinem Körper verbauten organischen Kohlenstoff fest. Defäkation, Häutung sowie letztendlich das Absterben des Lebewesens führen jedoch dazu, dass seine Biomasse (bzw. Teile davon) als passive Partikel in Form von particulate organic carbon (POC) oder dissolved organic carbon (DOC) (Zuordnung abhängig von der Größe der Partikel: DOC = 7-20 µm; POC > 20 µm) zum Meeresboden sinkt. Diesen Prozess bezeichnet man als biologische Pumpe. Die unter Meereslebewesen weit verbreitete Vertikalwanderungen können das Absinken der Biomasse abhängig von ihrer maximalen Tiefe deutlich beschleunigen. Nur ein sehr geringer Bruchteil des POC und DOC kommt jedoch jemals in der Tiefsee an, da während des Absinkens eine Zersetzung der Biomasse durch Bakterien stattfindet. Die Remineralisierung des Kohlenstoffs ordnet diesen wiederum dem DIC (dissolved inorganic carbon) zu, der in Auftriebsgebieten über die physikalische Pumpe zurück in obere Wasserschichten gelangt. POC und DOC dienen sich detritiv ernährenden Lebewesen (v.a. manchen Amphipoden und Fischen) außerdem als Nahrungsquelle. Der in meereisgeprägten Regionen aufgenommene Kohlenstoff kann also entweder direkt ins Sediment transportiert werden oder über das Nahrungsnetz weitergegeben werden. Von dort aus kann er dann entweder zurück

in die Atmosphäre gelangen oder auch zum Meeresboden absinken und sedimentieren. Um die durch den Klimawandel induzierten, zukünftige Auswirkungen auf die Funktionsweise des arktischen Ökosystems und seinen Kohlenstoffkreislaufes richtig bewerten zu können, ist es essentiell wichtig, die Balance zwischen passivem und trophischem Kohlenstofffluss sowie dessen Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel zu verstehen.

2.2. Trophisches Netz der Arktis

Die Basis des Nahrungsnetzes im arktischen Ozean bildet zum einen das Phytoplankton in der euphotischen Zone des arktischen Ozeans, zum anderen sind Algenvergesellschaftungen im Eis mindestens genauso wichtige Primärproduzenten. Gosselin et al. (1997) fand heraus, dass Eisalgen während der Sommermonate in der zentralen Arktis zeitweise sogar über 50% der Primärproduktion ausmachen können. Zu den häufigsten Arten zählen *Nitzschia spp.* und *Navicula spp.* sowie *Melosira arctica* (Syvertsen, 1991). Als Grundlage des Ökosystems dienen sie Herbivoren als Nahrung und geben so den organischen Kohlenstoff an höhere trophische Ebenen weiter (siehe Abb. 1). Von einer trophischen Stufen zur nächsten wird der organische Kohlenstoff mit einem Verlust von ca. 90% im trophischen Netz weitergegeben.

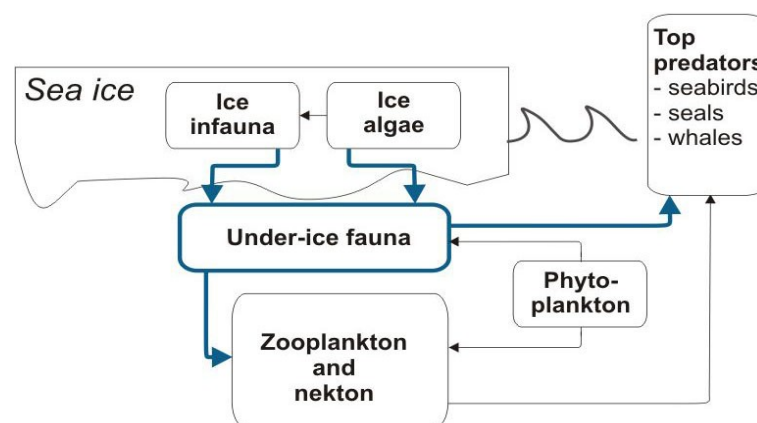


Abb. 1: Stark vereinfachte Darstellung eines meereisgeprägten Nahrungsnetzes. Amphipoden gehören zu der Under-Ice Fauna, die eine wichtige Rolle als Transmitter für organischen Kohlenstoff einnimmt. Quelle: AWI Young Investigators Group *IceFlux*, siehe: http://www.awi.de/de/forschung/nachwuchswissenschaftlerinnen/-helmholtz_hochschul_nachwuchsgruppen/iceflux/

Auf der IceArc-Expedition der FS Polarstern im Sommer 2012 wurde erstmals ein um ein Vielfaches erhöhter Kohlenstoffexport in die Tiefsee in der Zentralen Arktis beobachtet (Boetius et al., 2013). Verantwortlich dafür war u.a. die Eisalgenart *Melosira arctica*, die Kolonien bildet und zunächst in langen Ketten aus zahllosen von Individuen von der Eisunterseite ins Wasser hängt (Syvertsen, 1991). Auf diese Art und Weise bilden sich ganze Aggregate dieser Algen an der Unterseite des Meereises. Sobald allerdings die Eisschmelze einsetzt, verliert *Melosira arctica* ihr Substrat und sinkt der Größe und des Gewichtes der Aggregate wegen vergleichsweise schnell zum Meeresboden. Dabei können Mengen von gemittelt bis zu 9 g C pro m² in die Tiefsee befördert werden (Boetius et al., 2013). Am Meeresboden konnte außerdem beobachtet werden, wie benthische Arten wie *Holothuria* die Biomasse von *Melosira arctica* fraßen. Letztere Beobachtung ist eine weitere Auswirkung des schmelzenden Meereises und damit einhergehende Veränderung in der Struktur des Ökosystems, die sich sogar bis in die Tiefsee fortsetzt. *Melosira arctica* betreffend stellt sich die Frage, ob sie nicht auch schon zu früherem Zeitpunkt zum trophischen Fluss von organischem Kohlenstoff beiträgt, zum Beispiel als Nahrungsquelle der sympagischen Macrofauna.

Während der gleichen Expedition wurde durch den Einsatz eines neuartigen Untereis-Netzes (Surface and Under Ice-Trawl, SUIT; van Franeker et al., 2009) das flächendeckende Vorkommen einer eisassoziierten Artgemeinschaft in der zentralen Arktis nachgewiesen. Diese Artgemeinschaft wurde dominiert von verschiedenen Eisamphipoden, insbesondere *Apherusa glacialis* und *Onisimus* spp.. Es konnte zwar laut Boetius et al. (2013) nicht beobachtet werden, dass *Melosira arctica* von den Amphipoden gefressen wurde, aus früheren Studien geht jedoch hervor, dass Eisamphipoden sich durchaus sogar bevorzugt von Eisalgen ernähren (z.B. Bradstreet und Cross, 1982). Werner (1997) beschrieb beispielsweise *Onisimus glacialis* als herbivor / detrivor.

2.3. Fokus der vorliegenden Studie

Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht genau dieser letztgenannte Aspekt: die Aufnahme des organischen Kohlenstoffs in den trophischen Fluss des arktischen

Ökosystems. Dieser Prozess beeinflusst den Export passiv sinkender Partikel im Kohlenstoffkreislauf und hat bisher weniger Aufmerksamkeit erhalten. Vor allem in Bezug auf den anthropogenen Klimawandel ist es wichtig, alle Prozesse, die die CO₂-Speicherfähigkeit des Ozeans betreffen, zu verstehen. Die Effizienz der Exportproduktion im Rahmen der biologischen Pumpe ist ein wichtiger Faktor dafür, wie viel CO₂ in die Tiefsee transportiert wird. Je nach Lage der CCD (Calcit Compensation Depth) sedimentiert es oder bleibt für tausende von Jahren im Tiefenwasserstrom gespeichert, bis es in einem Auftriebsgebiet zurück in obere Wasserschichten und die Atmosphäre gelangt. Die Analyse der Nahrungsökologie eines Eisamphipoden soll zum einen ganz allgemein einen Beitrag zu mehr Verständnis leisten – Eisamphipoden gelten in der Arktis als wichtiges Bindeglied zwischen Primärproduzenten und höheren trophischen Ebenen. - und zum anderen speziell der Frage nachgehen, ob *Melosira arctica* oder andere Eisalgen an dem trophischen Fluss von Eisalgenkohlenstoff in der euphotischen Zone beteiligt sind. Für die Studie wurde die häufig auftretende, sympagische Amphipodenart *Onisimus glacialis* ausgewählt (siehe Anhang Abb. 13), die in der Literatur als herbivor/detrivor beschrieben wird (Werner, 1997) und auf der Expedition 2012 in Nachbarschaft zu *Melosira arctica* anzutreffen war.

Wissenschaftliche Fragestellungen

- Welche Rolle spielt *Onisimus glacialis* für den trophischen Fluss von Eisalgen-Kohlenstoff?
- Wie hoch ist der relative Anteil von Eisalgen an der Nahrung von *Onisimus glacialis*?
- Frisst *Onisimus glacialis* die Eisalge *Melosira arctica*?

Hypothese

Onisimus glacialis trägt durch die Nahrungsaufnahme dazu bei, Eisalgen-Kohlenstoff in den oberen Wasserschichten zu halten.

3. Material und Methoden

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Proben stammten von der IceArc-Expedition ARK27-3 der FS Polarstern, die vom 2. August bis 8. Oktober 2012 stattfand. Auf dieser Forschungsausfahrt kam zum ersten Mal im arktischen Ozean das *Surface and Under Ice-Trawl* (SUIT) zur Beprobung der Untereisfauna zum Einsatz (siehe Abb. 2). Die im Folgenden bearbeiteten Proben des Eisamphipoden *Onisimus glacialis* sowie die zwei Exemplare des Polardorsches *Boreogades saida* wurden alle mit dem SUIT gefangen. Filterproben mit partikulärem organischen Kohlenstoff aus dem Eis und dem Wasser stammten aus Eiskernen und Kranzwasserschöpfer-Proben. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht.

Noch an Bord der Polarstern wurden alle Makrofauna-Proben sofort nach Taxa sortiert und bei -85°C eingefroren. Später, im Labor des AWI wurden sie eingemessen und gewogen.



Abb. 2: SUIT im Einsatz im Eis während ICEARK Expedition ARK27-3 im Sommer 2012; B. Lange

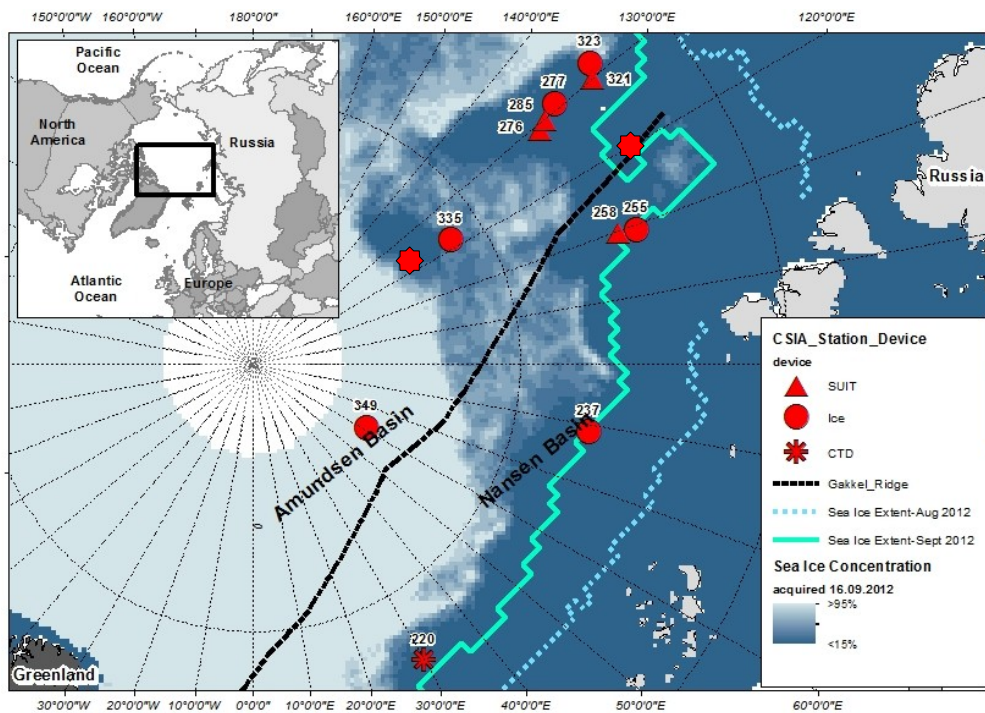


Abb. 3: Übersichtskarte derjenigen Stationen der IceArc-Expedition ARK27-3, von denen Proben genommen wurden. Amphipoden und Polardorsch wurden an den SUIT-Stationen gefangen, Filterproben aus Eiskernen stammen von den Ice-Stationen und pelagische Proben wurden per CTD gewonnen; die beiden CCD-Stationen 270 (83°N, 119°E) und 341 (85°N, 123°E) sind als nachträglich eingetragen (★). Abgeändert von Benjamin Lange.

3.1. Magen- und Darmanalyse

3.1.1. Präparation

Für die Magen- und Darmanalyse wurde jeweils ein gefrorenes Individuum von *Onisimus glacialis* der ICEARK-Expedition unter dem Stereomikroskop Leica M 205C präpariert. Um es möglichst lange in dem gefrorenen Zustand zu erhalten, wurde das Individuum während der Präparation mit Eis gekühlt.

Für die Präparation wurden ein Skalpell, eine Pinzette, eine Nadel und eine spezielle, sehr feine Federschere verwendet. Um Verunreinigung des Magen- und Darminhaltes durch Körperanhänge des Eisamphipoden selbst zu vermeiden, wurden die Beine und Antennen vom Körper des Tieres abgetrennt und zur Seite geschoben. Mit der Federschere wurde das Tier dorsal vom ersten Körpersegment des Carapax, dem 1. Pereon, bis zum 7. Pereon und weiter bis durch die drei

folgenden Segmente des Pleon aufgeschnitten. Der Magen und das Darmrohr konnten daraufhin herauspräpariert werden. Das Darmrohr sollte bevorzugt in einem ganzen Stück überführt werden, das ist allerdings aufgrund seines geringen Durchmessers und seiner Fragilität äußerst schwierig und im Rahmen dieser Arbeit nur sehr selten gelungen.

Magen und Darmrohr wurden in eine Utermöhl-Kammer mit Glycerin-Meerwasser-Gemisch (1:2) überführt. Dort wurden sie mit einer Nadel angestochen und ausgedrückt; auf diese Art und Weise trennte sich der Inhalt vom Gewebe und schwamm frei in der Kammer. Diese wurde bis zum Rand mit dem Glycerin-Wasser-Gemisch aufgefüllt und blasenfrei abgeschlossen. Bevor die Probe unter dem Inversmikroskop analysiert werden konnte, mussten einige Stunden bis ein Tag verstreichen, damit auch die ganz kleinen, nur wenige μm -großen Partikel zum Boden der Kammer gesunken waren. Die Präparation folgte insgesamt der Methode und Erfahrung von Kraft (2012).

3.1.2. Analyse am Inversmikroskop

Die eigentliche Magen- und Darmanalyse fand unter den Inversmikroskopen Zeiss IM und Zeiss IM35 statt. Bei einer 250-fachen Vergrößerung wurde sich zunächst ein grober Überblick des gesamten Kammerinhaltes verschafft. Die auf den ersten Blick häufig vorkommenden Bestandteile wurden im Kreuz gezählt, während die seltenen Bestandteile jeder einzeln eins zu eins aufgenommen wurden (Schmidt et al., 2006).

In den meisten Fällen wurde komplett alles über die gesamte Kammer gezählt. Erst mit wachsender Erfahrung und besserer Einschätzung der zu erwartenden Mengen und Bestandteile im Verlauf der praktischen Arbeit wurde auf die oben beschriebene Methode zurückgegriffen.

3.1.3. Analyse am Rasterelektronenmikroskop

Die beiden Probe ARK27-3_F114 und ARK27-3_F115 wurde nachfolgend an die Analyse unter dem Inversmikroskop ebenfalls für eine Analyse unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) vorbereitet. Das Rasterelektronenmikroskop ist

ein Mikroskop, das die Oberfläche und darauf befindlichen Strukturen eines Partikels bei bis zu 20.000-facher Vergrößerung darstellen kann. In einem ersten Vorbereitungsschritt musste die in Glycerin-Salzwasser befindliche Probe daher von Glycerin und Salz vollständig gereinigt werden, da diese Moleküle andernfalls ihrer Größe wegen unter dem REM die Sicht auf die eigentlich erst interessanten Partikel der Probe versperren würden. Die Reinigung erfolgte durch mehrfache Spülung mit MilliQ Wasser über einen Micropore bzw. Isopore Membrane Filter. Anschließend wurden sie über Nacht im Trockenschrank bei 60°C getrocknet. Im trockenen Zustand wurden sie schließlich auf einen Stant aufgeklebt und mit Goldpaladiumionen beschichtet.

3.2. Messung Stabiler Isotope

Stabile Isotopen-Messung von $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$ wurden an einem Massenspektrometer vorgenommen. Im Zuge dieser Arbeit wurden die Messungen am Museum für Naturkunde Berlin bei Dr. Ulrich Struck und Marianne Falk durchgeführt.

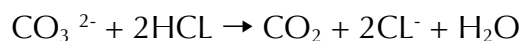
Für die Messungen wurden zwei Individuen von *Onisimus glacialis*, ein Individuum von *Onisimus nanseni*, zwei von *Eusirus holmii* und zwei von *Boreogadus saida* mit zusätzlich jeweils zwei Replikaten vorbereitet. Außerdem sollten zehn Filter, drei davon mit pelagischem Material und sieben mit Material aus Eiskernen, gemessen werden. Insgesamt stammten auch diese Proben von verschiedener Eisstationen der IceArc-Expedition ARK27-3 (siehe Abb. 3). Die Filterproben sollten v.a. als Vergleich für die Haupt-Kohlenstoffquelle der zu untersuchenden Amphipoden herangezogen werden.

3.2.1. Filter

Bei den Filtern handelte es sich um runde GF/F Glass Microfiber Filters mit einem Durchmesser von 47 mm und 0,7 μm Porengröße. Vor der Verwendung waren sie für mehrere Stunden in einem Ofen bei einer Temperatur von 500°C vorgeglüht worden. Die Filtration der Phytoplankton- und Eisalgenproben auf die Filter fand

bereits an Bord der FS Polarstern statt.

Für die Analyse am Massenspektrometer mussten die Filter ihrer Größe wegen in zwei Hälften zerschnitten werden. Eine der beiden Hälften wurde sofort weiterverarbeitet: zusammengeklappt und in Zinnfolie zu einer Kugel zusammengewickelt. Die Messung am Massenspektrometer wurde sogleich durchgeführt. Die zweite Filterhälfte hingegen wurde erst über Nacht mit HCL-Dampf behandelt. Dieser Zwischenschritt sollte das zu messende Kohlenstoffsignal vorweg um den Karbonatgehalt des Filters korrigieren. Das ist wichtig, weil Karbonat ein anderes Isotopensignal als der organische Kohlenstoff hat und bei der Analyse der Probe ein unerwünschtes Mischsignal erzeugen würde. Durch das Ansäuern reagiert das Karbonat CO_3^{2-} des Filters mit der HCL zu flüchtigem CO_2 und wird so von der Probe separiert, siehe folgende Gleichung:



3.2.2. Amphipoden und Polardorsch

Die Amphipoden- und Polardorsch-Proben standen bereits fertig vorbereitet - identifiziert, homogenisiert und getrocknet - zur Verfügung. Mithilfe einer Feinwaage mit einer Genauigkeit von 0,0001 mg wurden aus der zermahlene Probe drei Unterproben à ca. 1 mg entnommen. Diese wurden ebenso wie die Filter in Zinnfolie (4x6 mm) eingewickelt und in Form gepresst, so dass am Ende kleine Zinnkügelchen bis zu einer Größe von 5 mm im Durchmesser dabei herauskamen.

3.2.3. Messprinzip Massenspektrometer

Die Messungen wurden mit einem Massenspektrometer des Typs *Delta 5 Advantage* durchgeführt. Vor der Messung erfolgte eine Aufbereitung der Proben, da sich diese vor Eingabe ins Massenspektrometer in gasförmigem Zustand befinden müssen. Dazu wurden die in der Zinnfolie eingewickelten Proben in einem ersten Schritt in den Elemental Analyser eingeleitet und bei einer Temperatur von 1020°C in einer Heliumatmosphäre verbrannt. Das dabei entstehende Verbrennungsgas

wurde anschließend durch eine Oxidationssäule mit Chrom(III)oxid und versilbertem Cobaltoxid geleitet, in der das Gas vollständig oxidiert wurde. Direkt im Anschluss fand in einer Reduktionssäule mit reduziertem Kupfer eine Reduktion statt, so dass am Ende nur noch CO_2 und N_2 an eine Trennsäule weitergeleitet wurden. In der Trennsäule wurden CO_2 und N_2 aufgrund ihrer unterschiedlichen Polarität und molekularen Massen zeitlich voneinander getrennt. Das bei der Verbrennung entstandene Wasser wurde durch einen Wasserfilter entfernt. Daraufhin gelangte das aufbereitete Probengas in das *ConFlo-Interface*, wo es mit Helium (He 4,6) verdünnt und weiter ins Massenspektrometer überführt wurde. Die Verdünnung betrug in diesem Fall 0% für N_2 und 90% für CO_2 . Eine Verdünnung des CO_2 ist erforderlich, um ihn auf ein ähnliches Konzentrationsniveau wie das N_2 runter zu regeln; Stickstoff ist generell im Verhältnis zu Kohlenstoff im Körper eines Lebewesens wesentlich geringer vertreten.

Im Massenspektrometer selbst wurde die Probe mithilfe einer Ionenquelle ionisiert und anschließend dem Magnetfeld eines starken Magneten ausgesetzt. Die magnetische Anziehung der Ionen lenkte diese abhängig von ihrer isotopischen Zusammensetzung in ihrer Flugbahn ab (siehe Abb. 4). Es gilt: Je weniger Masseteilchen (Protonen, Neutronen) ein Ion besitzt, desto leichter ist es und desto stärker wird es abgelenkt. Ein Detektor (Faraday'scher Cup) am Ende des Messaufbaus registrierte schlussendlich die ankommenden Massen und ihre Häufigkeiten.

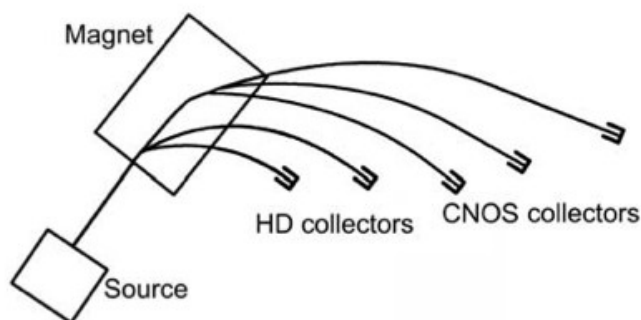


Abb. 4: Schematische Darstellung des Messprinzips eines Massenspektrometers; Massendetektoren sind hier die HD collectors und CNOS collectors; entnommen aus Brian Fry's "Stabile Isotopes Ecology".

Vor und nach jeder einzelnen Messung wurde eine geeichte Standard-Messung zur Quantifizierung der Isotopenzusammensetzung des CO₂ und N₂ durchgeführt. Für CO₂ wird Vienna-PeeDee Belemnite (Vienna-PDB) mit einem $\delta^{13}\text{C}$ von 0,011118 international eingesetzt, während für N₂ die Zusammensetzung der Luft (AIR) mit einem $\delta^{15}\text{N}$ von 0,0036765 als Standardgas-Referenz dient. Die folgende Formel (1) beschreibt die Berechnung des Delta-Wertes:

$$\delta = \left(\frac{R_x - R_{\text{std}}}{R_{\text{std}}} \right) \times 1000 \quad (1)$$

R steht darin für das Isotopenverhältnis (z.B. $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ oder $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in der Probe (x) und dem Standard (std), z. B. Vienna-PDB für Kohlenstoff oder „AIR“ für Stickstoff (z. B. Sharp 2006). δ wird in ppt angegeben (‰)

3.2.4. Messablauf Massenspektrometer

Der Messablauf wurde in sogenannten Sequenzen organisiert. Am Anfang und am Ende dieser Messesequenz wurde die isotopische Zusammensetzung zweier geeichter Standardmaterialien (Pepton und Acetanelit) gemessen. Der Pepton-Standard wurde zusätzlich nach jeder fünften Probe in der Sequenz zwischengeschaltet. Anhand dieser Standardmessungen geschah im Anschluss an die eigentliche Messung eine manuelle Justierung der Messergebnisse am Computer. Die wiederholten Pepton-Messungen schwankten dabei untereinander um $\pm 10,15\%$ für $\delta^{15}\text{N}$ und um $\pm 0,15$ für $\delta^{13}\text{C}$. Eine Korrektur der Konzentrationswerte wurde außerdem vorgenommen.

3.2.5. Lipidkorrektur

Am Aufbau von Lipiden sind v.a. Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff sowie sehr geringe Mengen Stickstoff beteiligt (Lehniger, 1982). Für die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte spielt eine Korrektur daher keine Rolle, anders als für $\delta^{13}\text{C}$; denn Lipide sind angereichert an ^{12}C und erniedrigen so die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Für Lebewesen mit hohem Lipidgehalt wird deshalb eine Lipidextraktion angeraten (Søreide et al., 2006;

Newsome et al., 2010), um die Ergebnisse der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte untereinander vergleichbar zu machen.

Im Vorfeld zu den hier durchgeführten Messungen, hatte keine Lipidextraktion stattgefunden. Da *Onisimus glacialis* aber als sehr lipidreich gilt – das bestätigte ein hohes C:N Verhältnis von $10,2 \pm 0,5$ (siehe Anhang) sowie eigenständige Erfahrungen während der Präparation für die Magen- und Darmanalyse – wurde nachträglich eine Lipidkorrektur nach McConnaughey und McRoy (1979) angewendet, siehe folgende Formel:

$$\delta' = \delta + D * (-0,207 + 3,90 / (1 + 287 / L))$$

wobei: δ' = korrigierter $\delta^{13}\text{C}$ -Wert

$D = 6 \text{ ‰}$ (isotopische Differenz zwischen Lipid & Protein)

$L = 93 / (1 + (0,246 * \text{C/N} - 0,775) - 1)$

Sie basiert auf einem bekannten C/N-Verhältnis.

Im Folgenden werden die korrigierten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als $\delta^{13}\text{C}$ vorgestellt.

4. Ergebnisse

4.1. Magen- und Darmanalyse

4.1.1. Analyse am Inversmikroskop

Im Magen- und Darminhalt von *Onisimus glacialis* überwogen nicht identifizierbare Bestandteile: organische Hüllen sowie oft auch eine Art länglicher Strukturen, sogenannte Filamente (siehe Abb. 5). Die Hüllen waren dabei in jeder einzelnen Probe vertreten und ließen sich ihres Aussehens wegen in vier verschiedene Gruppen untergliedern: große Protisten-Hüllen (20-40 µm), kleine Protisten-Hüllen (ca. 10 µm), ovale Objekte (10-20 µm) und runde Objekte/Zysten (10-20 µm). Die insgesamt häufigsten und auffälligsten Hüllen waren die Protisten-Hüllen. Sie machten durchgehend einen signifikanten Anteil jeder einzelnen Probe aus und wiesen eine charakteristische Optik auf. Aufgrund

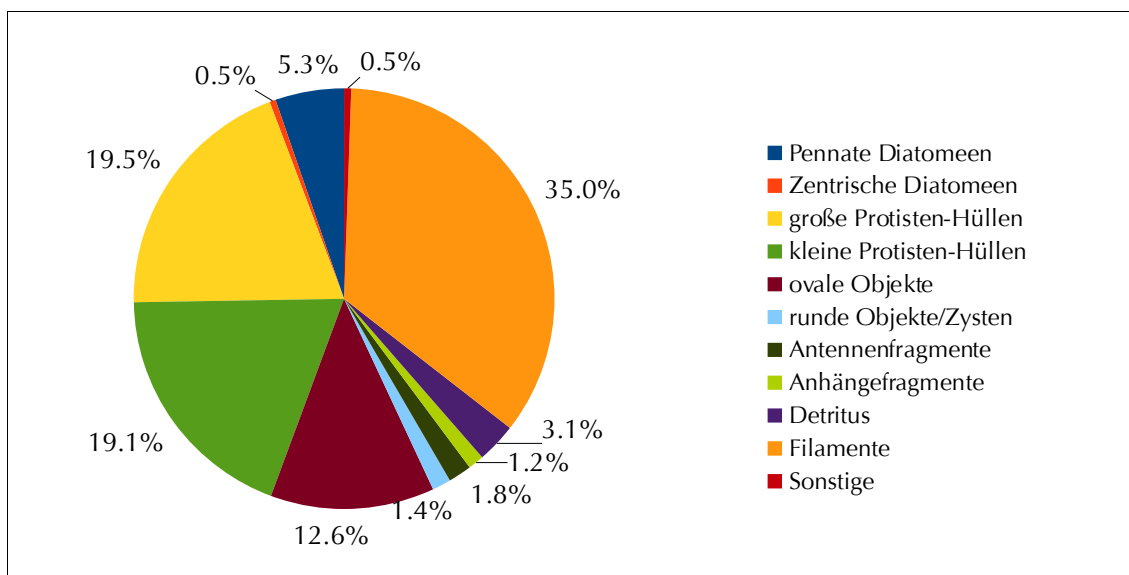


Abb. 5: Zusammensetzung der Summe aller 12 analysierten Magen- und Darminhalte von *Onisimus glacialis* der drei Stationen 276, 285 und 321.

scharfer Kanten erinnerte diese an die Plattengrenzen von Dinoflagellaten (siehe Abb. 6a). Sie kamen vor allem einzeln, aber auch in Gruppen aus zwei oder mehr miteinander verbundenen Exemplaren vor. Ebenfalls stark vertreten waren die kleinen Protisten-Hüllen; sie standen den größeren Protisten-Hüllen in ihrer Anzahl oft nicht allzu viel nach. An Station 321 waren sie im Mittel sogar häufiger anzutreffen, genauso wie die ovalen Objekte. Diese Station wurde insgesamt aber mit großer Mehrheit von den Filamenten dominiert (siehe Mittel Station 321 Abb. 7). Die Filamente waren in ihrem Erscheinungsbild stets klar zu ihrer Umgebung abgegrenzt, einige 100 μm lang, ca. 5 μm breit und an den Enden zumeist abgerundet. Oft faserten sie an einem der beiden Enden aber auch in einem einzigen dünnen Faden aus (siehe Abb. 6c). Charakteristisch war außerdem eine klar erkennbare Mittellinie parallel zur Längsachse. Diatomeen, die im arktischen Meereis dominieren, waren stets nur zu einem geringen Prozentsatz (2-5,8%) in den Proben enthalten (siehe Abb. 7). In der Regel waren die Diatomeenschalen leer und in einem sehr ausgewaligten Zustand. Eine Ausnahme

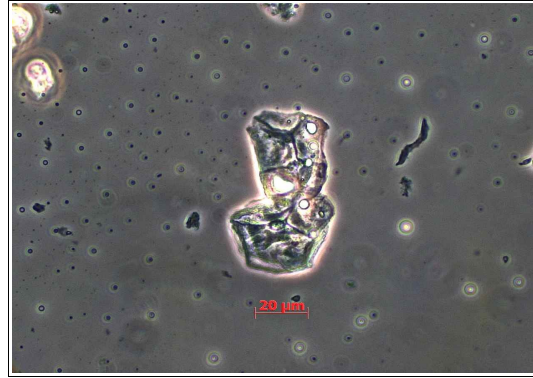


Abb. 6a: Inversmikroskopische Aufnahme zweier unidentifizierbarer großer Protisten-Hüllen. Sehr deutlich wird ihre unebene, unregelmäßige Optik.



Abb. 6b: Inversmikroskopische Aufnahme eines Paketes dreier kleiner unidentifizierbarer Protisten-Hüllen. Das gruppierte Auftreten war häufig zu beobachten. Im Hintergrund ist ein Filament sichtbar.



Abb. 6c: Inversmikroskopische Aufnahme eines unidentifizierbaren Filaments. Deutlich zu erkennen ist die charakteristische Mittellinie, das Ausfasern am Ende und die klare Abgrenzung zur Umgebung.

dazu stellte lediglich Probe ARK27-3_F120 von Station 321 dar: Hier machten pennate Diatomeen, v.a. der Gattungen *Nitzschia spp.* und *Navicula spp.*, einen Anteil von über 50% des Gesamthabes der Probe aus und waren nicht selten noch in Besitz ihrer Chloroplasten. *Melosira arctica* konnte weder in dieser noch in allen anderen Proben gefunden werden.

An den drei Stationen 276, 285 und 321 gab es signifikante Unterschiede in der Nahrungswahl von *Onisimus glacialis*. An Station 276 und 285 bestand eine Vorliebe für die großen Protisten-Hüllen, während an Station 321 die Filamente den Hauptbestandteil der Nahrung darstellten (siehe Abb. 7). An Station 321 fielen außerdem die pennaten Diatomeen mit 5,8% an der Gesamtzusammensetzung des Magen- und Darminhaltes stärker ins Gewicht.

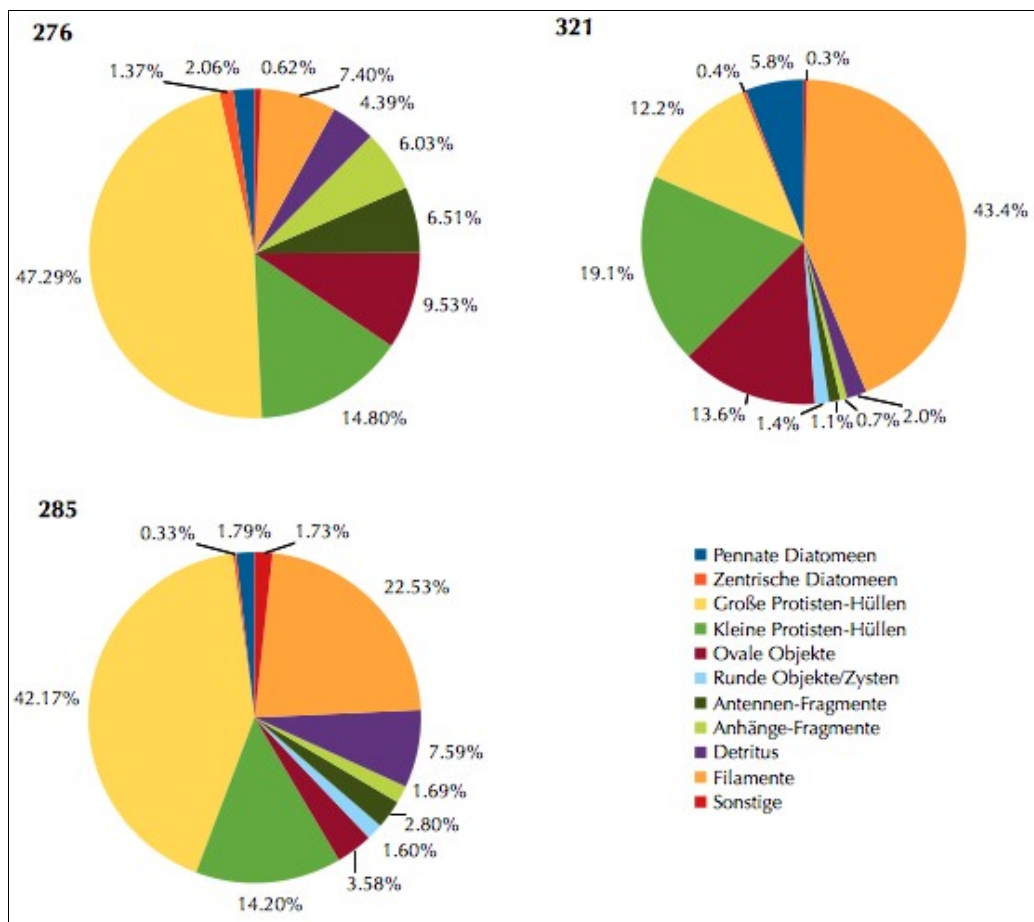
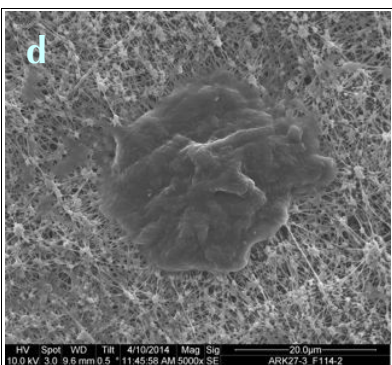
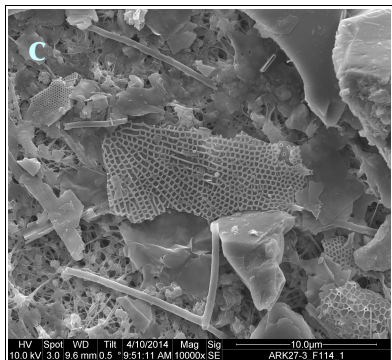
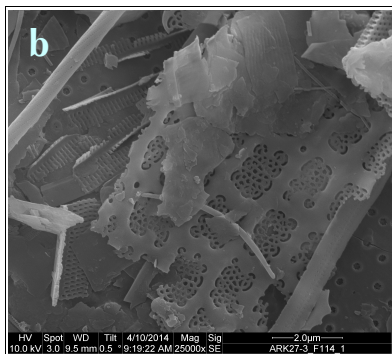
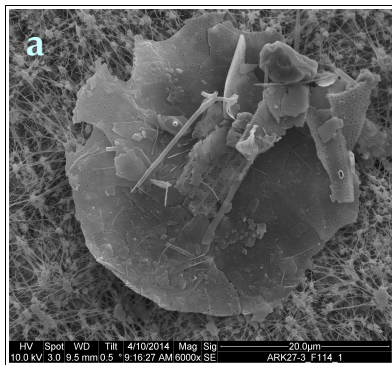


Abb. 7: Ergebnisse der Magen- und Darmanalyse von *O. glacialis* an den drei Stationen 276, 285 und 321; Mittelwerte zur Berechnung der Anteile verwendet.



4.1.2. Analyse am Rasterelektronenmikroskop

In Probe ARK27-3_F114 wurde unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) eine große Menge Diatomeenbruch sichtbar, der zuvor unter dem Inversmikroskop nicht erkannt werden konnte. Genauso schien die Diversität eine weitaus größere zu sein. Neben der unter dem Inversmikroskop dominierenden *Nitzschia*-Arten konnten *Chaetoceros*-Nadeln sowie *Coscinodiscus*- und *Thalassiosira*-Schalen identifiziert werden. Auch darüber hinaus wurden andere Formen und Muster auf Silikatbruchstücken entdeckt, ließen jedoch eine Identifizierung der Diatomeen-Gattung aufgrund der geringen Größe der Bruchstücke nicht zu. Insgesamt wimmelten die REM-Aufnahmen von Diatomeenbruch (siehe Abb. 8a-c).

Erhoffte neue Erkenntnisse über die dominant auftretenden großen Protisten-Hüllen konnten nicht gewonnen werden. Es wurden lediglich einige unregelmäßige Klumpen in der selben Größe von 20-40 µm entdeckt, die eventuell mit den Protisten-Hüllen in Verbindung gebracht werden könnten (siehe Abb. 8d). Sie schienen in keiner guten Verfassung zu sein.

Abb. 8: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Probe ARK27-3_F114 zeigt Diatomeenbruch verschiedener Arten. In a ist eine angelöste Diatomeen-Schale, vermutlich von *Thalassiosira* zu sehen. Darauf liegt verschiedener Diatomeenbruch, der in Bild b in einer Detailansicht dargestellt ist; in der Ecke links oben ist ein Bruchstück einer *Chaetoceros*-Nadel zu erkennen. Bild c zeigt einen typischen Ausschnitt der Probe mit Diatomeenbruch nicht zu identifizierender Arten. Das in d abgebildete Objekt, ist das einzige, das mit den großen Protisten-Hüllen in Verbindung gebracht werden könnte.

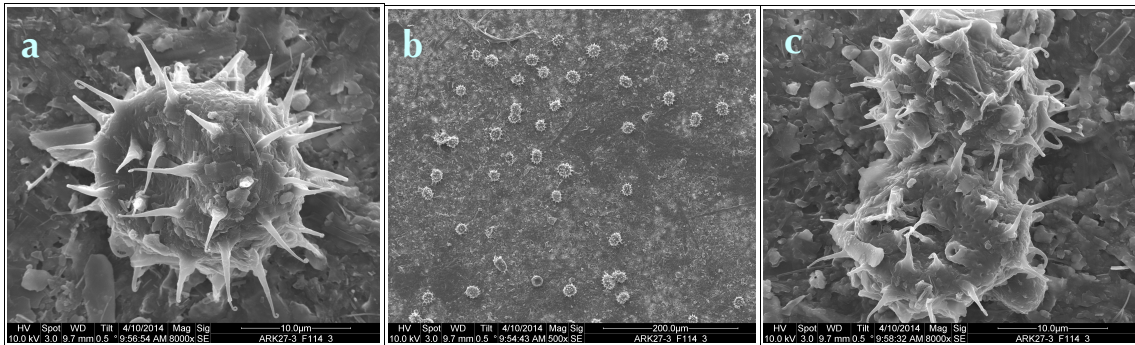


Abb. 9: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme aus der Probe ARK27-3_F114 zeigt die Zyste der polar weit verbreiteten Dinoflagellatenart *Polarella glacialis*; in a einzeln; in b im häufigen Auftreten; in c im Verband zu zweit.

Dafür konnte der Fund einer Dinoflagellaten-Zyste nachgewiesen werden. Wie der Vergleich mit Montresor et al. (2003) zeigte, handelte es sich dabei um die Zyste der polar weit verbreiteten Art *Polarella glacialis* (siehe Abb. 9). Sie hat eine Größe von 10-20 μm und eine unregelmäßige, stachelige Oberfläche.

Bei der REM-Analyse von ARK27-3_F115, einer Probe mit sehr hoher Filamentdichte, konnte ein Äquivalent zu den Filamenten gefunden werden, wenn auch lediglich in blasser Erscheinung. Allein die klare Mittellinie war weiterhin gut zu erkennen. Die Filamente lagen teilweise umgeschlagen da oder wellten sich (siehe Abb. 10b). An ihrem einen Ende konnte ein Köpfchen als charakteristische Struktur entdeckt werden (siehe Abb. 10a).

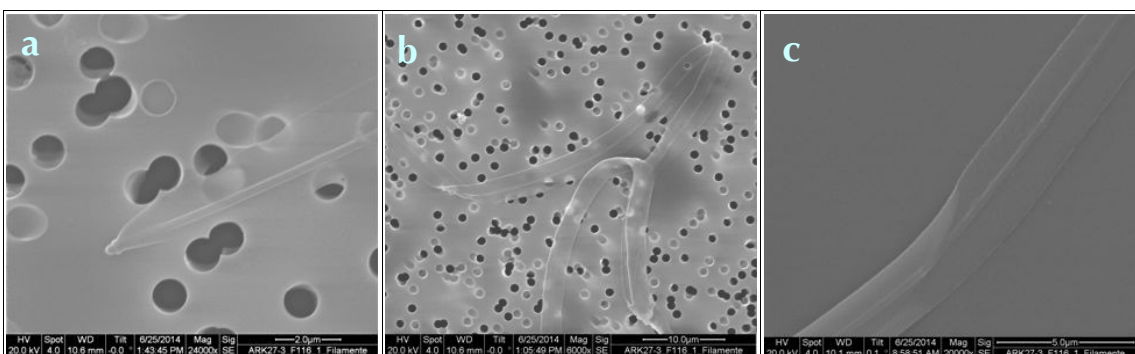


Abb. 10: REM-Aufnahmen aus der Probe ARK27-3_F115 zeigen das Äquivalent zu den Filamenten der inversmikroskopischen Analyse. Deutlich ist die Mittellinie und ein charakteristisches Ende in a zu erkennen, b und c verdeutlichen die Biegsamkeit des Materials.

4.2. Messungen Stabiler Isotope

4.2.1. Filter

Gleich zu Anfang der Messung am Massenspektrometer ging Probe ARK27-3_F186_1 verloren, da sie noch zu groß war, um sicher durch das Eingangsrohr in den Messablauf hineinzugelangen. Daraufhin wurden die Proben zu noch kleineren Kügelchen in die Zinnfolie gepresst und nach jeder Filterprobenmessung eine zusätzliche Leermessung in die Messequenz eingeschaltet. So sollte verhindert werden, dass bei dem großen Probenmaterial auf den Filtern eventuelle Rückstände im Messablauf die darauffolgende Messung verunreinigen würde. Über diese Kontrolle wurde verhindert, dass die Messungen durch interne technische Probleme des Messgeräts verändert werden konnten.

Ungesäuerte Filterhälften

Die ungesäuerten Filter erzeugten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von 3,5‰ - 6,4‰. Die Ergebnisse der Eiskern-Filter lagen genau in diesem Intervall, während für die pelagischen Proben $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von 3,6‰ und 5,0‰ gemessen wurden.

Für die $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen ergaben die aus Eiskernen stammenden Proben durchschnittlich einen Wert von $-21,4 \pm 0,1\%$. Die pelagischen Filterproben wiesen niedrigere Werte von $-25,8 \pm 1,6\%$ auf ($-19,3\%$ bis $-23,4\%$).

Mit HCL-gesäuerte Filterhälften

Insgesamt führten die Messungen an den zuvor mit HCL behandelten Filterhälften zu Ergebnissen von -3,2 bis 15,3‰ für $\delta^{15}\text{N}$. Die Eiskern-Proben wiesen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von -3,2‰ bis 6,8‰ auf. Die pelagischen Proben lagen in einem Rahmen von 1,3‰, 5,4‰ und 15,5‰ für $\delta^{15}\text{N}$.

In Bezug auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte schwankten die Eiskern-Proben zwischen Werten von $-19,5\%$ bis $-23,7\%$ ($\bar{\delta} -22,3 \pm 2,8\%$), während die pelagischen Proben bei $-25,1 \pm 1,4\%$ lagen.

Die Ergebnisse für $\delta^{13}\text{C}$ der HCL-gesäuerten Filterhälften unterschieden sich damit nicht signifikant von denen der ungesäuerten Filterhälften.

Sowohl das Ergebnis für die pelagische Probe bei $\delta^{15}\text{N} = 15,3\text{‰}$, als auch das für die Eiskern-Probe bei $\delta^{15}\text{N} = -3,2\text{‰}$ wurden als Ausreißer nach oben und unten gewertet.

Insgesamt unterschieden sich die gesäuerten Filterhälften nicht von den ungesäuerten. Für die Diskussion wurde sich deshalb allein auf die Ergebnisse der ungesäuerten Filterhälften beschränkt.

Für eine detaillierte Ansicht der Messwerte siehe Tabellen im Anhang.

4.2.2. Amphipoden und Polardorsch

Bei den Messungen der Amphipoden konnte eine Probe von *Onisimus glacialis*, nämlich ARK27-3_F060-1, nicht gemessen werden, da die Probe bei der Eingabe nicht richtig ins Gerät hineingefallen und so gar nicht erst in den Messablauf eingegangen war. Die zwei Replika-Messungen F060-2 und F060-3 waren allerdings erfolgreich und konnten das Defizit auffangen.

Für *Onisimus glacialis* ergaben sich $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in einem Bereich von $6,8 \pm 0,4\text{‰}$. Für die eng verwandte Art *Onisimus nanseni* lagen die Werte etwas höher bei $8,7\text{‰}$ - $8,8\text{‰}$. Die Werte für die Amphipodenart *Eusirus holmii* lagen bei $9,5 \pm 1,2\text{‰}$ ($8,3\text{‰}$ - $10,7\text{‰}$) und für den Polardorsch *Boreogades saida* wurden $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von $10,0 \pm 0,8\text{‰}$ ($9,2\text{‰}$ - $10,8\text{‰}$) gemessen (siehe Anhang). Für jede Art konnten außerdem Unterschiede in den Delta-Werten an den verschiedenen Stationen festgestellt werden.

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen ergaben für *Onisimus glacialis* Werte von durchschnittlich $-18,7 \pm 1,0\text{‰}$ ($-16,9\text{‰}$ bis $-20,3\text{‰}$). *Onisimus nanseni* produzierte etwas positivere Werte von $-19,7 \pm 0,0\text{‰}$. Die Messungen an *Eusirus holmii* kamen zu $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von $-21,08 \pm 0,6\text{‰}$ ($-20,6\text{‰}$ bis $-21,6\text{‰}$), während die Messungen an *Boreogades saida* die negativsten Ergebnisse von $-23,6 \pm 0,1\text{‰}$ erzeugten. Auch die $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen variierten innerhalb einer Art von Station zu Station.

Zur graphischen Darstellung der Daten siehe Anhang Abb. 17

4.3. Fehlerbetrachtung

Es nicht auszuschließen, dass im Vorfeld zu der Magen- und Darmanalysen bei der Präparation Teile des Magen- und Darminhaltes verloren gingen. Denn besonders der Darm musste oft in mehr als einem Stück in die Utermöhl-Kammer transferiert werden.

Ebenso ist es denkbar, dass einzelne Teile des Mageninhaltes beim Zählen unterschätzt wurden. Dies bezieht sich v.a. auf diejenigen Proben, die noch über die gesamte Kammer gezählt wurden. Umgekehrt könnten die im Kreuz gezählten Bestandteile leicht überschätzt worden sein.

Bei den Isotopenmessungen wurde in der Vorbereitung höchste Vorsicht angewendet. Außerdem wurden Korrekturen für messgerätinterne Fehler vorgenommen. Eine Verunreinigung ist demzufolge weitgehend auszuschließen und durch die mit der Literatur übereinstimmenden Ergebnisse widerlegt. Eine Ausnahme dazu bilden lediglich die beiden als Ausreißer gewerteten Proben der gesäuerten Filterhälften. Die Streuung der Ergebnisse ist demnach vermutlich in anderen Faktoren zu finden, z. B. in den räumlichen Distanzen zwischen den einzelnen Stationen.

Für die Mittelwerte wurden Standardabweichungen als Maß für die reale Streuung der Daten berechnet.

5. Diskussion

5.1. Magen- und Darmanalyse

5.1.1. Identifizierung des Mageninhaltes

Die Bestandteile des Magen- und Darminhaltes von *Onisimus glacialis* wurden in eindeutig voneinander abgrenzbare Klassen unterteilt. Dies gelang für die Mehrzahl aller Bestandteile. Die zweifelsfreie Zuordnung dieser Objektklassen zu taxonomischen Kategorien war hingegen nur für einen kleinen Teil der Objekte möglich. Auf Grundlage von Vergleichen mit Studien anderer Disziplinen und Literatur konnte dennoch indiziengestützt eine Vermutung über den Ursprung der weiteren Objekte ausgesprochen werden.

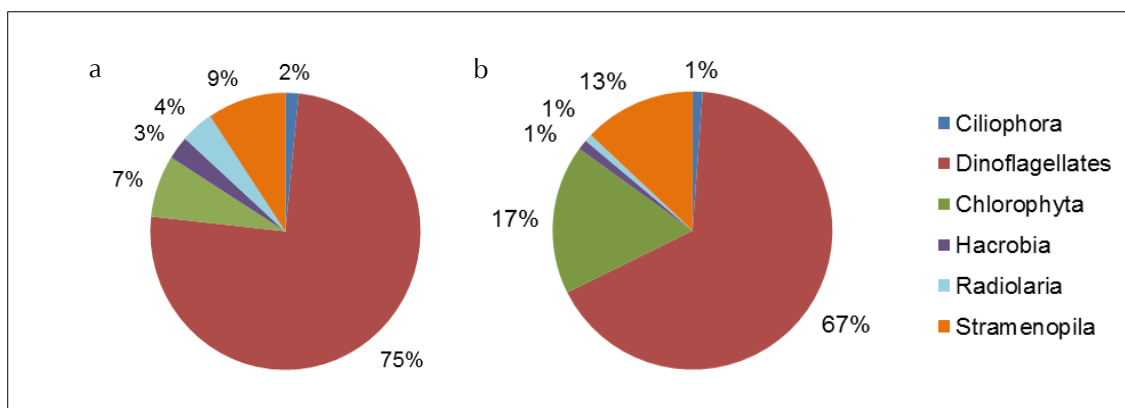


Abb. 11: Vorläufige Ergebnisse der DNA-Sequenz-Analyse der Organismen-Zusammensetzung der Wassersäule an den Eisstationen der IceArc-Expedition; Dinoflagellaten dominierten sowohl die pelagische Wassersäule (a) als auch die unter dem Eis (b). Quelle: Kristin Hardge, Mai 2014.a

Protisten-Hüllen

Eine ebenfalls an Proben der IceArc-Expedition durchgeführte DNA-Sequenz-Analyse der Organismen-Zusammensetzung der oberen Wasserschichten ergab, dass Dinoflagellaten das am häufigsten vertretene Protistentaxon sowohl in der

pelagischen Wassersäule als auch im Wasser unter dem Eis war (K. Hardge (AWI), unpublizierte Daten; siehe Abb. 11).

Das könnte ein Indiz dafür sein, dass die unidentifizierten Protisten-Hüllen, die den Großteil der Nahrung von *Onisimus glacialis* im August/September 2012 ausmachten, der Gruppe der Dinoflagellaten zuzuordnen seien.

Ovale Objekte

Die unter dem REM identifizierten Zysten des Dinoflagellaten *Polarella glacialis* waren zuvor unter dem Inversmikroskop nicht aufgefallen. Sie weisen aber genau wie die ovalen Objekte eine Größe von 10-20 µm und dazu eine sehr unebene Oberfläche auf. Es ist nicht auszuschließen, dass es sich bei den ovalen Objekten um die Zyste von *Polarella glacialis* handeln könnte.

Filamente

Die REM-Analyse machte sichtbar, dass es sich bei dem Material der Filamente um etwas Zersetzbares und Biegsames handelte. Diatomeen konnten daher für eine nähere Bestimmung ausgeschlossen werden. Die robuste Mittellinie, die auch unter dem REM noch deutlich hervortrat, erinnerte vielmehr an die *Corda dorsalis* im Ruderschwanz von Appendikularien, einer den Tunikaten (= Manteltierchen) zugeordneten zoologischen Klasse (siehe Anhang Abb. 14). Diese sind zwar in adultem Stadium viel größer als die hier betrachteten Filamente, ihre Larven haben aber eine Größe von nur 250 µm, inklusive ausgebildetem Ruderschwanz. Für diese Hypothese spricht außerdem die Tatsache, dass an Station 321, an der die Filamente den wichtigsten Bestandteil der Nahrung von *Onisimus glacialis* ausmachten, Appendikularien ein signifikanter Teil der Organismen-zusammensetzung der Wassersäule waren. Die Protisten-Hüllen könnten in diesem Fall auch aus dem Filtermagen der Appendikularien stammen, aus dem sie schlussendlich wieder entlassen wurden in den Magen ihres eigenen Räubers, *Onisimus glacialis*. Gegen die Appendikularien-Hypothese spricht allerdings die rasante Entwicklung, über die die Appendikularien-Larve innerhalb von nur 8 h zu adulter Größe heranwächst (Westheide, 2009). Diese Angabe

bezieht sich allerdings auf eine Wassertemperatur von 22°C. In kälterem Wasser arbeitet der Metabolismus langsamer.

Eine weitere Möglichkeit zur Erklärung des Ursprungs der Filamente stellen längliche Dinoflagellaten, z. B. *Amphisolena spp.*, dar (siehe Anhang Abb. 15 und 16). Unterstützt wird diese Hypothese von der Untereis-DNA (siehe Abb. 11). Dagegen spricht, dass die meisten *Amphisolena*-Arten nicht in polaren Gewässern vorkommen, sondern eher in gemäßigten Breiten verbreitet sind (AWI Plankton net; WoRMs).

Letztendlich ist es aber genauso wenig auszuschließen, dass die Filamente Muskelfasern des Amphipoden selbst oder irgendeines anderen Lebewesens sind, welches der Amphipode zuvor gefressen hatte. Ein Indiz dafür stellt lediglich eine REM-Aufnahme dar, die die Filamente zeigt, wie sie scheinbar aus einem größeren Gewebe entspringen.

Insgesamt konnte keine eindeutige zufriedenstellende Erklärung für das Auftreten der Filamente gefunden werden.

Bereits in der Arbeit von Bratstreet und Cross (1982) wurde ein Bestandteil des Mageninhaltes von *Apherusa glacialis* und *Gammarus wilkitzkii* zu der Objektklasse „filamentous algae“ zusammengefasst. Es wäre von Interesse, herauszufinden, ob sich hinter dieser Zuordnung vielleicht die Filamente der vorliegenden Studie verbergen.

5.1.2. Diatomeenbruch unter dem Rasterelektronenmikroskop

Die Nahrungsökologie von *Onisimus glacialis* wurde bereits von Cross (1982) analysiert und kam damals zu dem Ergebnis, dass sich diese Eisamphipodenart im Gegensatz zu *Apherusa glacialis* und *Gammarus wilkitzkii* sehr divers von Eisalgen ernährte. Cross beschrieb, dass *O. glacialis* an der Unterseite und in kleinen Kanälen von braungefärbtem (diatomeenreichem) Eis anzutreffen war und sich direkt davon zu ernähren schien. Der Fund der vielen verschiedenen Diatomeenbruchstücke unter dem REM könnte ein Indiz dafür sein, dass die Bedeutung der Eisalgen in der lichtmikroskopischen Analyse unterschätzt wurden.

5.2. Messung Stabiler Isotope

5.2.1. Ergebnisse für Filterhälften

Der klare Unterschied zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Filterproben der Eiskerne und denen der pelagischen Proben ist in zahlreichen Studien genauso beobachtet worden (z. B. Kennedy et al., 2002; Søreide et al., 2006, Tamelander et al., 2006a). Ein Grund dafür ist zum einen das Vorkommen verschiedener Algenarten: Im Eis dominieren *Melosira arctica* und *Nitzschia frigida*, während in der offenen Wasser zentrische Diatomeenarten wie *Coscinodiscus spp.* und *Thalassiosira spp.* von größerer Bedeutung sind (Syvertsen, 1991). Den viel wichtigeren Grund liefert jedoch Kennedy et al. (2002): Im Vergleich zum offenen Wasser ist Eis ein abgeschlossenes System und daher in seinem CO_2 -Vorkommen begrenzt ist. Das bevorzugte leichte ^{12}C wird im Eis folglich schneller verbraucht, was die dort lebenden Eisalgen wiederum dazu zwingt, eher das schwerere ^{13}C einzubauen. Das wiederum resultiert in einem angereicherten $\delta^{13}\text{C}$.

5.2.2. Ergebnisse für Amphipoden & Polardorsch

Generell gründet sich eine Anreicherung des $\delta^{15}\text{N}$ eines Lebewesen in dem Verlust von leichtem ^{14}N über Defäkation und der daraus resultierenden relativen Anreicherung von ^{15}N . Dieser Prozess verstärkt sich mit ansteigender trophischer Ebene. Die signifikanten Unterschiede der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Amphipoden und des Polar Dorsch lassen daher darauf schließen, dass die verschiedenen Arten auf trophisch unterschiedlichen Stufen anzusiedeln sind.

5.3. Trophische Einstufung

Particulate organic matter (POM) im offenen Wasser hat normalerweise einen $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von $6,8 \pm 0,3\text{‰}$, während Eisalgen ein Wert von $5,1 \pm 0,3\text{‰}$ zugeschrieben wird (Hobson et al., 2000). In der vorliegenden Studie wiesen die Ergebnisse von Phytoplankton und Eisalgen mit $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von durchschnittlich jeweils nur $4,3 \pm 0,9\text{‰}$ und $4,8 \pm 1,0\text{‰}$ niedrigere Werte auf. Hobson und Welch (1992a) bestimmten pro trophischer Ebene einen Anstieg von $3,8\text{‰}$ im $\delta^{15}\text{N}$ -Wert für alle arktischen Lebewesen abgesehen von Vögeln. Die nächsthöheren $\delta^{15}\text{N}$ -

Werte gehörten zu *O. glacialis* (durchschnittlich $6,7 \pm 0,4\text{‰}$), gefolgt von *O. nanseni* mit durchschnittlich $8,7 \pm 0,1\text{‰}$. Während *O. glacialis* herbivor/detrivor (Werner, 1997) beschrieben wird, gilt *O. nanseni* als omnivor (Carey und Bodrias, 1987) und hat demzufolge etwas positivere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Beide stehen damit auf einer heterotrophen Trophie-Ebene. *E. holmii* hingegen wurde bereits von Macnaughton et al. (2007) als karnivor eingestuft. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte für diesen Eisamphipoden stimmen damit überein: Mit durchschnittlich $9,5 \pm 1,2\text{‰}$ lagen die Werte deutlich über denen von *O. glacialis* und immerhin noch $+0,79\text{‰}$ $\delta^{15}\text{N}$ über denen von *O. nanseni*. Für den Polardorsch *Boreogadus saida* ergaben sich die höchsten Werte von durchschnittlich $10,0 \pm 0,8\text{‰}$ $\delta^{15}\text{N}$, denn er repräsentiert unter den hier untersuchten Konsumenten das höchste trophische Niveau. Zusammen mit *Eusirus holmii* bedient er sich einer überwiegend räuberischen Nahrungsaufnahme. Abbildung 12 zeigt die Verhältnisse grafisch.

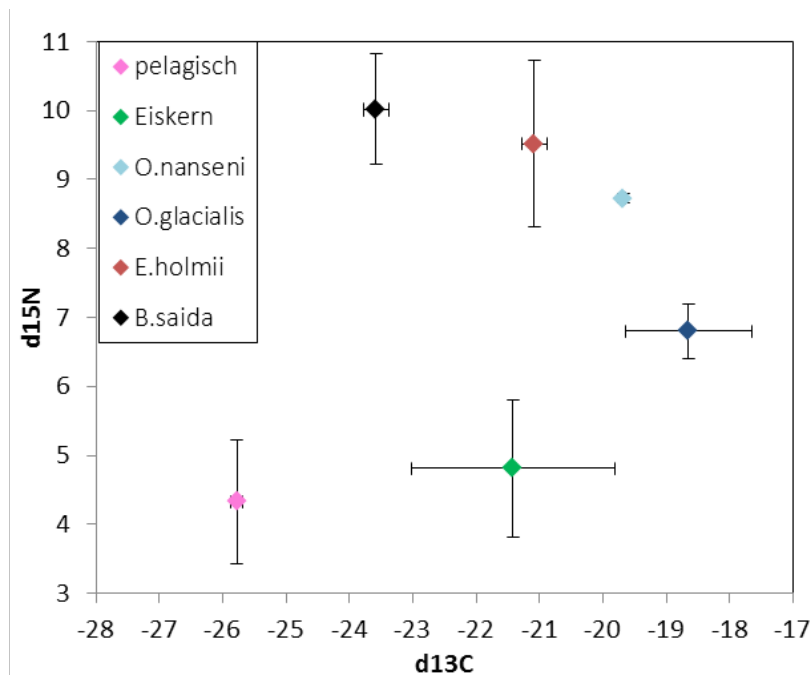


Abb. 12: $\delta^{15}\text{N}$ gegen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Amphipoden und Polardorsch sowie pelagischen und Eiskern-Proben; der Anstieg von $\delta^{15}\text{N}$ -Werte mit trophischem Niveau ist deutlich zu erkennen. Dargestellt sind Mittelwerte und deren Standardabweichungen, d steht stellvertretend für δ . Verweis auf Anhang Abb. 17 für genauere Betrachtung.

Die Streuung der Delta-Werte innerhalb einer Art fiel für *Onisimus glacialis* und *Boreogades saida* mit unterschiedlichen Stationen zusammen. Die Individuen von *Onisimus nansenii* und *Eusirus holmii* stammten von ein und derselben Station.

5.4. Bedeutung Eisalgen-Kohlenstoff

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte geben Aufschluss über die Hauptkohlenstoffquelle eines Lebewesens. Die Ergebnisse für *Onisimus glacialis* orientierten sich mit $-21,4 \pm 1,0\text{‰}$ eher an dem Isotopensignal der Eiskern-Filter ($-21,4 \pm 1,6\text{‰}$) als an denen der Wasserproben ($-25,8 \pm 0,1\text{‰}$). Dies lässt darauf schließen, dass sie sich stärker von Eisalgen als von Phytoplankton ernährten. Ein räumlicher Effekt in den Phytoplankton-Proben kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, da sie sich allein auf zwei CCD-Stationen zurückführen ließen.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Magen- und Darmanalysen, die eine Momentaufnahme darstellen, repräsentiert das Isotopensignal einen Zeitraum von mehreren Wochen.

Die Diskrepanz der Ergebnisse der beiden Methoden lässt sich auf mehrere Arten erklären: (a) Das Ergebnis der Magen- und Darmanalyse unterschätze die Bedeutung von Eisalgen, weil Diatomeen von *Onisimus glacialis* zuvor zerkaut worden waren. Aufgrund ihrer geringen Größe konnten sie deshalb in der lichtmikroskopischen Analyse nicht mehr nachgewiesen werden. Diese Vermutung wird außerdem durch die REM-Analyse gestützt, die tatsächlich eine Menge Diatomeenbruch zum Vorschein brachte.

Ebenso zeigten Ergebnisse von Fettsäure-Analysen für *Onisimus glacialis*-Individuen der Stationen 276, 285 und 321 der IceArc-Expedition eine relativ große Bedeutung von Diatomeen (siehe Abb. 12; unpublizierte Daten von D. Kohlbach (AWI)). Der relative Vergleich von Dinoflagellaten-, Copepoden und Diatomeenmarkern stellte die Diatomeen eindeutig als die um ein Vielfaches bedeutendere Kohlenstoffquelle für *Onisimus glacialis* dar. Diese Schlussfolgerung muss allerdings mit Vorsicht betrachtet werden, da die Fettsäure-Analyse lediglich relative Verhältnisse zwischen den unterschiedlichen Organismen-Markern

darstellt. Je nachdem, wie sich die tatsächliche Frequenz der verschiedenen Organismen-Marker in einem Individuum unterscheidet, verändert sich dadurch das absolute Verhältnis der repräsentierten Bestandteile zueinander.

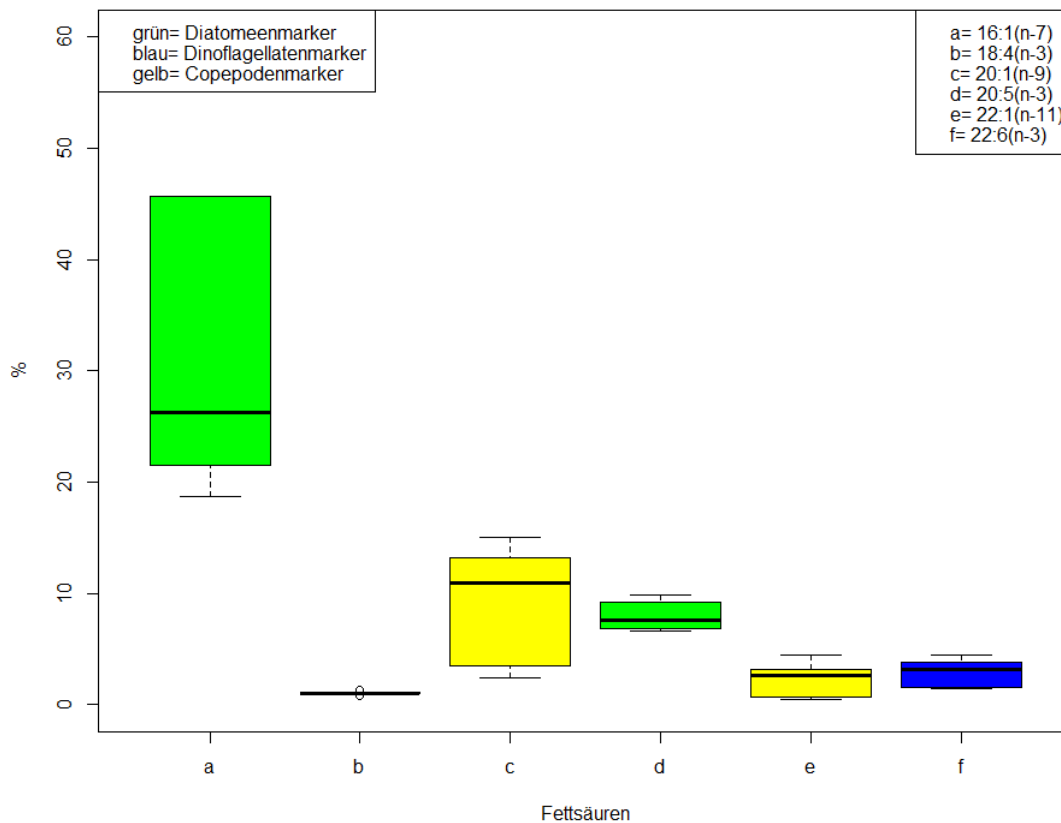


Abb. 12: Fettsäure-Analysen von Individuen von *Onisimus glacialis* der Stationen 276, 285 und 321 der IceArc-Expedition ARK27-3 im Sommer 2012. Diatomeenmarker sind relativ zu Dinoflagellaten- und Copepodenmarkern um ein Vielfaches häufig vertreten. Unpublizierte Daten von D. Kohlbach.

(b) Sich ebenfalls auf diese Ergebnisse stützend könnte es durchaus auch möglich sein, dass *Onisimus glacialis* grade die weniger häufigen Dinoflagellaten selektiv gefressen hat. Sofern sie autotroph wären, könnten sie nämlich im Eis vorkommen und dort von *Onisimus glacialis* ohne große Mühe abgegrast werden.

c) Ein weiterer Grund könnte eine hohe zeitliche Variabilität verschiedener Ernährungsstrategien sein. Es ist durchaus denkbar, dass in den Wochen vor der Probenentnahme Eisalgen eine große Bedeutung für die Ernährung von *Onisimus glacialis* spielten, zum genauen Zeitpunkt der Probenentnahme dann aber deutlich

heterotropher zusammengesetzt war (aus Protisten (Dinoflagellaten), Filamenten und Krustentieren)., siehe Abb. . David et al., (eingereicht) stellte fest, dass die Primärproduktion im Meereis im August/September 2012 kaum ausreichte, um die Vielzahl der Eisamphipoden zu ernähren. Es ist daher sehr wohl denkbar, dass *Onisimus glacialis* gezwungen war, im Verlauf des Sommer auf Heterotrophie umzuschalten und eine hohe zeitliche Variabilität in seiner Nahrungswahl zu praktizieren. Erklärung (c) scheint demnach die wahrscheinlichste zu sein.

5.5. Räumliche Variabilität

Die stationsbedingten Unterschiede in der Zusammensetzung der Mageninhalte von *Onisimus glacialis* bestanden in erster Linie in unterschiedlichen Anteilen der Protisten-Hüllen und Filamente. Sofern die Annahme, dass es sich bei den Protisten-Hüllen tatsächlich um Dinoflagellaten handelte, wahr ist und diese Dinoflagellaten autotroph und nicht heterotroph waren, bevorzugte *Onisimus glacialis* an Station 276 und 285 eindeutig herbivore Nahrung. Da im Endeffekt aber sowohl die Protisten-Hüllen, als auch die Filamente eben nicht eindeutig zugeordnet werden konnten, sollen sie im Folgenden für die Betrachtung räumlicher Unterschiede in der Nahrungswahl bewusst weggelassen werden.

Des Weiteren wurden die verbleibenden Objektklassen den Kategorien herbivor, karnivor, omnivor und detritivor zugeteilt oder, wenn das nicht möglich war, ebenfalls weggelassen. Pennate und zentrische Diatomeen sind autotrophe Organismen und somit Indizien für eine herbivore Ernährung. Antennen- und Anhängelragmente von anderen Krustentieren gelten als Indizien für eine karnivore Ernährung. Detritus steht als Indiz für eine detritivore Ernährungsstrategie.

Der Vergleich der relativen Anteile allein dieser Bestandteile untereinander zeigte deutliche Unterschiede für alle drei Stationen (siehe Anhang Grafiken, Tabelle Magen und Darminhalte): An Station 276 suggerierten die Antennen- und Anhängelragmente mit einem relativen Anteil von insgesamt 62% eine karnivor geprägte Nahrungswahl. An Station 285 hingegen fraßen die Individuen von

Onisimus glacialis weniger dieser karnivoren Bestandteile, sondern verwerteten vielmehr detritivore Nahrung (53% relativer Anteil). An Stationen 321 dominierten schließlich Diatomeen als herbivore Bestandteile (58% relativer Anteil).

Diese räumlichen Unterschiede könnten verschiedenen ökologischen Bedingungen an den drei Stationen geschuldet sein. Zum Beispiel könnte sich das Nahrungsangebot in der Wassersäule unter dem Eis an den jeweiligen Stationen anders zusammengesetzt haben. Ein zugrundeliegender ozeanografischer Effekt kann allerdings in erster Linie dafür ausgeschlossen werden, da sich alle drei Stationen nördlich des Gakkeleridge im Amundsen Becken befinden (siehe Abb. 2). Stattdessen könnten die Unterschiede aber mit der im kleineren Rahmen variablen Eiskonzentration der jeweiligen Station zusammenhängen. Da die Hauptproduktionsphase zur Zeit der Probennahme bereits stattgefunden zu haben schien (Boetius et al., 2013), war durch den Untereisbloom viel Makrofauna angezogen worden (David et al., eingereicht), die zur Zeit der Probennahme vermutlich mit abrupt eingetretener Konkurrenz um die restliche Nahrung konfrontiert war. Als scheinbar oportunistisch veranlagter Vertreter dürfte *Onisimus glacialis* sich daran angepasst haben können. Die Unterschiede in der Nahrungszusammensetzung von *Onisimus glacialis* an den drei Stationen 276, 285 und 321 könnten demzufolge unterschiedliche Anpassungen an das Nahrungsangebot unter dem Eis darstellen.

6. Schlussfolgerung

Die Studie hatte es sich zum Ziel gesetzt, den trophischen Fluss von Eisalgen-Kohlenstoff näher ins Zentrum der Aufmerksamkeit zu rücken, da in der Disziplin der Geowissenschaften v.a. das passive Absinken organischer Materie bis hin zur Sedimentation in der Tiefsee im Fokus steht; die Anwesenheit und Tätigkeit der Meeresorganismen dabei jedoch weitgehend unbeachtet bleibt.

Mithilfe der kombinierten Methodik aus Magen- und Darmanalyse und der Messung der stabilen Isotope C und N konnten verschiedene Erkenntnisse über die Nahrungsökologie von *Onisimus glacialis* gewonnen werden. Die Eisalge *Melosira arctica* konnte dabei nicht als Nahrung bestätigt werden.

Durch Vergleiche mit Ergebnissen anderer Disziplinen konnte die Identifizierung des Mageninhaltes verbessert werden: Eine DNA-Sequenz-Analyse über die Zusammensetzung der oberen Wassersäule ergab, dass es sich bei den Protisten-Hüllen vermutlich um die in der Region dominant auftretenden Dinoflagellaten handelte. Für die ebenso häufig vertretenen Filamente konnten hingegen keine überzeugende Zuordnung vorgenommen werden; sie wiesen lediglich Ähnlichkeiten mit Appendikularien-Larven, als auch mit Individuen der länglichen Dinoflagellaten-Gattung *Amphisolena* auf.

Mit einem $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von $6,8 \pm 0,4\%$ konnte *Onisimus glacialis* auf eine eher herbivore Trophie-Ebene bestimmt werden. Die Eisampipodenart *Eusirus holmii* lag mit $9,5 \pm 1,2\%$ deutlich höher, genauso wie der Polardorsch *Boreogadus saida* mit $10,02 \pm 0,8\%$. Diese beiden letztgenannten Arten gelten als vorwiegend räuberisch. In Bezug auf die Hauptkohlenstoffquelle kamen die Isotopenmessungen zu dem Ergebnis, dass Eisalgen zumindest in den Wochen vor der

Probennahme eine wichtige Rolle in der Nahrung von *Onisimus glacialis* gespielt haben müssen. Mit einem durchschnittlichen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von $-18,6 \pm 1,0\text{‰}$ ernährten sich die untersuchten *Onisimus glacialis*-vermutlich stärker von Eisalgen ($-21,4 \pm 1,6\text{‰}$) als von Phytoplankton ($-25,8 \pm 0,1\text{‰}$). Die Magen- und Darmanalyse stützte diese Ergebnisse nicht; ein Indiz dafür konnte lediglich in einer REM-Analyse einer einzigen Magen- und Darmprobe gefunden werden, die eine sehr große Menge an Diatomeenbruch zum Vorschein brachte. Es muss jedoch beachtet werden, dass es sich bei einer Magen- und Darmanalyse nur um eine Momentaufnahme handelt, während sich ein Isotopensignal auf einen Zeitraum von mehreren Wochen bezieht.

Fettsäure-Analysen sprachen den Diatomeen ebenfalls eine wichtige Rolle in der Nahrungszusammensetzung von *Onisimus glacialis* im Sommer 2012 zu.

Insgesamt variierte die Nahrungswahl von *Onisimus glacialis* demzufolge stark in Abhängigkeit von der Zeit. Vermutlich hatte sie einen opportunistischen Charakter und richtete sich nach dem gerade verfügbaren Nahrungsangebot. Da die autotrophe Primärproduktion im August/September 2012 für die Vielzahl der Eisamphipoden unter dem Eis kaum ausreichend gewesen zu sein schien (David et al., eingereicht), wäre diese Strategie aufgrund einer Vermeidung von Nahrungskonkurrenz vorteilhaft gewesen.

Die Hypothese, dass *Onisimus glacialis* durch die Nahrungsaufnahme dazu beiträgt, dass Eisalgen-Kohlenstoff in den oberen Wasserschichten gehalten wird und somit nicht sofort passiv absinkt, konnte nur teilweise bestätigt werden. Zumindest zeitweise wurde Eisalgen-Kohlenstoff durch *Onisimus glacialis* im Sommer 2012 in den trophischen Fluss des Nahrungsnetzes eingeleitet.

6.1. Aussicht

Die Studie hat zwar einen qualitativen Beitrag zu mehr Verständnis auf dem Gebiet der trophischen Weitergabe von Eisalgen-Kohlenstoff geleistet, quantitative Aussagen konnten jedoch nicht gewonnen werden. Dieser Ansatz sollte in zukünftigen Studien stärker verfolgt werden. Denn die genaue Kenntnis über die

einzelnen Prozesse des marinen Kohlenstoffkreislaufes ist wichtig, um dessen Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel richtig einzuschätzen und mögliche Anpassungen besser zu verstehen. Dies gilt übergeordnet für das gesamte arktische Ökosystems, das es zu schützen gilt.

Onisimus glacialis ist darin eine von mehreren eisassoziierten Amphipodenarten. Es wäre interessant, eine Magen- und Darmanalyse ebenfalls an anderen Arten durchzuführen, z. B. an *Apherusa glacialis*. Dabei sollte ein größerer Wert auf die Analyse am REM gelegt werden, da die Analyse dort zumindest für silikatische Organismen wie Diatomeen deutlich genauer ist als am Inversmikroskop. Es ist schließlich nicht auszuschließen, dass die Diatomeenbruchstücke, die im Rahmen dieser Studie entdeckt wurden, einen verhältnismäßig viel bedeutenderen Anteil an dem Gesamtinhalt des Magens von *Onisimus glacialis* hatten, hier aber deutlich unterschätzt wurden.

Insgesamt ist der Ansatz der kombinierten Methodik zu empfehlen und für zukünftige Forschungen fortzusetzen. Aus umso mehr Richtungen eine Fragestellung betrachtet und untersucht wird, desto umfassender und näher an der Realität wird das Ergebnis ausfallen. Zum Verständnis des großen Gesamtbildes ist das immer die beste Vorgehensweise.

7. Danksagung

Ich danke meiner Prüferin Antje Boetius dafür, dass sie dieser Arbeit so offen und unterstützend gegenüberstand. Ohne sie wäre es nicht möglich gewesen, diese Studie im Rahmen einer geowissenschaftlichen Bachelorarbeit durchzuführen. Das gilt ebenfalls für Herrn Kucera, der genauso ohne zu zögern, der Unterstützung zugestimmt hat.

Als nächstes möchte ich Eva-Maria Nöthig für ihre Empathie und direkte Art danken. Denn ohne sie wäre meine Arbeit von Anfang an zum Scheitern verurteilt gewesen.

Besonderer Dank gilt Hauke Flores für seine großartige Betreuung. Durch seine klaren, konstruktiv kritischen Ratschläge habe ich wissenschaftlich sehr viel dazu gelernt!

Ebenso war ich gerne Mitglied seiner *IceFlux* Young Investigators Group am AWI und möchte mich für die vielen kleinen Unterstützungen ganz herzlich bei Martina Vortkamp, Carmen David, Doreen Kohlbach und Benjamin Lange bedanken. Sowie bei Evi Nöthig, Mar Fernández-Méndez, Barbara Niehoff und Laura Halbach.

Bei Doreen Kohlbach und Kristin Hardge bedanke ich mich für die freundliche Bereitstellung ihrer eigenen bisher unpublizierten Daten. Die haben die Diskussion meiner Daten gerettet.

Ich danke außerdem Uli Struck und Marianne Falk vom Isotopenlabor des Museum für Naturkunde in Berlin. Ihnen verdanke ich meine Isotopenmessungen und ein besseres chemisches Verständnis. Ein weiterer Dank gebührt Friedel Hinz, Bank Beszteri und Sean, die mir so unglaubliches Glück am Rasterelektronenmikroskop bescherten.

Und umarme zu guter Letzt meine liebe Freundin Imke Gudenschwager und meinen Freund Jörn Gollisch, die zum einen Korrektur gelesen und zum anderen – und das ist viel wichtiger – für die mentale Unterstützung im Hintergrund sorgten. Das gilt ebenso für meine liebe Mama, die unbeirrt davon überzeugt ist, dass ich eine gute Wissenschaftlerin abgeben würde... Das machte mir Mut. Genauso wie ein kleiner schwarzer Anker...

Danke!

8. Literaturverzeichnis

- Arrigo KR. 2014. Sea ice ecosystems. *Annual Review of Marine Science*. 6:439–67
- Boetius A, Albrecht S, Bakker K, Bienhold C, Felden J, et al. 2013. Export of Algal Biomass from the Melting Arctic Sea Ice. *Science*. 339(6126):1430–32
- Bradstreet MSW, Cross WE. 1982. Trophic Relationships at High Arctic Ice Edges. *Arctic*. 35(1):1–12
- Carey AG, Boudrias MA. 1987. Feeding Ecology of *Pseudalibrotus* (= *Onisimus*) *litoralis* Kröyer (Crustacea: Amphipoda) on the Beaufort Sea Inner Continental Shelf. *Polar Biology*. 8:29–33
- Cross WE. 1982. Under-ice Biota at the Pond Inlet Ice Edge and in Adjacent Fast Ice Areas during Spring. *Arctic*. 35(1):13–27
- Gosselin M, Levasseur M, Wheeler PA, Horner RA, Booth BC. 1997. New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 44(8):1623–44
- David C, Flores H, Lange B, Rabe B. Eingereicht 2014. Community structure of under-ice fauna in the Eurasian central Arctic Ocean in relation of environmental properties of sea ice habitats. *Bisher nicht publiziert*.
- De Schepper S, Groeneveld J, Naafs BD a, Van Renterghem C, Hennissen J, et al. 2013. Northern hemisphere glaciation during the globally warm early Late Pliocene. *PLoS ONE*. 8(12):e81508
- Fetterer F, Knowles K, Meier W, Savoie M. 2002. Sea Ice Index. Monthly Mean Sea Ice Extent. *National Snow and Ice Data Boulder, Colorado USA*

-
- Hobson KA, Fisk A, Karnovsky N, Holst M, Gagnon J-M, Fortier M. 2002. A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 49:5131–50
- Hobson KA, Welch HE. 1992. Determination of trophic relationships within a High Arctic marine foodweb using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 84:9-18.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group 1 Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report 'Climate Change 2013': The Physical Science Basis. 2013.
- Johannessen OM, Miles MW. 2010. Critical vulnerabilities of marine and sea ice-based ecosystems in the high Arctic. *Regional Environmental Change*. 11(S1):239–48
- Kennedy H, Thomas DN, Kattner G, Haas C, Dieckmann GS. 2002. Particulate organic matter in Antarctic summer sea ice: concentration and stable isotopic composition. *Marine Ecology Progress Series*. 238:1–13
- Kraft A. 2012. Arctic pelagic amphipods - community patterns and life-cycle history in a warming Arctic Ocean. *Doktorarbeit, Universität Bremen*, 1–181
- Lehninger AL. 1982. *Principles of Biochemistry*. New York, NY: Worth Publishers
- MacGilchrist GA, Naveira Garabato AC, Tsubouchi T, Bacon S, Torres-Valdés S, Azetsu-Scott K. 2014. The Arctic Ocean carbon sink. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 86:39–55
- Macnaughton MO, Thormar J, Berge J. 2007. Sympagic amphipods in the Arctic pack ice: redescrptions of *Eusirus holmii* Hansen, 1887 and *Pleusymtes karstensi* (Barnard, 1959). *Polar Biology*. 30(8):1013–25
- McConnaughey T, McRoy CP. 1979. Food-Web structure and the fractionation of Carbon isotopes in the bering sea. *Marine Biology*. 53:257–62

-
- Montresor M, Lovejoy C, Orsini L, Procaccini G, Roy S. 2003. Bipolar distribution of the cyst-forming dinoflagellate *Polarella glacialis*. *Polar Biology*. 26:186–94
- Newsome SD, Clementz MT, Koch PL. 2010. Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*. 1–64
- Post E, Forchhammer MC, Bret-Harte MS, Callaghan T V, Christensen TR, et al. 2009. Ecological dynamics across the Arctic associated with recent climate change. *Science*. 325:1355–58
- Schlitzer R. 2004. Export Production in the Equatorial and North Pacific Derived from Dissolved Oxygen, Nutrient and Carbon Data. *Journal of Oceanography*. 60:53–62
- Schmidt K, Atkinson A, Petzke K-J, Voss M, Pond DW. 2006. Protozoans as a food source for Antarctic krill, *Euphausia superba*: Complementary insights from stomach content, fatty acids, and stable isotopes. *Limnology and Oceanography*. 51(5):2409–27
- Sharp Z. 2007. *Principles of Stable Isotope Geochemistry*. Upper Saddle River, NJ 07458: Pearson Education, Inc.
- Søreide JE, Hop H, Carroll ML, Falk-Petersen S, Hegseth EN. 2006. Seasonal food web structures and sympagic–pelagic coupling in the European Arctic revealed by stable isotopes and a two-source food web model. *Progress in Oceanography*. 71(1):59–87
- Syvertsen EE. 1991. Ice algae in the Barents Sea : types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. *Polar Research*. 10(1):277–87
- Tameler T, Søreide JE, Hop H, Carroll ML. 2006. Fractionation of stable isotopes in the Arctic marine copepod *Calanus glacialis*: Effects on the isotopic composition of marine particulate organic matter. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 333:231–40

-
- Van Franeker JA, Flores H, Van Dorssen M. 2009. The Surface and Under Ice-Trawl (SUIT). In: Flores H. Frozen Desert Alive - The Role of Sea Ice for Pelagic Macrofauna and its Predators. Doktorarbeit, Universität Groningen. 181–188.
- Wassmann P, Duarte CM, Agustí S, Sejr MK. 2011. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biology*. 17:1235–49
- Werner I. 1997. Grazing of Arctic under-ice amphipods on sea-ice algae. *Marine Ecology Progress Series*. 160:93–99
- Westheide W, Rieger R, Rieger G. 2009. Spezielle Zoologie. Teil 2: Wirbel oder Schädeltiere. Spektrum Akademischer Verlag. 853-4.
- Wolf-Gladrow DA, Zeebe RE, Klaas C, Körtzinger A, Dickson AG. 2007. Total alkalinity: The explicit conservative expression and its application to biogeochemical processes. *Marine Chemistry*. 106:287–300

Internetquellen

Daten zur Meereiskonzentration für den 16. September 2012 (in Abb. 2) vom Institut für Umweltphysik der Universität Bremen:

<http://www.iup.uni-bremen.de/iuppage/psa/2001/amsrop.html>

AWI Plankton net

http://planktonnet.awi.de/index.php?contenttype=image_details&itemid=58736#content

WoRms:

<http://www.marinespecies.org/index.php>

9. Anhang



Abb. 13: Der Eisamphipode
Onisimus glacialis unter dem
Stereomikroskop, ca. 1 cm groß

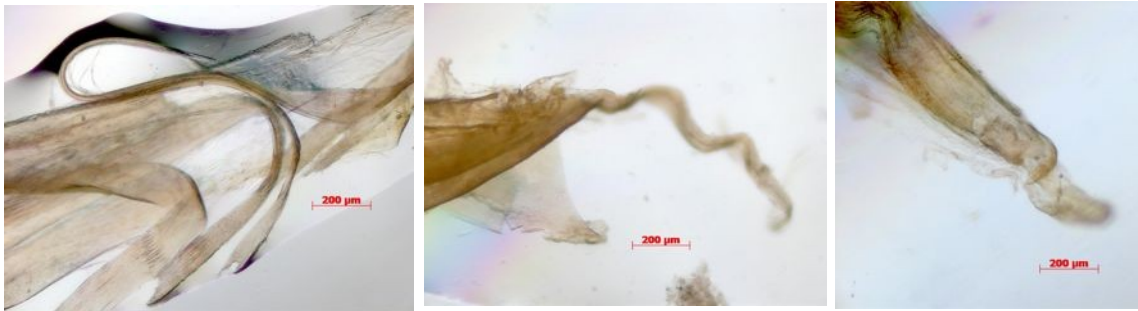


Abb. 14: adulte Appendikularien unter dem Inversmikroskop

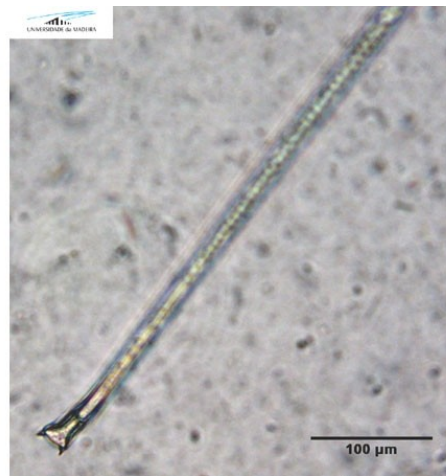


Abb. 15 und 16: *Amphisolenia bidentata*;

Fotos von Fatima Santos:

http://planktonnet.awi.de/index.php?contenttype=image_details&itemid=58736#content

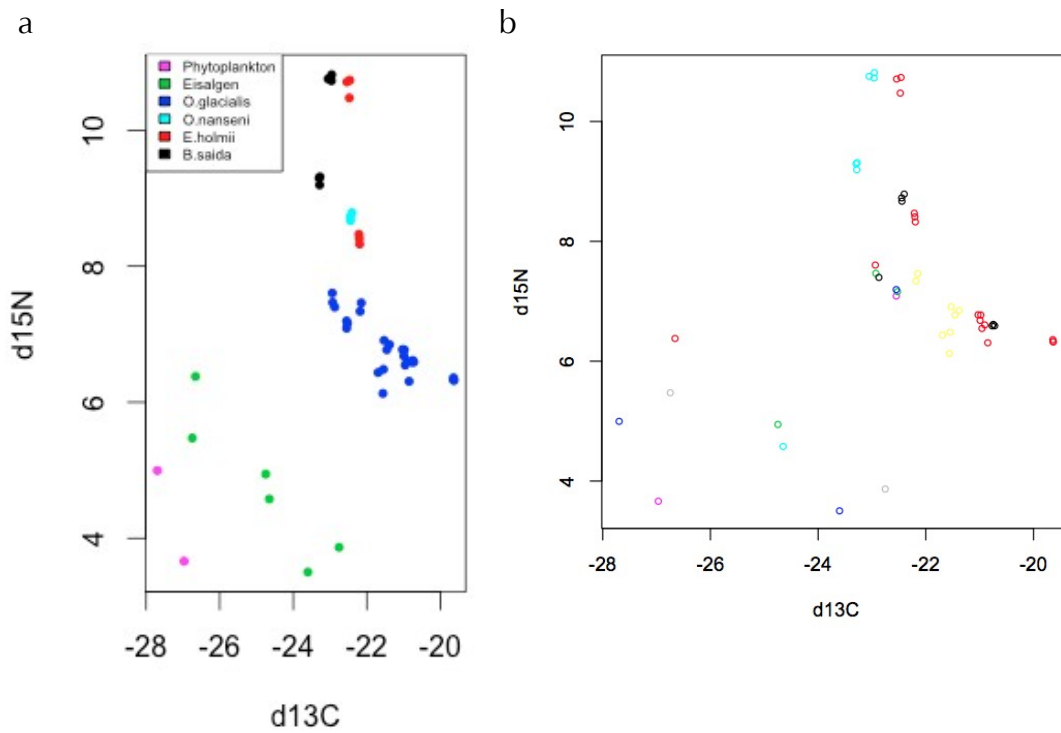


Abb. 17: $\delta^{15}\text{N}$ gegen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Amphipoden und Polardorsch sowie pelagischen und Eiskern-Proben geordnet nach Taxon in a; in b sind sie farblich nach Station geordnet. Eine räumliche Variabilität wird sichtbar.

1. Daten zu Magen- und Darmanalyse

ARK 27-3: Magen- & Darmanalyse *Onisimus glacialis*

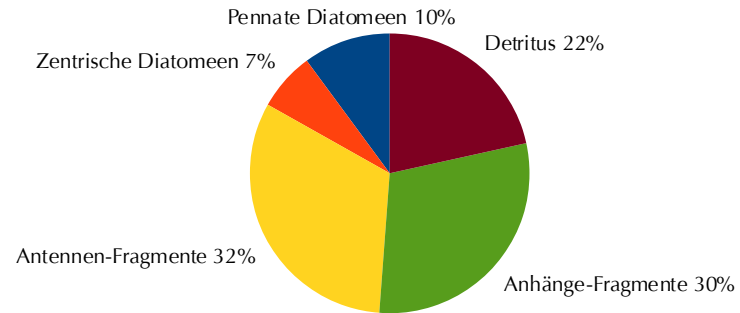
Station Nr.		276			285			
ID	ARK27-3_	F061	0035_1	mean	F041	F042	F043	mean
Inhalt								
Pennate Diatomeen	total	27	3	15	25	9	21	18.33
	ganz	20	2	11	20	3	15	12.67
	> halb	2		2	1	2		1.50
	halb	5	1	3	4	4	6	4.67
	< halb	0		0	0	0	0	0.00
Zentrische Diatomeen	total	4	16	10	1	0	9	3.33
	ganz	1	7	4			5	5.00
	> halb	2	2	2	0	0	0	0.00
	halb	1	3	2	1	0	3	1.33
	< halb	0	4	2	0	0	1	0.33
große Protisten-Hüllen	total	501	189	345	497	506	292	431.67
Kleine Protisten-Hüllen	total	0	216	108	35	30	371	145.33
Ovale Objekte	total	0	139	69.5	0	25	85	36.67
Runde Objekte/Zysten	total	0		0	7	16	26	16.33
Antennenfragmente	total	50	45	47.5	48	26	12	28.67
	klein < 200 µm	39	9	24	20	19	8	15.67
	groß > 200 µm	11	36	23.5	28	7	4	13.00
Anhängefragmente	total	78	10	44	9	30	13	17.33
	klein < 200 µm	58	4	31	6	21	9	12.00
	groß > 200 µm	20	6	13	3	9	4	5.33
Detritus	total	14	50	32	34	9	190	77.67
	klein < 70 µm	10	48	29	20	4	175	66.33
	mittel 70-200 µm	4	2	3	13	5	10	9.33
	groß > 200 µm	0		0	1	0	5	2.00
Filamente	total	0	108	54	669	9	14	230.67
Sonstige	total	0	9	4.5	12	32	9	17.67

1. Daten zu Magen- und Darmanalyse

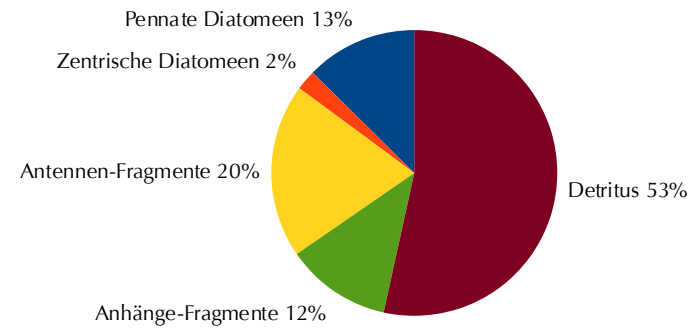
ID	ARK27-3_	F100	F103	F113	F114	F115	F116	F120	mean	alle Stationen
Inhalt										
Pennate Diatomeen	total	23	59	33	67	29	1	837	149.86	1134
	ganz	20	30	26	16	10	1	189	41.71	352
	> halb		8	2	9	2		162	36.60	188
	halb	3	21	5	22	12		378	73.50	461
	< halb				20	5		108	44.33	133
Zentrische Diatomeen	total	0	29	4	1	19	6	10	9.86	99
	ganz			1	1	18	6	8	6.80	47
	> halb		7	2					4.50	13
	halb		5	1					3.00	14
	< halb		17			1		2	6.67	25
große Protisten-Hüllen	total	274	246	164	756	189	351	215	313.57	4180
Kleine Protisten-Hüllen	total	127	33	377	1539	945	378	34	490.43	4085
Ovale Objekte	total	223	50	79	52	1404	540	105	350.43	2702
Runde Objekte/Zysten	total	88	42	46	14	31	24	11	36.57	305
Antennenfragmente	total	52	32	9	97	2	1	8	28.71	382
	klein < 200 µm	52	20	7	89	2	1	8	25.57	274
	groß > 200 µm		12	2	8				7.33	108
Anhängefragmente	total	8	29	8	66	4	6	2	17.57	263
	klein < 200 µm	7	26	8	63	4	4	2	16.29	212
	groß > 200 µm	1	3		3		2		2.25	51
Detritus	total	82	81	12	16	20	65	81	51.00	654
	klein < 70 µm	60	69	5	5	16	59	66	40.00	537
	mittel 70-200 µm	19	12	6	8	4	4	14	9.57	101
	groß > 200 µm	3		1	3		2	1	2.00	16
Filamente	total	99		82	7	2862	2457	1188	1115.83	7495
Sonstige	total	0	1	9	10	2	8	24	7.71	116

1. Daten zu Magen- und Darmanalyse

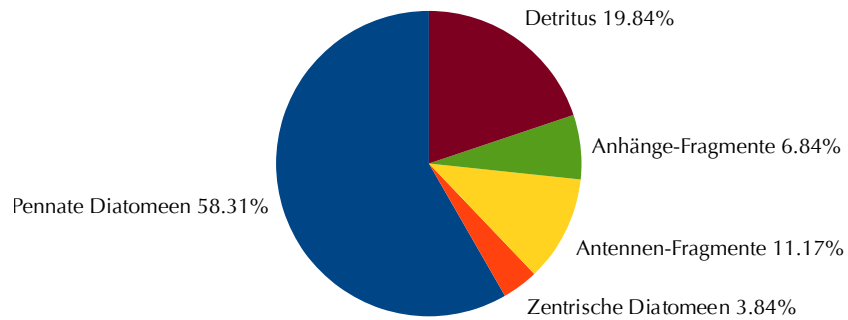
Mittel Station 276
NUR Diatomeen, Antennen- & Anhäng-Fragmente und Detritus



Mittel Station 285
NUR Diatomeen, Antennen- & Anhäng-Fragmente und Detritus



Mittel Station 321
NUR Diatomeen, Antennen-, Anhäng-Fragmente und Detritus



2. Daten zu Isotopenmessungen

MESSUNGEN STABILER ISOTOPE C UND N

Filterhälften ungesäuert

Station	ID	Taxon	d15N	mgN/Probe	d13C	mgC/Probe	C:N	L	D13C_lipid_korr
224	F162-1	Eiskern	3,503	0,070	-23,602	1,295	18,452	73,561	-20,070
237	F170-1	Eiskern	3,867	0,085	-22,753	1,391	16,421	71,294	-19,339
255	F177-1	Eiskern	4,944	0,067	-24,747	1,161	17,207	72,232	-21,284
277	F182-1	Eiskern	6,379	0,031	-26,657	0,450	14,589	68,743	-23,377
323	F184-1	Eiskern	4,942	0,091	NA	NA	NA	NA	NA
335	F187-1	Eiskern	4,577	0,077	-24,649	1,288	16,811	71,770	-21,210
349	F193-1	Eiskern	5,473	0,084	-26,745	1,541	18,238	73,345	-23,224
220	F153-1	pelagisch	3,663	0,060	-26,968	0,310	5,208	32,058	-25,859
270	F179-1	pelagisch	4,996	0,049	-27,695	0,349	7,091	46,253	-25,689
341	F186-1	pelagisch	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Mittelwerte	d15N	± Stabw	d13C	± Stabw
pelagisch	4,330	0,943	-25,774	0,120
Eiskern	4,812	0,965	-21,417	1,631

2. Daten zu Isotopenmessungen

MESSUNGEN STABILER ISOTOPE C UND N

Filterhälften gesäuert

Station	ID	Taxon	d 15N/14N	mgN/Probe	d 13C/12C	mgC/Probe	C:N	L	d13C_lipid_korr
224	F162	Eiskern	2,995	0,075	-23,942	1,250	16,772	71,723	-20,505
237	F170	Eiskern	4,110	0,076	-22,949	1,247	16,373	71,234	-19,538
255	F177	Eiskern	4,444	0,062	-24,956	1,142	18,324	73,433	-21,431
277	F182	Eiskern	6,863	0,026	-26,235	0,372	14,560	68,698	-22,958
323	F184	Eiskern	4,107	0,083	-26,815	1,078	13,053	66,091	-23,677
335	F187	Eiskern	-3,243	0,053	-25,105	0,881	16,556	71,461	-21,682
341	F186	Eiskern	15,529	0,052	-28,123	0,333	6,387	41,795	-26,391
220	F153	pelagisch	5,393	0,070	-26,716	0,345	4,926	29,156	-25,800
270	F179	pelagisch	1,296	0,038	-27,901	0,272	7,070	46,132	-25,903
349	F193	pelagisch	3,916	0,089	-26,995	1,574	17,690	72,769	-23,504

Mittelwerte	d15N	± Stabw	d13C	± Stabw
pelagisch	3,54	2,07	-25,07	1,36
Eiskern	4,97	5,60	-22,31	1,76

2. Daten zu Isotopenmessungen

MESSUNGEN STABILER ISOTOPE C UND N

Amphipoden und Polardorsch

Station	ID	Taxon	d15N	mgN/Probe	d13C	mgC/Probe	C/N	L	d13C_lipid_korr
324	F104-1	O.nanseni	8,669	0,041	-22,444	0,415	10,211	59,265	-19,681
325	F104-2	O.nanseni	8,788	0,040	-22,402	0,406	10,210	59,264	-19,639
326	F104-3	O.nanseni	8,725	0,046	-22,448	0,465	10,132	59,028	-19,698
276	F058-1	O.glacialis	7,088	0,050	-22,548	0,555	11,032	61,569	-19,657
276	F058-2	O.glacialis	7,160	0,047	-22,526	0,507	10,853	61,095	-19,661
276	F058-3	O.glacialis	7,195	0,051	-22,549	0,561	11,016	61,528	-19,660
276	F059-1	O.glacialis	7,604	0,058	-22,938	0,542	9,420	56,706	-20,319
276	F059-2	O.glacialis	7,466	0,057	-22,928	0,543	9,511	57,018	-20,292
276	F059-3	O.glacialis	7,398	0,055	-22,872	0,529	9,565	57,202	-20,225
276	F060-1	O.glacialis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
276	F060-2	O.glacialis	7,461	0,052	-22,150	0,525	10,046	58,764	-19,415
276	F060-3	O.glacialis	7,336	0,049	-22,182	0,499	10,167	59,133	-19,426
285	F038-1	O.glacialis	6,909	0,051	-21,529	0,528	10,397	59,818	-18,735
285	F038-2	O.glacialis	6,772	0,055	-21,456	0,560	10,171	59,145	-18,700
285	F038-3	O.glacialis	6,847	0,047	-21,381	0,473	10,110	58,958	-18,635
285	F039-1	O.glacialis	6,129	0,090	-21,562	0,934	10,426	59,902	-18,763
285	F039-2	O.glacialis	6,437	0,049	-21,692	0,505	10,390	59,796	-18,899
285	F039-3	O.glacialis	6,483	0,048	-21,548	0,496	10,355	59,695	-18,761
321	F097-1	O.glacialis	6,590	0,050	-20,767	0,519	10,433	59,922	-17,967
322	F097-2	O.glacialis	6,614	0,049	-20,747	0,498	10,188	59,198	-17,988
323	F097-3	O.glacialis	6,591	0,054	-20,722	0,553	10,179	59,171	-17,964
327	F117-1	O.glacialis	6,774	0,050	-21,030	0,524	10,508	60,138	-18,218
328	F117-2	O.glacialis	6,771	0,043	-20,979	0,449	10,346	59,667	-18,193
329	F117-3	O.glacialis	6,681	0,049	-20,992	0,504	10,191	59,207	-18,232
330	F118-1	O.glacialis	6,327	0,049	-19,636	0,470	9,560	57,186	-16,990

2. Daten zu Isotopenmessungen

331	F118-2	O.glacialis	6,322	0,049	-19,632	0,481	9,781	57,922	-16,944
332	F118-3	O.glacialis	6,359	0,047	-19,641	0,446	9,579	57,252	-16,991
333	F119-1	O.glacialis	6,546	0,052	-20,957	0,559	10,656	60,555	-18,122
334	F119-2	O.glacialis	6,307	0,069	-20,849	0,729	10,581	60,343	-18,026
335	F119-3	O.glacialis	6,605	0,048	-20,904	0,501	10,451	59,973	-18,101
258	F001-1	E.holmii	10,474	0,144	-22,474	0,708	4,923	29,129	-21,560
258	F001-2	E.holmii	10,734	0,079	-22,461	0,383	4,865	28,493	-21,590
258	F001-3	E.holmii	10,709	0,076	-22,541	0,373	4,909	28,979	-21,637
258	F002-1	E.holmii	8,409	0,076	-22,204	0,472	6,196	40,437	-20,556
258	F002-2	E.holmii	8,469	0,071	-22,214	0,433	6,114	39,826	-20,605
258	F002-3	E.holmii	8,325	0,109	-22,194	0,680	6,221	40,615	-20,535
258	P281-1	B.saida	10,726	0,201	-22,962	0,696	3,458	8,116	-23,561
258	P281-2	B.saida	10,754	0,148	-23,052	0,507	3,427	7,533	-23,695
258	P281-3	B.saida	10,815	0,142	-22,955	0,488	3,427	7,517	-23,600
276	P301-1	B.saida	9,314	0,122	-23,274	0,450	3,699	12,469	-23,542
276	P301-2	B.saida	9,194	0,258	-23,283	0,957	3,705	12,575	-23,543
276	P301-3	B.saida	9,294	0,126	-23,296	0,468	3,713	12,710	-23,546

Mittelwerte	d15N	± Stabw	d13C	± Stabw
O.nanseni	8,73	0,06	-19,67	0,03
O.glacialis	6,80	0,42	-18,65	0,97
E.holmii	9,52	1,23	-21,08	0,16
B.saida	10,02	0,82	-23,58	0,17

**Erklärung gem. § 23 Abs. 9 AT der Bachelor-PO
der Universität Bremen**

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtliche oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Weiterhin erkläre ich, dass die Bachelorarbeit in unveränderter Fassung der Öffentlichkeit zur Verfügung / nicht zur Verfügung* gestellt werden kann.

*Zutreffendes bitte markieren

Ort/Datum: Bremen, 2. Juli 2014

Unterschrift: Karl Schraaf