

# Winterliche Meereislebensgemeinschaft im nordwestlichen Weddellmeer

Diplomarbeit

im Fach Biologie

Universität Bremen, Fachbereich 2

Bremen

In Kooperation mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

Bremerhaven

vorgelegt von

Julia Hager

Bremen, Dezember 2008

Erstgutachter: Prof. Dr. Victor Smetacek

Zweitgutachter: Prof. Dr. Kai Bischof

Praktische Betreuung: Dr. Philipp Assmy, Dr. Gerhard S. Dieckmann



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>XI</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Südlicher Ozean und Weddellmeer .....	1
1.2.    Das Meereis .....	1
1.3.    Die Meereislebensgemeinschaft .....	2
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>7</b>
2.1.    Untersuchungsgebiet und Probennahme .....	7
2.2.    Bestimmung der biologischen Parameter und Fixierung für mikroskopische Untersuchungen. .....	11
2.3.    Untersuchungen zur Taxonomie und Abundanz der Meereislebensgemeinschaft .....	12
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>19</b>
3.1.    Allgemeines zur Eissituation .....	19
3.2.    Temperatur und Salzgehalt im Eis .....	20
3.3.    Textur des Eises .....	21
3.4.    Nährsalze im Meereis .....	24
3.5.    Chlorophyll a, Phaeo-Pigment, POC und PON, DOC und DON .....	28
3.6.    Die Lebensgemeinschaft im Winter-Meereis .....	33
3.6.1. Die Diatomeengesellschaft im Meereis .....	37
3.6.2. Andere autotrophe und heterotrophe Protisten im Meereis .....	46
3.6.3. Nicht-identifizierte Organismen und Partikel und neue Arten .....	50
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>53</b>
4.1.    Das Leben der Meereisorganismen im Winter .....	54
4.1.1. Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W .....	54
4.1.2. Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W .....	57
4.1.3. Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W .....	58
4.1.4. Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W .....	60

4.1.5. Vergleich der Stationen .....	62
4.1.6. Trophische Interaktionen zwischen den Meereisorganismen .....	67
4.1.7. Pollen, Konidien und nicht-identifizierte Organismen und Partikel .....	69
<b>5. Schlussfolgerung und Ausblick .....</b>	<b>70</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>73</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>79</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>83</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>85</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets.....	7
<b>Abbildung 2:</b> Schematische Darstellung des Probennahmeablaufs .....	10
<b>Abbildung 3:</b> Schematische Darstellung der Weiterverarbeitung des CHL-Kerns.....	12
<b>Abbildung 4:</b> Lichtmikroskopische Aufnahmen von <i>Fragilariopsis spp.</i> .....	14
<b>Abbildung 5:</b> Lichtmikroskopische Aufnahmen verschiedener Diatomeen .....	16
<b>Abbildung 6:</b> Meereiskonzentration im Weddellmeer .....	19
<b>Abbildung 7:</b> Vertikalprofile von Temperatur und Salzgehalt.....	22
<b>Abbildung 8:</b> Textur der Eiskerne.....	24
<b>Abbildung 9:</b> Vertikalprofile der Nährsalz-Konzentrationen.....	26
<b>Abbildung 10:</b> Vertikalprofile der biologischen Parameter. ....	29
<b>Abbildung 11:</b> Vertikale Verbreitung der Meereisgesellschaft.....	34
<b>Abbildung 12:</b> Lichtmikroskopische Aufnahmen verschiedener Diatomeen .....	36
<b>Abbildung 13:</b> Elektronen- und lichtmikroskopische Aufnahme verschiedener Partikel .....	37
<b>Abbildung 14:</b> Übersicht über Diatomeen-Abundanz und -Biomasse.....	39
<b>Abbildung 15:</b> Diatomeen-Abundanz und –Biomasse bei Station 554.....	40
<b>Abbildung 16:</b> Diatomeen-Abundanz und –Biomasse bei Station 562.....	41
<b>Abbildung 17:</b> Diatomeen-Abundanz und –Biomasse bei Station 577.....	43
<b>Abbildung 18:</b> Diatomeen-Abundanz und –Biomasse bei Station 578.....	44
<b>Abbildung 19:</b> Anteile voller Diatomeenzellen, leerer Schalen und Bruch.....	45
<b>Abbildung 20:</b> Lichtmikroskopische Aufnahme einer Meereisgesellschaft. ....	46
<b>Abbildung 21:</b> Vertikale Verbreitung der auto- und heterotrophen Protisten.....	47
<b>Abbildung 22:</b> Lichtmikroskopische Aufnahmen verschiedener Protisten.....	49
<b>Abbildung 23:</b> Lichtmikroskopische Aufnahmen nicht-identifizierter Organismen und Partikel .....	50
<b>Abbildung 24:</b> Elektronenmikroskopische Aufnahmen von <i>Thaumatostix sp</i> .....	51
<b>Abbildung 25:</b> Grafische Darstellung der Textur mit der Verteilung der Diatomeen- und Protistenabundanz.....	64



## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Übersicht über die untersuchten Eiskerne .....	8
<b>Tabelle 2:</b> Eis- und Umweltbedingungen an den Stationen.....	20
<b>Tabelle 3:</b> Konzentrationsbereiche der verschiedenen Nährsalze .....	25
<b>Tabelle 4:</b> Verhältnisse der gelösten Nährsalze.....	33
<b>Tabelle 5:</b> Vorkommen ausgewählter Diatomeen-Arten.....	38
<b>Tabelle 6:</b> Übersicht über dominante und begleitende Diatomeenarten.....	66





## Abkürzungsverzeichnis

AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
bzw.	beziehungsweise
Chl a	Chlorophyll a
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (Dissolved organic carbon)
DON	Gelöster organischer Stickstoff (Dissolved organic nitrogen)
LS	Larsen-Schelfeisregion
POC	Partikulärer organischer Kohlenstoff (Particular organic carbon)
PON	Partikulärer organischer Stickstoff (Particular organic nitrogen)
SOI	South Orkney Insel-Region
St.	Station
Stn.	Stationen
u.a.	und andere
z.B.	zum Beispiel



## Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden Eiskerne an vier Stationen aus einjährigem Meereis des nordwestlichen Weddellmeers untersucht, die während der Expedition ANT XXIII-7 / WWOS mit FS *Polarstern* im antarktischen Winter (August – Oktober 2006) gewonnen wurden. Je zwei Stationen lagen in der Nähe der South Orkney Islands (SOI) bzw. des Larsen-Schelfeises (LS), wobei drei Packeis-Schollen (SOI und LS) und eine Festeis-Scholle (LS) beprobt wurden. Die Eiskerne wurden in Segmente geschnitten und nach dem Auftauen fixiert. Die qualitativen und quantitativen Analysen der Meereislebensgemeinschaften wurden mit Hilfe von Licht- und Elektronenmikroskopie durchgeführt. Zusätzlich wurden die biotischen und abiotischen Parameter bestimmt (Chlorophyll a- und Phaeo-Pigment-Konzentration, POC, PON, DOC, DON, die Nährsalze  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SiO}_4$  und  $\text{PO}_4$ , Temperatur und Laugen- und Gesamteis-Salzgehalt, Eistextur), um diese der Verteilung der Meereisorganismen gegenüberstellen zu können.

Bedingt durch die höchst unterschiedliche Eistextur wurden drei verschiedene Besiedlungsmuster ermittelt: Innereis- und Bodengesellschaft (SOI), Oberflächen- und Innereisgesellschaft (SOI) und Bodengesellschaft (LS) im Packeis und eine Bodengesellschaft (LS) im Festeis. Diatomeen dominierten in allen Eiskernen in Abundanz und Biomasse. Die höchsten Zellzahlen entwickelten jeweils die kleinen pennaten *Fragilariopsis cylindrus* und die neu eingeordnete *F. nana* im Packeis; das Maximum wurde in der Oberflächen- und Innereisgesellschaft im SOI-Gebiet erreicht. Im Festeis dominierten *Pseudo-nitzschia turgiduloides*, *Fragilariopsis ritscheri* und *F. sublinearis* in der Bodengesellschaft. Die größten Biomassen bildeten *Berkeleya rutilans*, *Entomoneis* sp. und *Nitzschia stellata* im Packeis im LS-Gebiet aus. Die Zahl der anderen auto- und heterotrophen Protisten war in allen Kernen relativ gering. Bei den mikroskopischen Untersuchungen wurden auch Pollenkörner, Pilz-Konidien und ein bisher noch nicht identifizierter Flagellat gefunden.

Die hoch variablen biotischen und abiotischen Parameter korrelierten nur in einigen Fällen mit der vertikalen Verteilung der Organismen.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen hinsichtlich der Organismenverteilung, Artenzusammensetzung und Abundanz können nicht auf die regionale Herkunft der beprobten Eisschollen zurückgeführt werden, sondern resultieren vermutlich aus den hydrographischen und meteorologischen Bedingungen während der Eisbildung.



## Abstract

For the present study first-year sea ice cores from four sample stations in the northwestern Weddell Sea collected during R/V *Polarstern* expedition ANT XXIII-7 / WWOS in Antarctic winter (August – October 2006) were analyzed. Two stations were located in the vicinity of the South Orkney Islands (SOI), the other two in the Larsen shelf ice region (LS). Three cores were achieved from pack ice floes (SOI, LS), the other one from a fast ice floe (LS). Ice cores were cut into segments and fixed after melting. Qualitative and quantitative analyses of the sea ice communities were conducted using light and scanning electron microscopy. Additionally, biotic and abiotic parameters (chlorophyll a and phaeopigment concentrations, POC, PON, DOC, DON, the nutrients  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SiO}_4$  and  $\text{PO}_4$ , temperature and bulk and brine salinities) were determined in order to compare these data with the vertical distribution of sea ice organisms.

Three different colonization patterns could be identified subjected to highly variable ice texture: interior and bottom community (SOI), surface and interior community (SOI) and bottom community (LS) in pack ice and bottom community in fast ice (LS). Diatoms dominated in all ice cores regarding abundance and biomass. The small pennates *Fragilariopsis cylindrus* and the newly classified *F. nana* were most abundant in pack ice; the maximum was achieved in surface and interior community in SOI area. In fast ice, *Pseudonitzschia turgiduloides*, *Fragilariopsis ritscheri* and *F. sublinearis* dominated the bottom community. Highest biomass was built by *Berkeleya rutilans*, *Entomoneis sp.* and *Nitzschia stellata* in pack ice in LS region. Abundances of the remaining autotroph and heterotroph protists were relatively low in all cores. During microscopic analyses even pollen grains, conidia of fungi and a so far unidentified flagellate were observed.

Due to the variability of biotic and abiotic parameters correlation with vertical organism distribution could be detected in some cases.

Differences between single stations regarding organism distribution, species composition and abundance could not be attributed to the regional origin of sampled ice floes. Moreover, they probably result from hydrographic and meteorological conditions during freezing.



# 1. Einleitung

## 1.1. Südlicher Ozean und Weddellmeer

Der ringförmige Südliche Ozean, dessen Grenzen die antarktische Konvergenz bei etwa 50 °S im Norden und der antarktische Kontinent im Süden sind, verbindet über den zyklonischen antarktischen Zirkumpolarstrom die großen Ozeane Pazifik, Atlantik und Indik miteinander und stellt somit die wichtigste Komponente im globalen Förderband der Meeresströmungen dar. Die Küstenregionen um den antarktischen Kontinent sind gekennzeichnet von schmalen und tiefen Kontinentalschelfen (Carmack, 1990). Ein weiteres Charakteristikum des Südlichen Ozeans sind die großen saisonalen Unterschiede in der Eisbedeckung mit  $4 \times 10^6 \text{ km}^2$  im März und  $20 \times 10^6 \text{ km}^2$  im September (Zwally et al., 1983). Da der Südliche Ozean nach Norden hin offen ist, wird das im Winter gebildete Meereis über divergente Strömungen größtenteils ungehindert in wärmere Gebiete transportiert (Arrigo et al., 2004b; Brierley et al., 2002), wo es mit Beginn des folgenden Frühjahrs schmilzt.

Nur in wenigen Regionen kann ein Teil des Meereises einen oder auch mehrere Sommer überdauern. Das Weddellmeer ist ein solches Gebiet, in dem neben einjährigem Eis große Flächen von mehrjährigem Eis anzutreffen sind (Brierley et al., 2002; Eicken, 1992). Es wird begrenzt von der Antarktischen Halbinsel mit dem Larsen-Eisschelf im Westen, dem Königin-Maud-Land im Osten, dem Filchner-Ronne-Eisschelf im Süden und dem antarktischen Zirkumpolarstrom im Norden. Unter dem Einfluss des zyklonischen Weddellwirbels und von starken Winden wird das im Winter gebildete Meereis hier in Richtung Nordwesten transportiert, wo es sich vor der Antarktischen Halbinsel akkumuliert. Dort wird das Eis durch den hohen Druck übereinander geschoben und erreicht durch starke Deformierung Dicken bis zu mehreren Metern (Hellmer et al., 2006). Im Sommer verbleibt ein Teil des Eises in dieser Region, da veränderte Windverhältnisse im Vergleich zum Winter und ein geringer ozeanischer Wärmefluss den Weitertransport des Eises in Richtung Norden (Hellmer et al., 2006) und somit auch das Schmelzen verhindern.

## 1.2. Das Meereis

Mit dem einsetzenden Winter wird der oberflächennahen Wasserschicht durch starke, kalte Winde viel Wärme entzogen (Eicken, 2003), wobei sich unter diesen turbulenten Bedingungen rasch hohe Konzentrationen von kleinen, runden Eiskristallen bilden. Mit Beruhigung der

Wassersäule sammeln sich die Eiskristalle an der Wasseroberfläche – inklusive der Organismen, die zwischen den Kristallen eingeschlossen werden (Garrison et al., 1989b) – und verfestigen sich dort über ‚Grease‘-und ‚Nilas‘-Eis schließlich zu Pfannkuchen-Eis (Eicken, 2003; Ackley et al., 1994). Durch ständige Strömungen und Winde stoßen die pfannkuchenförmigen Schollen zusammen, werden durch weitere Gefrierprozesse miteinander verbunden und formen schließlich eine geschlossene Packeisdecke, die typischerweise von granulärer Struktur ist (Arrigo, 2003). Nicht selten werden dabei auch mehrere Schollen übereinander geschoben. Mit fortschreitendem Eiswachstum entwickelt sich ein System von Laugenkanälchen, in dem sich die während der Eisbildung abgestoßenen Salzionen (Eicken, 2003) sammeln und so den Salzgehalt erhöhen. Zwischen diesem Laugensalzgehalt und der Eistemperatur besteht ein thermodynamisches Gleichgewicht: die Temperatur beeinflusst direkt das Volumen der Kanälchen und somit den Salzgehalt darin, d.h. mit sinkender Temperatur frieren die Kanäle stärker zu, was den Salzgehalt dort ansteigen lässt und umgekehrt (Eicken, 2003; Weissenberger, 1992). Tiefe Lufttemperaturen im antarktischen Winter können die Eistemperaturen stark herabsetzen ( $< -5$  °C), wodurch der Salzgehalt in den Laugenkanälchen auf über 100 ansteigen kann (Kottmeier et al., 1988). Unter der verfestigten Eisdecke setzt sich das vertikale Eiswachstum fort, indem der Eisoberfläche aufgrund tiefer Lufttemperaturen Wärme entzogen wird. Da die Wassersäule nun durch die aufliegende Eisdecke vor Wind geschützt und somit wenig bewegt ist, wird hauptsächlich säulenförmiges Eis mit vertikal orientierten, nadelförmigen Kristallen gebildet. Dieses thermodynamische Wachstum ist bis zu einer Dicke von etwa 60 Cm möglich (Wadhams et al., 1987). Weiteres, schnelles Wachstum ist dann nur noch in der Nähe von offenen Wasserflächen wie Polynyas oder Leads möglich, die häufig durch katabatische Winde in Küstennähe entstehen, wo starke Temperaturgradienten herrschen. Festeis, das direkt ans Schelfeis anfriert, wird hingegen meist unter wesentlich ruhigeren Bedingungen gebildet und besteht fast ausschließlich aus säulenförmigem Eis.

### **1.3. Die Meereisgemeinschaft**

Im Jahr 1819 schrieb Captain William Parry folgende Worte über das Meereis in sein Tagebuch: „einmalig in seiner zerstörerischen Kraft, aber unproduktiv und uninteressant“ (Fogg, 2003). Bereits wenige Jahrzehnte später widerlegten Hooker (Hooker, 1847) und Ehrenberg (Ehrenberg, 1853) diese Aussage mit ihren Berichten von Organismen im Meereis. Es vergingen jedoch noch 100 Jahre, bis erste *in situ*-Untersuchungen in der Antarktis mit der



Arbeit von Bunt (1963) begannen. Bis heute wurden zahlreiche Studien veröffentlicht, die sich mit der Artenzusammensetzung der Meereislebensgemeinschaft, ihrer vertikalen Verteilung im Eis und den damit zusammenhängenden physikalisch-chemischen Bedingungen beschäftigen (z.B. Arrigo et al., 2004a; Thomas et al., 2002a; Stoecker et al., 1998; Horner et al., 1992; Dieckmann et al., 1991; Kottmeier et al., 1988; Garrison et al., 1984; Garrison et al., 1982). Die vorliegende Arbeit nimmt Bezug auf folgende Erkenntnisse aus den angeführten Untersuchungen:

- die Meereisorganismen sind starken Temperatur-, Salzgehalts- und Licht-Gradienten ausgesetzt, die zudem sehr variabel sind
- die Meereisorganismen wurden hinsichtlich ihrer vertikalen Verteilung in drei Gesellschaften eingeteilt: Oberflächen-, Innereis- und Bodengesellschaft
- die vertikale Verteilung der Organismen im Eis ist von folgenden Faktoren abhängig:
  - von der Entwicklungsgeschichte einer Eisscholle und der daraus resultierenden Eistextur
  - von der Höhe der Schneeeauflage, die bei hohen Schneedicken die Nährsalzversorgung auch an der Eisoberfläche ermöglicht, jedoch gleichzeitig die Lichtverfügbarkeit herabsetzt
  - von den Konzentrationen der Nährsalze, die selten ausgeschöpft sind
- besonders Diatomeen können in Abhängigkeit von den genannten Umweltbedingungen hohe Abundanzen im Eis entwickeln
- Chlorophyll a-Konzentrationen können Werte von über  $1000\mu\text{g l}^{-1}$  erreichen, wofür hauptsächlich kleine pennate Diatomeen verantwortlich sind

Das Wintermeereis stellt für zahlreiche, in aktiven Stadien überwinterte Organismen ein lebenswichtiges Habitat dar. Die autotrophen Organismen, insbesondere Diatomeen, bilden die Nahrungsgrundlage sowohl für alle anderen sympagischen Organismen als auch für diejenigen, die im Wasser leben. Im Eis profitieren vor allem Protozoen, kleinere Copepoden, Nudibranchia (Nacktkiemerschnellen) und Turbellaria (Strudelwürmer) von den Primärproduzenten, (Kramer, 2007; Schnack-Schiel, 2003; Thomas et al., 2002a). Für größere Metazoen wie z.B. Krill (*Euphausia superba*), der im Nahrungsnetz des Südlichen Ozeans eine zentrale Rolle einnimmt, sind die Laugenkanälchen meist zu eng, weshalb sie die Algen nur

von der Eisunterseite abweiden können (Smetacek et al., 2005; Schnack-Schiel, 2003; Thomas et al., 2002a; Marschall, 1988).

Die Meereisorganismen selbst leben in den Laugenkanälchen, die während der Eisbildung entstehen und besiedeln wie oben erwähnt in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen verschiedene Bereiche im Eis. Oberflächen- oder oberflächennahe Gesellschaften können sich bilden, wenn das Eis im Bereich des Freeboards (Wasserlinie) mit Seewasser infiltriert oder die Eisscholle sogar überflutet wird, wodurch Nährsalze ins Eisinnere gelangen. Dies kommt vor allem bei Eisschollen vor, die durch das Gewicht einer hohen Schneeauflage ins Wasser gedrückt werden. Trotz der geringeren Lichtverfügbarkeit aufgrund der Schneedecke, sind Oberflächengesellschaften durch die Versorgung mit Nährsalzen hochproduktiv (Arrigo, 2003) und für den größten Teil der Produktion im Meereis verantwortlich (Legendre et al., 1992). Die Bildung von Innereisgesellschaften wird einerseits durch poröse Bereiche im Eis begünstigt, in die ebenfalls Seewasser einsickern kann (Arrigo, 2003). Andererseits können sich auch sogenannte Bändergesellschaften bilden, indem ursprüngliche Bodengesellschaften von neu gebildetem Eis oder anderen Schollen, die sich darunter geschoben haben, eingeschlossen werden (Horner et al., 1992). Die Produktivität solcher Gesellschaften ist eher gering (Clarke et al., 1984). Bodengesellschaften, die meist in den untersten 20 cm des Eises angesiedelt sind, treten am häufigsten auf (Arrigo, 2003). Die Organismen leben hier in der skelettartigen Schicht („skeletal layer“), die sehr porös und von großen Laugenkanälchen durchzogen ist (Weissenberger, 1992). Aufgrund des direkten Wasserkontakts ist die Nährsalzverfügbarkeit in dieser Schicht sehr gut. In jeder der beschriebenen Gemeinschaften sind die Organismen sehr konzentriert und für Räuber und Grazer leicht verfügbar. Diese hohen Konzentrationen sind jedoch auf ein sehr kleines Volumen bezogen und reichen daher an die Bestände in der Wassersäule nicht heran.

Die höchsten Abundanzen im Meereis entwickeln Diatomeen, hauptsächlich kleine pennate Formen, wobei *Fragilariopsis curta* und *F. cylindrus* hier die bedeutendsten Arten sind (Garrison et al., 1993a). Zur Biomasseproduktion tragen hauptsächlich sowohl größere pennate Formen wie *Entomoneis kjellmannii*., *Nitzschia lecointei* und *Pseudo-nitzschia turgiduloides* als auch einige zentrische Arten wie *Actinocyclus actinochilus*, *Corethron pennatum* und *Dactyliosolen tenuijunctum* bei (Garrison et al., 1993b). Weitere, typischerweise im Eis vertretene Diatomeen-Gattungen sind *Haslea*, *Navicula*, *Cylindrotheca*, *Berkeleya* und *Eucampia*.

Andere auto- und heterotrophe Protisten, die das Meereis besiedeln, sind Dinoflagellaten, nackte Flagellaten unterschiedlichster Größe (< 5 bis zu > 100 µm) und Ciliaten. Der bedeutendste Flagellat ist die Prymnesiophyceae *Phaeocystis sp.*, die dichte Kolonien mit Zellzahlen bis zu  $5 \times 10^7 \text{ l}^{-1}$  aufbauen kann (Garrison et al., 1989a).

Allerdings haben bislang nur wenige Studien die Lebensgemeinschaft im Wintermeereis des Weddellmeers beschrieben und bis auf Artniveau bestimmt (Garrison et al., 1993b; Bartsch, 1989). Die Arbeit von Bartsch (1989) liefert als einzige auch Daten zu der vertikalen Verbreitung einzelner Arten im Eis, jedoch nur für das östliche Weddellmeer.

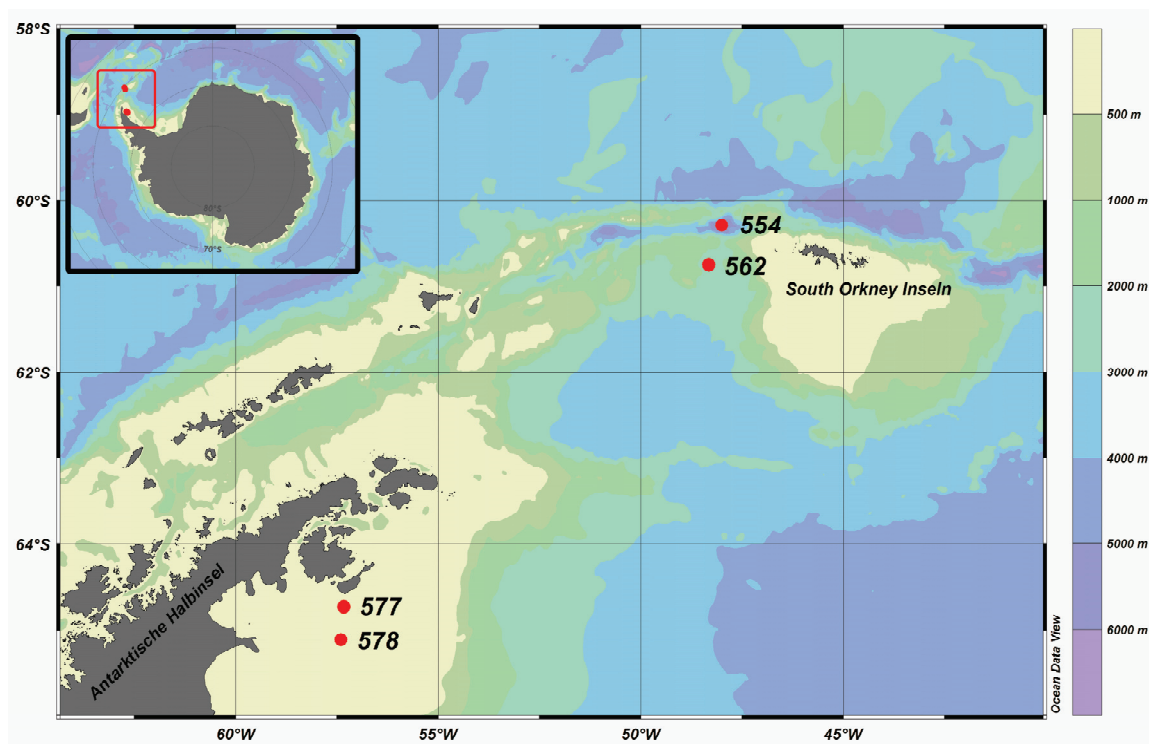
Die vorliegende Arbeit soll diese Kenntnisse mit der Charakterisierung der Meereisgesellschaft im nordwestlichen Weddellmeer im Spätwinter (Ende September bis Anfang Oktober) vergleichend in zwei verschiedenen geographischen Regionen – South Orkney Islands und Larsen-Schelfeis – ergänzen. Qualitative und quantitative Untersuchungen und das Herausheben von Schlüsselarten, die Bestimmung der Vitalität der Organismen sowie deren vertikale Verteilung im Eis stehen im Mittelpunkt dieser Arbeit. Diese Punkte sollen anschließend der Eistextur und den physikalischen und biogeochemischen Parametern gegenübergestellt und mit diesen in Zusammenhang gebracht werden. Darüberhinaus werden mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen aus den beiden oben genannten Probennahmegebieten herausgearbeitet.



## 2. Material und Methoden

### 2.1. Untersuchungsgebiet und Probennahme

Den Untersuchungen zur Struktur von Meereisgemeinschaften in der Antarktis liegen Proben zugrunde, die während der Expedition ANT XXIII-7/WWOS mit „FS Polarstern“ im antarktischen Spätwinter (24.08. – 29.10.2006) aus dem Packeis des nordwestlichen Weddellmeers gewonnen wurden. Für die vorliegende Arbeit wurden Eiskerne von vier Stationen verwendet, die mir Gerhard Dieckmann (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Deutschland) zur Verfügung stellte. Zwei der vier Eiskerne wurden westlich der South Orkney Inseln (SOI) genommen (Stationen 554 und 562; Abb. 1); die anderen beiden stammen aus der Nähe des Larsen-Schelfeises (LS, Station 577 und 578). Eine Übersicht über die einzelnen Stationen kann Tabelle 1 entnommen werden.



**Abbildung 1:** Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets mit den Positionen der verwendeten Eiskerne im nordwestlichen Weddellmeer. Die Farbskala gibt die Tiefenkonturen des Meeresbodens an.

**Tabelle 1:** Übersicht über die untersuchten Eiskerne. Die Eisdicke gibt die Mächtigkeit des CHL-Kerns an (s.u.).

Station	Datum	Position	Eisdicke [cm]	Wassertiefe [m]
554 SOI	21.09.2006	60°17.55'S, 48°0.15'W	144	5629
562 SOI	24.09.2006	60°44.93'S, 48°19.53'W	83	2491
577 LS	05.10.2006	64°43.55'S, 57°19.87'W	169	338
578 LS	08.10.2006	65°6.57'S, 57°24.04'W	126	477

An jeder Station wurden mit Hilfe eines Eisbohrers (Kovacs Mark II Coring System, Durchmesser 9 cm, Kovacs Enterprises) innerhalb einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> vier Parallelkerne genommen, an denen folgende Analysen durchgeführt wurden:

**Kern 1 (CHL):** CHLOROPHYLL – Bestimmung der Chlorophyll a (Chl a)- und Phaeo-Pigment (Phaeo)-Konzentrationen, von partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) und partikulärem organischem Stickstoff (PON); qualitative und quantitative Untersuchungen der im Eis eingeschlossenen Mikroalgen und Protozoen

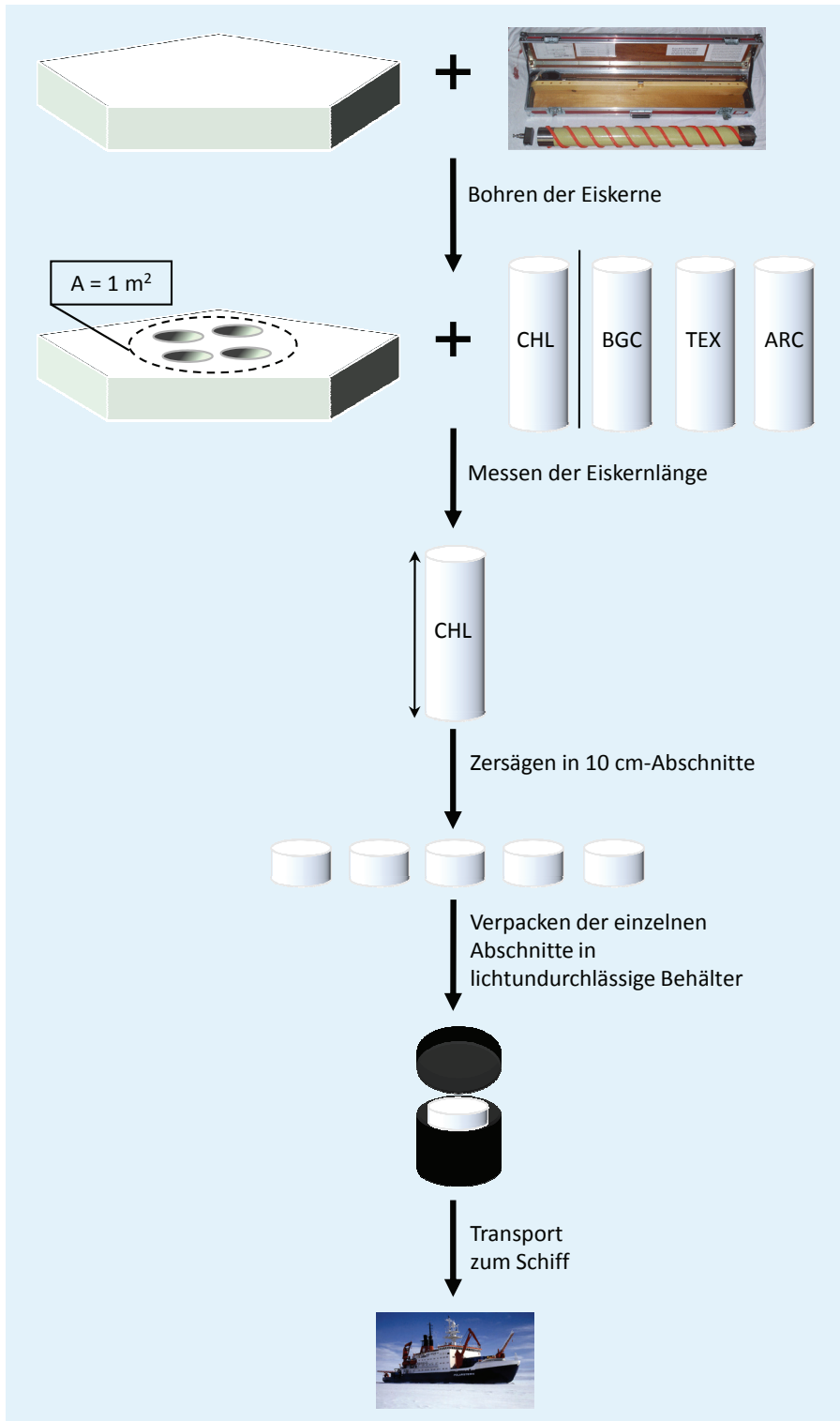
**Kern 2 (BGC):** BIOGEOCHEMIE – Nährstoffbestimmung [Ammonium, NH<sub>4</sub>; Nitrat, NO<sub>3</sub>; Nitrit, NO<sub>2</sub>; Phosphat, PO<sub>4</sub>; Silikat, Si(OH)<sub>4</sub>] und Bestimmung von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und gelöstem organischem Stickstoff (DON); Ermittlung des Salzgehalts in den Laugenkanälen und im Gesamteis

**Kern 3 (TEX):** TEXTUR – Beschreibung der Eistextur und Bestimmung der Eistemperatur

**Kern 4 (ARC):** ARCHIV – Archivierung

Trotz des engen Radius, in dem die Eiskerne entnommen wurden, unterscheidet sich die Mächtigkeit der jeweils vier Parallelkerne häufig um einige Zentimeter. Dies liegt an der extrem heterogenen Struktur des Meereises, das an der Eis-Wasser-Grenzfläche neben großskaligen Einflüssen auch lokalen Schmelz- bzw. Gefrierprozessen und Strömungen ausgesetzt ist. Durch diese kleinskaligen, von der Eisoberfläche nicht sichtbaren Störungen kann die Eisdicke auch auf einer relativ kleinen Fläche um einige Zentimeter variieren. Größere Unterschiede in der Eisdicke innerhalb einer Eisscholle entstehen dagegen durch das Zusammenstoßen und Übereinanderschichten mit anderen Schollen aufgrund konvergenter Strömungen. Sowohl die Eisoberfläche als auch die Eisunterseite werden dadurch von bis zu mehreren Metern hohen Pressrücken geprägt. Bei der Probennahme wurde daher darauf geachtet, dass die Eisoberfläche möglichst eben war und Pressrücken nicht in unmittelbarer Nähe der Entnahmestelle der Eiskerne waren. Für die Auswertung ist die Variabilität der Eisdicke insofern relevant, als dass sich in den Vertikalprofilen die Tiefenbereiche unterscheiden, innerhalb derer die einzelnen Messparameter einer Station aufgetragen sind.

Der genaue Ablauf der Probennahme ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Nährstoffbestimmungen und Messungen von DOC/DON wurden von David N. Thomas (Universität Helsinki, Finnland) durchgeführt; Eistextur und -temperatur wurden von Christian Haas und Marcel Nicolaus (Norsk Polarinstitut, Tromsø, Norwegen) bestimmt. Im Folgenden wird daher ausschließlich die Weiterverarbeitung des CHL-Kerns beschrieben, der Hauptbestandteil meiner praktischen Arbeit war.



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung des Probennahmeablaufs und weitere Behandlung des CHL-Kerns



## 2.2. Bestimmung der biologischen Parameter und Fixierung für mikroskopische Untersuchungen

Nach dem Schmelzen der einzelnen Eiskernabschnitte an Bord wurden die insgesamt 53 Proben für die verschiedenen Analysen in jeweils drei Unterproben aufgeteilt (Abb. 3):

Zur Abschätzung der Algenbiomasse in jedem Eiskernabschnitt wurden 100 ml Probenvolumen für die Bestimmung des Chl a- bzw. Phaeopigment-Gehalts (Evans et al., 1983) über GF/F Filtern (Whatman, Porengröße 0,7 µm) filtriert. Die Filter wurden zum Teil bis zur weiteren Bearbeitung bei -25 °C tiefgefroren. Die Pigmentextraktion erfolgte mit 10 ml 90 % Aceton für 24 Stunden bei -25 °C. Zuvor wurden die Filter in 10 ml 90 %igem Aceton für etwa 10 Sekunden mit Ultraschall behandelt, um die Zellen für die Extraktion aufzuschließen. Nach den 24 Stunden wurden die Filter für 5 min bei 4 °C und 2800 U min<sup>-1</sup> zentrifugiert (SIGMA Tischkühlzentrifuge 3K18, Rotor-Typ-Nr. 11133). Im Überstand wurden vor und nach Ansäuerung mit 0,1 N HCl mit einem Fluorometer (Turner 10-AU, Turner Designs, Sunnyvale, USA) die Pigmentkonzentration mittels Höhe des Fluoreszenzsignals ermittelt. Die Kalibration erfolgte photometrisch mit Chl a-Standards. Aus den Messwerten wurden nach folgenden Formeln die Chl a- und Phaeopigment-Konzentrationen bestimmt:

$$[\text{Chl } a](\mu\text{g/L}) = \frac{f}{m_x} \cdot (F_{vs} - F_{ns}) \cdot \frac{V_a}{V_p}$$

$$[\text{Phaeo}](\mu\text{g/L}) = \frac{f}{m_x} \cdot ((r \cdot F_{ns}) - F_{vs}) \cdot \frac{V_a}{V_p}$$

wobei

$$f = r / (r - 1)$$

$m_x$  = Eichfaktor bei Verstärkung x

r = Säurefaktor

$F_{vs}$  = relative Fluoreszenz vor Säurezugabe

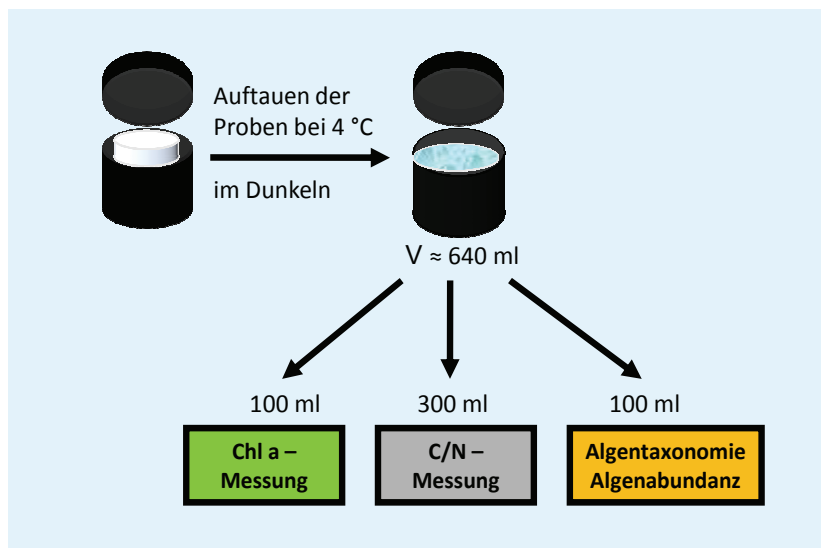
$F_{ns}$  = relative Fluoreszenz nach Säurezugabe

$V_a$  = Volumen des Extraktionsmittels [ml]

$V_p$  = Volumen der Probe [L]

Eine zweite Unterprobe von je 300 ml Probenvolumen wurde für POC/PON-Messungen ebenfalls über GF/F Filtern filtriert. Die Analyse erfolgte im Anschluss an die Expedition im AWI mit einem C/N-Analyzer (Euro EA 3000, EuroVector S.P.A.).

Für die qualitativen und quantitativen Untersuchungen der Meereislebensgemeinschaft wurden je 90 ml Probe in 100 ml-Braunglasflaschen abgefüllt und mit 10 ml 20 % Hexamin-gepuffertem Formaldehyd fixiert (Endkonzentration 2 %). Bis zur Bearbeitung im Institut wurden die Proben bei 4 °C dunkel gelagert. Es muss allerdings davon ausgegangen werden, dass die Proben während des mehrwöchigen Transports von Kapstadt nach Bremerhaven kurzfristig höheren Temperaturen ausgesetzt waren (> 20 °C).



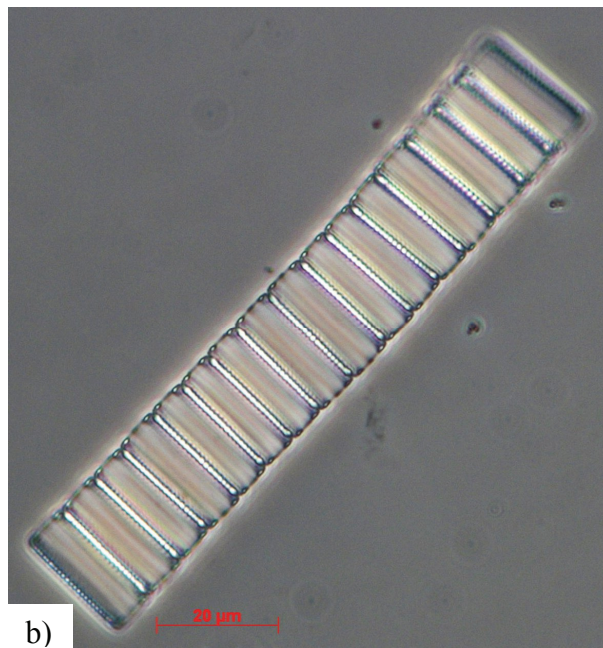
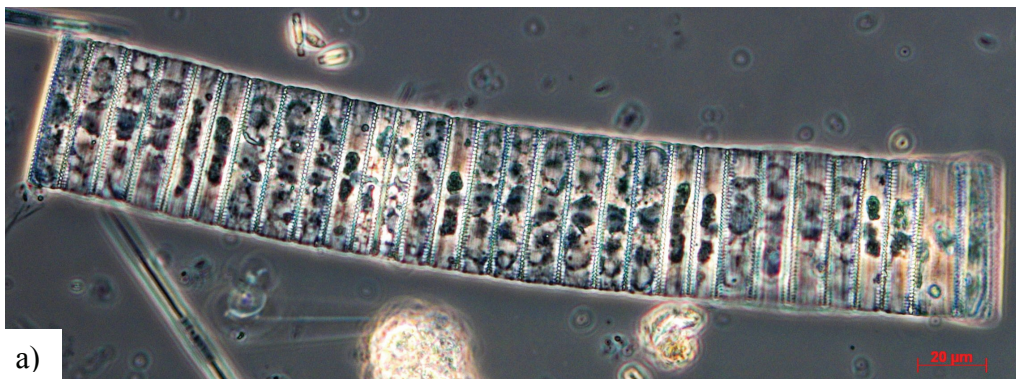
**Abbildung 3:** Schematische Darstellung der Weiterverarbeitung des CHL-Kerns

### 2.3. Untersuchungen zur Taxonomie und Abundanz der Meereislebensgemeinschaft

Die taxonomischen Bestimmungen und quantitativen Untersuchungen der 53 Proben erfolgten im AWI mit einem inversen Lichtmikroskop (Axiovert 200, Zeiss) mit Phasenkontrastobjektiven nach der Methode von Utermöhl (1958). Je nach Algendichte, die sowohl anhand der Chl a-Werte als auch optisch in der Probenflasche beurteilt wurde, wurden Sedimentationskammern (Hydrobios) mit Volumen von 3 ml bzw. Sedimentationskammern in Verbindung mit 10, 25 oder 50 ml-Aufsätzen verwendet. Bei sehr hohen Zelldichten wurden

nur 1,5 ml Probe verwendet und mit filtriertem Seewasser verdünnt (Verhältnis 1:1). Um das möglichst vollständige Absinken der Zellen zu gewährleisten, betrug die Sedimentationszeit mindestens 24 (Volumina  $\leq 10$  ml) bzw. 48 Stunden (Volumina  $> 10$  ml). Die taxonomische Bestimmung der Organismen erfolgte hauptsächlich mit dem Lichtmikroskop anhand der fixierten Proben. Einige Diatomeenarten der Gattungen *Fragilariopsis*, *Nitzschia* und *Pseudo-nitzschia* konnten mit dieser Methode jedoch nur schwer unterschieden werden. Daher wurde zusätzlich von einigen Proben gekochtes und Rohmaterial für die Rasterelektronenmikroskopie erstellt. Mithilfe dieser hochaufgelösten Bilder konnte eine Vielzahl von Zellen der unterschiedlichen Arten in allen Dimensionen genau vermessen und mit einiger Sicherheit bestimmt werden. Außerdem wurden von denselben Proben Dauerpräparate angefertigt, um die Artbestimmung mit dem Lichtmikroskop zu erleichtern. Dennoch konnten besonders Zellen aus der Gattung *Fragilariopsis* in Gürtelbandansicht nicht immer mit Sicherheit den verschiedenen Arten zugeordnet werden (Abb. 4). Da sich die Größenspektren einiger *Fragilariopsis*-Arten überschneiden und somit eine genaue Bestimmung nicht möglich war, wurden diese Zellen unter *Fragilariopsis spp.* aufgenommen. Mit anderen Arten, die eine ähnliche Problematik aufwiesen, wurde ebenso verfahren. Die Bestimmung von Protozoen wie Flagellaten, Dinoflagellaten und Ciliaten erwies sich in allen Proben als schwierig und wurde nur selten bis zum Artniveau erreicht. Der Grund hierfür ist die Fixierung mit Formaldehyd, wodurch häufig besonders bei Ciliaten und nackten Flagellaten deren charakteristische Zellform und morphologische Details wie Cilien und Flagellen verlorengehen. Daher wurden diese Gruppen meist nur in Größenklassen eingeteilt. Für eine genaue taxonomische Einordnung dieser Organismen, wären eine schonendere Konservierung (z.B. mit Ethanol, Glutaraldehyd oder Lugol) und die Beobachtung von Lebendmaterial notwendig gewesen. Auch die Einteilung in autotrophe und heterotrophe Organismen war kaum möglich, da eventuell vorhandene Chloroplasten von anderem Zellinhalt nicht sicher unterschieden werden konnten und die Chlorophyll-Autofluoreszenz aufgrund der zeitweisen unsachgemäßen Lagerung der Proben verblasst war. Der Zustand einiger Organismen war so unzureichend, dass selbst die Unterscheidung von einem Kotballen manchmal nicht möglich war. Hierzu wurden die jeweiligen Proben in der Sedimentationskammer mit 100  $\mu$ l DAPI (4',6-Diamidino-2-phenylindol, Fluoreszenzfarbstoff) angefärbt, um die Zellkerne unter UV-Licht sichtbar zu machen und die Organismen zählen zu können.

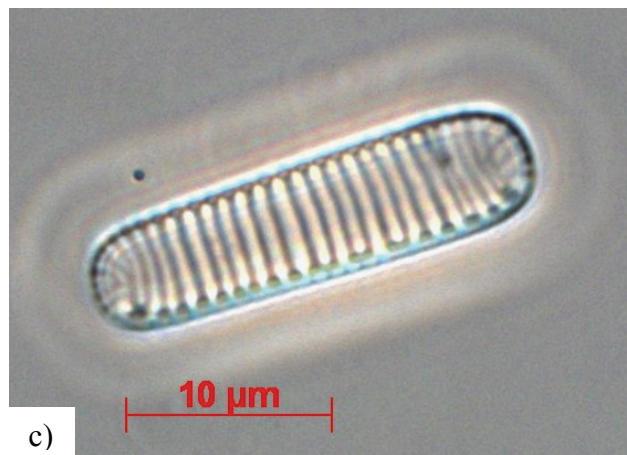
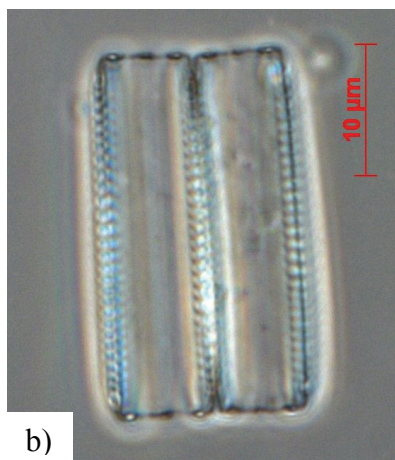
Die taxonomische Bestimmung der Diatomeen erfolgte hauptsächlich nach Medlin und Priddle (1990), Tomas (1998, 1995) und Scott und Marchant (2005). Arten der Gattungen *Nitzschia*, *Pseudo-nitzschia* und *Fragilariopsis* wurden auch nach Hasle (1965 a, 1965 b, 1964) bestimmt. Protozoen wurden soweit als möglich nach Tomas (1998, 1995; 1993), Scott und Marchant (2005) bestimmt.



**Abbildung 4:** Lichtmikroskopische Aufnahmen von *Fragilariopsis* spp.-Ketten in Gürtelbandansicht. a) Kette mit überwiegend vollen Zellen von *F. ritscheri* oder *F. sublinearis* (protokolliert als *Fragilariopsis* spp.). b) Kette mit leeren Zellen von *F. curta*.

Zur Bestimmung der Abundanzen wurde jede Probe bei verschiedenen Vergrößerungen ausgezählt, um alle vorkommenden Größenklassen zu protokollieren. Dabei wurden Phasenkontrastobjektive mit 10-, 20-, 40- und 63-facher Vergrößerung jeweils in Verbindung

mit einem 1,6x Optovar und einem 10x Okular verwendet. Die größten Arten (> 100 µm) wurden bei 160-facher Vergrößerung auf der Hälfte oder bei sehr hohen Organismendichten auf einem Viertel des Kammerbodens erfasst. Kleinere Zellen wurden je nach Zelldichte in 1 bis 4 durch die Mitte der Kammer verlaufenden Streifen bei 320- und 640-facher, gegebenenfalls auch bei 1008-facher Vergrößerung ausgezählt. Selten vorkommende Arten wurden mit der kleinstmöglichen Vergrößerung gezählt, um ein Übersehen zu vermeiden. Beim Auszählen wurde außerdem der Zustand der Diatomeen in volle Zellen, leere und zerbrochene Schalen unterschieden, um eine Aussage über die Vitalität der Diatomeengesellschaft treffen zu können. In Abbildung 5 sind Beispiele von Zellen in den unterschiedlichen Zuständen dargestellt. Als voll wurden die Zellen angesehen, deren Chloroplasten grün gefärbt und deutlich zu erkennen waren, auch wenn sie nicht den größten Teil der Zelle ausfüllten. Leere Zellen wurden auch als solche aufgenommen, wenn der Zellinhalt noch zu sehen, aber deutlich in Auflösung begriffen war und nur noch deformierte Reste von Chloroplasten vorhanden waren. Unter ‚Bruch‘ wurden alle Schalenbruchstücke registriert, die noch mindestens ein Drittel der gesamten Schale ausmachten und eindeutig den Arten zugeordnet werden konnten. Wesentlich kleinere Bruchstücke wurden nicht erfasst, da hier die taxonomische Zuordnung nicht in jedem Fall möglich gewesen wäre. Beim Zählen des Bruchs wurde davon ausgegangen, dass zwei Fragmente etwa einer intakten Zelle entsprechen, um die Gesamtzahl der zerbrochenen Zellen nicht durch das Zählen jedes einzelnen Bruchstücks unbeabsichtigt zu erhöhen. Leere Zellen und Bruch in Form von intakten Schalenhälften konnten mit dem Lichtmikroskop nicht mit Sicherheit unterschieden werden und wurden als leere Zellen aufgenommen, wodurch womöglich die Gesamtzahl der leeren Zellen überschätzt bzw. die des Bruchs unterschätzt wurde.



**Abbildung 5:** a) Vitale *Navicula directa*-Zelle. b) Leere Zellen von *Fragilariopsis curta* in Gürtelbandansicht. c) Leere *Fragilariopsis curta*-Zelle in Valvenansicht, wobei hier nicht klar ist, ob es sich um eine intakte Zelle oder um eine Schalenhälfte handelt.

Im Anschluss an die Zählarbeiten wurde für jeden Eiskernabschnitt die Biomasse der Diatomeen bestimmt, indem von mehreren (2 – 34) Zellen jeder Art das Biovolumen anhand ähnlicher geometrischer Körper berechnet wurde (Hillebrand et al., 1999). Aus jeweils dem Mittelwert des Zellvolumens einer Art wurde der Kohlenstoffgehalt pro Zelle ermittelt

(Menden-Deuer et al., 2000), der dann mit den Abundanzen der jeweiligen Art multipliziert wurde. Von manchen Arten wurden mir die Biovolumina bzw. die Biomassewerte von P. Assmy (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Deutschland) zur Verfügung gestellt.



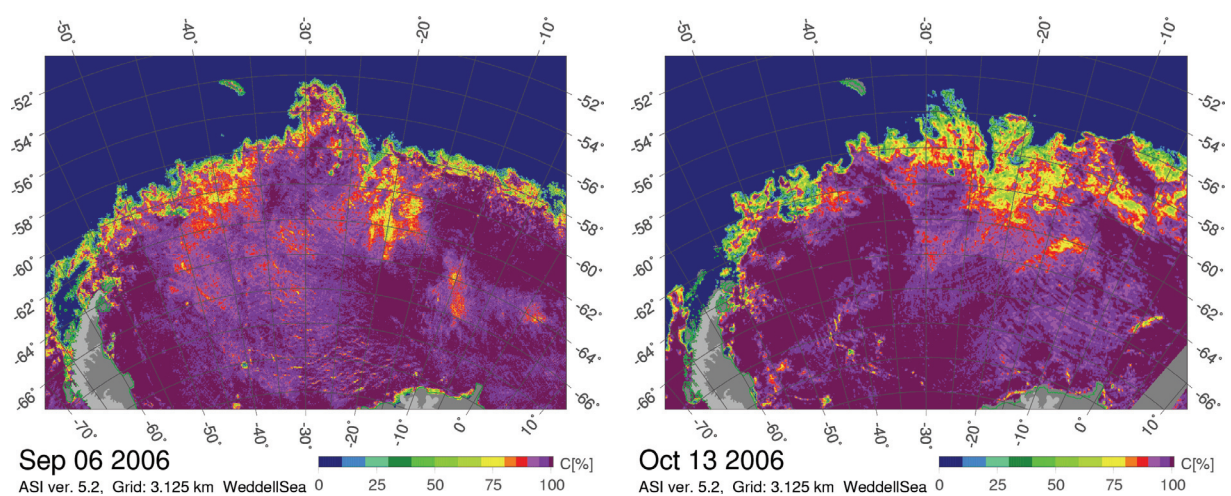


### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Allgemeines zur Eissituation

##### *Untersuchungsgebiet*

Die Meereisausdehnung reichte zu Beginn der Untersuchungen bis etwa  $58^{\circ}$  S und nahm während des Probennahmezeitraums (06.09. – 13.10.2006) nicht wesentlich ab. Die an der Eisgrenze zu Beginn der Expedition noch weitestgehend geschlossene Eisdecke wies zum Ende hin lediglich eine stärkere Zerklüftung auf. Es gab jedoch horizontale Verschiebungen der Meereiskonzentration im Untersuchungsgebiet während der Expedition. Am 06. September war ein etwa 40 – 50 km breiter Streifen mit 100 % Eisbedeckung entlang der Ostküste der Antarktischen Halbinsel zu finden; im zentralen Weddellmeer hingegen war die Eiskonzentration mit 75 – 90 % deutlich geringer (Abb. 6). Durch den Einfluss des Weddellwirbels, der mit seiner zyklonischen Strömung von Südosten immer neues Packeis gegen die Halbinsel presst und schließlich weiter bis ins zentrale Weddellmeer transportiert, verlagerte und vergrößerte sich das Gebiet mit der höchsten Eiskonzentration bis zum 13. Oktober in Richtung Nordosten. Eiskonzentrationen unter 95 % fanden sich dann fast nur noch östlich von  $30^{\circ}$  W. Das Alter des Meereises wird durch *in situ*-Beobachtungen während der Probennahme hauptsächlich als einjähriges Eis beschrieben (Christian Haas, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Deutschland; unveröffentlichte Daten).



**Abbildung 6:** Meereiskonzentration im Weddellmeer zu Beginn und Ende des Probennahmezeitraums (06.09. und 13.10.2006) aufgenommen von AMSR-E (Advanced Scanning Radiometer for EOS) berechnet nach ASI (ARTIST Sea Ice Algorithm; {Spreen 2008 #2})

### Während der Probennahme

Die Informationen zur Eissituation an den einzelnen Stationen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Alle beprobten Eisschollen, die in dieser Arbeit untersucht wurden, bestanden aus einjährigem Eis und waren mit einer Dicke von mehr als 1 m, mit Ausnahme von Station 562, sehr mächtig.

**Tabelle 2:** Eis- und Umweltbedingungen an den Stationen während der Probennahme.  $d$  – Durchmesser der beprobten Eisscholle;  $z_{\text{Eis}}$  – Eisdicke des CHL-Kerns;  $z_{\text{Schnee}}$  – Schneehöhe;  $z_{\text{Wasser}}$  – Wassertiefe; FB – Freeboard (Wasserlinie); Chl a – Gesamtgehalt Chlorophyll a im CHL-Kern; Phaeo – Gesamtgehalt Phaeo-Pigmente im CHL-Kern. SOI – bei South Orkney Inseln, LS – bei Larsen-Schelfeis. Bedeutsame Eigenschaften sind **fett** hervorgehoben.

Station	$d$ [m]	$z_{\text{Eis}}$ [cm]	$z_{\text{Schnee}}$ [cm]	$z_{\text{Wasser}}$ [m]	FB [cm]	Chl a [mg m <sup>-2</sup> ]	Phaeo [mg m <sup>-2</sup> ]	Besonderheiten
554 SOI	70	144	17	5629	7	3,91	1,28	- sehr ebene Scholle - umgeben von Pressrücken < 2 m
562 SOI	600	83	<b>48</b>	2491	<b>1</b>	8,94	2,84	- relativ warme Scholle, > -3°C - <b>weitgehend überflutet</b> - relativ stark deformiert
577 LS	500	169	<b>0</b>	338	<b>19</b>	<b>79,41</b>	10,85	- <b>blaues Eis an Oberfläche</b> - sehr stark deformiert, viele Pressrücken > 1,5 m
578 LS	>1000	126	2	477	12	11,23	2,07	- eingeschlossener Eisberg - Pressrücken < 2 m - <b>im Larsen B-Strom</b>

### 3.2. Temperatur und Salzgehalt im Eis

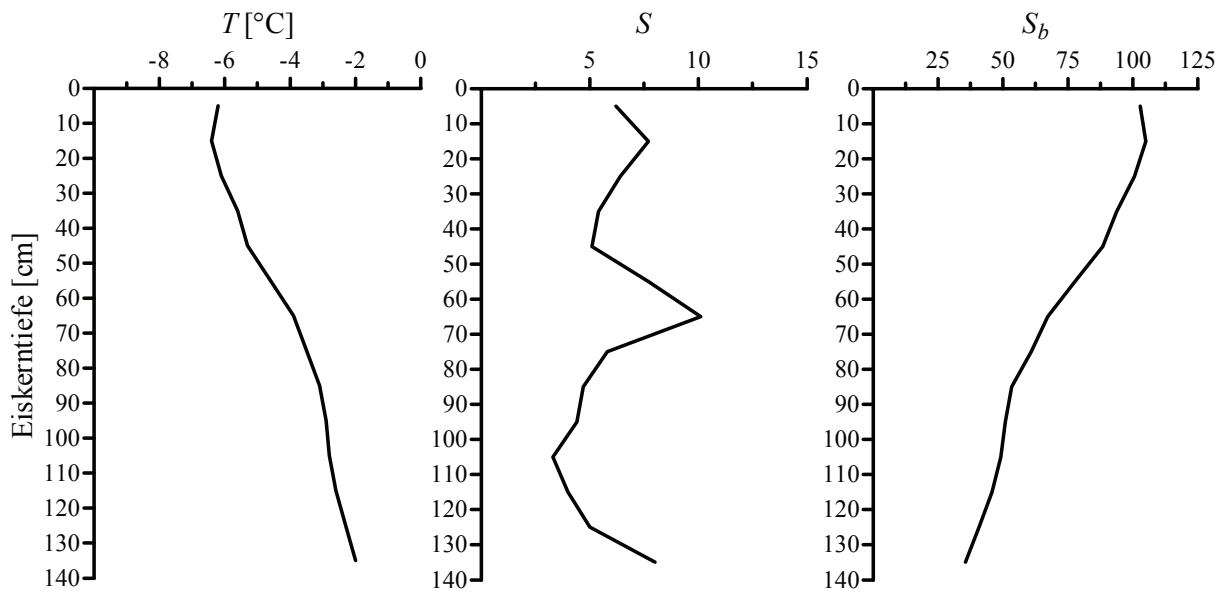
Die *in situ*-Temperatur  $T$  lag zwischen -1,9 und -6,4 °C und war durch einen generellen Anstieg von der Eisoberfläche zur Eis-Wasser-Grenzfläche gekennzeichnet. Lediglich bei Station 577 wurde aufgrund einer durch Föhnwetterlage hohen Lufttemperatur von +6,7 °C und der fehlenden Schneebedeckung ein Anstieg der Eistemperatur an der Oberfläche beobachtet. Die niedrigste Temperatur wurde an Station 554 nahe der Eisoberfläche gemessen. Die Temperaturen knapp oberhalb der Eis-Wasser-Grenzfläche lagen zwischen -2,0 – -2,8 °C.

Die Messungen des Salzgehaltes im Gesamteis  $S$  ergaben Werte zwischen 2,9 und 14,1; zeigten jedoch keinen einheitlichen Trend. Während bei Station 554 der maximale Salzgehalt ungefähr in der Kernmitte im Abschnitt 60-70 cm lag, war an Station 562 der höchste Wert an der Eisoberfläche zu beobachten. Bei den südlichen Stationen 577 und 578 lagen die Salzgehaltsmaxima jeweils in den untersten Kernabschnitten. Der Salzgehalt in den Laugenkanälen  $S_b$  lag zwischen 33,1 und 105,0 und nahm als Funktion der Temperatur im Allgemeinen von der Eisoberfläche nach unten hin ab. Einzig bei Station 577 lag das Maximum im Kerninneren im Abschnitt 52-62 cm. Im Kern 562 lagen die Laugensalzgehalte mit maximal 49,2 deutlich unter den Werten der anderen Kerne, in denen die Maxima mehr als doppelt so hoch waren. Die Vertikalprofile von  $T$ ,  $S$  und  $S_b$  an allen vier Stationen sind in Abbildung 7 dargestellt.

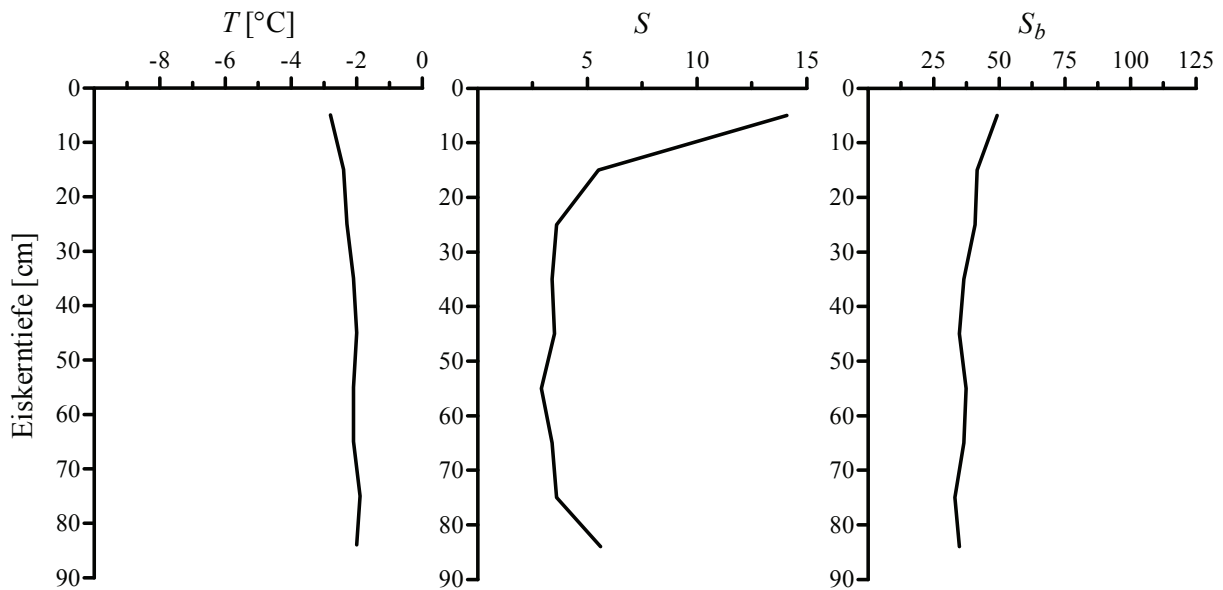
### 3.3. Textur des Eises

Die Stratigraphie der Eiskerne ist in Abbildung 8 dargestellt. Alle vier Eiskerne unterscheiden sich bezüglich ihrer Textur relativ deutlich voneinander und lassen keine geografisch begründeten Gemeinsamkeiten erkennen. Allein das Vorhandensein bzw. Fehlen einer Schneebedeckung haben die nördlichen bzw. südlichen Stationen gemein. Eine Ähnlichkeit im Hinblick auf die Textur zeichnet sich nur bei den Kernen der Stationen 554 und 577 ab, in denen sich Schichten von granulärem, säulenförmigem und gemischtem Eis (granulär / säulenförmig) abwechseln. Bemerkenswert ist die Textur der Eiskerne an den Stationen 562 und 578, die sich grundsätzlich jeweils von den anderen drei Kernen unterscheidet. Insgesamt bestand das untersuchte Eis zu 61,7 % aus säulenförmigen und zu 21,5 % aus granulärem Eis. Der verbleibende Anteil war eine Mischung aus beiden Eistypen. Während an der nördlicheren Station 562 ( $\sim 60^\circ$  S) eine Schneeauflage von 48 cm die hauptsächlich aus granulärem Eis bestehende Scholle tief ins Wasser drückte, ragte die Eisscholle an Station 578 ( $\sim 65^\circ$  S) fast ohne Schneeauflage 12 cm aus dem Wasser und zeichnete sich vorwiegend durch säulenförmiges Eis aus.

a) Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W

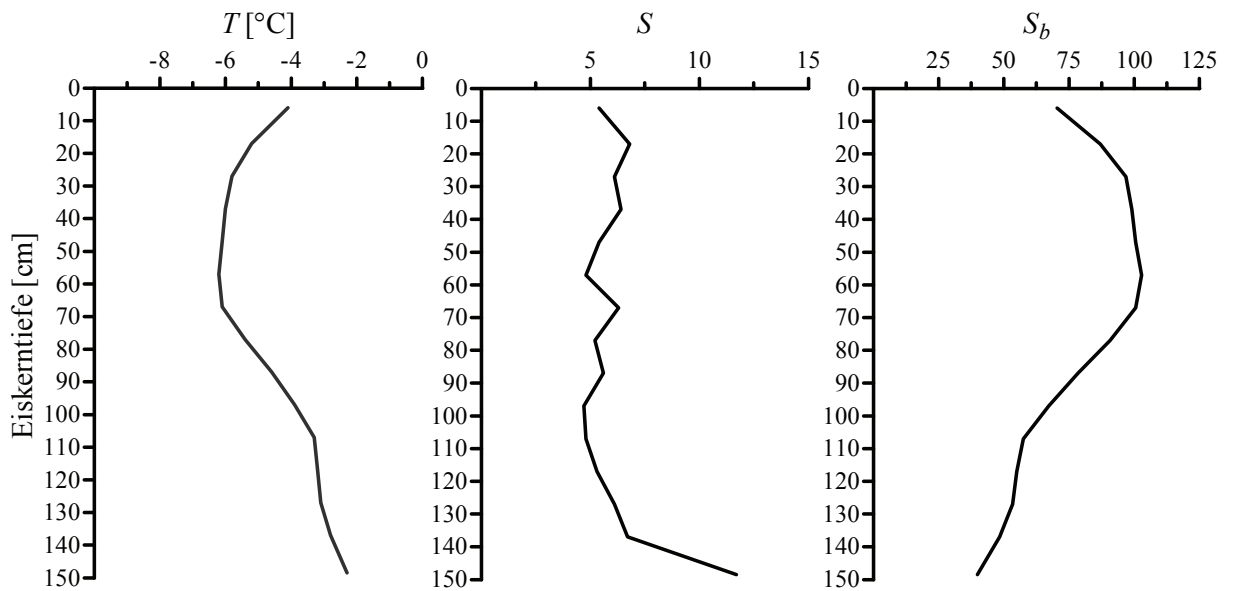


b) Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W

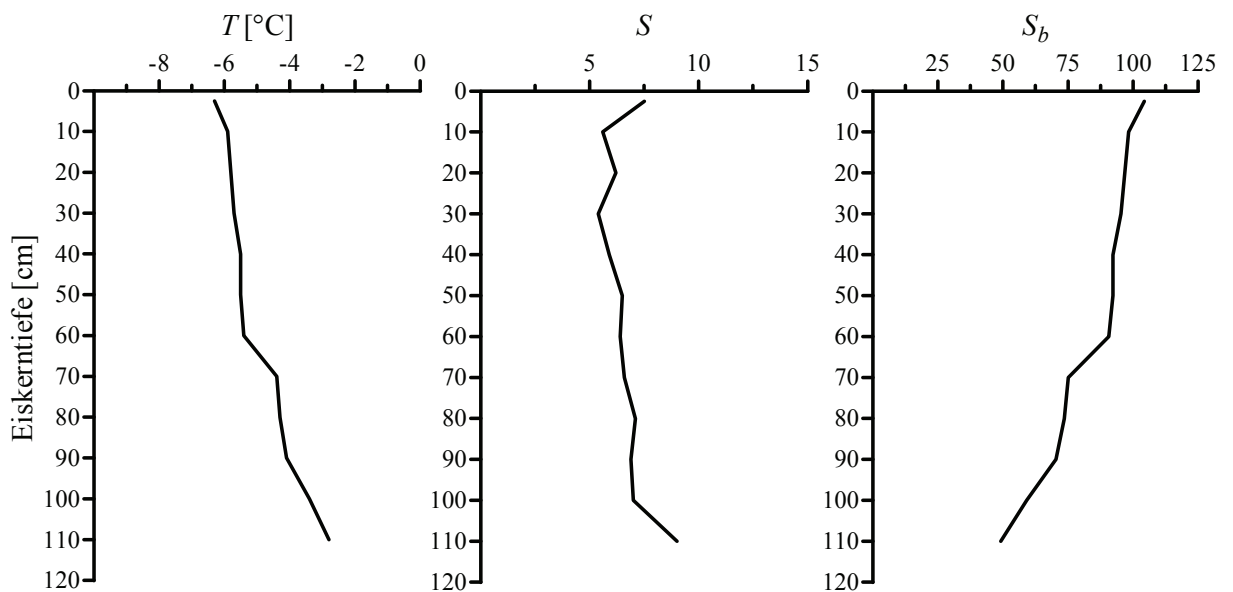


**Abbildung 7:** Vertikalprofile von *in situ*-Temperatur  $T$ , Salzgehalt im Gesamteis  $S$  und Salzgehalt in den Laugenkanälen  $S_b$ . Die Tiefenskala ist jeweils der Eiskerndicke angepasst.

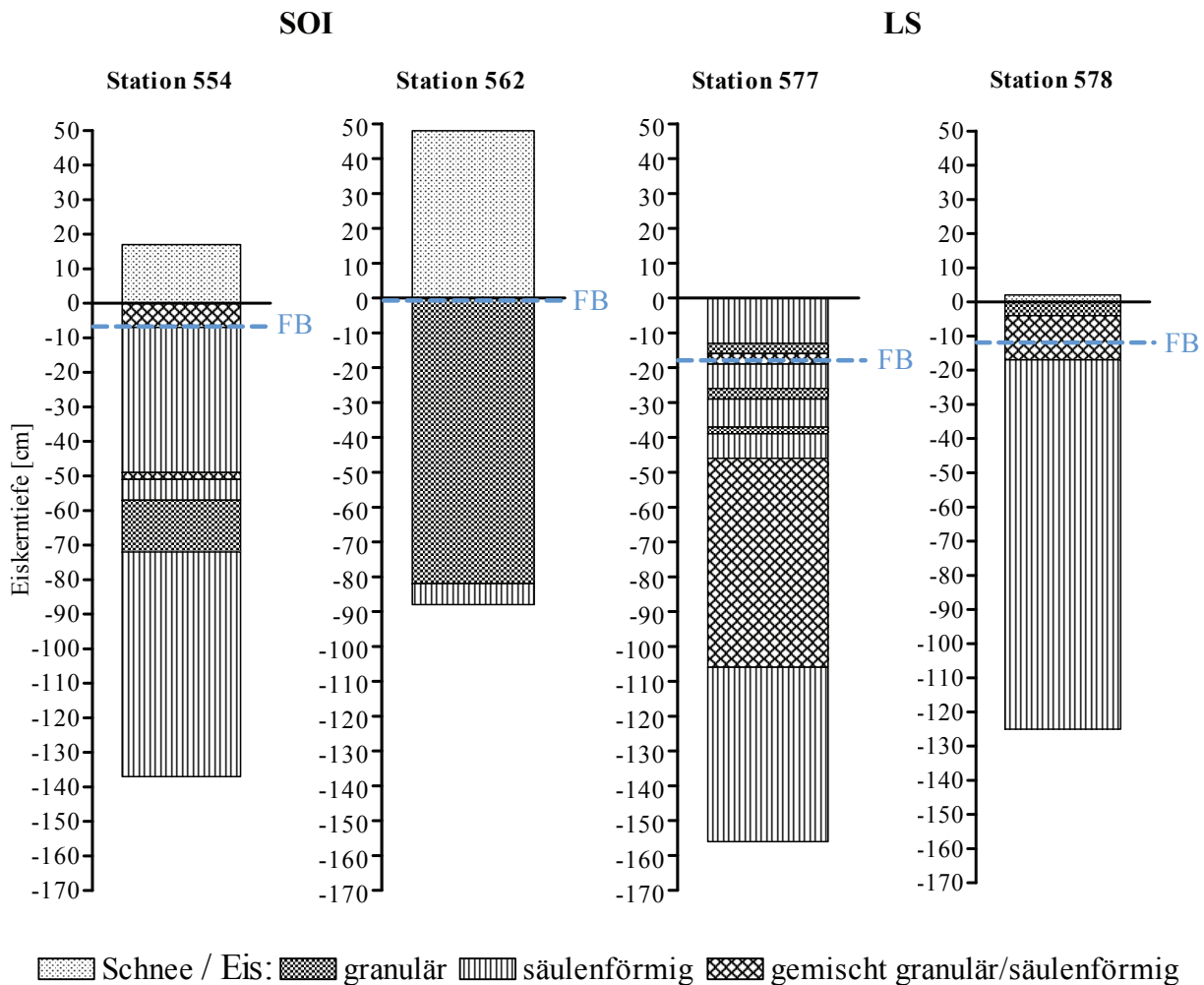
## c) Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W



## d) Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W



**Abbildung 7:** Fortsetzung – Vertikalprofile von *in situ*-Temperatur  $T$ , Salzgehalt im Gesamteis  $S$  und Salzgehalt in den Laugenkanälen  $S_b$ . Die Tiefenskala ist jeweils der Eiskerndicke angepasst.



**Abbildung 8:** Grafische Darstellung der Textur der Eiskerne. FB – Freeboard (Wasserlinie). Die Schraffierung der verschiedenen Eistypen ist in der Legende erläutert.

### 3.4. Nährsalze im Meereis

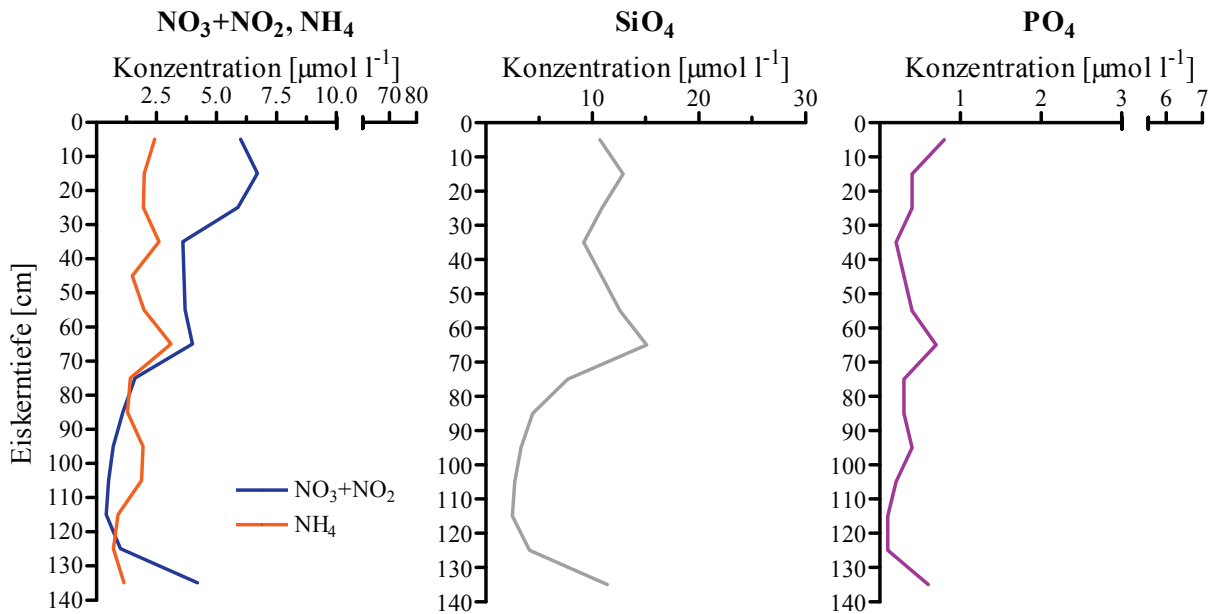
Ein Überblick über die Konzentrationsbereiche aller Nährsalze an den einzelnen Stationen kann Tabelle 3 entnommen werden. In Abbildung 9 sind die Vertikalprofile der Nährsalze dargestellt. Die Konzentrationen der Nährsalze Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2$ ; zusammengefasst als  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4$ ), Silikat ( $\text{SiO}_4$ ) und Phosphat ( $\text{PO}_4$ ) waren sowohl regional als auch innerhalb der Eiskerne sehr variabel und lassen kein einheitliches Verteilungsschema erkennen. Jedoch ähneln sich häufig die Kurvenverläufe der verschiedenen Nährsalze einer Station im Vertikalprofil. Bei den Stationen 577 und 578 wurden die maximalen Nährsalzkonzentrationen im untersten Eiskernabschnitt gemessen, die häufig um ein Vielfaches über denen der darüber liegenden Abschnitte lagen. Einzige Ausnahmen bilden hier

NH<sub>4</sub> bei Station 577 und SiO<sub>4</sub> bei Station 578, wobei die Konzentration von letzterem im untersten Eiskernabschnitt mit 6,1 μmol l<sup>-1</sup> beinahe dem Minimum in diesem Kern entspricht. Ersteres hat sein Konzentrationsmaximum im Abschnitt 102-112 cm. Dagegen wurden an Station 562 die höchsten Konzentrationen an der Eisoberfläche gemessen, abgesehen von NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>, das bei 50-60 cm das Maximum aufwies. Im Kurvenverlauf der SiO<sub>4</sub>- und PO<sub>4</sub>-Konzentrationen war in diesem Abschnitt jedoch kein Peak wiederzufinden. Bei Station 554 zeigten alle vier Nährsalze im Abschnitt 60-70 cm ein deutliches Signal, das für SiO<sub>4</sub> und NH<sub>4</sub> gleichzeitig der Maximalwert war. Die höchsten Konzentrationen von NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> und PO<sub>4</sub> wurden bei 10-20 cm bzw. 0-10 cm gemessen.

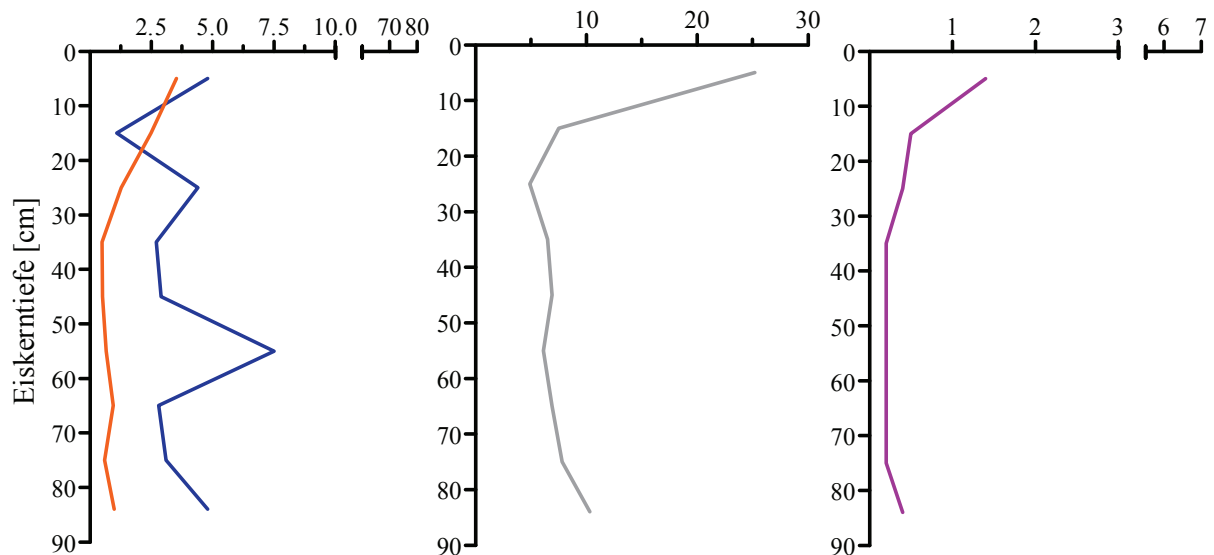
**Tabelle 3:** Übersicht über die Konzentrationsbereiche der verschiedenen Nährsalze an den einzelnen Stationen.

Station	NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> [μmol l <sup>-1</sup> ]	NH <sub>4</sub> [μmol l <sup>-1</sup> ]	SiO <sub>4</sub> [μmol l <sup>-1</sup> ]	PO <sub>4</sub> [μmol l <sup>-1</sup> ]
554 SOI	0,4 – 6,7	0,7 – 3,1	2,5 – 15,1	0,1 – 0,8
562	1,1 – 7,5	0,5 – 3,5	4,9 – 25,2	0,2 – 1,4
577 LS	0,0 – 73,0	0,1 – 1,5	3,2 – 16,9	0,2 – 6,7
578	0,1 – 7,7	0,1 – 3,0	6,0 – 14,6	0,2 – 2,2

a) Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W



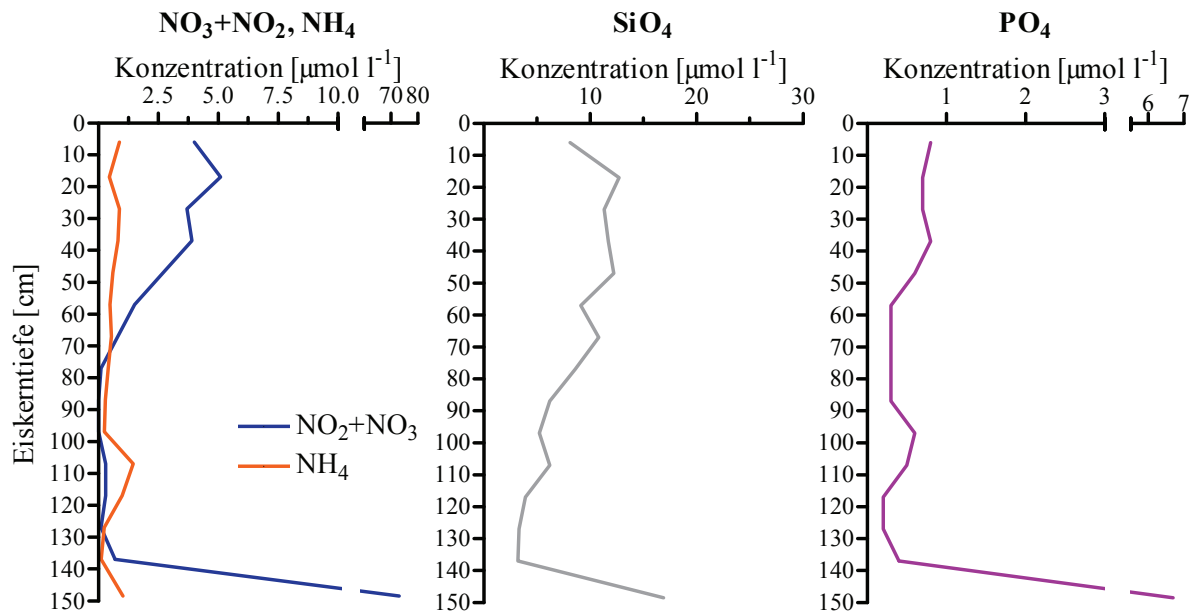
b) Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W



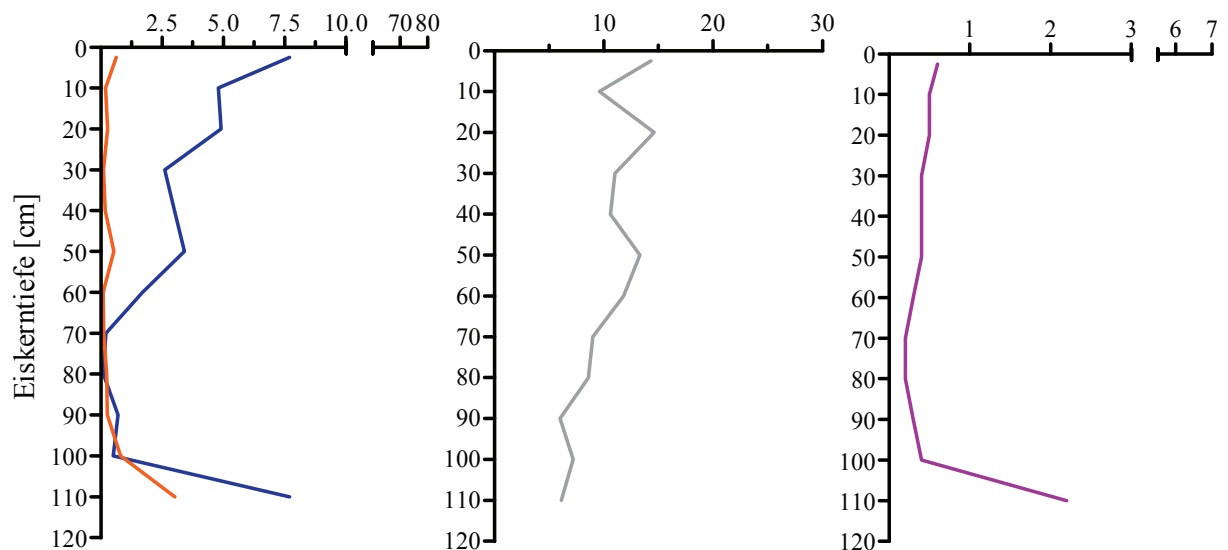
**Abbildung 9:** Vertikalprofile der Nährsalz-Konzentrationen Nitrat und Nitrit ( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4$ ), Silikat ( $\text{SiO}_4$ ) und Phosphat ( $\text{PO}_4$ ) im Meereis. Die Tiefenskala ist jeweils der Eiskerndicke angepasst.



## c) Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W



## d) Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W



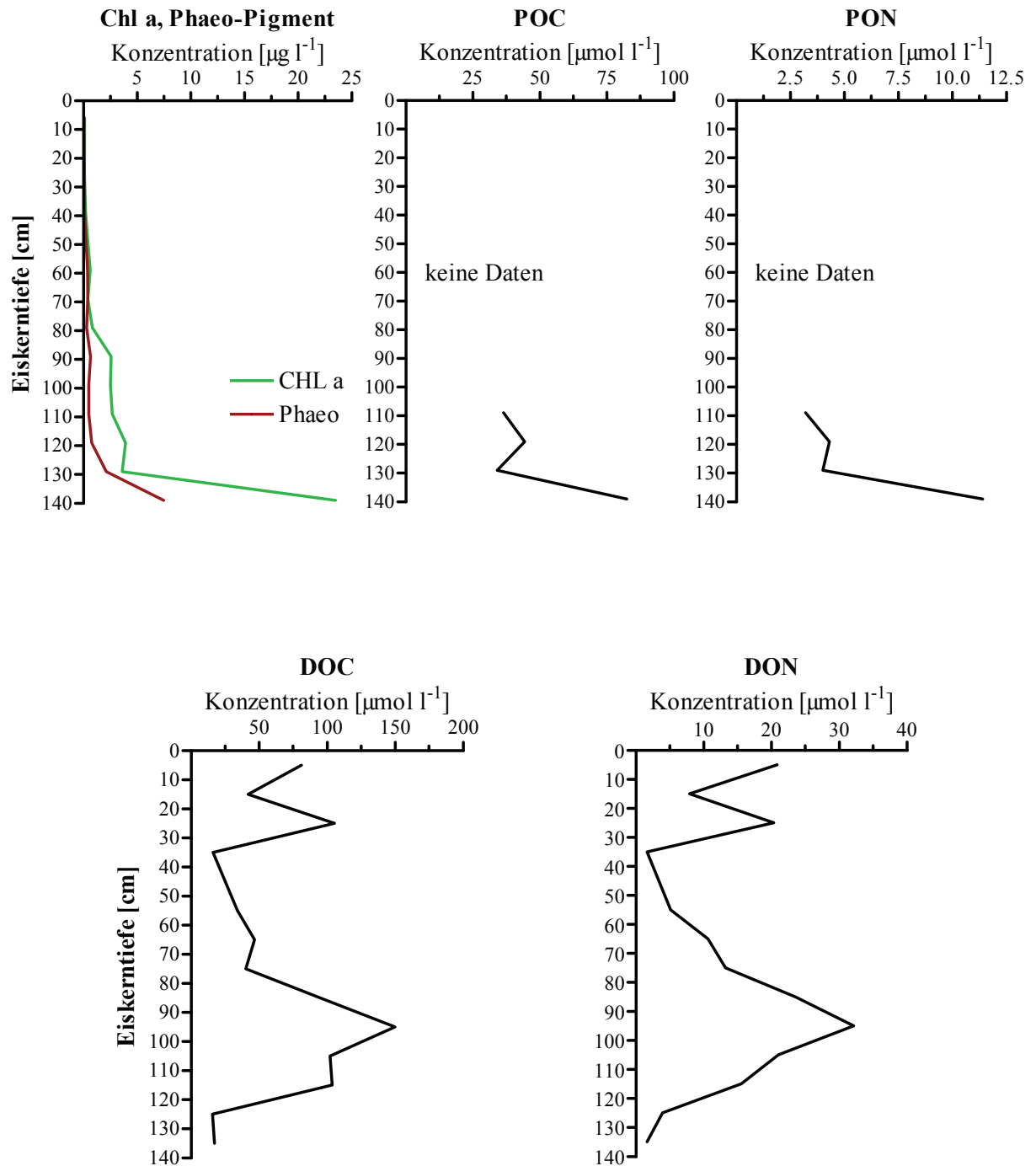
**Abbildung 9:** Fortsetzung – Vertikalprofile der Nährsalz-Konzentrationen Nitrat und Nitrit ( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4$ ), Silikat ( $\text{SiO}_4$ ) und Phosphat ( $\text{PO}_4$ ) im Meereis. Die Tiefenskala ist jeweils der Eiskerndicke angepasst.

### 3.5. Chlorophyll a, Phaeo-Pigment, POC und PON, DOC und DON

Die Pigmentkonzentrationen weisen an allen Stationen auf ein Phytoplanktonvorkommen in jeweils der gesamten Eisscholle hin (Abb. 10). Die Maxima wurden nahe der Eis-Wasser-Grenzfläche (Stationen 554, 577 und 578) sowie in der oberen Hälfte der Eisscholle (Station 562) gefunden. Insgesamt variierten die Maximalkonzentrationen zwischen 21,4  $\mu\text{g Chl a l}^{-1}$  (Station 562) und 1339  $\mu\text{g Chl a l}^{-1}$  (Station 577) bzw. 7,5  $\mu\text{g Phaeo l}^{-1}$  (Station 554) und 192,5  $\mu\text{g Phaeo l}^{-1}$  (Station 577). Auch die Konzentrationen von partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) und gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) waren an den Stationen 554, 577 und 578 im oberen und mittleren Eiskern Drittel meist sehr niedrig und erreichten jeweils im untersten Kernabschnitt die maximale Konzentration (Abb. 10). Eine Ausnahme bilden hier zum einen die DOC- und DON-Konzentrationen bei Station 554, die in der oberen Eiskernhälfte relativ stark variierten und im Abschnitt 90-100 cm maximal waren. Zum anderen waren bei Station 578 die höchsten POC- und PON-Konzentrationen im zweituntersten Kernabschnitt zu finden. Bei Station 562 war wie auch bei den Algenpigmenten ein umgekehrter Trend zu beobachten. Maximale Konzentrationen wurden zwischen 28,0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (Station 577) und 438,6  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (Station 578) für POC und zwischen 3,0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (Station 577) und 67,0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (Station 577) für PON gemessen. Die Maxima von DOC und DON lagen zwischen 50,9  $\mu\text{mol l}^{-1}$  bei Station 562 und 780,0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  bei Station 577 bzw. zwischen 9,0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  bei Station 562 und 50,2  $\mu\text{mol l}^{-1}$  bei Station 577.

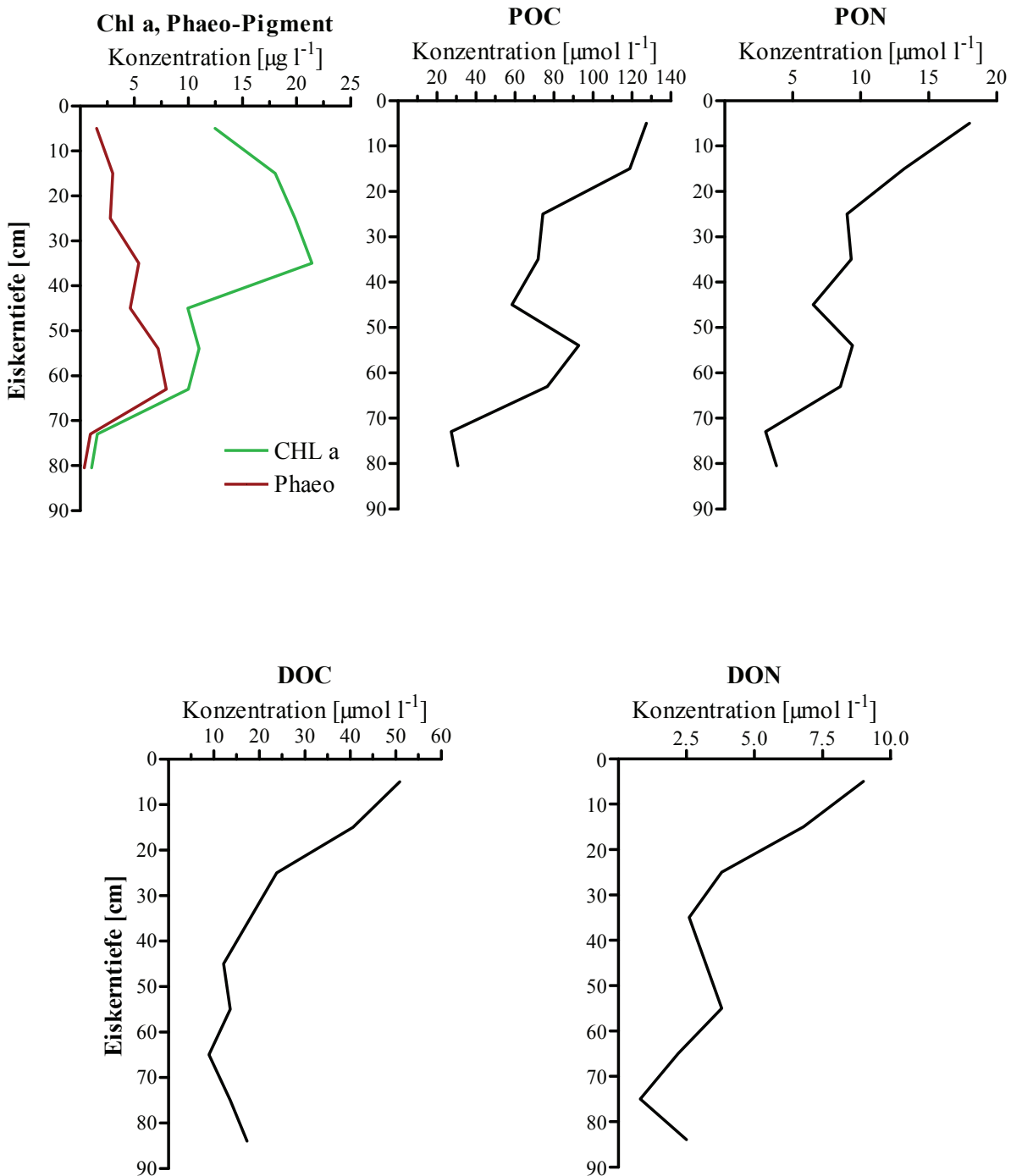
Integrierte Chl a-Gehalte zeigen, dass das Maximum an Chlorophyll-Biomasse (79,4  $\text{mg Chl a m}^{-2}$ ; Tab. 2) in der mächtigsten Eisscholle bei Station 577 gefunden wurden, während bei den anderen Stationen die Biomasse nur etwa 5 – 15 % dessen ausmachte.

## a) Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W



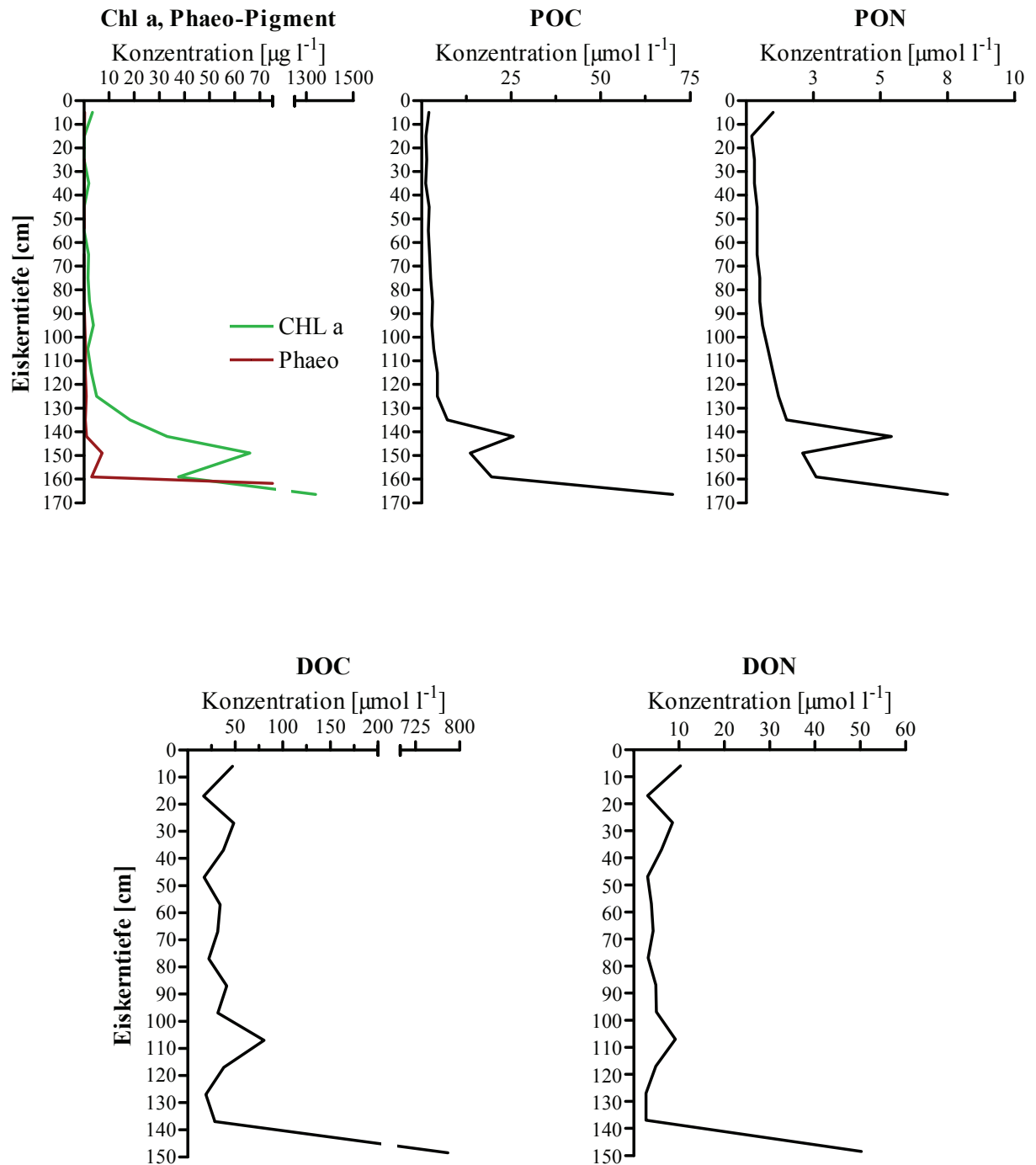
**Abbildung 10:** Vertikalprofile von Chlorophyll a, Phaeo-Pigment, partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) und gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) im Meereis.

b) Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W



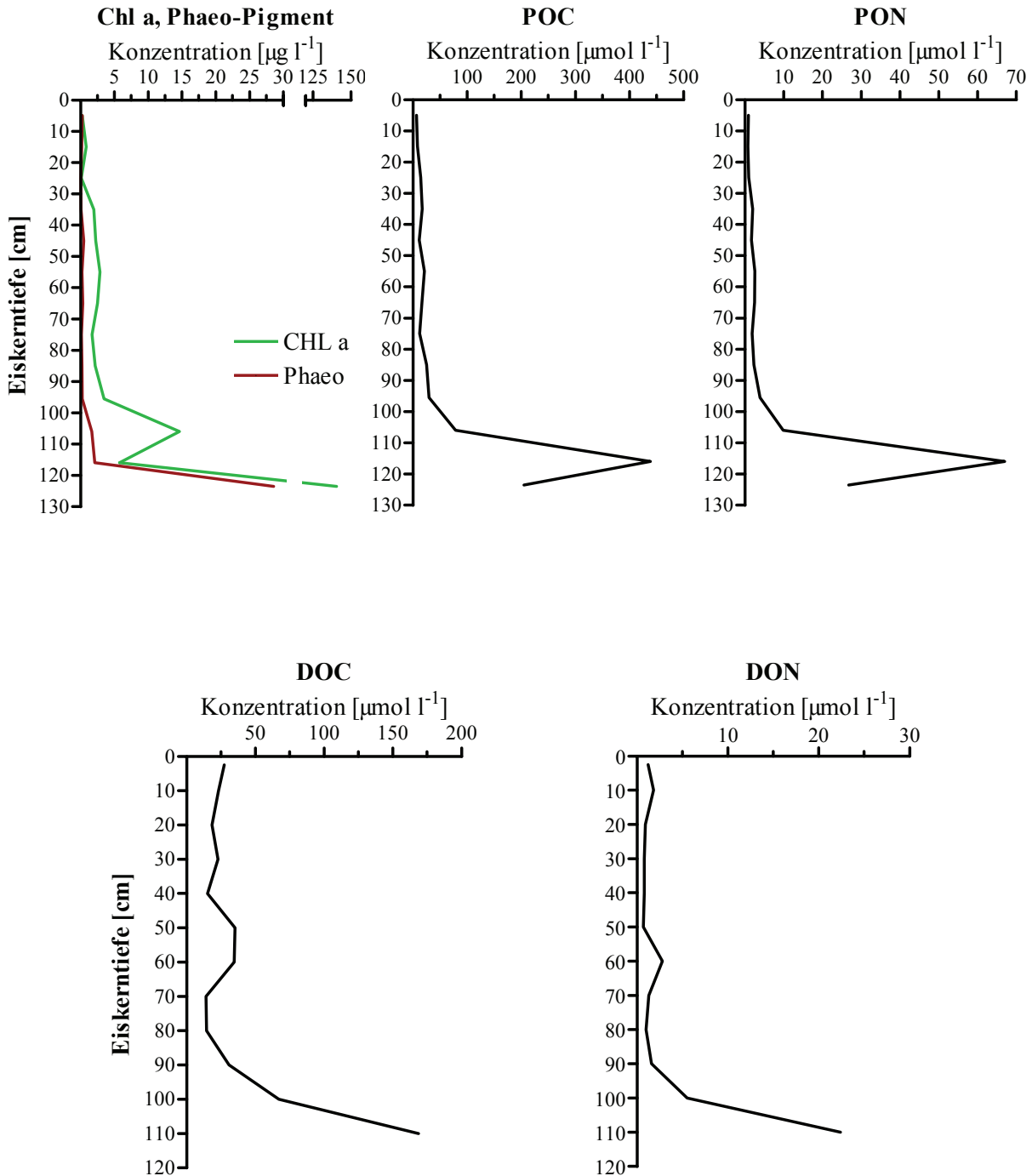
**Abbildung 10:** Fortsetzung – Vertikalprofile von Chlorophyll a, Phaeo-Pigment, partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) und gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) im Meereis.

## c) Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W



**Abbildung 10:** Fortsetzung – Vertikalprofile von Chlorophyll a, Phaeo-Pigment, partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) und gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) im Meeres.

d) Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W



**Abbildung 10:** Fortsetzung – Vertikalprofile von Chlorophyll a, Phaeo-Pigment, partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) und gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) im Meereis.

Eine Übersicht über die Verhältnisse der Nährstoffe und chemischen Parameter kann Tabelle 4 entnommen werden.

**Tabelle 4:** Verhältnisse der gelösten Nährsalze Nitrat:Phosphat (N:P,  $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ ), Silikat:Nitrat (Si:N,  $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ ) und der partikulären chemischen Parameter POC:PON ( $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ ), DOC:DON ( $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ ), POC:Chl a ( $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ ) und Chl a:Phaeo ( $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ ) im Meereis. Angegeben sind jeweils über den gesamten Eiskern gemittelte Werte.

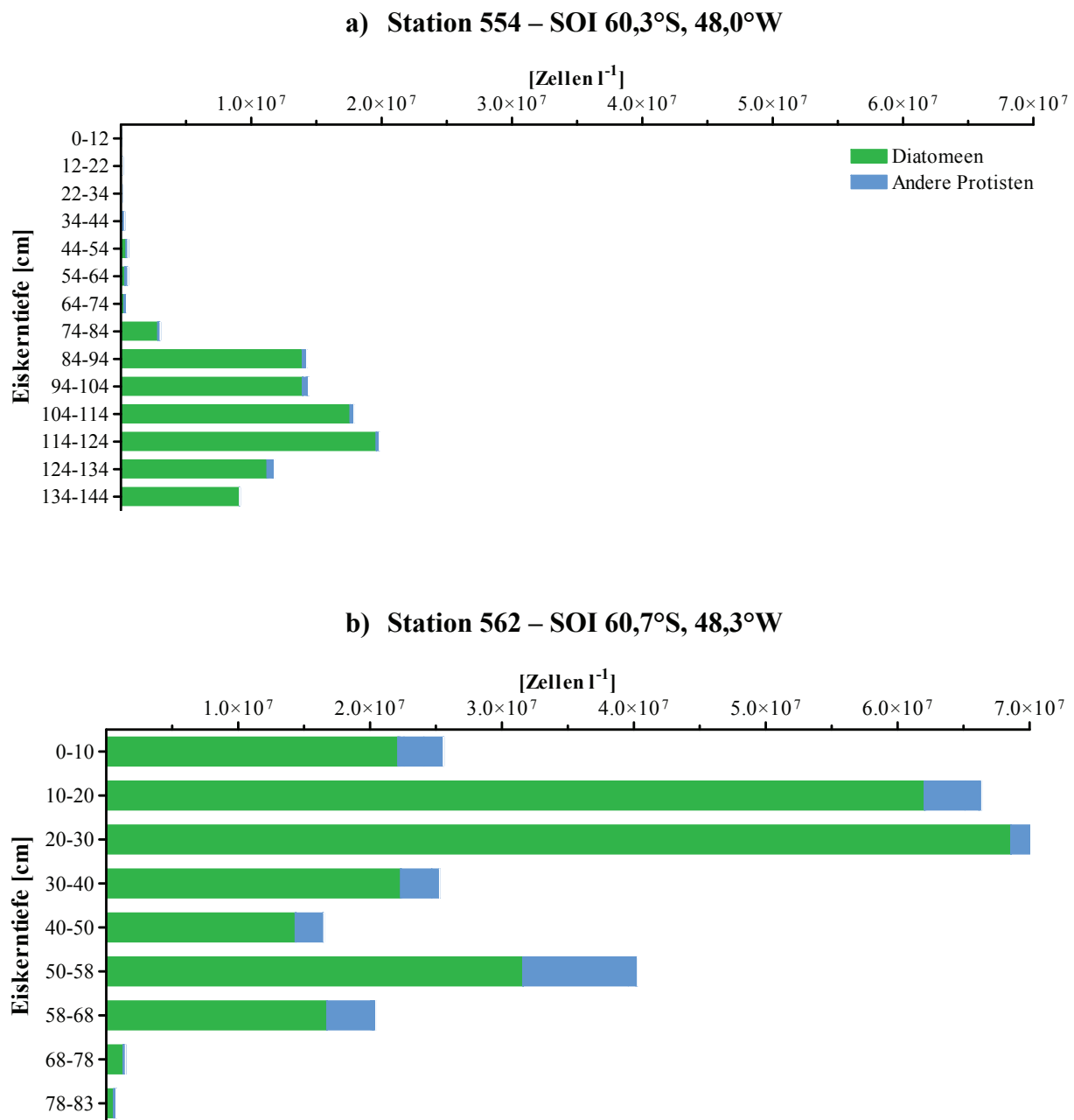
Station	N:P	Si:N	POC:PON	DOC:DON	POC:Chl a	Chl a:Phaeo
554 SOI	8,3	3,5	9,4	5,7	114,2	2,7
562	13,0	2,8	8,6	6,8	123,1	3,9
577 LS	3,4	10,8	5,2	7,6	84,1	14,4
578	5,8	14,0	8,4	19,1	323,6	9,9

Eine Tabelle mit allen Werten zu den Verhältnissen ist im Anhang zu finden.

### 3.6. Die Lebensgemeinschaft im Winter-Meereis

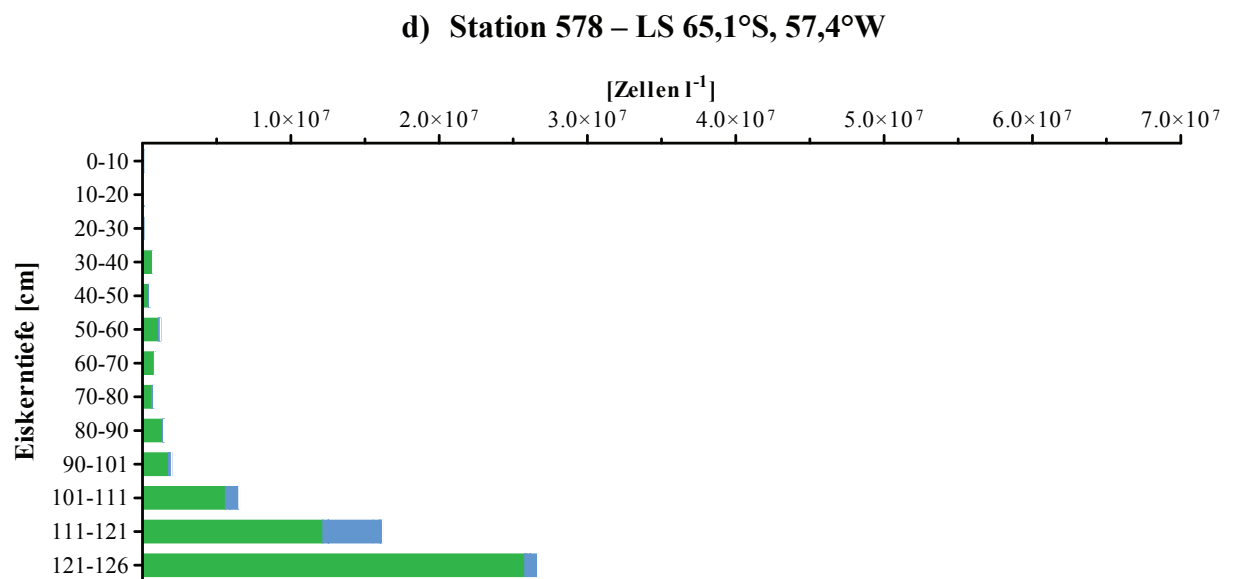
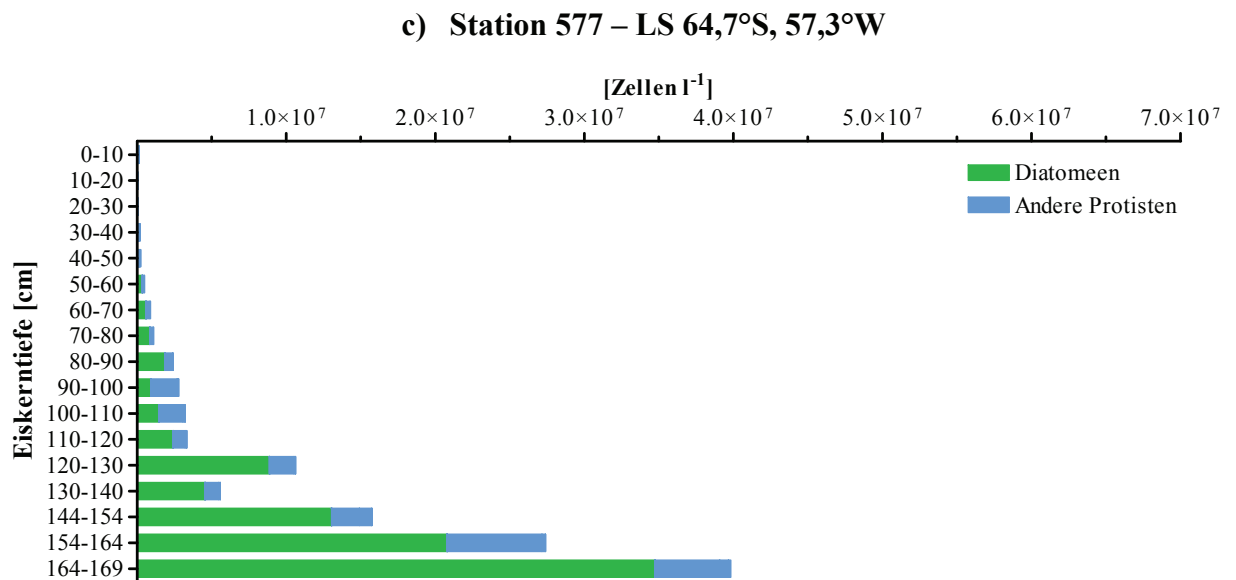
Die Meereisgesellschaft bestand zum Zeitpunkt der Probennahme aus einer Vielzahl von systematischen Gruppen wie Diatomeen, Dinoflagellaten, autotrophen und heterotrophen Flagellaten, Silikoflagellaten, Ciliaten, einzelnen Metazoen und Bakterien. Diatomeen wie auch die verschiedenen Protozoen-Gruppen bildeten bei den beiden nördlichen Stationen 554 und 562 eine Innereisgesellschaft, wobei sich diese bei erstgenannter auf die untere und bei letzterer auf die obere Schollenhälfte konzentrierte (Abb. 11). Bei den beiden südlichen Stationen 577 und 578 war jeweils eine ausgeprägte Bodengesellschaft zu beobachten. Insgesamt dominierten zahlenmäßig Diatomeen an allen Stationen die Meereisgesellschaft, jedoch nicht in jedem Tiefenabschnitt. In einigen Abschnitten an den Stationen 554 und 577, meist in oberen Eisschichten, waren Protozoen (hauptsächlich Flagellaten) vorherrschend im Eis (Station 554, 0-44 cm und Station 577, 20-50 cm, 90-100 cm). Ciliaten und Silicoflagellaten kamen relativ regelmäßig in den Proben vor, waren zellzahlenmäßig jedoch unbedeutend. Sehr selten konnten einzelne Metazoen wie Copepoden (Nauplien und adulte Tiere) beobachtet werden. Das Probenvolumen war für repräsentative Zählergebnisse von Metazoen allerdings zu gering. Außerdem waren häufiger Kotpellets, dichtgepackte Pakete leerer Diatomeenketten und Zysten und Dauerstadien verschiedener Arten in den Proben zu

finden (Abb. 12). Neben marinen Organismen wurden gelegentlich auch Pollenkörner von Landpflanzen (vermutlich *Betula sp.*) und Konidien von Pilzen (vermutlich *Alternaria sp.*, Station 554) gefunden (Abb. 13). Außerdem waren einige Proben zum Teil sehr stark von bakteriellem Befall betroffen.

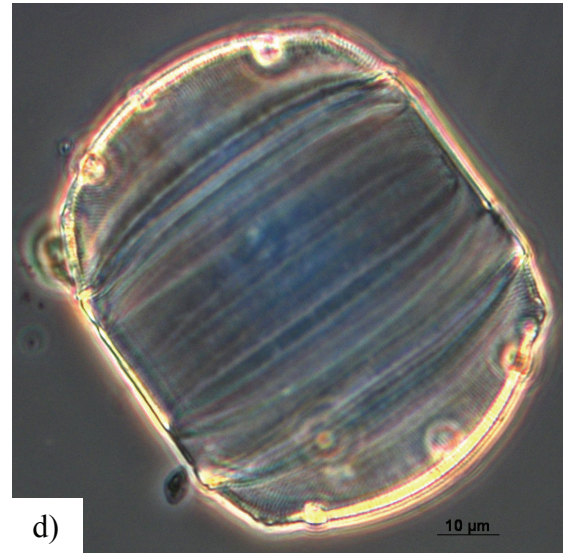
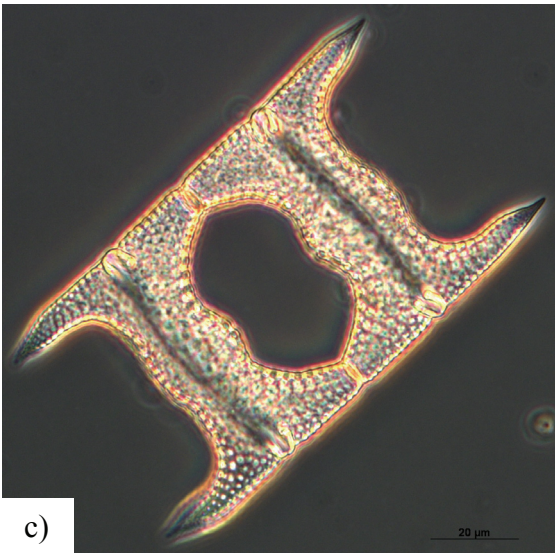
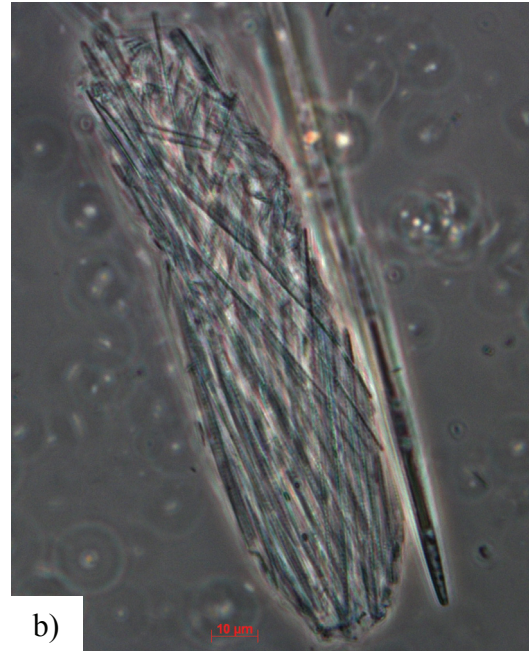
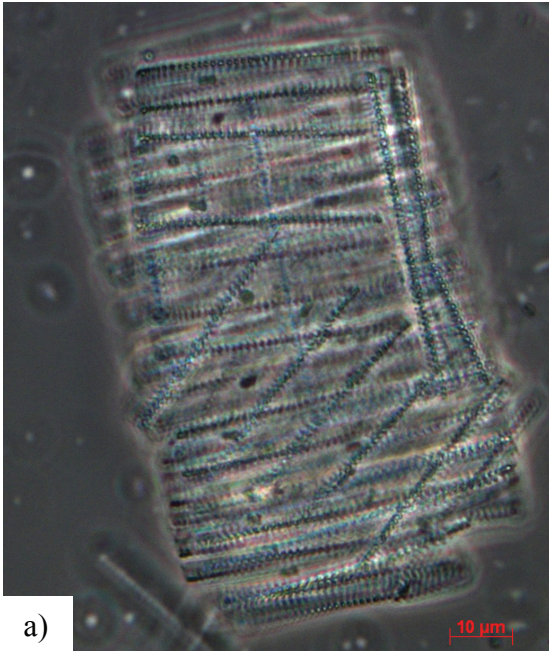


**Abbildung 11:** Vertikale Verbreitung der Meereisgesellschaft.

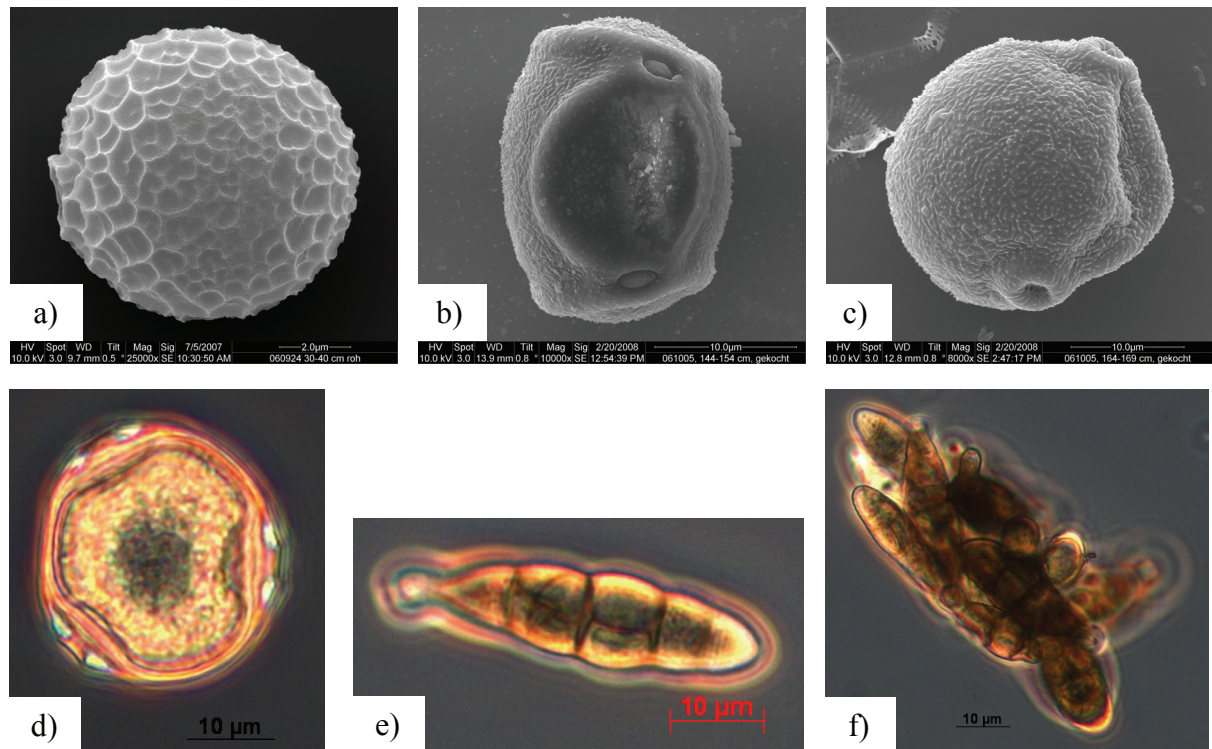




**Abbildung 11:** Fortsetzung – Vertikale Verbreitung der Meereisgesellschaft.



**Abbildung 12:** Lichtmikroskopische Aufnahmen von dichtgepackten a) leeren *Fragilariopsis*-Ketten und b) leeren *Pseudo-nitzschia*-Schalen; c) einer Dauerspore von *Eucampia antarctica* und d) einer Zyste von *Odontella* sp. (wahrscheinlich *O. weissflogii*)



**Abbildung 13:** a) Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Chrysophyceen-Zyste; b) elektronenmikroskopische Aufnahme eines Pollens; c) und d) elektronen- bzw. lichtmikroskopische Aufnahme eines Pollens (vermutlich von *Betula sp.*); e) und f) lichtmikroskopische Aufnahmen von Pilz-Konidien (vermutlich *Alternaria sp.*)

### 3.6.1. Die Diatomeengesellschaft im Meereis

Mit 71 identifizierten Arten waren die Diatomeen mit Abstand die bedeutendste und vielfältigste Gruppe im Winter-Meereis des Weddellmeers. Innerhalb dieser Gruppe bestimmten pennate Formen, die den Gattungen *Fragilariopsis*, *Nitzschia*, *Pseudo-nitzschia* und *Entomoneis* angehören, die Eisflora. Die am weitesten verbreitete Art war *Fragilariopsis curta*, die in 52 der 53 Proben auftrat. Ebenfalls in fast allen Proben vertreten war *F. cylindrus*. Jedoch wurde in 41 Proben eine der *F. cylindrus* sehr ähnliche, kleinere Art, *F. nana*, ebenfalls als *F. cylindrus* aufgenommen. Nur bei Station 554 wurden die beiden Arten in den Proben von der Eisoberfläche bis in 124 cm Tiefe unterschieden. Bis dahin wurde während der Zählerarbeiten angenommen, dass es sich um zwei verschiedene Morphotypen von *F. cylindrus* handelte. In einer aktuellen Studie fanden Lundholm und Hasle (2008) heraus, dass die beiden Morphotypen zwei verschiedene Arten sind. Die Zählerarbeiten waren zu diesem Zeitpunkt jedoch bereits so weit fortgeschritten, dass die neue Erkenntnis nur für die 12 noch verbliebenen Proben angewendet werden konnte. Auch wenn *F. cylindrus* und *F. nana* für den Großteil der Proben nicht getrennt gezählt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass

beide in fast allen Fällen parallel auftraten, wobei *F. nana* vermutlich wesentlich abundanter war.

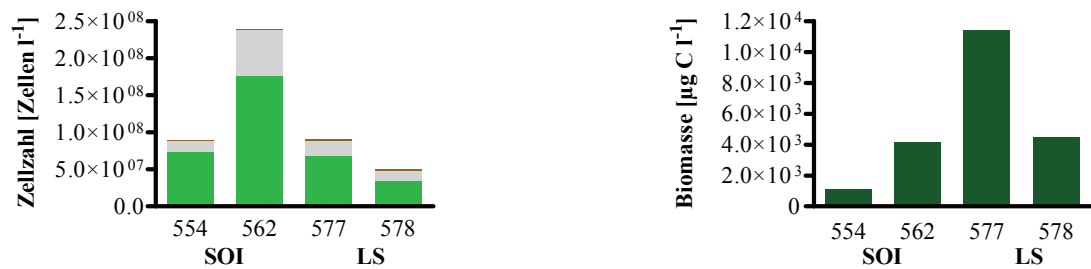
Die drei kleinen *Fragilariopsis*-Arten (*F. curta*, *F. cylindrus* und *F. nana*) kamen jeweils in der gesamten Eisscholle vor, während Arten wie die Schlauchalge *Berkeleya rutilans*, *Entomoneis* spp., *Nitzschia stellata*, *Pseudo-nitzschia turgiduloides* und *Fragilariopsis vanheurckii* besonders in den unteren Eisschichten beobachtet werden konnten. *Cylindrotheca closterium* dagegen war bei Station 562 an der Eisoberfläche besonders abundant. Unter den zentrischen Diatomeen, die in fast allen Proben auftraten, waren verschiedene *Chaetoceros*-Arten, *Actinocyclus actinochilus*, *Corethron pennatum*, *Coscinodiscus* sp. und *Stellarima microtrias* am häufigsten. Bemerkenswert ist, dass sich das Vorkommen einiger Arten mehr oder weniger auf einzelne Stationen und auch Tiefenstufen beschränkt. Tabelle 5 gibt einen Überblick über das regional begrenzte Auftreten neun ausgewählter Arten. So war z.B. *Berkeleya rutilans* nur bei Station 577 mit nennenswerten Biomasse-Werten zu finden. *Cylindrotheca closterium* konnte in hoher Abundanz nur bei Station 562 beobachtet werden.

**Tabelle 5:** Vorkommen ausgewählter Diatomeen-Arten nach Biomasse (nur volle Zellen). *Chaetoceros* spp., *Haslea* spp. und *Fragilariopsis* spp. beinhalten jeweils alle gefundenen Arten außer *F. cylindrus* und *F. nana*. Bedeutung der verwendeten Symbole: - 0  $\mu\text{g C l}^{-1}$ ; o < 5  $\mu\text{g C l}^{-1}$ ; + < 100  $\mu\text{g C l}^{-1}$ ; ++ < 500  $\mu\text{g C l}^{-1}$ ; +++ > 500  $\mu\text{g C l}^{-1}$ .

Art	SOI		LS	
	St. 554	St. 562	St. 577	St. 578
<i>Berkeleya rutilans</i>	o	-	+++	o
<i>Chaetoceros</i> spp.	o	+++	+	o
<i>Corethron pennatum</i>	++	+++	o	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	+	+++	o
<i>Cylindrotheca closterium</i>	o	+++	o	o
<i>Fragilariopsis</i> spp.	++	+	+++	+++
<i>Haslea</i> spp.	o	-	+	++
<i>Pseudo-nitzschia turgiduloides</i>	-	o	+	+++
<i>Stellarima microtrias</i>	+	+	+++	o

Eine vollständige Auflistung der Arten ist im Anhang zu finden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Abundanz- und Biomasse-Bestimmungen für jede einzelne Station beschrieben. Hierzu wurden jeweils die fünf häufigsten Arten bzw. die Arten mit den fünf höchsten Biomasse-Werten dargestellt. Einen Überblick über die Diatomeenabundanz und –biomasse gibt Abbildung 14.



**Abbildung 14:** Übersicht über die Gesamt-Diatomeenabundanz (links) und Gesamt-Diatomeenbiomasse (rechts) an den einzelnen Stationen. Bei der Berechnung der Abundanz wurden alle vollen, leeren und zerbrochenen Diatomeenzellen berücksichtigt; in die Biomasseberechnung sind nur volle Zellen eingegangen.

■ volle Zellen   
 ■ leere Schalen   
 ■ Bruch

#### Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W

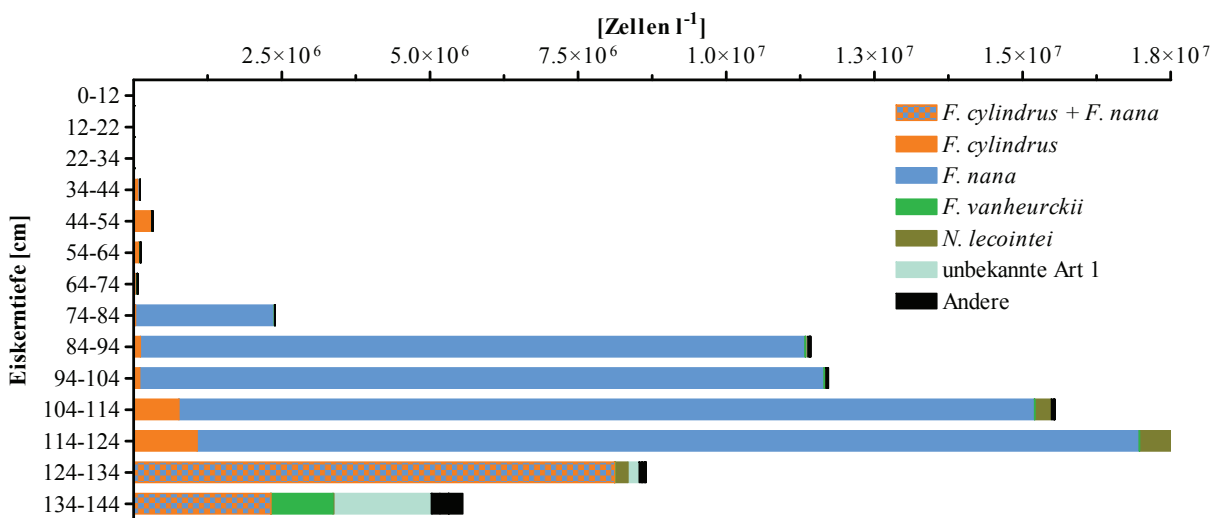
Die Zellzahl der Diatomeen im gesamten Eiskörper war mit  $7,37 \times 10^7$  Zellen  $l^{-1}$  an der nördlichsten Station relativ hoch, wobei sich der Großteil in der unteren Schollenhälfte konzentrierte und die Besiedlung im Abschnitt 114-124 cm am dichtesten war (Abb. 15). Auffallend ist, dass das Biomasse-Maximum nicht im selben Kernabschnitt zu finden war, sondern in der untersten Eisschicht. Die ermittelte Gesamt-Diatomeenbiomasse ist mit nur  $1071 \mu\text{g C } l^{-1}$  vergleichsweise niedrig. Unter den 5 wichtigsten Arten an dieser Station dominierte meist *Fragilariopsis nana* sowohl zahlenmäßig als auch die Biomasse betreffend die Eisgemeinschaft ( $3,6 \times 10^3 - 1,6 \times 10^7$  Zellen  $l^{-1}$  bzw.  $0,02 - 104,4 \mu\text{g C } l^{-1}$ ). Arten wie *Corethron pennatum* und *Entomoneis spp.* trugen nur zur Biomasse einen größeren Anteil bei ( $0,4 - 27,3 \mu\text{g C } l^{-1}$  bzw.  $0,01 - 76,1 \mu\text{g C } l^{-1}$ ).

#### Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W

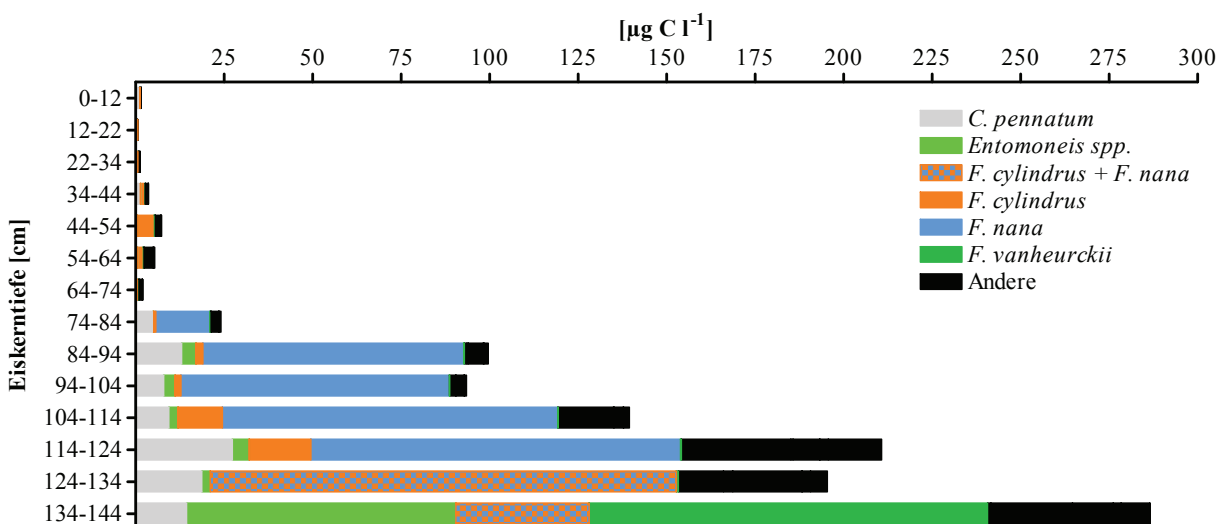
Bei Station 562 wurde eine ausgeprägte Oberflächen- und Innereisgesellschaft beobachtet, die zahlenmäßig meist von *Fragilariopsis cylindrus* und *F. nana* beherrscht wurde ( $7,9 \times 10^4 - 4,4$

$\times 10^7$  Zellen  $l^{-1}$ ; Abb. 16). *Cylindrotheca closterium* dominierte an der Eisoberfläche in Abundanz und Biomasse, war jedoch in den darunterliegenden Schichten fast bedeutungslos ( $2,3 \times 10^5 - 1,6 \times 10^7$  Zellen  $l^{-1}$  bzw.  $3,9 - 277,6 \mu g C l^{-1}$ ). Die Gesamt-Abundanz war hier mit  $1,8 \times 10^8$  Zellen  $l^{-1}$  von allen Stationen am höchsten, die Gesamt-Biomasse war mit  $4169 \mu g C l^{-1}$  nahezu viermal so hoch bei Station 554.

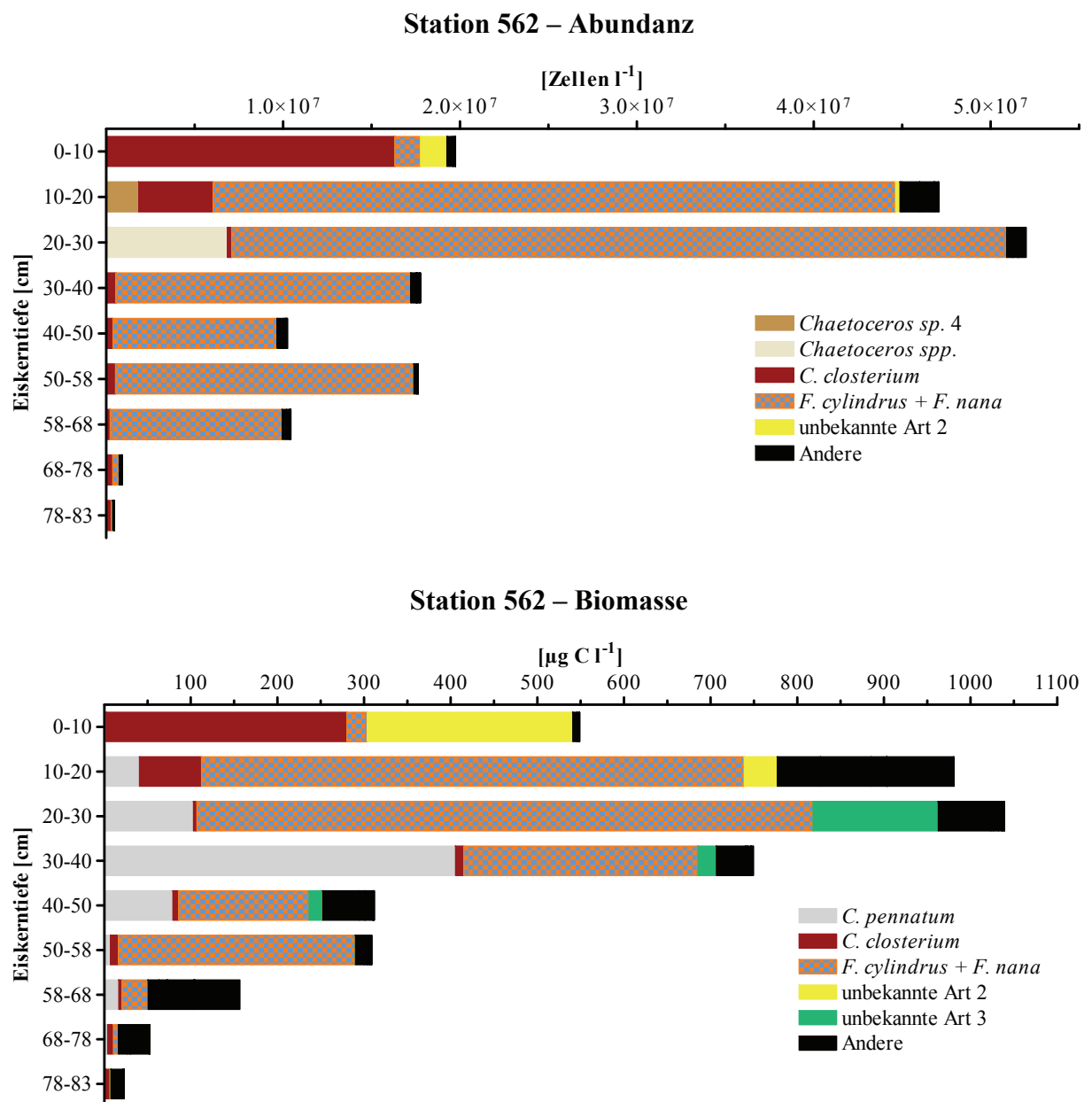
### Station 554 – Abundanz



### Station 554 – Biomasse



**Abbildung 15:** Abundanz- und Biomasse-Verteilung der jeweils 5 wichtigsten Diatomeenarten bei Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W.



**Abbildung 16:** Abundanz- und Biomasse-Verteilung der jeweils 5 wichtigsten Diatomeenarten bei Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W.

*Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W*

Wie in Abbildung 17 dargestellt, wurde in dieser Eisscholle eine ausgeprägte Bodengesellschaft beobachtet, dominiert von *Berkeleya rutilans*, *Entomoneis spp.* und *Nitzschia stellata*, die so ausschließlich in den untersten 5 cm zu finden war. In den Eisschichten darüber waren *Fragilariopsis cylindrus* und *F. nana* zahlenmäßig vorherrschend. Im Vergleich zu den anderen Eiskernen wurde hier die höchste Biomasse mit insgesamt 11399  $\mu\text{g C l}^{-1}$  beobachtet. Die Gesamt-Diatomeenzellzahl betrug  $6,9 \times 10^7$  Zellen  $\text{l}^{-1}$ .

*Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W*

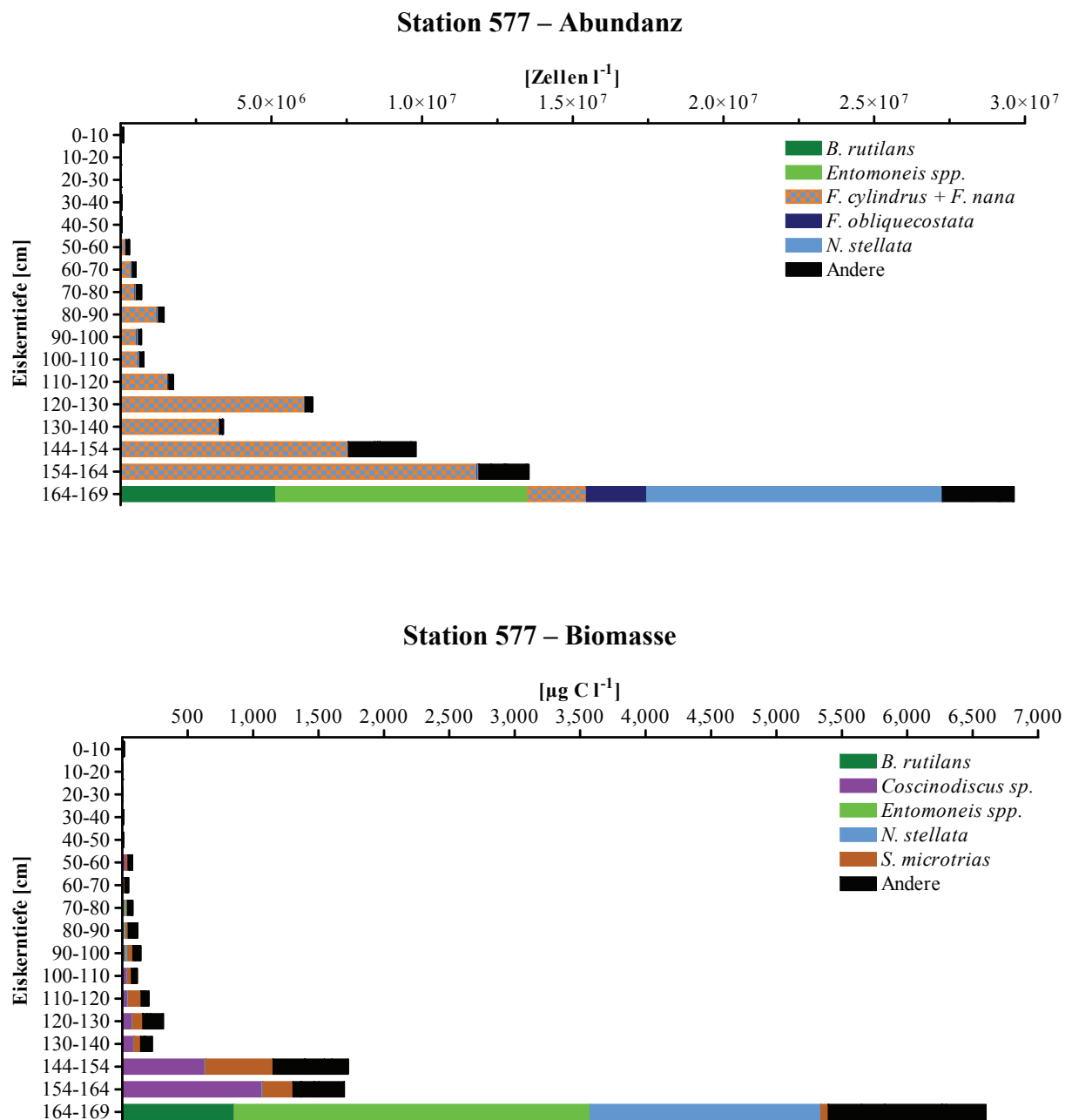
Die Artenzusammensetzung unterschied sich hier grundlegend von der der anderen beprobten Schollen (Abb. 18). *Pseudo-nitzschia turgiduloides* war über die gesamte Tiefe der Eisscholle vertreten und dominierte meist die Diatomeengesellschaft sowohl hinsichtlich der Abundanz als auch der Biomasse ( $3,5 \times 10^2 - 1,3 \times 10^7$  Zellen  $\text{l}^{-1}$  bzw.  $0,04 - 1410 \mu\text{g C l}^{-1}$ ). Außerdem wurden hier auch höhere Zellzahlen und Biomasse-Werte der größeren *Fragilariopsis*-Arten *F. ritscheri* ( $0 - 2,2 \times 10^6$  Zellen  $\text{l}^{-1}$  bzw.  $0 - 314 \mu\text{g C l}^{-1}$ ) und *F. sublinearis* ( $0 - 7,8 \times 10^5$  Zellen  $\text{l}^{-1}$  bzw.  $0 - 156 \mu\text{g C l}^{-1}$ ) gefunden. Als ‚*Fragilariopsis spp.*‘ wurden die Arten aufgenommen, die in Gürtelbandansicht nicht eindeutig identifiziert werden konnten, *F. ritscheri* und *F. sublinearis* eingeschlossen.

*Lebenszustand der Diatomeen*

In Abbildung 19 sind die Anteile voller Diatomeenzellen und leerer und zerbrochener Schalen von allen gefundenen Arten dargestellt. Im Allgemeinen waren die Diatomeen an allen Stationen zum Zeitpunkt der Probennahme in einem vitalen Zustand, d.h. die Chloroplasten waren gut zu erkennen und oft noch deutlich grün gefärbt. Einige pennate Arten bildeten besonders in der untersten Eisschicht zum Teil lange Ketten aus, so z.B. *Entomoneis spp.*, *Pseudo-nitzschia turgiduloides*, einige *Fragilariopsis*-Arten und *Nitzschia stellata* (Abb. 20). Die Anteile leerer Schalen und Bruch an der Gesamt-Diatomeenzahl lagen meist höchstens zwischen 20 und 30 %. Ausnahmen hiervon waren zum einen bei Station 554 zwischen 54 und 74 cm Tiefe zu finden, wo nur etwa ein Drittel der Zellen vital war. Zum anderen wurden bei Station 578 im zweituntersten Kernabschnitt (111 – 121 cm), wo weniger als ein Fünftel der Zellen noch lebte, sehr viele leere Schalen beobachtet (78 %). Zerbrochene Schalen trugen bei

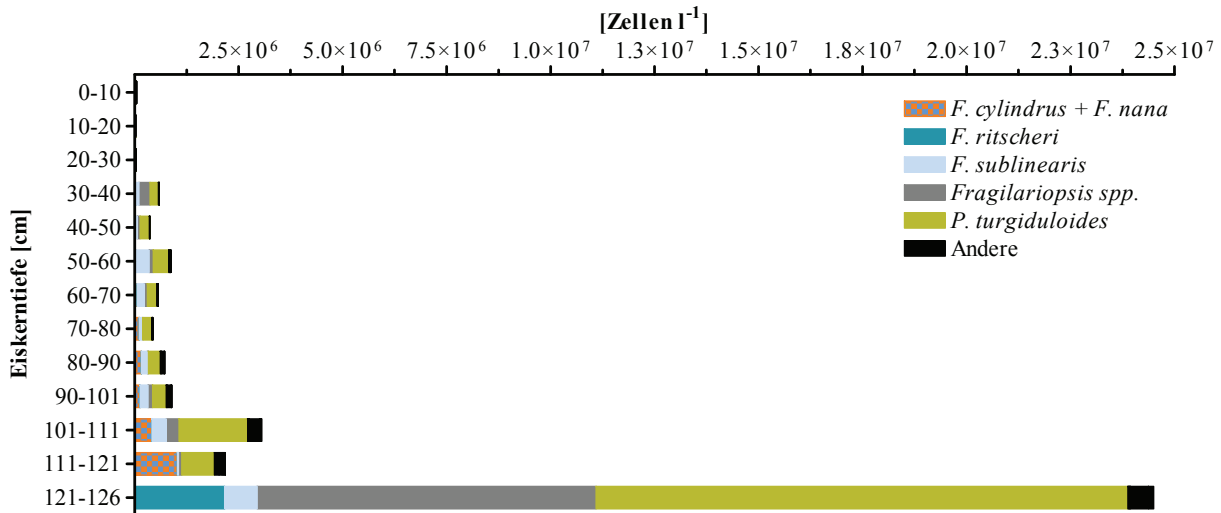


den beiden nördlichen Stationen meist deutlich weniger als 10 % bei, während die Anteile von Bruch bei den südlichen Stationen oft wesentlich höher waren und bis zu knapp 28 % ausmachten. Bemerkenswert ist, dass der Bruch-Anteil in einigen Proben den Anteil von leeren Schalen zum Teil deutlich übersteigt (St. 577, 0 – 30 cm; St. 578, 0 – 70 cm). Der Anteil von Bruch nimmt generell mit zunehmender Eiskerntiefe ab, jedoch nur, weil die beiden anderen Fraktionen anteilig von oben nach unten stärker zugenommen haben.

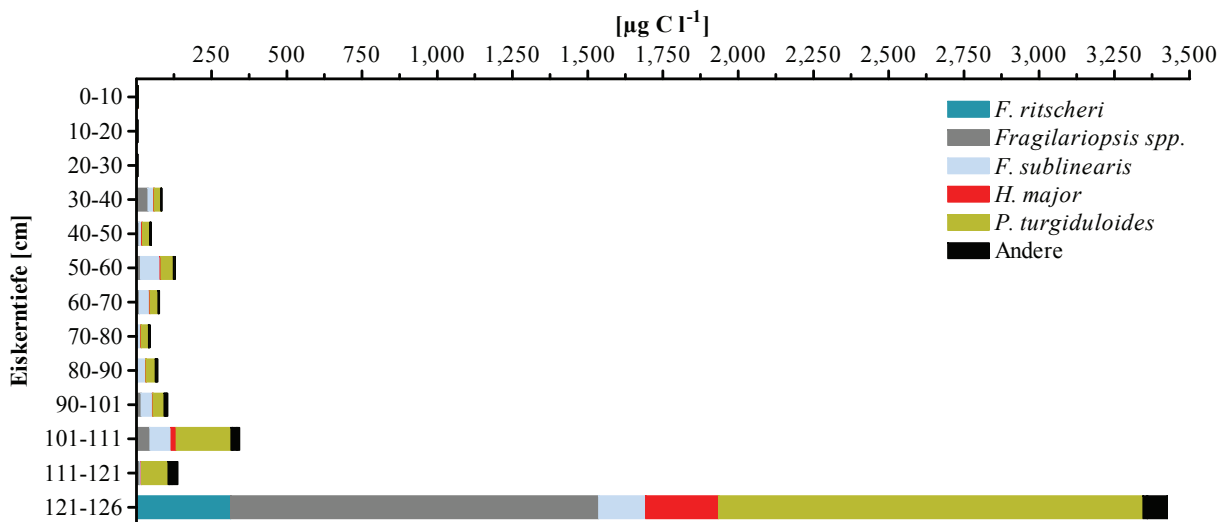


**Abbildung 17:** Abundanz- und Biomasse-Verteilung der jeweils 5 wichtigsten Diatomeenarten bei Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W.

### Station 578 – Abundanz



### Station 578 – Biomasse



**Abbildung 18:** Abundanz- und Biomasse-Verteilung der jeweils 5 wichtigsten Diatomeenarten bei Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W.



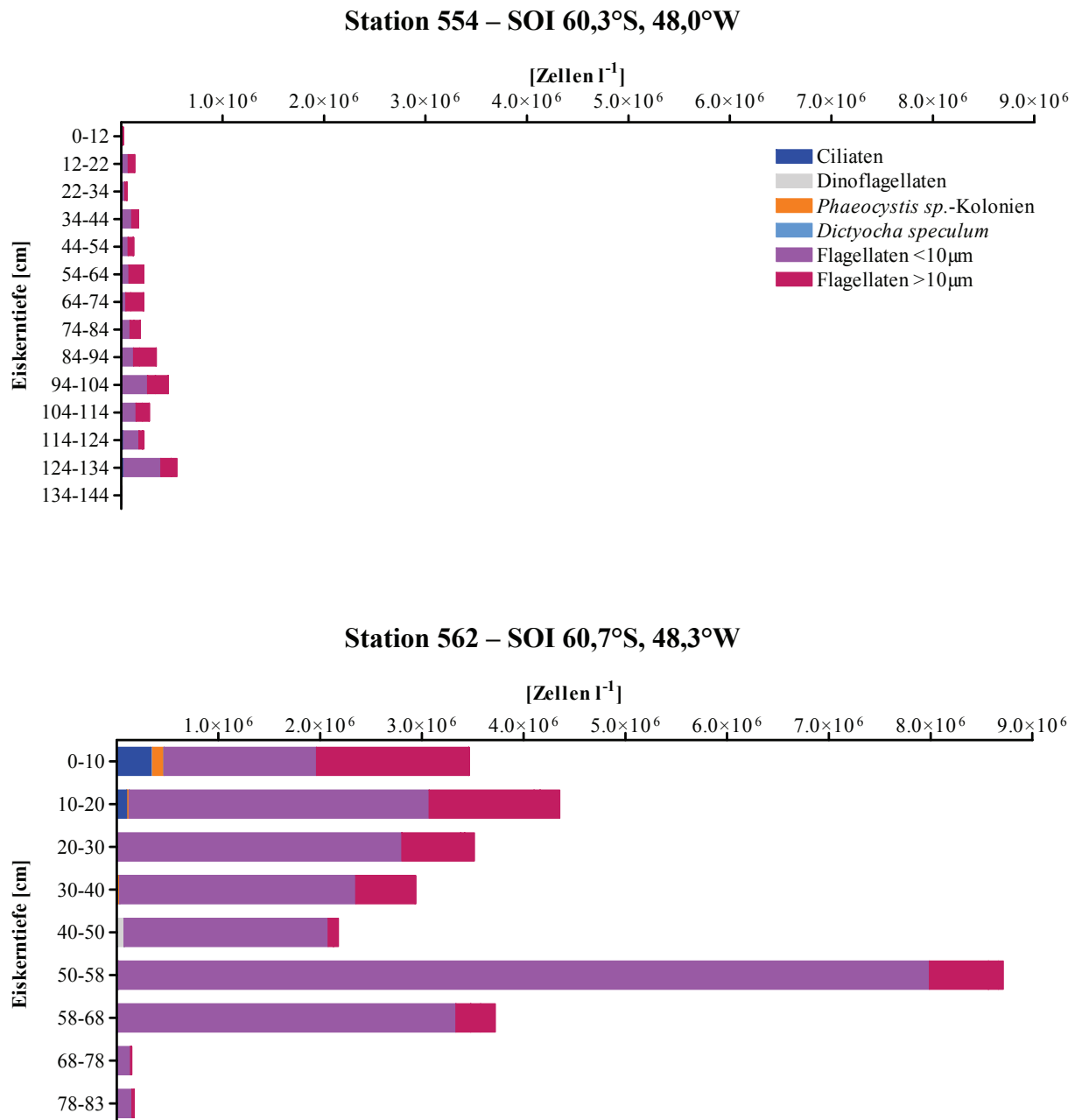


**Abbildung 20:** Lichtmikroskopische Aufnahme einer vitalen Meereisgesellschaft in der untersten Eisschicht bei Station 577 mit langen *Entomoneis*-Ketten, *Pleurosigma normanii*, Ketten von *Fragilariopsis spp.* und einzelnen *Berkeleya rutilans*.

### 3.6.2. Andere autotrophe und heterotrophe Protisten im Meereis

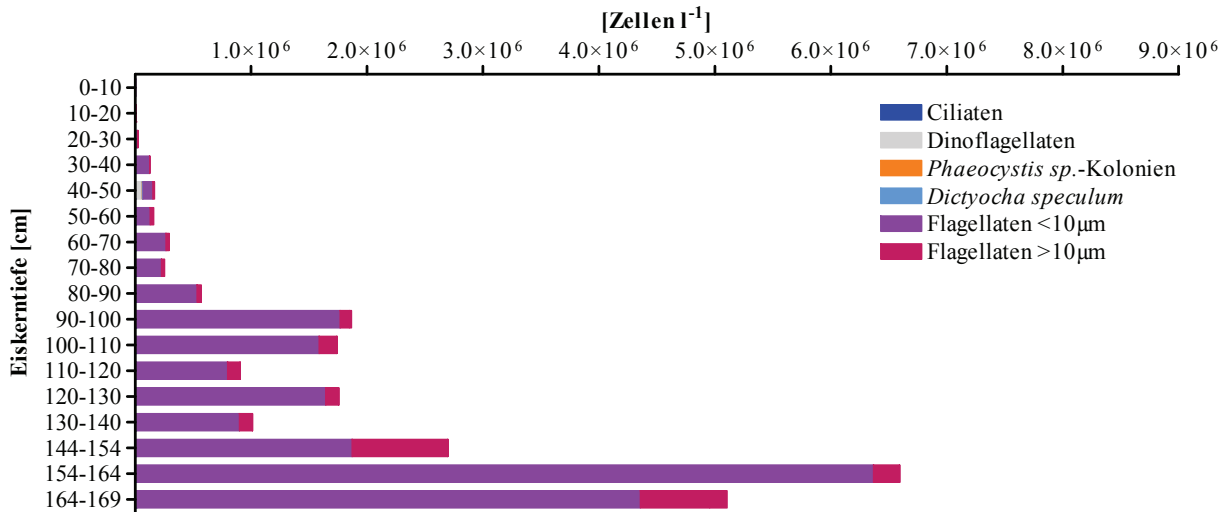
Im Allgemeinen ist die Verbreitung der anderen Protisten im Meereis ähnlich der der Diatomeen. Die Gemeinschaft bestand in allen Proben hauptsächlich aus verschiedenen Flagellatengruppen, wobei fast überall sehr kleine Formen ( $< 10 \mu\text{m}$ ) zahlenmäßig dominierten (Abb. 21). Eine Unterscheidung in auto- und heterotrophe Organismen war aufgrund des Materialzustands nicht möglich, weshalb die Flagellaten nur in Größenklassen eingeteilt wurden. Besonders häufig wurde ein tropfenförmiger Flagellat beobachtet (Abb. 22b). Ciliaten wurden gelegentlich in Eisschichten beobachtet, in denen auch die Diatomeen-Abundanz hoch war. Der Silikoflagellat *Dictyocha speculum* und verschiedene Dinoflagellaten wurden nur vereinzelt gefunden, letztere vor allem bei Station 578. Außerdem konnten gelegentlich

*Phaeocystis*-Kolonien beobachtet werden, die meist jedoch nicht mehr in einem vitalen Zustand waren. In Abbildung 22 sind Vertreter einiger Gruppen gezeigt.

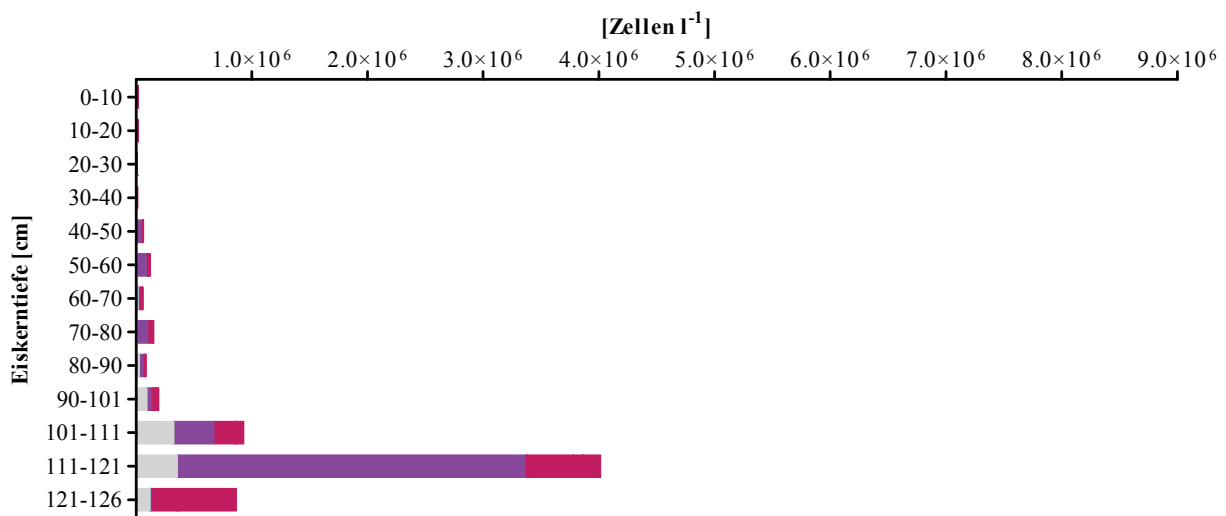


**Abbildung 21:** Vertikale Verbreitung der auto- und heterotrophen Protisten ohne Diatomeen.

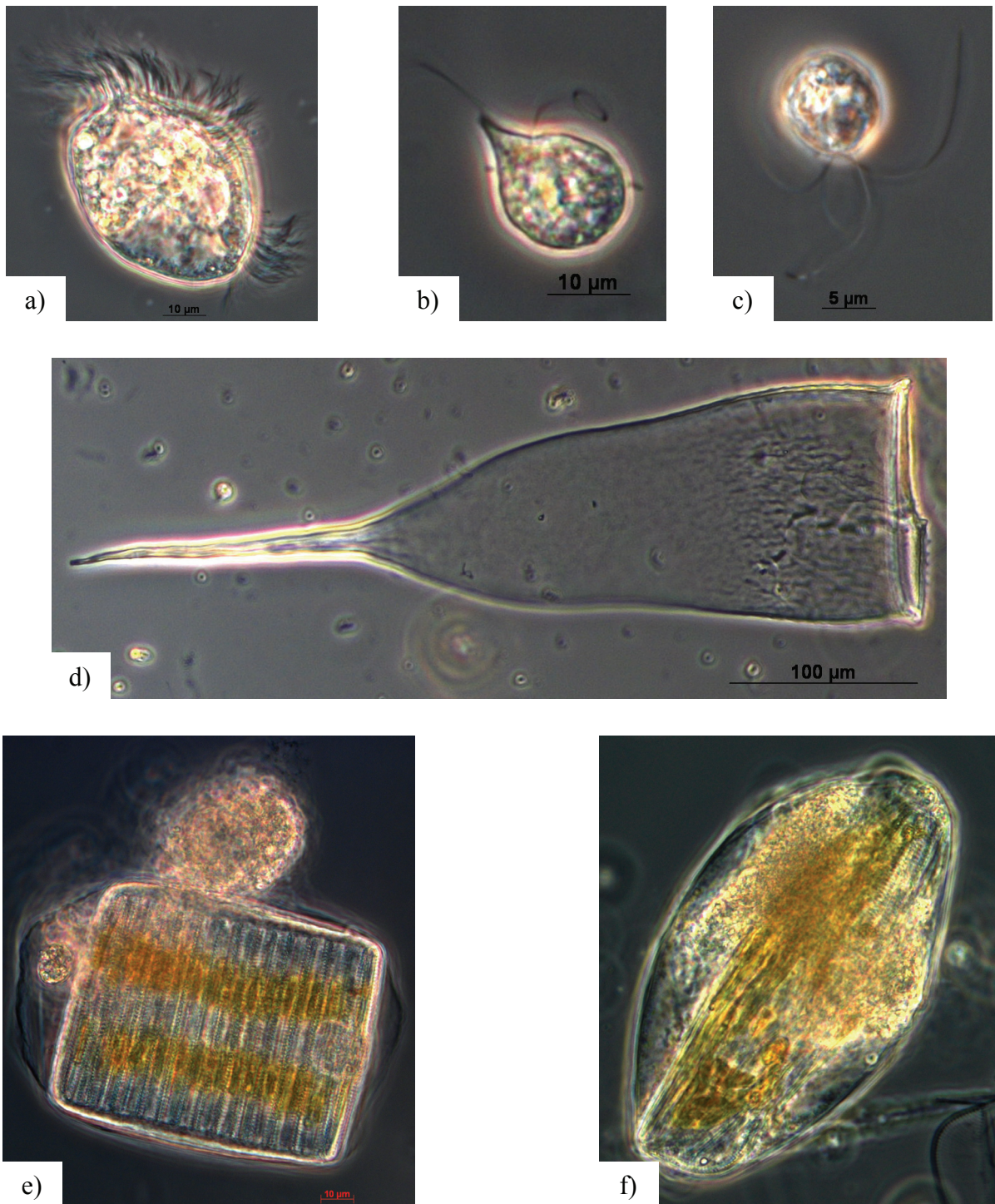
**Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W**



**Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W**



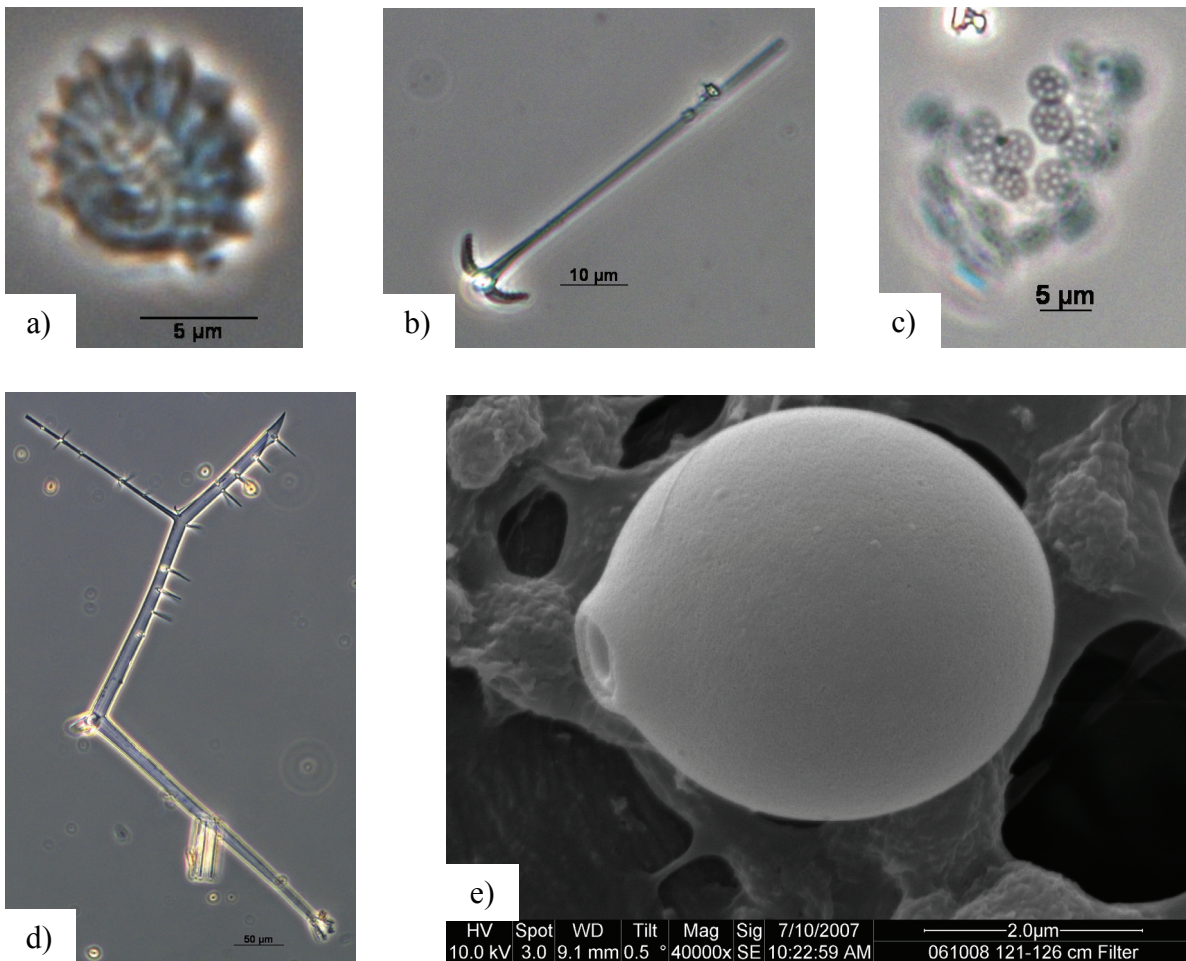
**Abbildung 21:** Fortsetzung – Vertikale Verbreitung der auto- und heterotrophen Protisten ohne Diatomeen.



**Abbildung 22:** Lichtmikroskopische Aufnahmen von a) einem Ciliaten, b) einem Flagellaten, c) einem Nanoflagellaten, d) einer leeren Lorica eines Tintinniden (vermutlich *Cymatocyclus vanhoffeni*), e) einem Flagellaten, der mit seinem Pallium eine *Fragilariopsis*-Kette eingeschlossen hat und f) *Gymnodinium sp.*, der Diatomeen ingestiert hat.

### 3.6.3. Nicht-identifizierte Organismen und Partikel und neue Arten

An jeder Station, wenn auch nur sehr vereinzelt, wurden neben den bereits beschriebenen Organismen auch Arten oder Partikel gefunden, die nicht zugeordnet werden konnten. Einige dieser unbekannt Objekte sind in Abbildung 23 gezeigt.

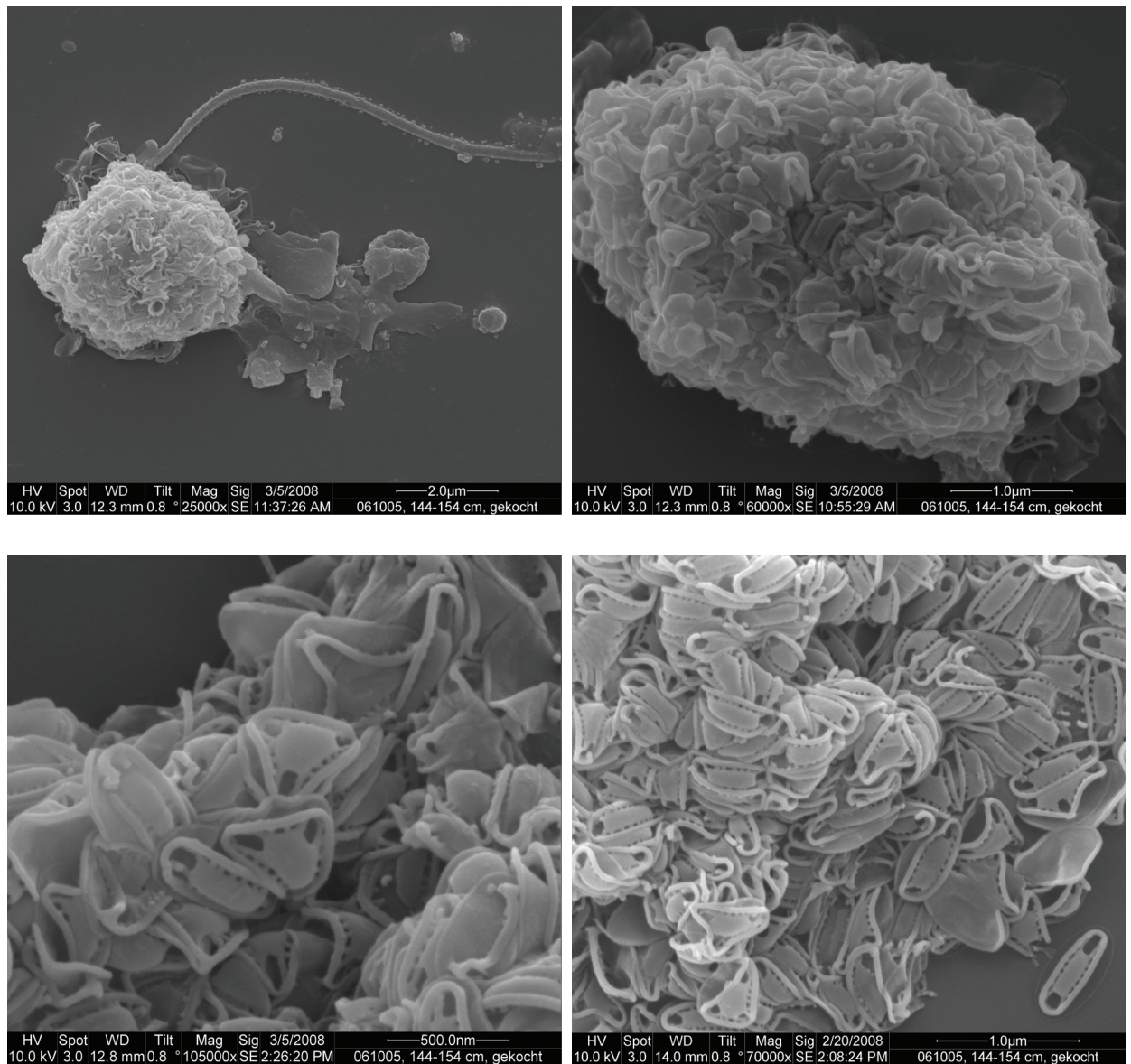


**Abbildung 23:** a) – d) Lichtmikroskopische Aufnahmen von nicht-identifizierten Organismen bzw. Partikeln; e) elektronenmikroskopische Aufnahme einer Zyste o.ä.

Während der Arbeiten am Rasterelektronenmikroskop wurde bei Station 577 ein sehr kleiner beschalter Flagellat (ca. 5 µm im Durchmesser) entdeckt, der in der Literatur noch nicht beschrieben wurde (Abb. 24). Vermutlich handelt sich hier um einen Vertreter der Gattung *Thaumatostix* (H. A. Thomsen, pers. Kommunikation). Die länglichen oder dreieckigen Schalen wurden während der Behandlung mit Salzsäure nicht gelöst und können somit nicht



aus Calciumcarbonat bestehen. Wahrscheinlich sind es Silikatschalen, was durch eine Elementaranalyse jedoch noch bestätigen werden müsste.



**Abbildung 24:** Elektronenmikroskopische Aufnahmen (vermutlich) von *Thaumatomastix* sp.. Oben sind zwei intakte Organismen zu sehen und unten die Schalen, die den Flagellaten umgeben.



## 4. Diskussion

Auch die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass das Meereis ein in jeder Hinsicht extremer Lebensraum ist und seine kleinskalige Heterogenität und die komplexen physikalisch-chemischen Eigenschaften eine Entschlüsselung der Zusammenhänge zwischen den vielen Parametern nach wie vor erschweren. Hinzu kommt die oft fleckenhafte Verteilung von Meereisorganismen, die sich z.T. selbst bei räumlich eng beieinander liegenden Kernen stark unterscheiden. Die in dieser Arbeit untersuchten Eisschollen waren vor allem bezüglich der Eistextur, der Chlorophyll a-Konzentrationen, der Artenzusammensetzung und der vertikalen Verbreitung der Lebensgemeinschaften sehr unterschiedlich. Selbst die jeweils benachbarten Stationen wiesen untereinander nur wenige Gemeinsamkeiten auf. Diese konnten lediglich im regelmäßigen Auftreten typischer Eisalgen, wie z.B. *Fragilariopsis curta* und *F. cylindrus* sowie in der Akkumulation der Organismen im untersten Kernabschnitt bei den beiden südlichen Stationen 577 und 578 beobachtet werden. Außerdem war die Meereisgesellschaft, wie die Chlorophyll a-Konzentrationen belegen, an allen Stationen generell in einem vitalen Zustand und dies angesichts der immer noch herrschenden Winterbedingungen zum Probennahmezeitpunkt. Andere Autoren beobachteten zu dieser Jahreszeit eher geringere Chlorophyll a-Konzentrationen (Eicken, 1992; Bartsch, 1989).

Viele Autoren berichteten bereits von der Dominanz kleiner pennater Diatomeen im Meereis, vor allem durch *Fragilariopsis cylindrus* (z.B. Fiala et al., 2006; Garrison et al., 1987; Garrison et al., 1989a; Ligowski et al., 1992). Auch die von mir untersuchten Meereislebensgemeinschaften wurden zellzahlenmäßig mit *F. cylindrus* und der neu eingeordneten *F. nana* meist von kleinen pennaten Diatomeen dominiert, jedoch nie in den untersten Eisschichten. Dort waren größere pennate Formen wie *Entomoneis spp.*, *Berkeleya rutilans*, *Nitzschia stellata* und *Pseudo-nitzschia turgiduloides* die bedeutendsten Arten. Zentrische Diatomeen waren in meinen Proben seltener vertreten. Die häufigsten waren *Actinocyclus actinochilus*, *Corethron pennatum*, *Stellarima microtrias*, verschiedene *Chaetoceros*-Arten. Sowohl von den großen pennaten als auch den zentrischen Diatomeen wurde in den oberen Eisschichten häufig nur noch leere oder zerbrochene Schalen gefunden, da dort das Raumangebot aufgrund engerer Kanälchen offenbar nicht mehr ausreichend war.

Die Zellzahlen der anderen Protisten überstiegen nur sehr selten die der Kieselalgen. Die Nicht-Diatomeengemeinschaft wurde im Allgemeinen zahlenmäßig von kleinen auto- und heterotrophen Flagellaten ( $< 10 \mu\text{m}$ ) bestimmt.

Im Folgenden wird versucht, die Entstehung der einzelnen Eisschollen anhand der Textur zu rekonstruieren, um die vertikale Verbreitung der Organismen im Eis und die Artenzusammensetzung in Verbindung mit den physikalisch-chemischen Parametern an den einzelnen Stationen interpretieren zu können.

#### **4.1. Das Leben der Meereisorganismen im Winter**

##### **4.1.1. Station 554 – SOI 60,3°S, 48,0°W**

Der Bildungsort dieser Scholle lag vermutlich in der Nähe der Antarktischen Halbinsel. Dort wird das Packeis vom Weddellwirbel vor dem Schelfeis zusammengepresst und bis in die Nähe der South Orkney Inseln transportiert. Selbst große und dicke Schollen können durch den hohen Druck leicht übereinander geschoben werden, was weiter nördlich vor offenem Wasser so nicht möglich wäre. Die beiden mächtigen Abschnitte mit säulenförmigem Eis bei dieser Station, verbunden durch eine etwa 15 cm dicke Schicht aus granulärem Eis, lassen vermuten, dass sich zwei, bereits relativ dicke Schollen übereinander geschoben haben und zu einer Scholle zusammengewachsen sind.

Zunächst soll auf das Verteilungsmuster der Meereisgesellschaft eingegangen werden. Betrachtet man die vertikale Verbreitung der Organismen im Eis, fällt auf, dass nicht nur die unterste Eisschicht an der Eis-Wasser-Grenzfläche, sondern fast die gesamte untere Hälfte der Scholle bevorzugt besiedelt wurde, besonders durch Diatomeen. Welche Prozesse sind dafür verantwortlich? Vermutlich spielt hier die Abfolge der Eistextur eine entscheidende Rolle. Der Zusammenhang von Textur und der Verbreitung der Lebensgemeinschaft ist in Abbildung 25 gezeigt. Für die Verbreitung der Organismen in der gesamten unteren Schollenhälfte scheint besonders die granuläre Schicht in 57 bis 72 cm Tiefe verantwortlich gewesen zu sein. In diesem Bereich kam es offensichtlich zur lateralen Infiltration von Seewasser, was durch das Maximum des Salzgehalts hier angezeigt wird. Einerseits wurden so immer wieder Nährsalze in das Kerninnere nachgeliefert, die üblicherweise nur in der untersten Schicht ausreichend zur Verfügung stehen. Andererseits konnten auf diese Weise auch nach dem initialen Gefrierprozess Planktonorganismen aus dem freien Wasser mit ins Eis und über die

Laugenkanäle in die unter der Infiltrationsschicht liegenden Eisschichten gelangen. Durch diesen, vielleicht ständigen, Austausch mit der Wassersäule konnte sich eine Gesellschaft im Eisinneren entwickeln mit maximalen Abundanzen in 114-124 cm Tiefe. Ohne den lateralen Seewassereintrag hätte sich das Wachstum der Eisalgenflora vermutlich auf die untersten 20 Zentimeter der Scholle beschränkt, wie häufig im Packeis beobachtet (Arrigo et al., 2004b). Dort waren die Zellzahlen jedoch im Vergleich zu innenliegenden Schichten erstaunlicherweise deutlich niedriger. Hier stellt sich die Frage, weshalb sich die Organismen im Abschnitt 114-124 cm akkumulierten und nicht in der untersten Eisschicht angesichts der besseren Nährsalzversorgung durch den mit Sicherheit ständigen Wasserkontakt. Möglicherweise spielte hier die reduzierte Lichtverfügbarkeit durch die hohe Schneeeauflage eine Rolle.

Die Produktivität interner Meereisgesellschaften wird generell als gering beschrieben (Arrigo, 2003; Garrison et al., 1989a; Clarke et al., 1984), wobei hier noch zwischen granulärem und säulenförmigem Eis unterschieden werden muss (Scott et al., 1994). Der Aufbau hoher Biomassen ist besonders zwischen den vertikal orientierten Kristallen von säulenförmigem Eis schwierig, da Algenzellen und andere Partikel beim Eisbildungsprozess eher abgestoßen als eingeschlossen werden (Clarke et al., 1984). Dieses Phänomen ist neben der reduzierten Lichtverfügbarkeit vermutlich ein weiterer Grund für die niedrigen Abundanzen. Die geringe Diatomeenbiomasse ist vor allem auf das Vorherrschen der kleinen *Fragilariopsis*-Arten *F. cylindrus* und *F. nana* zurückzuführen, die nur wenig zur Biomasse beitragen. Dies zeigt sich besonders beim Vergleich von Biomasse und Abundanz in den einzelnen Eisschichten. Die Diskrepanz zwischen beiden fällt besonders in den Abschnitten 114-124 cm und 134-144 cm auf. Große Arten wie *Entomoneis spp.* und *F. vanheurckii* waren zahlenmäßig kaum bedeutend, trugen jedoch maßgeblich zur Biomasse in der untersten Eisschicht bei. Dort könnte das Wachstum von *F. cylindrus* und *F. nana* aufgrund negativer allelochemischer Wechselwirkungen gehemmt gewesen sein (Lewis, Jr., 1986; P. Assmy, pers. Kommunikation), was deren niedrigen Zellzahlen in der untersten Schicht erklären würde (s. Abb. 15). In darüber liegenden Schichten waren die Bedingungen für *Entomoneis spp.* und *F. vanheurckii* womöglich ungünstiger, sodass sich hier die kleineren *Fragilariopsis*-Arten durchsetzen konnten.

Die Vertikalprofile der verschiedenen Verhältnisse (N:P, Si:N und Chl a:Phaeo, s. Anhang) passen sehr gut zur Verbreitung der Lebensgemeinschaft. Die N:P und Si:N Verhältnisse zeigen dort, wo die Lebensgemeinschaft hauptsächlich angesiedelt war, eher eine Zehrung von

Nitrat an. Mit der Artenzusammensetzung ist diese Beobachtung konsistent, da die Eisgesellschaft von schwach verkieselten Arten dominiert wurde und somit das Si:N-Aufnahmeverhältnis in etwa eins beträgt. In der Wassersäule herrschen dagegen häufig stark verkieselte Diatomeenarten wie *Fragilariopsis kerguelensis* und *Thalassiothrix antarctica* vor, die für den Schalenaufbau ungefähr dreimal mehr Silikat aufnehmen müssen als Nitrat (Hoffmann et al., 2007). Das Chlorophyll a zu Phaeo-Pigment-Verhältnis korreliert gut mit der Verteilung der vollen Diatomeenzellen, d.h. die Diatomeengesellschaft war in den untersten Schichten am vitalsten, wo das Chl a:Phaeo-Verhältnis am höchsten war. Generell ist das Verhältnis jedoch relativ niedrig, was für einen hohen Abbau in der Meereisgesellschaft spricht.

Die DOC- und DON-Konzentrationen waren hier lokal höher als in der Wassersäule (Thomas et al., 2001a). Extreme Werte, wie sie Thomas & Dieckmann (2002b) aus antarktischem Meereis berichteten, wurden hier jedoch nicht erreicht. Gelöste organische Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen werden von autotrophen Organismen vor allem bei der Zellyse oder bei Fraß durch Zooplankton freigesetzt (Thomas et al., 2002b). Dies könnte besonders in der oberen Schollenhälfte der Fall gewesen sein, wo einzelne Metazoen und relativ viel Diatomeenbruch beobachtet wurden. Die Diatomeen-Abundanzen waren dort jedoch sehr niedrig und die Herkunft von DOC und DON kann nur zum Teil damit erklärt werden.

Zum partikulären organischen Kohlenstoff (POC) trug zumindest in den untersten 40 cm neben der Diatomeenbiomasse, die nur etwa ein Viertel bis die Hälfte des POC ausmachte, auch viel totes organisches Material (Detritus) bei. Der Detritus bestand zum großen Teil aus Überresten von Diatomeen und vermutlich auch *Phaeocystis sp.*-Kolonien, die (zusammen mit Kotpellets oder anderen Ausscheidungen) schleimige Aggregate bildeten und häufig mit Bakterien oder Nanoflagellaten assoziiert waren. Die Aggregatbildung führt in der Wassersäule zur Beschleunigung der Sinkgeschwindigkeiten von leeren Diatomeenschalen, Dauerstadien verschiedener Organismen und anderen Partikeln (Smetacek, 1985). Im Meereis scheinen solche Aggregate bis zur Eisschmelze eine willkommene Nahrungsquelle für die mit ihnen beobachteten heterotrophen Organismen zu sein.

#### 4.1.2. Station 562 – SOI 60,7°S, 48,3°W

An dieser Station wurde eine Eisscholle vorgefunden, die sich im Hinblick auf Textur, Schneebedeckung, Artenzusammensetzung und Biomasse von allen anderen beprobten Schollen abhebt. Außerdem konnte diese Scholle als einzige nicht wesentlich über die thermodynamische Maximaldicke (Wadhams et al., 1987) hinaus wachsen und war mit etwa 80 cm am wenigsten mächtig. Ursache dafür war vermutlich die hohe Schneedecke, die isolierend wirkte und die Wärmeabgabe an die Atmosphäre behinderte (Eicken, 2003). Das fast ausschließlich granuläre Eis, das während seiner Bildung im Herbst eine Algenblüte eingeschlossen hatte und wahrscheinlich unter turbulenten Bedingungen weiter gewachsen ist, war mit knapp einem halben Meter Schnee bedeckt und infolge dieser Last zu weiten Teilen überflutet. Durch die Überflutung mit frischem Seewasser wurden von oben her neue Nährsalze nachgeliefert und es konnte sich eine ausgeprägte Oberflächen- und Innereisgesellschaft entwickeln, was bereits von mehreren Autoren beobachtet wurde (z.B. Arrigo et al., 1997; Ackley et al., 1994; Legendre et al., 1992).

Zum Zeitpunkt der Probennahme (24.09.2006) begünstigte die Tageslänge von über zwölf Stunden bereits wieder das Algenwachstum im Untersuchungsgebiet. Durch die hohe Schneebedeckung muss jedoch die Lichtmenge, die das Eisinnere erreichte, herabgesetzt gewesen sein (Messungen, die das belegen, liegen nicht vor). Für die Eisorganismen schien dennoch zumindest bis in knapp 70 cm Tiefe ausreichend Licht verfügbar gewesen zu sein, um das erhöhte Nährsalzangebot infolge der Überflutung für ihr Wachstum nutzen zu können (Arrigo et al., 1997). Als typische Eisdiatomeen (Garrison et al., 1993) konnten dies hauptsächlich *Fragilariopsis cylindrus*, *F. nana* und *Cylindrotheca closterium* umsetzen, wobei sich letztere bevorzugt nahe der Eisoberfläche ansiedelte (Horner et al., 1992).

Die Nicht-Diatomeengemeinschaft war hier im Vergleich zu Station 554 mit wesentlich höheren Abundanzen zu finden und wurde von kleinen Flagellaten ( $< 10 \mu\text{m}$ ) dominiert. Zwischen 50-58 cm Tiefe wurden gleichzeitig die höchste Flagellaten-Abundanz, der niedrigste Anteil voller Diatomeenzellen und eine vergleichsweise hohe Nitrat-Konzentration gefunden. Gewöhnlich werden in Verbindung mit Heterotrophen eher hohe Ammonium-Konzentrationen beobachtet (Thomas et al., 2002a; Dieckmann et al., 1991 und Referenzen darin), so dass hier die Interpretation mit den verfügbaren Daten schwer fällt. Die Nitrat-Konzentration war jedoch im gesamten Kern sehr variabel im Gegensatz zu der der anderen Nährsalze, deren Vertikalprofile konsistent sind. Solche Schwankungen wurden im Meereis

bereits häufiger beobachtet (Dieckmann et al., 1991). Die Prozesse, die dahinter stehen, werden jedoch noch nicht im Einzelnen verstanden und erschwerten aus diesem Grund eine Interpretation der N:P und Si:N Verhältnisse.

Die Vertikalprofile von POC, PON, DOC und DON (Abb. 10, S. 30) passen in ihrem Verlauf gut zusammen, spiegeln an der Eisoberfläche jedoch vermutlich eher die Situation in der Wassersäule wider. Wie auch schon bei Station 554 beobachtet, war ein großer Teil des partikulären Materials abgestorben und lag in Form von Aggregaten vor. Die Verhältnisse von POC:PON und DOC:DON liegen im gesamten Kern meist über dem Redfield-Verhältnis, was bedeutet, dass die Nährsalze bereits gezehrt waren und die Organismen nicht mehr so sehr in die stickstoffreiche Wachstumsmaschinerie investieren konnten. Diese Erkenntnis steht auch im Einklang mit dem niedrigen Chlorophyll a zu Phaeo-Pigment-Verhältnis von knapp unter 2, das einen erhöhten Abbau der photoautotrophen Organismen anzeigt.

#### **4.1.3. Station 577 – LS 64,7°S, 57,3°W**

Die Entstehungsgeschichte dieser Scholle, die sich wahrscheinlich im kalten Küstenstrom abspielte, lässt sich anhand der Textur relativ gut rekonstruieren. Die abwechselnd säulenförmige und granuläre Eistextur in den oberen 45 cm deutet auf ein Übereinanderschieben von vier relativ jungen pfannkuchenförmigen Schollen hin (Eicken, 2003). Der weitere Gefrierprozess an der Eisunterseite erfolgte vermutlich zunächst unter wechselnden Bedingungen, worauf der große Abschnitt von gemischt säulenförmigem/granulärem Eis hinweist. Nach Beruhigung der Wassersäule konnte sich noch eine etwa 50 cm dicke Schicht mit rein säulenförmigem Eis bilden. Während des Gefrierprozesses muss die Scholle in unmittelbarer Nähe eines Leads oder der Küstenpolynya gewesen sein, wo die Atmosphäre dem Wasser Wärme entzieht, da sich andernfalls eine so hohe Eisdicke aus thermodynamischen Gründen nicht hätte bilden können (Wadhams et al., 1987). Eine Schneebedeckung fehlte hier völlig, was sowohl auf geringe Niederschläge als auch auf starke Winde im Vorfeld der Probennahme zurückzuführen sein dürfte.

Infolgedessen war die Lichtverfügbarkeit für die autotrophen Organismen wesentlich besser als bei den beiden nördlichen Stationen 554 und 562 und besonders in den untersten 25 cm konnten sich hier hohe Biomassen aufbauen. Im Gegensatz zu den Stationen 554 und 562 wurde diese Eisscholle weder in der Mitte noch im Bereich des Freeboards von Seewasser



infiltriert. Die Meereisorganismen waren somit vollständig auf die Nährsalze, die das Seewasser von unten einspülte, angewiesen. Die Nährsalzverfügbarkeit nimmt von der Eis-Wasser-Grenzfläche nach oben hin ab und ist meist nur in den untersten 20 cm günstig für Algenwachstum (Arrigo et al., 1992), was sich hier auch deutlich in der Diatomeen-Biomasseverteilung zeigt. Für die bemerkenswert hohe Chlorophyll a-Konzentration von über  $1300 \mu\text{g l}^{-1}$  in der untersten Eisschicht waren hauptsächlich *Entomoneis sp.*, *Nitzschia stellata* und *Berkeleya rutilans* verantwortlich, wobei die beiden letztgenannten Arten besonders gut mit niedrigen Temperaturen zurechtkommen (V. Smetacek, pers. Kommunikation). Alle drei Arten wurden in langen Ketten, viel verzweigten, sternförmigen Kolonien bzw. in langen Schläuchen beobachtet, was für eine rege Teilungsaktivität spricht. Die großen und zum Teil weitverzweigten Kolonien müssen allerdings nicht ausschließlich im Eis angesiedelt gewesen sein. Wahrscheinlich bildete ein Großteil der langen Ketten und Schläuche Algenmatten an der Eisunterseite aus, die häufig auch in zentimeterlangen Zellfäden im Wasser schweben können (McConville et al., 1983). In den darüber liegenden Schichten machten die großen zentrischen Arten *Stellarima microtrias* und *Coscinodiscus sp.* den Hauptteil der Biomasse aus, während *Fragilariopsis cylindrus* und *F. nana* eher unbedeutend waren.

Die anderen auto- und heterotrophen Protisten waren etwas weniger abundant als bei Station 562, wurden jedoch ebenso von kleinen Flagellaten ( $< 10 \mu\text{m}$ ) dominiert. Die Gegenüberstellung mit der Diatomeen-Abundanz zeigt, dass die Diatomeen in einigen Abschnitten (90-110 cm und 154-164 cm) offensichtlich von Fraß betroffen waren, was sich ebenfalls in den erhöhten Anteilen leerer Diatomeenschalen widerspiegelt. Außerdem wurden im unteren Drittel der Eisscholle, vor allem aber in den untersten 5 cm, extrem viele Bakterien gefunden, die offensichtlich von den hohen Konzentrationen an gelösten organischen Verbindungen (DOC, DON) profitierten, die durch Zellyse bei natürlichem Zelltod und/oder Fraß aus den Algenzellen freigesetzt wurden (Thomas et al., 2002b). Möglicherweise waren neben viralem Befall, dem Fraß durch Flagellaten, andere Protisten und Metazoen auch die Bakterien selbst Auslöser für die Algenmortalität. Angetrieben durch die erhöhten DOC- und DON-Konzentrationen scheinen die Bakterien zumindest in der untersten Eisschicht auch für die Remineralisation von Stickstoff- und Phosphorverbindungen verantwortlich gewesen zu sein. Jedenfalls können die erhöhten Nitrat- und Phosphat-Konzentrationen in der Grenzschicht zum Wasser nicht allein mit Nährsalznachlieferung aus der Wassersäule erklärt werden, da die Konzentrationen dort nur etwa ein Drittel der im Eis vorhandenen Konzentrationen ausmachen.

Die Zählraten lassen sich bei dieser Station nicht so gut mit den physikalisch-chemischen Parametern vergleichen wie bei den ersten beiden Stationen, da die drei Parallelkerne in der Mächtigkeit um mehrere Zentimeter voneinander abweichen. So ist der CHL-Kern, der für die Zählungen und Chlorophyll a-, Phaeo-Pigment-, POC- und PON-Messungen genutzt wurde, 12 bzw. 14 cm dicker als der Textur- bzw. Nährsalz-Kern. Dennoch kann man meines Erachtens annehmen, dass die physikalischen Eigenschaften, die Konzentrationen der chemischen Parameter sowie die Abundanzen unabhängig von der lokalen Eisdicke in der horizontalen Ebene nahe der Eisoberfläche und der Eisunterseite in etwa konsistent sind und eher zur vertikalen Schollenmitte hin verschimmen.

Die POC- und PON-Werte erscheinen hier grundsätzlich viel zu niedrig angesichts der hohen Diatomeenbiomasse, die die POC-Konzentration z.B. in der untersten Eisschicht um beinahe das Achtfache übersteigt. Die Ursachen für diese Diskrepanz sind im Nachhinein nur schwer auszumachen und es ist nicht auszuschließen, dass während der POC- und PON-Messung Fehler unterlaufen sind.

#### **4.1.4. Station 578 – LS 65,1°S, 57,4°W**

Als einzige war diese Scholle Teil des Küstenfesteises, d.h. dass das Meereis bei seiner Bildung am Schelfeis verankert wurde. Wie auch bei den anderen Stationen lässt sich dies mit Hilfe der Textur rekonstruieren. Der über einen Meter dicke Abschnitt mit säulenförmigem Eis ist typisch für Festeis (Ackley et al., 1994) und hätte sich im frei schwimmenden Packeis selbst unter ruhigen Bedingungen kaum bilden können, da es aufgrund der Strömung fast immer zu Überschiebungen der Schollen kommt. Große Festeisflächen sind jedoch sehr stabil und allenfalls in den Randbereichen davon betroffen. Wird der Druck des Packeises auf das Festeis jedoch zu hoch, können auch hiervon Teile abbrechen, die dann mit dem Weddellwirbel in Richtung Norden transportiert werden. Mit der beprobten Scholle, die im Larsen-B-Strom gefunden wurde, ist dies vermutlich so geschehen. Die Eisdicke lag auch hier deutlich über der thermodynamisch möglichen und zumindest der Bereich um die Probennahmestelle muss somit über längere Zeit in der Nähe von offenem Wasser gewesen sein. Wie bei Station 577 gab es keine Infiltrationsschicht und auch die Schneedecke war nur sehr dünn, sodass die Lichtbedingungen im Eis ausreichend gut waren für das Wachstum photoautotropher Organismen.

Die eindeutige Herkunft dieser Scholle wird nicht nur durch die Textur angezeigt. Auch die Meereisgesellschaft hebt sich in ihrer Artenzusammensetzung deutlich von den Packeis-Schollen ab (Garrison, 1991b). In der Diatomeengesellschaft dominierten Arten, die bei allen anderen Stationen nur selten oder gar nicht gefunden wurden. So wurden z.B. *Pseudo-nitzschia turgiduloides*, *Fragilariopsis ritscheri* und *F. sublinearis* am häufigsten beobachtet, oft in langen Ketten. Die erstgenannte wurde von Scott et al. (1994) im Festeis der Prydz-Bucht, Ost-Antarktis ebenfalls als häufigste Art gefunden. Außerdem wurde häufiger die mit bis zu 280  $\mu\text{m}$  sehr große *Haslea major* gefunden. Die kleinen *Fragilariopsis*-Arten *F. cylindrus* und *F. nana* traten hier in wesentlich geringeren Abundanzen auf als bei den anderen Stationen. Unter den anderen Protisten waren erstmals auch Dinoflagellaten abundanter. Dominierend waren jedoch nackte Flagellaten über 10  $\mu\text{m}$  im untersten Abschnitt, darüber überwogen eher die kleineren Flagellaten. Insgesamt waren deren Zellzahlen jedoch relativ gering. Lediglich im zweituntersten Abschnitt (111-121 cm) wurden vergleichsweise viele, insbesondere kleine Flagellaten (< 10  $\mu\text{m}$ ) beobachtet, die sich von Diatomeen ernährt haben könnten. Der sehr große Anteil leerer Zellen in diesem Abschnitt könnte jedoch auch hier auf das Zusammenspiel verschiedener Faktoren (Protozoen- und Metazoen-Fraß, viraler Befall, natürlicher Zelltod) zurückzuführen sein. Der Peak in den Konzentrationen von POC und PON ist vermutlich auch auf die hohe Flagellaten-Abundanz zurückzuführen. Allerdings sind die Konzentrationen dieser beiden Parameter wiederum nicht immer stimmig zur berechneten Diatomeen-Biomasse. So ist z.B. in der untersten Eisschicht die Biomasse um etwa 1000  $\mu\text{g l}^{-1}$  bzw. 80  $\mu\text{mol l}^{-1}$  höher als die POC-Konzentration. Es ist somit nicht sicher, inwieweit die POC- und PON-Konzentrationen verlässlich sind. Die erhöhten DOC- und DON-Konzentrationen in den untersten 5 cm bewirkten auch an dieser Station Bakterienwachstum. Deren Zellzahlen waren jedoch optischen Schätzungen zufolge wesentlich niedriger als bei Station 577. Neben Bakterien wurden sehr kleine, höchstwahrscheinlich heterotrophe Nanoflagellaten (HNF), die nicht größer waren als zwei Mikrometer, mit mehr als doppelt so hohen Abundanzen gefunden wie die Diatomeen. Möglicherweise haben sie hier die Bakterien kontrolliert. In die Abbildungen zur Abundanz sind die HNF nicht mit eingegangen, da sie das Bild der Lebensgemeinschaft aufgrund der hohen Zellzahlen verzerrt hätten.

Insgesamt machte die Diatomeengesellschaft nur in den untersten 5 cm der Scholle und in einigen Schichten weiter oben im Eis einen vitalen Eindruck. In den übrigen Abschnitten wurden verhältnismäßig viele leere und zerbrochene Schalen gefunden, was mit Fraß durch kleinere Protozoen (< 10-20  $\mu\text{m}$ ) in Verbindung gebracht werden kann. Mit leeren

Diatomeenschalen gefüllte Pallien wurden besonders in den untersten 25 cm häufiger gefunden, jedoch immer nur mit *Pseudo-nitzschia turgiduloides* und Ketten von verschiedenen *Fragilariopsis*-Arten. Offenbar war es für die heterotrophen Einzeller am einfachsten und effektivsten, diese Arten einzufangen. Gelegentlich konnten sogar größere Protozoen (> 20 µm), die wie an die Pallien angeheftet erschienen, beobachtet werden (s. Abb. 22e, S.49).

#### 4.1.5. Vergleich der Stationen

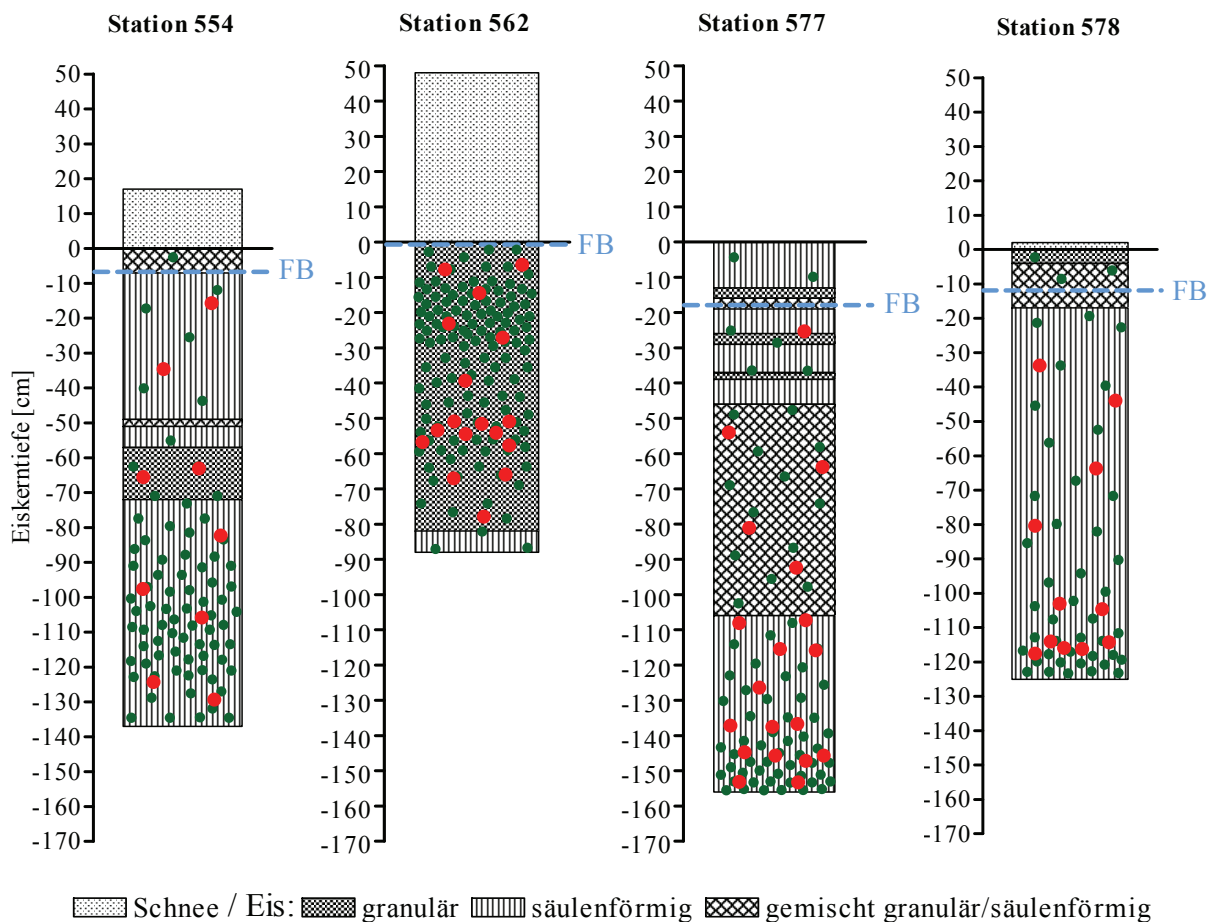
Bereits die Beprobung von nur vier verschiedenen Eisschollen genügte, um eine Vorstellung von der außerordentlichen Dynamik und Heterogenität des Meereisökosystems zu bekommen. Allein bei der Auswahl der zu untersuchenden Eiskerne nach dem Ende der Expedition wurde deutlich, wie variabel dieser Lebensraum ist. Für die mikroskopischen Untersuchungen sollte die Algenbiomasse möglichst hoch sein und so wurden die Proben ausgewählt, die dieses wichtigste Kriterium erfüllten. Doch schon hierbei zeigte sich, dass die Unterschiede im Chlorophyll a-Bestand mit einer Differenz von etwa 75 mg Chl a m<sup>-2</sup> immens waren (Differenz aus Chl a-Maximum bei St. 577 und Chl a-Minimum bei St. 554; s. Tab. 2). Neben den sehr variablen Faktoren Nährsalzversorgung und Lichtverfügbarkeit spielte bei der Besiedlung und Entwicklung der Meereisgesellschaft vor allem auch die Eistextur eine Rolle, die in allen vier Eiskernen grundsätzlich verschieden war. Dadurch ergaben sich große Unterschiede in der Besiedlung der vier Schollen. In Abbildung 25 ist die Verteilung der Organismen in den Kernen noch einmal schematisch dargestellt. Hier wird verdeutlicht, welche Regionen im Meereis in Abhängigkeit von der Textur bevorzugt besiedelt wurden. In säulenförmigem Eis siedelten sich sowohl Diatomeen als auch die anderen Protisten hauptsächlich im unteren Teil der Scholle an, da die Nährsalze hier nur vom Umgebungswasser an der Eisunterseite bereitgestellt werden konnten, mit Ausnahme von Station 554, wo ungefähr in der Mitte der Scholle Seewasser einsickerte. Ganz anders war die Situation im granulären Eis, wie es bei Station 562 in der Nähe der South Orkney Islands gefunden wurde. Bei der Bildung dieser Eisstruktur werden generell alle Zellen inkorporiert, die sich während der Eisbildung im Wasser befinden, weshalb in granulärem Eis grundsätzlich höhere Zellzahlen zu erwarten sind (Garrison et al., 1989b). Zellen können sogar selbst, ähnlich wie Staubpartikel bei der Kondensation von Wasser, als ‚Gefrierkeime‘ wirken (Clarke et al., 1984). Aufgrund der Schneelast war die Nährsalzversorgung bei Station 562 von der Eisoberseite her durch eine regelmäßige Überflutung der Scholle gewährleistet. Dies führte daher nahe der Oberfläche, wo

auch die Lichtverfügbarkeit noch ausreichend war, zu hohen Diatomeen-Abundanzen. Die anderen Protisten hielten sich hier bevorzugt einige Zentimeter tiefer im Eis auf (weitere Erklärungen dazu in Abschnitt 4.1.6.). Bei der Bildung des säulenförmigen Eises wurden dagegen Partikel selektiv abgestoßen, was dort zu wesentlich geringeren Zellzahlen führte. Die Verteilung der anderen Protisten folgte im Wesentlichen der Diatomeen-Verteilung.

Trotz aller Variabilität und Heterogenität im Meereis ergaben sich jedoch auch Gemeinsamkeiten und Parallelen zwischen den Stationen, die in den folgenden Abschnitten herausgearbeitet werden sollen.

Eine generelle Ähnlichkeit bestand in der Artenzusammensetzung und Häufigkeitsverteilung der Diatomeengesellschaft sowohl bei den beiden nördlichen Stationen 554 und 562 als auch bei der südlichen Station 577. Als häufigste Arten traten hier die beiden *Fragilariopsis*-Arten *F. nana* und *F. cylindrus* auf. Neben *F. cylindrus* [und nach ihrer Neuordnung sicherlich ebenso *F. nana* (Lundholm et al., 2008) gilt auch *F. curta* als typische Eisalge, die wie die beiden erstgenannten als Meereis-Proxies in der Rekonstruktion der Eisbedeckung seit der letzten Eiszeit vor etwa 21000 Jahren eine Schlüsselrolle einnehmen (Zielinski et al., 1997; Armand, 2000; Armand et al., 2003). Ihre Schalenüberreste, die sich in Meeressedimenten abgelagert haben, werden in der Mikropaläontologie mit der Eisbedeckung in Verbindung gebracht und können so helfen, die Meereisausdehnung in Kalt- und Warmzeiten zu rekonstruieren und ein besseres Verständnis der klimatischen Bedingungen vergangener Epochen zu erhalten.

Andere in den von mir untersuchten Packeis-Proben auftretende Arten waren *Actinocyclus actinochilus*, *Nitzschia lecointei*, *N. stellata*, *Entomoneis spp.*, *Berkeleya rutilans* und *Pleurosigma normanii*, wobei die vier letztgenannten von Günther & Dieckmann (2001) eindeutig mit Festeis in Verbindung gebracht wurden, wenn auch in Proben aus der Atka Bucht im östlichen Weddellmeer. Das in meiner Arbeit untersuchte Festeis wies hinsichtlich der Artenzusammensetzung ebenfalls deutliche Unterschiede zum Packeis auf, jedoch waren hier *Pseudo-nitzschia turgiduloides*, *Fragilariopsis ritscheri*, *F. sublinearis* und *Haslea major* am bedeutendsten. Die gegensätzlichen Beobachtungen deuten darauf hin, dass nicht unbedingt das Festeis selbst für die andere Artenzusammensetzung verantwortlich ist, sondern vielmehr regionale Unterschiede zum Tragen kommen.



**Abbildung 25:** Grafische Darstellung der Textur an den vier Stationen mit der Verteilung der Diatomeen- ( ●● ) und Protistenabundanz (andere auto- und heterotrophe Protisten; ●●●). Die Darstellung der Abundanz ist nicht maßstabsgetreu. FB – Freeboard. Die verschiedenen Eistypen sind in der Legende angeführt.

Weiterhin konnte bei jeder Scholle eine Sukzession der Diatomeenarten beobachtet werden; bei den Stationen 554, 577 und 578 von der Eisunterseite zur Eisoberfläche und umgekehrt bei Station 562. Für die erstgenannten Stationen war diese von der untersten zur zweituntersten Eisschicht am auffälligsten. In den untersten 5 bis 10 cm mit eventuell relativ neu gebildetem Eis wurden stets hauptsächlich große und/oder koloniebildende Arten wie *Entomoneis spp.*, *Fragilariopsis ritscheri*, *F. sublinearis*, *F. vanheurckii*, *Berkeleya rutilans*, *Nitzschia stellata*, *Pseudo-nitzschia turgiduloides* oder *Haslea major* gefunden. Vermutlich war in diesem Abschnitt aufgrund des ständigen Wasserkontakts zwischen den Eiskristallen noch ausreichend Raum für große Kolonien in Form von Ketten (*Fragilariopsis spp.*) oder sternförmigen Anordnungen der Zellen (*N. stellata*). Die Koloniebildung steht zum einen für eine optimale Wachstumsumgebung („growth environment“; Smetacek et al., 2004), sichergestellt durch gute

Nährsalz- und Lichtverfügbarkeit; andererseits ist sie für bestimmte Diatomeen ein Instrument zur Fraßvermeidung, vor allem durch Protozoen, die sich mit Hilfe eines Palliums ernähren oder ganze Zellen ingestieren. Bereits wenige Zentimeter weiter oben im Eis wurden insgesamt deutlich weniger Zellen beobachtet und die großen Arten machten meist nur noch einen Bruchteil der Diatomeenbiomasse aus. Die Kettenbildner konnten maximal noch halb so viele Zellen gruppieren wie in der untersten Schicht. Wie auch Gleitz & Thomas (1993) berichteten, konnten sich in dem etwas älteren Eis mit *Fragilariopsis cylindrus* und *F. nana* nun auch kleinere Arten durchsetzen. Gleichzeitig nahm hier zumindest bei den südlichen Stationen 577 und 578 die Protozoen-Abundanz zu, was für einen geringeren Fraßdruck durch karnivore Metazoen spricht.

Bei den Stationen 554, 577 und 578, wo die Lebensgemeinschaft hauptsächlich im unteren Teil der Scholle angesiedelt war, wurde beobachtet, dass die Zellzahlen sanken und der Anteil leerer Zellen zunahm, je weiter man sich im Eis von der am dichtesten besiedelten Schicht weg bewegte. Außerdem kamen bei den Stationen 554 und 577 kleinere Arten aufsteigend im Eis anteilig häufiger vor.

Bei Station 562, die sich durch eine Oberflächen- und Innereisgesellschaft auszeichnete, verlief die Sukzession in entgegengesetzter Richtung. Jedoch dominierten hier in der obersten Schicht nicht etwa große Arten, sondern die verhältnismäßig kleine *Cylindrotheca closterium*, die von verschiedenen Autoren als typischer Vertreter von Oberflächeneisgesellschaften benannt wurde (Burckle, 1987; Horner et al., 1992).

Weitere Gemeinsamkeiten bestehen in gewissen Maße in der steigenden Diversität mit zunehmender (St. 562) bzw. abnehmender Eiskerntiefe (Stn. 554, 577 und 578). In der am dichtesten besiedelten Schicht waren bei allen Stationen neben den dominierenden Arten nur wenige Begleitarten zu finden, deren Vielfalt jedoch zunahm, je größer der Abstand zu besagter Schicht wurde. In Tabelle 6 sind die dominanten und begleitenden Diatomeenarten aufgeführt.

**Tabelle 6:** Übersicht über dominante (**fett gedruckte**) und begleitende Diatomeenarten an den einzelnen Stationen.

Station	Begleitarten	Station	Begleitarten
554 SOI	<i>Actinocyclus actinochilus</i> <b>Corethron pennatum</b> <i>Cylindrotheca closterium</i> <b>Entomoneis spp.</b> <i>Fragilariopsis curta</i> <b>Fragilariopsis cylindrus</b> <b>Fragilariopsis nana</b> <b>Fragilariopsis vanheurckii</b> <i>Nitzschia lecontei</i> <i>Pleurosigma normanii</i> <i>Proboscia alata</i> <i>Stellarima microtrias</i>	562 SOI	<i>Actinocyclus actinochilus</i> <b>Chaetoceros spp.</b> <b>Corethron pennatum</b> <b>Cylindrotheca closterium</b> <b>Fragilariopsis cylindrus</b> <b>Fragilariopsis nana</b> <i>Entomoneis sp.</i> <i>Fragilariopsis curta</i> <i>Fragilariopsis sublinearis</i> <i>Manguinea rigida</i> <i>Nitzschia lecontei</i> <i>Proboscia alata</i> <i>Pseudo-nitzschia prolongatoides</i> <i>Stellarima microtrias</i> <i>Thalassiosira sp.</i>
577 LS	<i>Actinocyclus actinochilus</i> <b>Berkeleya rutilans</b> <b>Coscinodiscus sp.</b> <b>Entomoneis spp.</b> <i>Eucampia antarctica</i> <i>Fragilariopsis curta</i> <b>Fragilariopsis cylindrus</b> <b>Fragilariopsis nana</b> <b>Fragilariopsis obliquecostata</b> <i>Fragilariopsis sublinearis</i> <i>Haslea major</i> <i>Nitzschia lecontei</i> <b>Nitzschia stellata</b> <i>Nitzschia taeniformis</i> <i>Odontella weissflogii</i> <i>Pleurosigma normanii</i> <i>Porosira sp.</i> <i>Pseudo-nitzschia turgiduloides</i> <b>Stellarima microtrias</b> <i>Thalassiosira sp.</i> <i>Trichotoxon reinboldii</i>	578 LS	<i>Banquisia belgicae</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Fragilariopsis curta</i> <b>Fragilariopsis cylindrus</b> <b>Fragilariopsis nana</b> <b>Fragilariopsis ritscheri</b> <b>Fragilariopsis sublinearis</b> <b>Haslea major</b> <i>Haslea trompii</i> <i>Navicula directa</i> <i>Pleurosigma normanii</i> <i>Proboscia alata</i> <b>Pseudo-nitzschia turgiduloides</b> <i>Thalassiosira sp.</i>

Für das sehr geringe Algenwachstum in jeweils der oberen Schollenhälfte bei der nördlichen Station 554 und den beiden südlichen Stationen 577 und 578 waren dort vermutlich die niedrigen Temperaturen von etwa -6 °C und die damit hypersalinen Bedingungen in den Laugenkanälchen verantwortlich (Arrigo et al., 2004a; Kottmeier et al., 1988).

Ein Vergleich kann mit der Arbeit von S. Haase (2007) hergestellt werden. Jedoch wurde nur die südlichste Station 578 übereinstimmend untersucht. Meine Beobachtungen können an



dieser Station die Ergebnisse ihrer molekularbiologisch ausgerichteten Arbeit insofern bestätigen, als neben den vorherrschenden Diatomeen auch Dinoflagellaten während der mikroskopischen Untersuchungen gefunden wurden.

#### 4.1.6. Trophische Interaktionen zwischen den Meereisorganismen

Die Nahrungsbeziehungen zwischen den verschiedenen Organismengruppen lassen sich allein anhand meiner Ergebnisse nicht vollständig erklären, da die Art der Probennahme und -fixierung für die zum Teil sehr zarte Meiofauna nicht geeignet war. Aus diesem Grund waren in meinen Proben nur robustere Metazoen in Form von adulten Copepoden, Nauplien und Krill-Larven zu finden, und selbst diese nur sehr vereinzelt. M. Kramer (2007), die in ihrer Arbeit Proben derselben Expedition untersuchte, fand neben Crustaceen auch Vertreter anderer Organismengruppen, wie z.B. die Nudibranchie *Tergipes antarcticus*, die Ctenophore *Callianira antarctica* und verschiedene Plathelminthen. Ein Vergleich der Meiofauna-Daten mit meinen Ergebnissen an den beiden übereinstimmenden Stationen 554 und 562 in der Nähe der South Orkney Inseln zeigt, dass die Meereisgesellschaft durchaus unter dem Fraßdruck durch Metazoen gestanden haben muss. Copepoden und deren Entwicklungsstadien, die auch zum Schutz vor karnivoren Zooplanktern das Eis als Lebensraum bevorzugen (Hamner et al., 1989; Schnack-Schiel, 1987), könnten sich auf größere und/oder kettenbildende Diatomeen-Arten, wie z.B. *Entomoneis spp.*, konzentriert haben, während kleinere Arten wahrscheinlich anderen Grazern als Nahrung dienten. Dies würde das gleichzeitige, häufigere Auftreten der Crustaceen und der kleinen *Fragilariopsis*-Arten *F. cylindrus* und *F. nana* erklären, z.B. bei den beiden nördlichen Station 554 und 562 in 114-124 cm bzw. 20-30 cm Tiefe. Einerseits sind die kleinen Diatomeen, die meist einzeln oder in nur sehr kurzen Ketten vorliegen, in den Laugenkanälen gut zwischen den Eiskristallen geschützt. Andererseits wäre es für die Copepoden sehr mühsam, einzelne Zellen zu fressen, selbst wenn diese in Massen vorliegen. Eine andere Erklärung für das gleichzeitige Auftreten hoher Crustaceen- und *Fragilariopsis*-Abundanzen wäre, dass Dinoflagellaten, nackte Flagellaten und Ciliaten, die *F. cylindrus* und *F. nana* ingestieren, von den Copepoden gefressen wurden und die Diatomeen somit hohe Zellzahlen ausbilden konnten. In 50-58 cm Tiefe bei Station 562 konnte M. Kramer (2007) keine Copepoden beobachten. Deshalb war die Abundanz der kleinen Flagellaten ( $< 10 \mu\text{m}$ ) hier vermutlich am höchsten. Sie könnten sich von Diatomeen ernährt haben, da deren Anteil an vollen Zellen in diesem Abschnitt am niedrigsten war.

Ein weiterer Grazer der kleinen *Fragilariopsis*-Arten könnte *Tergipes antarcticus* gewesen sein, die z.B. bei Station 562 in der obersten Schicht hohe Abundanzen entwickelte (~ 100 Individuen l<sup>-1</sup>), wo gleichzeitig die Zellzahlen von *F. cylindrus* und *F. nana* verhältnismäßig niedrig waren.

Ergänzend zu den Grazern und Räubern im Eis kommen diejenigen hinzu, die unter dem Eis nach Nahrung suchen, zu denen z.B. Krill (*Euphausia superba*; Frazer et al., 2002; Garrison et al., 1989a; Marschall, 1988b) und größere Copepoden gehören (Garrison et al., 1989a). Bei den südlichen Stationen 577 und 578 scheinen sie im Bereich der Probennahmestelle angesichts der hohen Diatomeen-Zellzahlen dort jedoch nicht sehr abundant gewesen zu sein. Oft sammeln sich die Tiere eher in geschützten Spalten und Höhlen unter dem Eis, die durch das Übereinanderschieben von Eisschollen entstehen (Smetacek et al., 1990; Marschall, 1988a).

Mit Beginn der Eisschmelze gelangen die im Eis eingeschlossen Algen wieder in die Wassersäule und tragen dort zum Teil zur Initiation der Frühjahrsplanktonblüte („Seeding“; Leventer et al., 2007; Garrison et al., 1987) bei. Als Saatpopulation dienen dabei vor allem die Algen, die im Eis mit hohen Zellzahlen vertreten waren (E. Nöthig, pers. Kommunikation), wobei die in der untersten Eisschicht vorherrschenden Arten (z.B. *Entomoneis* spp., *Berkeleya rutilans*, *Nitzschia stellata*) häufig nicht dazu gehören (Bartsch, 1989). Die wichtigsten Arten wären bei den von mir untersuchten Schollen somit *Fragilariopsis cylindrus* und *F. nana*, die im Eis sehr hohe Abundanzen entwickelten. Kang & Fryxell (1992) konnten dies in der Bellingshausen-See im Frühjahr kurz nach der Eisschmelze mit hohen Beständen in der Wassersäule beobachten. Die bereits beschriebenen Aggregate werden nun auch freigesetzt und sinken in die Tiefe (Riebesell et al., 1991). Neben den Organismen und dem Detritus werden ebenso Spurenelemente, die bei der Eisbildung eingeschlossen wurden oder sich über den Winter in der Schneedecke akkumuliert haben, insbesondere Eisen, in die Wassersäule entlassen, was die Entwicklung der Frühjahrsblüte beschleunigt (Smetacek et al., 2005).

Bedingt durch den Klimawandel sind die Schmelzraten von Meereis heute höher als noch vor wenigen Jahrzehnten und die Arten, die die interne Meereisgesellschaft bilden, werden nun schneller in die Wassersäule entlassen und beeinflussen so das Nahrungsnetz der Planktongemeinschaft. Daher ist es wichtig, das Seeding der Wassersäule durch die Eisorganismen weiter zu untersuchen, um Veränderungen im Nahrungsnetz und somit Artengefüge des Planktons verfolgen zu können.

#### 4.1.7. Pollen, Konidien und nicht-identifizierte Organismen und Partikel

Bis auf wenige Arten konnten alle in den untersuchten Proben gefundenen Diatomeen eindeutig taxonomisch eingeordnet werden. Die anderen Protisten in Form von Flagellaten, Dinoflagellaten, Ciliaten u.a. konnten zwar in den meisten Fällen optisch nicht exakt differenziert werden, ihre Zugehörigkeit zu den entsprechenden Gruppen war jedoch in der Regel offensichtlich.

Während der Zählerarbeiten am Lichtmikroskop wurden gelegentlich auch Partikel gefunden, die zunächst nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. Erst Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop halfen bei der Entschlüsselung. Und so konnten z.B. Chrysophyceen-Zysten und auch Pollenkörner von Landpflanzen identifiziert werden (s. Abb. 13a) – d), S. 37). Die Klasse Chrysophyceae ist in den Ozeanen weit verbreitet und wird regelmäßig auch im Meereis gefunden (z.B. Roberts et al., 2007; Stoecker et al., 1998, Bartsch, 1989). Pollenkörner hingegen können von den Landmassen nur über ausgedehnte Winde in entlegene Gebiete wie die Antarktis transportiert werden. Bei einem in meinen Proben gefundenen Pollenkorn handelt es sich vermutlich um eine *Betula*-Art (M. Montresor, pers. Kommunikation), deren Blütenstaub offenbar mit der Westwinddrift von Südamerika in die Nähe der Antarktischen Halbinsel transportiert wurde. Ein weiteres Pollenkorn einer anderen Art konnte nicht identifiziert werden.

Außerdem wurden bei der nördlichsten Station 554 Konidien von Pilzen (*Alternaria sp.*) gefunden, die zwar aus marinen Gewässern bekannt sind (Miao et al., 2005; Raghukumar et al., 1998), jedoch bisher noch nicht als im Meereis vorkommend berichtet wurden.

Eine weitere bemerkenswerte Entdeckung ist der Fund eines bisher unbekanntes Flagellaten bei Station 577, der laut H. A. Thomsen (pers. Kommunikation) zur Gattung *Thaumatomastix* gehören könnte (s. Abb. 24, S. 51). Er war von unzähligen, kaum einen Mikrometer großen (Silikat-?) Schalen umgeben, die eine längliche oder dreieckige Form hatten und trotz ihrer Winzigkeit äußerst fein strukturiert waren, ähnlich dem Griff eines Reißverschlusses. Die taxonomische Beschreibung dieser Art wird im Anschluss an diese Arbeit höchstwahrscheinlich in Zusammenarbeit mit R. Jordan erfolgen.

Des Weiteren wurden auch offensichtlich unbelebte Partikel gefunden, die möglicherweise Exoskelettstrukturen darstellen (s. Abb. 23b) – d), S. 50), jedoch keinem beobachteten Organismus zugeordnet werden konnten. Die Anker-ähnliche Struktur (Abb. 23a) und das

verzweigte, scheinbar mit Dornen besetzte Objekt (Abb. 23d) wurden ebenfalls in der Wassersäule der Lazarev-See beobachtet (S. Herrmann, pers. Kommunikation). Für eine genaue Identifizierung und Zuordnung dieser Partikel wäre die Untersuchung einer größeren Anzahl von Proben notwendig.

## 5. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse meiner Untersuchungen zeigen deutlich, dass etwaige Unterschiede oder Gemeinsamkeiten der vier Eisschollen sowohl im Hinblick auf die biologischen als auch die biogeochemischen und physikalischen Parameter kaum auf die geographische Lage der Eisschollen zum Zeitpunkt der Probennahme zurückzuführen sind. Selbst räumlich verhältnismäßig nah beieinander liegende Schollen zeigten nur wenig Ähnlichkeit. Die Gegenüberstellung der Profile der biologischen, biogeochemischen und physikalischen Parameter lieferte nicht immer eine direkte Korrelation mit der Verteilung der Organismen im Eis. Vielmehr haben die meteorologischen und hydrographischen Prozesse während der Eisbildung und des Eiswachstums einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung und die vertikale Verteilung der Meereisgesellschaft. Für ein besseres Verständnis dieser Zusammenhänge wäre die Untersuchung von einem größeren Probenumfang nötig.

Die Dynamik und Heterogenität des Lebensraums Meereis bringt mit allein 71 Diatomeenarten eine enorme Vielfalt mit sich. Einige Arten konnten als offensichtliche Generalisten sowohl in allen Eisschollen als auch Tiefenstufen beobachtet werden (z.B. *Fragilariopsis cylindrus*, *F. nana*, *F. curta*). Andere waren dagegen auf einen bestimmten Eistyp (z.B. *Pseudo-nitzschia turgiduloides* im Festeis) oder eine bestimmte Region in der Scholle (z.B. *Cylindrotheca closterium* in der Oberflächengesellschaft; *Berkeleya rutilans*, *Nitzschia stellata* und *Entomoneis spp.* in den Bodengesellschaften) konzentriert. Die Abundanzen der Meereisorganismen, insbesondere die der Diatomeen, waren trotz der andauernden Winterbedingungen hoch.

Für ein besseres Verständnis der Interaktionen zwischen den zahlreichen Organismengruppen wären in zukünftigen Studien einerseits zusätzliche Beobachtungen von Lebendmaterial sinnvoll. Andererseits können ausführliche Untersuchungen von Meereisproben mit dem Rasterelektronenmikroskop helfen, viele der Strukturen, die im Lichtmikroskop nicht aufgelöst werden können, zu entschlüsseln.





## Literaturverzeichnis

- ACKLEY, S.F., SULLIVAN, C.W.** (1994). Physical controls on the development and characteristics of Antarctic sea ice biological communities - a review and synthesis. *Deep-Sea Research I* 41: 1583–1604.
- ARMAND, L.K.** (2000). An ocean of ice - advances in the estimation of past sea ice in the Southern Ocean. *DSA Today* 10: 1–7.
- ARMAND, L.K., LEVENTER, A.** (2003). Palaeo sea ice distribution - reconstruction and palaeoclimatic significance. In: Thomas, D. N., Dieckmann, G.S., eds. Sea ice - an introduction to its physics, chemistry, biology Blackwell Science, Oxford, S. 333-372.
- ARRIGO, K.R.** (2003). Primary production in sea ice. In: Thomas, D. N., Dieckmann, G.S., eds. Sea ice - an introduction to its physics, chemistry, biology and geology. Blackwell Science, Oxford. S. 143-183.
- ARRIGO, K.R., SULLIVAN, C.W.** (1992). The influence of salinity and temperature covariation on the photophysiological characteristics of Antarctic sea ice microalgae. *Journal of Phycology* 28: 746–756.
- ARRIGO, K.R., SULLIVAN, C.W.** (2004a). The influence of salinity and temperature covariation on the photophysiological characteristics of Antarctic sea ice microalgae. *Journal of Phycology* 28: 746–756.
- ARRIGO, K.R., THOMAS, D.N.** (2004b). Large scale importance of sea ice biology in the Southern Ocean. *Antarctic Science* 16: 471–486.
- ARRIGO, K.R., WORTHEN, D.L., LIZOTTE, M.P., DIXON, P., DIECKMANN, G.S.** (1997). Primary production in Antarctic sea ice. *Science* 276: 394–397.
- BARTSCH, A.** (1989). Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten. Doktorarbeit. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven. *Berichte zur Polarforschung* 63: 110 S.
- BRIERLEY, A.S., THOMAS, D.N.** (2002). The ecology of Southern Ocean pack ice. *Advances in Marine Biology* 43: 171–278.
- BUNT, J.S.** (1963). Microbiology of Antarctic sea-ice: diatoms of Antarctic sea-ice as agents of primary production. *Nature* 199: 1255–1257.
- BURCKLE, L.H.** (1987). Diatom distribution in the Weddell Gyre region during late winter. *Micropaleontology* 33: 177–184.
- CARMACK, E.C.** (1990). Large-scale physical oceanography of polar oceans. In: Smith Jr. W.O. (ed) Polar oceanography, Part A: Physical science. Academic Press, Inc, San Diego, S. 171-222.
- CLARKE, D.B., ACKLEY, S.F.** (1984). Sea ice structure and biological activity in the Antarctic marginal ice zone. *Journal of Geophysical Research* 89: 2087–2095.
- DIECKMANN, G.S., LANGE, M.A., ACKLEY, S.F., JENNINGS, JR., J.C.** (1991). The nutrient status in sea ice of the Weddell Sea during winter: effects of sea ice texture and algae. *Polar Biology* 11: 449–456.
- EHRENBERG, C.G.** (1853). Über neue Anschauungen des kleinsten nördlichen Polarlebens. Berichte über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlung der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. *Monatsberichte*: 522–529.
- EICKEN, H.** (1992). The role of sea ice in structuring Antarctic ecosystems. *Polar Biology* 12: 3–13.

- EICKEN, H.** (2003). From the microscopic, to the macroscopic, to the regional scale: growth, microstructure and properties of sea ice. In: Thomas, D. N., Dieckmann, G.S., eds. Sea ice - an introduction to its physics, chemistry, biology and geology. Blackwell Science, Oxford. S. 22-81.
- EVANS, C.A., O'REILLY, J.E.** (1983). A handbook for the measurement of chlorophyll a in netplankton and nanoplankton. BIOMASS Handbook No. 9 SCAR Group of Specialists on Living Resources of the Southern Ocean, Cambridge.
- FIALA, M., KUOSA, H., KOPCZYNSKA, E.E., ORIOL, L., DELILLE, D.** (2006). Spatial and seasonal heterogeneity of sea ice microbial communities in the first-year ice of Terre Adélie area (Antarctica). *Aquatic Microbial Ecology* 43: 95–106.
- FOGG, G.E.** (2003). Vorwort. In: Thomas, D. N., Dieckmann, G.S., eds. Sea ice - an introduction to its physics, chemistry, biology and geology. Blackwell Science, Oxford, S. VII-XIII.
- FRAZER, T.K., QUETIN, L.B., ROSS, R.M.** (2002). Abundance, sizes and developmental stages of larval krill, *Euphausia superba*, during winter in ice-covered seas west of the Antarctic Peninsula. *Journal of Plankton Research* 24: 1067–1077.
- GARRISON, D.L.** (1991b). Antarctic sea ice biota. *American Zoologist* 31: 17–34.
- GARRISON, D.L., BUCK, K.R.** (1989a). The biota of Antarctic pack ice in the Weddell Sea and Antarctic Peninsula regions. *Polar Biology* 10: 211–219.
- GARRISON, D.L., BUCK, K.R., FRYXELL, G.A.** (1987). Algal assemblages in Antarctic pack ice and in ice-edge plankton. *Journal of Phycology* 23: 564–572.
- GARRISON, D.L., BUCK, K.R., GOWING, M.M.** (1993a). Winter plankton assemblage in the ice edge zone of the Weddell and Scotia Seas: composition, biomass and spatial distributions. *Deep-Sea Research I* 40: 311–338.
- GARRISON, D.L., BUCK, K.R., SILVER, M.W.** (1982). Ice algal communities in the Weddell Sea. *Antarctic Journal of the United States* 17: 157–159.
- GARRISON, D.L., BUCK, K.R., SILVER, M.W.** (1984). Microheterotrophs in the ice-edge zone. *Antarctic Journal of the United States* 19: 109–111.
- GARRISON, D.L., CLOSE, A.R.** (1993b). Winter ecology of the sea ice biota in Weddell Sea pack ice. *Marine Ecology Progress Series* 96: 17–31.
- GARRISON, D.L., CLOSE, A.R., REIMNITZ, E.** (1989b). Algae concentrated by frazil ice: evidence from lab experiments and field measurements. *Antarctic Science* 1: 313–316.
- GLEITZ, M., THOMAS, D.N.** (1993). Variation in phytoplankton standing stock, chemical composition and physiology during sea-ice formation in the southeastern Weddell Sea, Antarctica. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 173: 211–230.
- GÜNTHER, S., DIECKMANN, G.S.** (2001). Vertical zonation and community transition of sea-ice diatoms in fast ice and platelet layer, Weddell Sea, Antarctica. *Annals of Glaciology* 33: 287–296.
- HAASE, S.** (2007). Eukaryotic biodiversity of Arctic and Antarctic sea ice - a molecular approach: Diplomarbeit. Universität Braunschweig. 87 S.
- HAMNER, W.M., HAMNER, P.P., OBST, B.S., CARLETON, J.H.** (1989). Field observations on the ontogeny of schooling *Euphausia superba* furciliae and its relationship to ice in Antarctic waters. *Limnology and Oceanography* 34: 451–456.
- HASLE, G.R.** (1964). *Nitzschia* and *Fragilariopsis* Species Studied in the Light and Electron Microscopes. I. Some Marine Species of the Groups *Nitzschiella* and *Lanceolatae*. Skrifter utgitt av det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. I. Mat.-Naturv. Klasse Ny Serie 16 Universitetsforlaget, Oslo.
- HASLE, G.R.** (1965 a). *Nitzschia* and *Fragilariopsis* Species Studied in the Light and Electron Microscopes. II. The Group *Pseudonitzschia*. Skrifter utgitt av det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. I. Mat.-Naturv. Klasse Ny Serie 18 Universitetsforlaget, Oslo.



- HASLE, G.R.** (1965 b). Nitzschia and Fragilariopsis Species Studied in the Light and Electron Microscopes. III. The Genus Fragilariopsis. Skrifter utgitt av det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. I. Mat.-Naturv. Klasse Ny Serie 21 Universitetsforlaget, Oslo.
- HELLMER, H.H., HAAS, C., DIECKMANN, G.S.** (2006). Sea ice feedbacks observed in western Weddell Sea. *EOS Transactions AGU* 87: 173–175.
- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C.-D., KIRSCHTEL, D., POLLINGER, U., ZOHARY, T.** (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35: 403–424.
- HOFFMANN, L.J., PEEKEN, I., LOCHTE, K.** (2007). Effects of iron on the elemental stoichiometry during EIFEX and in the diatoms *Fragilariopsis kerguelensis* and *Chaetoceros dichchaeta*. *Biogeosciences* 4: 569–579.
- HOOKER, J.D.** (1847). The botany of the Antarctic voyage of H.M. discovery ships Erebus and Terror in the years 1839-1843. I. Flora Antarctica. Reprint 1963. J. Cramer Verlag, Weinheim, 574 S.
- HORNER, R., ACKLEY, S.F., DIECKMANN, G.S., GULLIKSEN, B., HOSHIAI, T. ET AL.** (1992). Ecology of sea ice biota. 1. Habitat, terminology, and methodology. *Polar Biology* 12: 417–427.
- KANG, S.-H., FRYXELL, G.A.** (1992). *Fragilariopsis cylindrus* (Grunow) Krieger: The most abundant diatom in water column assemblages of Antarctic marginal ice-edge zones. *Polar Biology* 12: 609–627.
- KOTTMEIER, S.T., SULLIVAN, C.W.** (1988). Sea ice microbial communities (SIMCO) - 9. Effects of temperature and salinity on rates of metabolism and growth of autotrophs and heterotrophs. *Polar Biology* 8: 293–304.
- KRAMER, M.** (2007). Studies on the sympagic meiofauna in the pack ice of the Weddell Sea (Antarctica) in winter: Diplomarbeit. Universität Oldenburg. 140 S.
- LEGENDRE, L., ACKLEY, S.F., DIECKMANN, G.S., GULLIKSEN, B., HORNER, R. ET AL.** (1992). Ecology of sea ice biota. 2. Global significance. *Polar Biology* 12: 429–444.
- LEVENTER, A., ARMAND, L.K., HARWOOD, D., JORDAN, R., LIGOWSKI, R.** (2007). New approaches and progress in the use of polar marine diatoms in reconstructing sea ice distribution. In: Antarctica: A keystone in a changing world - online proceedings of the 10th ISAES X, edited by A.K. Cooper and C.R. Raymond et al. *USGS Open-File Report 2007-1047*: Extended Abstract 005, 4 S.
- LEWIS, W.M., JR.** (1986). Evolutionary interpretations of allelochemical interactions in phytoplanktonalgae. *The American Naturalist* 127: 184–194.
- LIGOWSKI, R., GODLEWSKI, M., LUKOWSKI, A.** (1992). Sea ice diatoms and ice edge planktonic diatoms at the northern limit of the Weddell Sea pack ice. *Polar Biology* 5: 9–20.
- LUNDHOLM, N., HASLE, G.R.** (2008). Are *Fragilariopsis cylindrus* and *Fragilariopsis nana* bipolar diatoms? - Morphological and molecular analyses of two sympatric species. *Nova Hedwigia, Beiheft* 133: 231–250.
- MARSCHALL, H.-P.** (1988). The overwintering strategy of Antarctic Krill under the pack-ice of the Weddell Sea. *Polar Biology* 9: 129–135.
- MCCONVILLE, M.J., WETHERBEE, R.** (1983). The bottom-ice microalgal community from annual ice in the inshore waters of East Antarctica. *Journal of Phycology* 19: 431–439.
- MEDLIN, L.K., PRIDDLE, J.** (1990). Polar marine diatoms. British Antarctic Survey.
- MENDEN-DEUER, S., LESSARD, E.J.** (2000). Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnology and Oceanography* 45: 569–579.
- MIAO, L., QIAN, P.-Y.** (2005). Antagonistic antimicrobial activity of marine fungi and bacteria isolated from marine biofilm and seawaters of Hong Kong. *Aquatic Microbial Ecology* 38: 231–238.

- RAGHUKUMAR, C., RAGHUKUMAR, S.** (1998). Barotolerance of fungi isolated from deep-sea sediments of the Indian Ocean. *Aquatic Microbial Ecology* 15: 153–163.
- RIEBESSELL, U., SCHLOSS, I., SMETACEK, V.** (1991). Aggregation of algae released from melting sea ice: implications for seeding and sedimentation. *Polar Biology* 11: 239–248.
- ROBERTS, D., CRAVEN, M., MINGHONG, C., ALLISON, I., NASH, G.** (2007). Protists in the marine ice of the Amery Ice Shelf, East Antarctica. *Polar Biology* 30: 143–153.
- SCHNACK-SCHIEL, S.** (1987). Die Winter-Expedition mit FS 'Polarstern' in die Antarktis (ANT V/1-3). *Berichte zur Polarforschung* 39: 260 S.
- SCHNACK-SCHIEL, S.B.** (2003). The macrobiology of sea ice. In: Thomas, D. N., Dieckmann, G.S., eds. Sea ice - an introduction to its physics, chemistry, biology and geology. Blackwell Science, Oxford, 211-239.
- SCOTT, F.J., MARCHANT, H.J.** (2005). Antarctic Marine Protists Australian Biological Resources Study, Canberra.
- SCOTT, P., MCMINN, A., HOSIE, G.** (1994). Physical parameters influencing diatom community structure in eastern Antarctic sea ice. *Polar Biology*: 507–517.
- SMETACEK, V.** (1985). Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. *Marine Biology* 84: 239–251.
- SMETACEK, V., ASSMY, P., HENJES, J.** (2004). The role of grazing in structuring Southern Ocean pelagic ecosystems and biogeochemical cycles. *Antarctic Science* 16: 541–558.
- SMETACEK, V., NICOL, S.** (2005). Polar ocean ecosystems in a changing world. *Nature* 437: 362–368.
- SMETACEK, V., SCHAREK, R., NÖTHIG, E.-M.** (1990). Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. Antarctic ecosystems ecological change and conservation, (K R Kerry, G Hempel, eds ) Springer, Berlin: 103–114.
- STOECKER, D.K., GUSTAFSON, D.E., BLACK, M.M.D., BAIER, C.T.** (1998). Population dynamics of microalgae in the upper land-fast sea ice at a snow free location. *Journal of Phycology* 34: 60–69.
- THOMAS, D.N., DIECKMANN, G.S.** (2002a). Antarctic sea ice - a habitat for extremophiles. *Science* 295: 641–644.
- TOMAS, C.R.** (1998). Identifying marine phytoplankton Academic Press, Inc, San Diego.
- TOMAS, C.R.** (1993). Marine phytoplankton: a guide to naked flagellates and coccolithophorids Academic Press, Inc, San Diego.
- TOMAS, C.R.** (1995). Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates Academic Press, Inc, San Diego.
- THOMAS, D.N., DIECKMANN, G.S.** (2002b). Biogeochemistry of Antarctic sea ice. *Oceanography and Marine Biology: Annual Review* 40: 143–169.
- THOMAS, D.N., KATTNER, G., ENGBRODT, R., GIANELLI, V., KENNEDY, H. ET AL.** (2001a). Dissolved organic matter in Antarctic sea ice. *Annals of Glaciology* 33: 297–303.
- UTERMÖHL, H.** (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9: 1–38.
- WADHAMS, P., LANGE, M.A., ACKLEY, S.F.** (1987). The ice thickness distribution across the Atlantic sector of the Antarctic ocean in midwinter. *Journal of Geophysical Research* 92: 14535–14552.
- WEISSENBERGER, J.** (1992). Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meereises. Doktorarbeit. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven. *Berichte zur Polarforschung* 111: 164 S.
- ZIELINSKI, U., GERSONDE, R.** (1997). Diatom distribution in Southern Ocean surface sediments (Atlantic sector): implications for paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 129: 213–250.

**ZWALLY, H.J., COMISO, J.C., PARKINSON, C.L., CAMPBELL, W.J., CARSEY, F.D. ET AL.** (1983). Antarctic sea ice 1973-1976: Satellite passive-microwave observations. *NASA SP-459* Washington: 224 S.



## Anhang

**Tabelle 7:** Liste der im Meereis gefundenen Diatomeenarten.

Art	Literaturnachweis
<i>Actinocyclus actinochilus</i>	Tomas, 1997
<i>Actinocyclus curvatus</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Asteromphalus hookeri</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Banquisia belgicae</i>	Tomas, 1997
<i>Berkeleya rutilans</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	Tomas, 1995
<i>Chaetoceros bulbosum</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Chaetoceros criophilus</i>	Tomas, 1997
<i>Chaetoceros dichchaeta</i>	Tomas, 1995
<i>Chaetoceros sp.1</i>	Tomas, 1995
<i>Chaetoceros sp.2</i>	Tomas, 1995
<i>Chaetoceros sp.3</i>	Tomas, 1995
<i>Chaetoceros sp.4</i>	Tomas, 1995
<i>Corethron inerme</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Corethron pennatum</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Coscinodiscus sp.</i>	Scott & Marchant, 2007
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Tomas, 1995
<i>Dactyliosolen antarcticus</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Dactyliosolen tenuijunctus</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Entomoneis sp. 1</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Entomoneis sp. 2</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Eucampia antarctica</i>	Tomas, 1995
<i>Fragilariopsis curta</i>	Tomas, 1995
<i>Fragilariopsis cylindrus</i>	Tomas, 1995
<i>Fragilariopsis nana</i>	Lundholm & Hasle, 2008
<i>Fragilariopsis obliquocostata</i>	Medlin & Priddle, 1990
<i>Fragilariopsis rhombica</i>	Medlin & Priddle, 1990
<i>Fragilariopsis ritscheri</i>	Tomas, 1995
<i>Fragilariopsis sublinearis</i>	Medlin & Priddle, 1990
<i>Fragilariopsis vanheurckii</i>	Medlin & Priddle, 1990
<i>Haslea major</i>	Simonsen, 1992
<i>Haslea trompii</i>	Tomas, 1997
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	Tomas, 1995
<i>Manguinea fusiformis</i>	Tomas, 1997
<i>Manguinea rigida</i>	Tomas, 1997
<i>Membraneis challengeri</i>	Tomas, 1997
<i>Navicula directa</i>	Tomas, 1997
<i>Navicula glaciei</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Navicula sp.</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Nitzschia lecointei</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Nitzschia stellata</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Nitzschia taeniformis</i>	Medlin & Priddle, 1990
<i>Odontella weissflogii</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Pinnularia quadratarea var. constricta</i>	Medlin & Priddle, 1990
<i>Pinnularia quadratarea var. constricta</i>	Tomas, 1997
<i>Plagiotropis gaussii</i>	Tomas, 1997
<i>Pleurosigma normanii</i>	Tomas, 1995

<i>Porosira glacialis</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Porosira sp.</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Proboscia alata</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Proboscia truncata</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Pseudonitzschia lineola</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Pseudonitzschia prolongatoides</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Pseudonitzschia sp.</i>	Tomas, 1995
<i>Pseudonitzschia subcurvata</i>	Tomas, 1995
<i>Pseudonitzschia turgidoloides</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Rhizosolenia sima f. sima</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Rhizosolenia sp.</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Rhizosolenia truncata</i>	Tomas, 1997
<i>Stellarima microtrias</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Synedropsis hyperboreoides</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Thalassiosira sp.</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>Trichotoxon reinboldii</i>	Scott & Marchant, 2005
<i>unbekannte Art 1</i>	
<i>unbekannte Art 2</i>	
<i>unbekannte Art 3</i>	
<i>unbekannte Art 4</i>	

**Tabelle 8:** Verhältnisse von Nitrat:Phosphat (N:P), Silikat:Nitrat (Si:N), POC:PON, DOC:DON und POC:Chl a im Meereis.  $z_{\text{Eis}}$  – Eiskerntiefe des CHL-Kerns, - keine Daten.

Station	$z_{\text{Eis}}$ [cm]	N:P	Si:N	POC:PON	DOC:DON	POC:Chl a
554	0-10	8	2	-	4	-
	10-20	16	2	-	5	-
	20-30	14	2	-	5	-
	30-40	21	3	-	10	-
	40-50	-	-	-	-	-
	50-60	10	3	-	7	-
	60-70	6	4	-	4	-
	70-80	6	5	-	3	-
	80-90	3	4	-	4	-
	90-100	2	5	-	5	-
	100-110	3	5	12	5	164
	110-120	4	6	10	7	136
	120-130	7	4	8	4	114
	130-140	7	3	7	11	42
562	0-10	4	5	7	6	123
	10-20	2	7	9	6	79
	20-30	12	1	8	6	45
	30-40	13	2	8	-	40
	40-50	15	2	9	4	71
	50-60	33	1	10	4	101
	60-70	13	3	9	4	92
	70-80	13	3	9	18	208
	80-88	12	2	8	7	348
577	0-10	5	2	7	5	18
	10-20	8	3	5	5	99
	20-30	5	3	4	6	280
	30-40	5	3	4	6	22
	40-50	4	4	6	6	735
	50-60	6	6	5	9	248
	60-70	2	13	5	7	15
	70-80	1	61	5	7	19
	80-90	0	-	6	8	17
	90-100	0	-	5	6	9
	100-110	1	22	4	9	27
	110-120	1	15	4	8	18
	120-130	1	25	4	7	11
	130-140	2	5	5	10	5
	140-144	11	-	5	16	3
	144-154			6		2
154-164			7		6	
164-169			9		0	
578	0-5	12	2	7	23	331
	5-15	11	2	10	13	125
	15-25	11	3	14	20	2085
	25-35	6	4	8	30	107
	35-45	7	4	7	20	62

---

45-55	8	4	8	47	89
55-65	6	7	7	12	80
65-75	1	53	7	11	89
75-85	1	88	11	15	141
85-95	3	10	8	19	102
95-105	1	17	8	12	65
105-115	3	1	7	8	914
115-125			8		18

---



## **Danksagung**

**Prof. Victor Smetacek:** Meinen herzlichsten Dank für die Betreuung und Begutachtung meiner Diplomarbeit und für die immer interessanten und inspirierenden Gespräche.

**Prof. Kai Bischof:** Vielen Dank für die Begutachtung meiner Diplomarbeit.

**Dr. Philipp Assmy & Dr. Gerhard Dieckmann:** Ein ganz besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern, die stets Zeit für Antworten auf meine Fragen hatten und dabei nie ein paar aufbauende Worte vergaßen.

**Dr. Eva-Maria Nöthig:** Herzlichen Dank für die Hilfe bei allen Fragen und jederzeit und vor allem für die Unterstützung in der Endphase.

**Prof. Ulrich Bathmann & die Zooplankton-Gruppe:** Vielen Dank für die liebevolle Aufnahme in der AG und die Unterstützung und Hilfsbereitschaft nicht nur in wissenschaftlichen Fragen. Besonderer Dank gilt hier Svenja Kruse und Britta Wend, die mir bei meiner täglichen Arbeit mit wertvollen Ratschlägen zur Seite standen.

**Erika Allhusen:** Ein herzliches Dankeschön für die stets prompte Hilfe und für zahlreiche Tipps nicht nur in technischen Angelegenheiten.

**Nati, Andrea, Dani, Silvi, Anja, Sarah, Ireen, Chrissi:** Danke auch an meine Freunde, die mir die Zeit in Bremen unvergesslich gemacht haben!

**Mama, Papa und meinem Bruder Ralf:** Ganz lieben Dank, dass ihr mir das Studium ermöglicht und mich während der ganzen Zeit physisch wie psychisch unterstützt habt und für euer Interesse an meiner Arbeit!!



## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Bremen, Dezember 2008

---

Julia Hager