

Aus dem Institut für Polarökologie
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Ökologische Untersuchungen zur
Frühjahrsentwicklung arktischer
Meereisalgengemeinschaften**

Diplomarbeit vorgelegt von

Thomas Mock

Kiel 1998

Aus dem Institut für Polarökologie
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Ökologische Untersuchungen zur
Frühjahrsentwicklung arktischer
Meereisalgengemeinschaften**

Diplomarbeit vorgelegt von

Thomas Mock

Kiel 1998

In memoriam Gerhard Mock

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Die Untersuchungsgebiete und ihre Hydrographie	3
3 Das arktische Meereis als Lebensraum der Eisalgen	5
3.1 Geographische Ausdehnung und unterschiedliche Eiszonen	5
3.2 Bildung und Wachstum von Meereis	8
3.3 Physiko-chemische Eigenschaften	9
3.4 Besiedlung des Meereises	11
4 Material und Methoden	14
4.1 Probenentnahme aus dem Meereis	14
4.2 Bestimmung der abiotischer Eisparameter	14
4.2.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung	14
4.2.2 Schnee- und Eisdicke	15
4.2.3 Eistemperatur	15
4.2.4 Salinität	15
4.2.5 Solesalinität	15
4.2.6 Solevolumen	15
4.2.7 pH-Wert	16
4.2.8 Nährsalzkonzentration	16
4.3 Bestimmung der biotischen Eisparameter	16
4.3.1 Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) ..	16
4.3.2 Pigmentkonzentration	17
4.3.3 Abundanz, Biomasse und Artenspektrum der Eisalgen	17
4.3.4 <i>In situ</i> Primärproduktion	18
4.3.4.1 Die <i>in situ</i> Inkubationstechnik	18
4.3.4.2 Gesamtproduktion	19
4.3.4.3 Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P^b), photosynthetische Effizienz (α^*) und die Wachstumsrate (μ) ..	20
4.4 Statistik	20

5 Ergebnisse	21
5.1 Erster Teil (komplette Eiskerne)	21
5.1.1 Abiotische Eisparameter	21
5.1.1.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung	21
5.1.1.2 Schnee- und Eisdicke	23
5.1.1.3 Eistemperatur	24
5.1.1.4 Salinität	25
5.1.1.5 Solesalinität	26
5.1.1.6 Solevolumen	27
5.1.1.7 pH - Wert	28
5.1.1.8 Nährsalzkonzentration	29
5.1.2 Biotische Eisparameter	31
5.1.2.1 Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON)	31
5.1.2.2 Pigmentkonzentration	34
5.2 Zweiter Teil (ausgewählte Eishorizonte)	36
5.2.1 Abiotische Eisparameter	36
5.2.1.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - and UV-B - Strahlung	36
5.2.1.2 Temperatur, Salinität, Solesalinität, Solevolumen, pH-Wert	37
5.2.1.3 Nährsalzkonzentration der Sole	39
5.2.2 Biotische Eisparameter	42
5.2.2.1 Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON)	42
5.2.2.2 Pigmentkonzentration	43
5.2.2.3 Eisalgenabundanz (IAA) und Eisalgenkohlenstoff (IAC)	44
5.2.2.4 Eisalgen-Taxa	48
5.2.2.5 <i>In situ</i> Primärproduktion, Biomasse-spezifische Photosynthese- rate (P^b) und photosynthetische Effizienz (α^*)	50
5.2.2.6 Wachstumsrate (μ)	50

6 Diskussion	55
6.1 Methodenkritik	55
6.2 Die Frühjahrsbedingungen im Packeis des Barentsmeeres und der Grönland- See und ihre möglichen Ursachen	59
6.2.1 Die abiotischen Bedingungen	59
6.2.2 Die biotischen Bedingungen	62
6.3 Der Einfluß der Frühjahrsbedingungen auf die Entwicklung der Eisalgen .	63
6.3.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung	64
6.3.2 Eistemperatur	66
6.3.3 Solesalinität	67
6.3.4 pH - Wert	69
6.3.5 Nährsalzkonzentration der Sole	70
6.4 Der Entwicklungszustand der Eisalgengemeinschaft im Frühjahr 1997 ...	72
7 Zusammenfassung	75
8 Literaturverzeichnis	77
Danksagung / Erklärung	85
9 Anhang	87

1 Einleitung

Das Meereis spielt eine Schlüsselrolle in polaren Ökosystemen, da es in vielfältiger Weise die marinen Lebensräume strukturiert (Eicken 1992). Seine Besiedlung durch eine Vielzahl von Organismen entdeckte man schon während der ersten Expeditionen in die Polargebiete, wo vor ca. 150 Jahren Ehrenberg (1841, 1853) in der Arktis und Hooker (1847) in der Antarktis durch hohe Algenkonzentrationen braun gefärbtes Meereis fanden.

Der bevorzugte Siedlungsort der Organismen im arktischen Eis befindet sich an der Grenzfläche Eis - Wassersäule und innerhalb der untersten 10 cm des Eises (Horner 1985). Die dort lebenden Organismen werden als Bodengemeinschaft bezeichnet. Eine zusätzliche Gemeinschaft, die sogenannte Tümpelgemeinschaft, bildet sich während der Eisschmelze, wenn auf der Eisoberfläche Schmelztümpel entstehen.

In der Antarktis findet man neben den Bodengemeinschaften auch solche im Inneren des Eises (interne Gemeinschaften) und an der Grenzfläche zwischen Schnee und Eis (Infiltrationsgemeinschaften) (Horner 1985, Ackley & Sullivan 1994).

Die Artenzusammensetzungen dieser Populationen können sehr unterschiedlich sein, wobei die Diatomeen zu den dominanten Vertretern gehören. Horner et al. (1992) faßten alle Organismen des arktischen Meereises unter dem Begriff "sympagisch" zusammen, was soviel heißt wie "mit dem Eis". Die Bodengemeinschaften des arktischen Meereises setzen sich neben den Diatomeen hauptsächlich aus Mikroorganismen wie Viren, Bakterien, Pilzen und Protisten zusammen (Horner & Alexander 1972, Horner 1985, Appollonio 1985). Neben ihnen können auch Metazoen wie Nematoden, Turbellarien, harpacticoiden Copepoden und Amphipoden vorkommen, die sich dort von z.B. Eisalgen ernähren (Andriashev 1968, Clasby et al. 1976, Carey & Montagna 1982, Pett et al. 1983, Grainger & Hsiao 1990, Horner 1985, 1990a, Friedrich 1997, Werner 1998). Sie bilden in ihrer Gesamtheit ein Nahrungsnetz, das auch aus pelagischen Systemen bekannt ist (Azam et al. 1983) und für das Eis von Laurion et al. (1995) prognostiziert wurde. Zudem treten auch pelagische Organismen, wie der calanoide Copepode *Calanus glacialis*, gelegentlich in der Untereisschicht auf, um die Algen in der Grenzregion Eis - Wassersäule zu beweidern (Bradstreet & Cross 1982, Runge et al. 1991). Diese Untereisfauna dient wiederum größeren Räubern wie dem Polardorsch *Boreogadus saida* als Nahrungsgrundlage (Bradstreet & Cross 1982). Die Polardorsche werden von z.B. Ringelrobben gefressen und diese vom letzten Nahrungsglied des arktisch marinen Ökosystems, dem Eisbären.

Den Anfang dieses Nahrungsnetzes bilden die Eisalgen, wodurch sie eine Schlüsselposition im Nahrungsgefüge des arktisch marinen Ökosystems einnehmen (Horner & Schrader 1982). Die Höhe ihrer Produktion und somit ihr Wachstum sind entscheidend für die Nahrungsverfügbarkeit der Konsumenten. Nicht zuletzt aber tragen sie durch ihre Produktion von gelöstem und partikulärem organischen Kohlenstoff zum biologischen Kohlenstoffkreislauf des arktischen Ozeans bei (Wheeler et al. 1996).

Für eine Quantifizierung dieses Prozesses sind *in situ* Produktionsmessungen unverzichtbar. Diese wurden bisher für arktische Eisalgen ausschließlich an der Bodengemeinschaft des Meereises durchgeführt, weil es dort zu einer großen Akkumulation von Algenbiomasse kommt (z.B. Cota et al. 1991). Die Geräte, die für die *in situ* Produktionsmessung entwickelt wurden (Clasby et al. 1973, Schrader et al. 1982, Herman et al. 1993), sind aber nicht in der Lage, Messungen im Inneren oder an der Oberseite des Meereises durchzuführen. Ein weiterer Nachteil dieser Methoden ist die ungleichmäßige Verteilung des Tracers ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) in den inkubierten Eissegmenten. Diese Probleme bestehen bei simulierten *in situ* Messungen nicht, da hier die Produktion an geschmolzenen Eisproben in Inkubatoren unter künstlichem Licht bestimmt wird. Allerdings wird dabei der intakte Lebensraum durch den Schmelzprozeß vollständig zerstört. Für die naturnahe Erfassung von Produktionsraten sind demnach *in situ* Messungen unumgänglich. Aus der Schlüsselstellung der Eisalgen im biologischen Kohlenstoffkreislauf des arktisch marinen Ökosystems ergab sich die Fragestellung zu dieser Arbeit:

- Wie hoch ist der potentielle Beitrag der Eisalgen an der Kohlenstoffproduktion im Frühjahr für die Untersuchungsgebiete und welche Mechanismen sind dafür verantwortlich ?

In der vorliegenden Arbeit sollen die Algen aus ein- und mehrjährigem Packeis bezüglich ihrer Frühjahrsentwicklung an ausgewählten Orten im Eis näher charakterisiert werden. Die Mängel der bestehenden Methoden zur Primärproduktionsmessung waren Anlaß, eine neue Methode zur *in situ* Primärproduktion im Eis zu entwickeln. Neben diesen Ratenmessungen wurde das Artenspektrum, die Abundanz und Biomasse der Eisalgenegemeinschaft ebenso erfaßt wie die abiotischen Parameter Licht, Temperatur, Salzgehalt, pH - Wert und Nährsalze. Die Ergebnisse aller Messungen bilden die Basis für die Interpretation des Entwicklungszustandes der Frühjahrsgemeinschaften.

2 Die Untersuchungsgebiete und ihre Hydrographie

Die Untersuchungen zu dieser Arbeit wurden in eisbedeckten Regionen des Barentsmeeres und der Grönland-See durchgeführt. Beide Meeresgebiete wurden mit dem Forschungseisbrecher "Polarstern" während der Arktisexpedition ARK XIII/1(a+b) beprobt (Abb. 1).

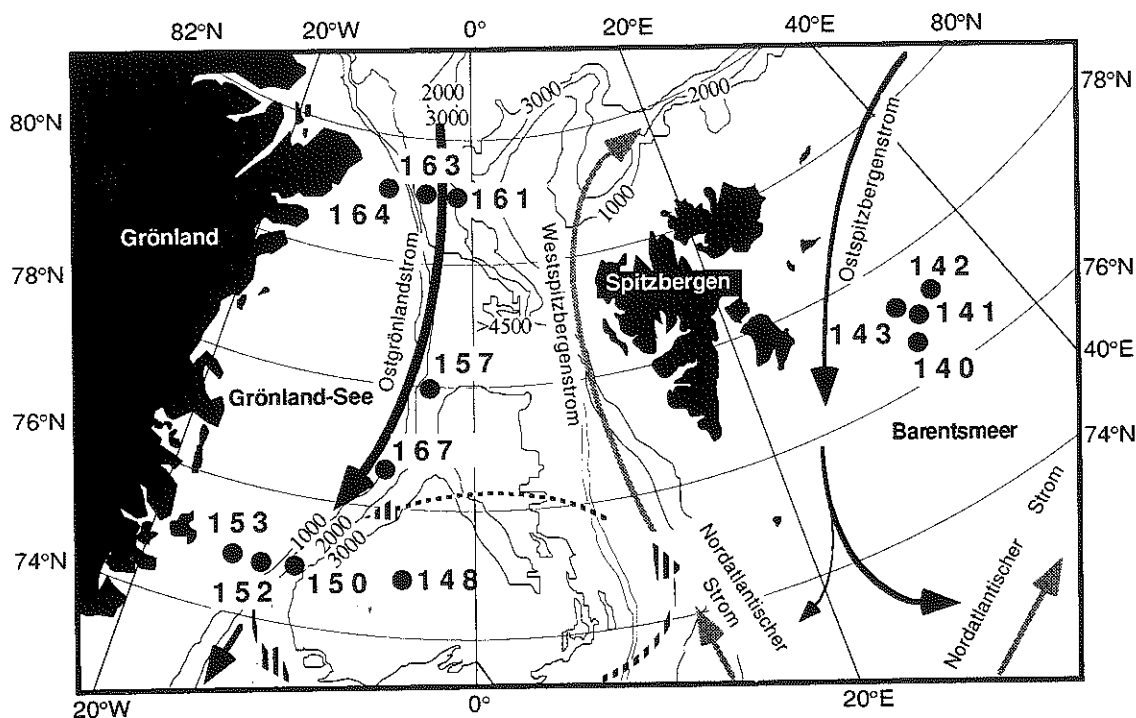


Abb. 1.: Die Untersuchungsgebiete Grönland- See und Barentsmeer und ihre großräumige Hydrographie. ● Eisstation (= Tag im Jahr); — Wassertiefe [m]; —▶ kalte und —▶ warme Oberflächenströmungen;(▶)▶ zyklonaler Wirbel

Das Barentsmeer ist ein 100 bis 350 m tiefes Schelfmeer, das Bestandteil des sogenannten Nordpolarmeeres ist. Dieses wird nördlich durch die Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen und östlich durch den Kontinentalhang zwischen Spitzbergen und Norwegen vom Europäischen Nordmeer abgetrennt. Das Nordpolarmeer und das Europäische Nordmeer bilden das arktische Mittelmeer. Das europäische Nordmeer besteht aus drei Meeresbecken, dem Grönländischen, dem Isländischen und dem Norwegischen Becken (Tomczak & Godfrey 1994). Dementsprechend unterscheidet man die drei Meeresgebiete: Die Grönland-See, die Island-See und die Norwegen-See. Das Grönländische Becken erstreckt sich entlang der Ostküste Grönlands bis zur Insel Jan Mayen und ist maximal 4500 m tief (Abb. 1).

Die Hydrographie des arktischen Mittelmeeres und somit auch des Barentsmeeres und der Grönland-See wird primär durch das Windregime und den Wasserhaushalt beeinflusst (Tomczak & Godfrey 1994). Ein stationäres Hochdruckgebiet über dem Nordpol bestimmt das

Windregime über dem gesamten arktischen Mittelmeer (Tomczak & Godfrey 1994). Deshalb stehen die meisten arktischen Meeresgebiete unter dem Einfluß von Ostwinden, die eine anti-zyklonale Oberflächenzirkulation hervorrufen. Das Windsystem über dem Europäischen Nordmeer und dem angrenzenden Barentsmeer wird dagegen durch ein Tiefdruckgebiet über Island beeinflusst, welches die Ursache von zyklonaler Oberflächenzirkulation ist (Tomczak & Godfrey 1994). Der Wirbel in der Grönland-See (Abb. 1) wird durch den auf der Westseite nach Süden fließenden Ostgrönlandstrom und auf der Ostseite nach Norden fließenden Westspitzbergenstrom gespeist. Im Barentsmeer ist es auf der Ostseite der nach Norden fließende Nordatlantische Strom und auf der Westseite der nach Süden fließende Ostspitzbergenstrom (Tomczak & Godfrey 1994).

Der Wasserhaushalt als Summe aus Verdunstung, Niederschlag, Eisbildung, Eisschmelze, Zufuhr und Verlust durch Strömung und Vermischung ist verantwortlich für die Wassermassenbildung (Dietrich et al. 1975). Man unterscheidet unterschiedliche Wassermassen generell anhand ihrer Temperatur- und Salzgehaltscharakteristik und nach ihrer Strömungstiefe in der Wassersäule. Hieraus ergibt sich eine Einteilung in Oberflächen-, Zwischen-, Tiefen- und Bodenwassermassen (Emery & Meincke 1986). Im europäischen Nordmeer und im Barentsmeer werden Wassermassen atlantischen Ursprungs von solchen mit polarem Ursprung unterschieden. Der Nordatlantische Strom und der Westspitzbergenstrom gehören zum atlantisch-subarktischen Oberflächen- ($0.0-4.0^{\circ}\text{C}$, $S = 34.0-35.0$) und Zwischenwasser ($3.0-9.0^{\circ}\text{C}$, $S = 34.4-35.3$), während der Ostgrönlandstrom und der Ostspitzbergenstrom Bestandteile des polaren arktischen Oberflächenwassers (-1.5 bis -1.9°C , $S = 28.0-33.5$) (Emery & Meincke 1986) sind. Durch winterliche Abkühlung und turbulente Vermischung dieser Wassermassen im europäischen Nordmeer entsteht das arktische Bodenwasser (-0.5 bis -1.3°C , $S = 34.9-34.95$). Nach dem Ausstrom dieser Wassermasse aus dem europäischen Nordmeer über den Grönland-Island-Farör-Schottland Rücken in den Nordatlantik, bildet sich nach weiterer Vermischung mit anderen Wassermassen das Nordatlantische Tiefenwasser ($1.5-4^{\circ}\text{C}$, $S = 34.8-35.0$), der Motor des globalen Zirkulationsbandes "Conveyer Belt" (Tomczak & Godfrey 1994).

Die Wasserbilanz des arktischen Mittelmeeres in Oberflächennähe ist stark positiv, so daß netto mehr Wasser durch Niederschläge und festländischen Abfluß hinzukommt als verloren geht (Dietrich et al. 1975). Dieser Wasserüberschuß wird zum einen Teil oberflächennah durch den Ostgrönlandstrom ausgeglichen und anderenteils durch den Ausstrom des arktischen Bodenwassers.

3 Das arktische Meereis als Lebensraum der Eisalgen

Das Meereis wird einerseits thermodynamisch durch die Atmosphäre und den Ozean beeinflusst, wobei es andererseits auch einen derartigen Einfluß auf beide Systeme ausübt. Es verändert die Hydrographie der Ozeanoberfläche in Bezug auf (1) die Dissipation des Wellenfeldes, (2) die Salinität durch den Ausfluß konzentrierter Salzlauge, (3) den Wärmefluß durch die geringe Wärmekapazität und (4) die Strahlungsbilanz durch das große Reflexionsvermögen (Dietrich et al. 1975, Maykut 1985).

Geringfügige Klimaänderungen können starke Schwankungen in der Dicke und Ausdehnung des Eises auslösen (Maykut 1985). Eine Konsequenz aus der Veränderlichkeit der Ausdehnung des Eises ist das sich ändernde Verhältnis von reflektierter zu einfallender Solarstrahlung (Albedo). Die Eisdecke und der darauf abgelagerte Schnee besitzen Albedos zwischen 0.5 und 0.85, das bedeutet, daß 50 bis 85% der kurzwelligen Einstrahlung im sichtbaren Spektralbereich für Wellenlängen zwischen 400 und 700 nm von der Oberfläche zurückgestreut werden (Maykut 1985). Der eisfreie Ozean reflektiert dagegen im Mittel nur 10 % der kurzwelligen Einstrahlung, wodurch die restlichen 90 % absorbiert werden (Dietrich et al. 1975). Das Meereis ist durch diesen Einfluß auf die Strahlungsbilanz ein wichtiges Element im globalen Klimasystem.

3.1 Geographische Ausdehnung und unterschiedliche Eiszonen

Auf der nördlichen Hemisphäre unserer Erde bedeckt das Meereis bei maximaler Ausdehnung 5% der Erdoberfläche. Diese wird hauptsächlich durch das polnahe arktische Mittelmeer gebildet, was die meiste Zeit des Jahres eisbedeckt ist (Abb. 2) (Maykut 1985). Die größte Menge an saisonalem Eis wird in den peripheren Meeresgebieten des arktischen Mittelmeeres gebildet, wie z.B. in den russischen Schelfmeeren (Zakharov 1976). Bei minimaler Eisausdehnung im September sind $7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ der Ozeanoberfläche mit Meereis bedeckt, bei maximaler Eisausdehnung im März verdoppelt sich die bedeckte Fläche auf $14 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (Walsh & Johnson 1979). Der meridionale Bereich, in dem diese saisonalen Änderungen der Eisausdehnung auftreten, beträgt bis zu 35 Breitengraden.

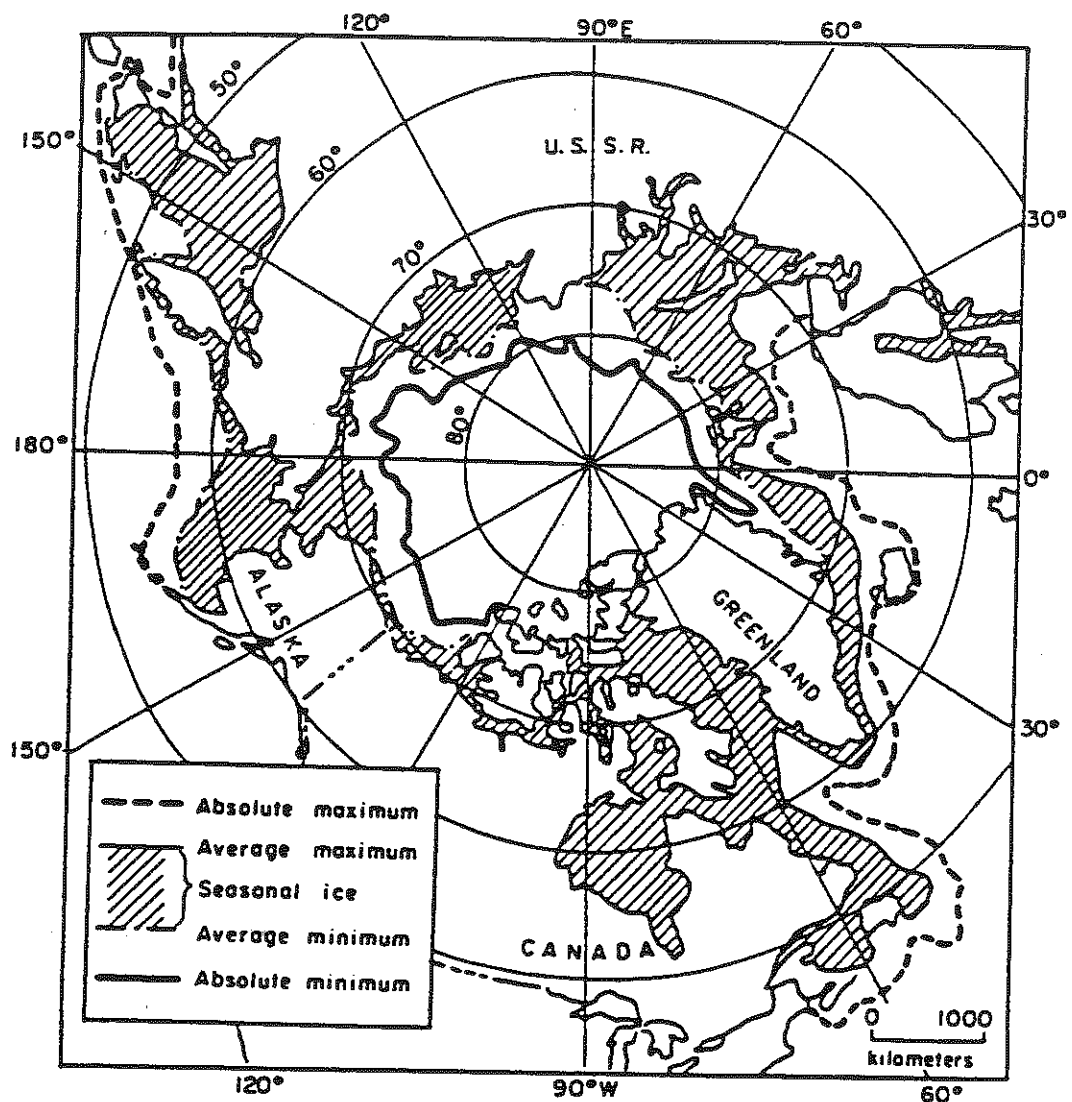


Abb. 2.: Die Ausdehnung des Meereises auf der nördlichen Hemisphäre. Aus Maykut (1985)

Die Drift von Meereis wird prinzipiell durch den Wind und die Meeresströmungen ausgelöst. Im arktischen Mittelmeer kennt man zwei hauptsächliche Eisdriftsysteme (Abb. 3):

- Die Transpolardrift (Nansen 1898): Dieses größte Meereisstromsystem der Erde transportiert Eis von den sibirischen Schelfen über den Pol in das europäische Nordmeer. Die mittlere Aufenthaltsdauer des Eises in der Transpolardrift beträgt 3 bis 4 Jahre.
- Der Beaufortwirbel: Dieses antizyklonale Stromsystem speist die Transpolardrift mit Eis aus der nordamerikanischen Arktis. Das Eis zirkuliert relativ langsam im Beaufortwirbel und benötigt für einen Umlauf im Mittel rund 5 bis 8 Jahre (Maykut 1985).

Ungefähr 90% des Gesamtexportes von arktischem Meereis erfolgt durch die Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen. In dieser Passage existieren mittlere Driftgeschwindigkeiten von 15 km pro Tag, während die durchschnittliche Eisgeschwindigkeit in der Transpolardrift

und im Beaufortwirbel nur etwa 4.3 km pro Tag beträgt (Muench & Ahlnas 1976). Der Ostgrönlandstrom, der diese Eismassen nach Süden transportiert, ist für den Energieaustausch zwischen hohen und gemäßigten Breiten von großer Bedeutung. Dies wird deutlich, wenn man sich die Energiemenge betrachtet, die zum Schmelzen von 1t Meereis notwendig ist - es sind rund 300 MJ. Für die Gesamtmenge an Meereis, das jährlich durch die Framstraße exportiert wird, sind das ungefähr $26 \cdot 10^{12} \text{ J s}^{-1}$ (Eicken 1995). Dieser Energiebedarf entspricht etwa dem Doppeltem der kommerziellen Weltenergieerzeugung. Das Wasser bzw. Eis, welches die Zentralarktis auf diesem Weg verläßt, wird durch wärmeres Wasser des Nordatlantischen Stromes ersetzt, so daß der Wärmehaushalt der polaren Zonen an den der gemäßigten Breiten gekoppelt ist.

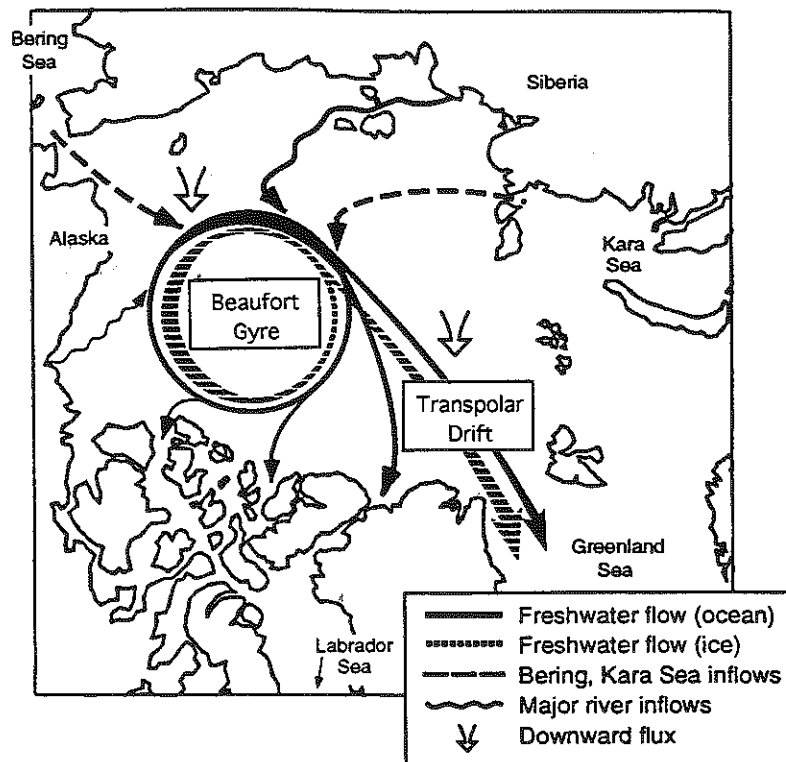


Abb. 3.: Der Süßwasser-Transport in der Oberfläche des Arktischen Mittelmeeres: Er ist ein Kompensationsfluß von Wasser und Eis aus Meeresgebieten mit positivem Wasserhaushalt zu solchen mit negativem Wasserhaushalt. Die Liniendicke entspricht der Größe des Transportes. In der westlichen Arktis befindet sich der Beaufortwirbel, der hauptsächlich mit Wasser aus dem Karameer und dem Beringmeer gespeist wird. Hinzu kommt das Süßwasser und Eis aus den sibirischen Schelfen. Dieses Wasser verläßt das Nordpolarmeer einerseits durch die Transpolar-Drift in die Grönland-See und andererseits durch den Abfluß in das kanadische Archipel. Der Eistransport verläuft vorwiegend über die Transpolar-Drift. Nach Steele et al. (1996).

Grundlegend trennt man Regionen mit immerwährender von solchen mit saisonaler Eisbedeckung (Maykut 1985). Permanente Eisbedeckung beginnt polwärts zwischen 75°N und 80°N und erstreckt sich bis zum Nordpol. Saisonales Eis beginnt schon minimal bei ungefähr 44°N und erstreckt sich bis polwärts über 80°N . Saisonales Eis unterteilt man zudem in küsten-nahes Eis und solches, das den Eisrand bildet. Das küsten-nahe Meereis bildet sich schon sehr früh im Winter durch schnelle Abkühlung im flachen Wasser. Wenn dieses Eis Kontakt zum Festland hat, wird es auch als Festeis bezeichnet (Maykut 1985). Der Eisrand bildet die Grenzregion zwischen Packeis und dem offenem Ozean. Durch die penetrierenden Oberflächenwellen ist er häufig nicht kompakt, sondern besteht aus einer Vielzahl kleiner Schollen, deren Durchmesser mit der Entfernung vom Eisrand schnell zunimmt. In manchen Regionen kann der Eisrand bis zu 200 km breit sein (Dietrich et al. 1975).

3.2 Bildung und Wachstum von Meereis

Durch das Meersalz wird der Gefrierpunkt des Meerwassers und die Temperatur des Dichtemaximums erniedrigt. Aus diesen Gründen bildet sich Eis bei einem Salzgehalt des Meerwassers von 34.72 erst ab einer Temperatur von -1.8°C . Durch eine Unterkühlung der Ozeanoberfläche entstehen hier die ersten Eiskristalle (Eicken 1992). Es sind kleine runde Plättchen und / oder typische hexagonale Eiskristalle. Beim Gefrieren von Seewasser werden Salze und andere gelöste Stoffe aus dem Kristallgitter des Eises ausgeschlossen, wodurch ein Zweiphasensystem aus reinen Süßwasser-Eiskristallen und konzentrierter Salzlauge (Sole) entsteht (Maykut 1985, Weeks & Ackley 1986). Die Eiskristalle reichern sich durch ihre geringe Dichte an der Meeresoberfläche an und bilden dort den sogenannte Eisbrei. Üblicherweise werden aus dem Eisbrei unter dem Einfluß des Wellenfeldes rundliche Eiskuchen aus halbverfestigtem Eis geformt, die durch ständiges Aufschaukeln sehr charakteristische Ränder erhalten. Wegen dieser besonderen Form wird es auch Pfannkucheneis genannt. Alle drei bisher erwähnten Wachstumsformen können natürlich auch parallel auftreten. Die Temperaturen dieser Eisformen liegen meistens nahe dem Gefrierpunkt (Weeks & Ackley 1986). Nach dem Verfestigen des Eises gelangt kein Wasser mehr auf die Oberfläche, wodurch es von oben her trocknet. Dickenwachstum findet jetzt ausschließlich an der Unterseite des Eises statt. An der Eis - Wasser - Grenzfläche wachsen alle Eiskristalle wegen ihrer thermodynamischen Ausrichtung parallel zueinander in die Wassersäule (Weeks & Ackley 1986). Diese Grenzschicht aus nicht konsolidiertem Eis wird als "skeletal layer" bezeichnet, die sich in der Vertikalen im Mittel über die unteren 3 cm erstreckt. Zwischen jedem Eiskristall befindet sich ein schmaler Spalt mit einer durchschnittlichen Breite von 0.5 bis 1 mm. Durch das horizontale Wachstum der Eiskristalle werden die Spalten immer schmaler, bis sich Eisbrücken ausbilden, die die Sole in Taschen einschließen (Perovich & Gow 1991). Diese Soletaschen sind typischerweise lang und dünn mit einem Durchmesser von ca. 0.05 mm (Weissenberger 1992). Sie können bei weiterem Wachstum ein verzweigtes und miteinander verbundenes Netz aus Solekanälchen bilden, das durch das thermodynamische Wachstum des arktischen Eises hauptsächlich vertikal ausgerichtet ist.

Junges Eis (≤ 30 cm Dicke) kann bei sehr niedrigen Lufttemperaturen und ohne isolierende Schneedecke Wachstumsraten von mehr als 1 cm pro Tag erreichen (Melnikov 1995). Die maximale Dicke ist davon abhängig, wie groß die jahreszeitlichen Schwankungen der Luft- und Wassertemperatur sind. Im zentralen arktischen Mittelmeer, wo die sommerliche Einstrahlung durch den starken Neigungswinkel der Sonne gering ist, schmilzt nur sehr wenig Eis oberflächlich an. Während dieser Zeit kann es zu einem netto Nullwachstum kommen, d.h., daß geschmolzenes Eis durch angefrorenes Eis ersetzt wird. Dort, wo die Einstrahlung größer ist, geht im Sommer mehr Eis durch das Schmelzen verloren als durch Gefrierprozesse hinzukommt. In diesem Fall liegt netto Negativwachstum vor (Maykut 1985, Weeks & Ackley 1986).

Älteres Eis (≥ 30 cm Dicke), das noch nicht mehr als eine winterliche Wachstumsphase mitgemacht hat, erreicht maximale Dicken von 2 m und wird als einjähriges Meereis bezeichnet (World Meteorological Organization (WMO) 1985). Eis, das mindestens zwei sommerliche Schmelzperioden überstanden hat, kann mehr als 3 m dick sein und wird als mehrjähriges Eis bezeichnet. Zudem wird Meereis von der WMO noch aufgrund unterschiedlicher Deformationen in drei weitere Eistypen eingeteilt: (1) Ebenes Eis ("level ice"), das nicht durch Deformation verändert wurde, (2) deformiertes Eis ("deformed ice"), das durch Scher- und Druckkräfte verändert wurde und (3) übereinander geschichtetes Eis ("rafted ice"), das durch ein Übereinandergleiten mehrerer Eisschollen entsteht. Diese Deformationen sind die Ursache der für das arktische Meereis charakteristischen Preßeisrücken, die mehrere Meter aus der Eisunter- und Eisoberseite herauschauen können (Davis & Wadhams 1995). Abschätzungen zufolge besteht das gesamte Volumen des arktischen Meereises zur Hälfte aus Preßeisrücken (Davis & Wadhams 1995).

3.3 Physiko-chemische Eigenschaften

Während der Eisbildung ändert sich die Hydrodynamik, die Lichtintensität, die Salinität und die Nährsalzkonzentration in den betroffenen Regionen des Epipelagials.

Die typisch turbulente Vermischung im Pelagial weicht einer vorwiegend laminaren in den Kanälen des Eises (Gradinger et al. 1992). Desweiteren erhöhen sich die Konzentrationen aller gelösten Stoffe durch die Eisbildung (Lange & Eicken 1991), da diese nicht in die sich bildenden Eiskristalle eingeschlossen werden. Neben dieser Konzentrationserhöhung kommt es zudem während der Eisbildung zu einer Veränderung des Volumenverhältnisses zwischen Sole und Eis. Durch ein weiteres Gefrieren verkleinert sich zusätzlich der Porenraum im Eis. Die Ausmaße dieser Veränderungen werden ausschließlich durch die Temperatur bestimmt (Frankenstein & Garner 1967, Eicken 1992). Während sich die Oberflächentemperatur des Eises der Lufttemperatur annähert, befindet sich die Unterseite im thermodynamischen Gleichgewicht mit dem Meerwasser und hat deswegen Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt (-1.8°C). Bei tiefen Lufttemperaturen (-10°C) entsteht im einjährigen Eis ein linearer

Temperaturgradient, wohingegen die saisonalen Temperaturschwankungen in der Atmosphäre im mehrjährigen Eis sehr unterschiedliche Temperaturgradienten ausbilden können (Eicken & Lange 1989, Eicken 1992). Diese sind verantwortlich für vertikale Gradienten der Salinität im Eis, da die Eistemperatur direkt die Solesalinität beeinflusst. Je tiefer die Eistemperatur, desto mehr Wasser gefriert aus der Sole aus, wodurch die Salinität steigt (Weeks & Ackley 1982). Die Konsequenz sind hohe Solesalinitäten ($S = 143$) bei tiefen Eistemperaturen (-10°C) (Cox & Weeks 1983), die besonders im Herbst und Winter für die Oberfläche des Eises charakteristisch sind. Hierdurch entsteht im Solekanalsystem eine instabile Dichteschichtung mit Sole großer Dichte in den oberen Bereichen des Eises und Sole niedriger Dichte in den unteren Bereichen. Durch einen vertikalen Fluß der Sole aus den oberen Bereichen wird die Stabilität der Schichtung wieder hergestellt. Diesen Prozeß bezeichnet man auch als Soledrainage (Untersteiner 1968, Lake and Lewis 1970, Martin 1979, Niedrauer & Martin 1979, Lewis & Perkin 1986, Weeks & Ackley 1986, Cox & Weeks 1988). Eine weitere oft gleichzeitig auftretende Ursache von Soledrainage ist das Dickenwachstum des Eises. Das sich an der Unterseite neu bildende Eis erzeugt aufgrund der geringeren Dichte als das Meerwasser einen zunehmenden Auftrieb der Eisschollen, wodurch die Sole höherer Dichte in Richtung Schwerkraft teilweise aus dem Eis fließt (Untersteiner 1968, Martin 1974, Eide & Martin 1975, Melnikov 1995).

Der Anteil der Sole am Eisvolumen und die Salinität der Sole bestimmen die Gesamtsalinität des Eises (Untersteiner 1968, Cox & Weeks 1983, Eicken 1992). Durch Soledrainage oder sommerliche Schmelzprozesse sind die oberen Bereiche des älteren Eises ausgeüßt, während die unteren Bereiche durch den Kontakt zum Meerwasser größere Gesamtsalinitäten besitzen. Hierdurch weist das mehrjährige Meereis im allgemeinen niedrigere Gesamtsalinitäten als das einjährige Meereis auf (Maykut 1985, Weeks & Ackley 1986, Lange et al. 1989).

Die Lichtintensitäten im Pelagial nehmen durch die höhere Albedo des Eises schon während der Neueisbildung rapide ab. Die Attenuation von kurzwelliger Strahlung im Meereis wird hauptsächlich durch den Extinktionskoeffizienten bestimmt. Kurzwelliges Licht im Wellenlängenspektrum zwischen 450 und 550 nm tritt vollständig durch das Eis und wird erst in den oberen 10 bis 20 cm des darunter befindlichen Meerwassers absorbiert (Maykut 1985). Durch die starke Schwächung des langwelligen Lichtes über 700 nm verändert sich das Lichtspektrum beim Durchdringen. Das Rotspektrum wird schon in den obersten Zentimetern absorbiert, wodurch Wellenlängen über 800 nm an der Unterseite des Eises nicht mehr nachgewiesen werden können (Maykut 1985). Unterhalb von einjährigem Eis hat man Strahlungsmaxima im Spektralbereich zwischen 470 und 480 nm gefunden, unabhängig von Oberflächenverhältnissen (z.B. Schnee), oder Eisdicke (SooHoo et al. 1987). Die Eis- und Schneedicke sind für den Betrag an Energie verantwortlich, der den Ozean erreicht. Buckley & Trodal (1987) und Perovich (1990) geben Transmissionsfaktoren von 0.02 bis 0.001 an.

Die Attenuation zeigt auch in der Horizontalen starke Variationen. Während des Sommers existieren auf relativ kleinem Raum freie Wasserflächen, dünnes Eis, Schmelzwassertümpel und Schneeflächen, die alle sehr unterschiedliche Albedos haben. Die höchsten Albedos von bis zu 0.85 werden für kalten Schnee gefunden, die während der Schneeschmelze auf 0.75 bis 0.70 absinken. Die höhere Lichtreflexion des mehrjährigen Eises im Vergleich zum einjährigen Eis ist durch den großen Anteil an Gaseinschlüssen in den oberen 5 bis 15 cm bedingt. Diese bilden sich während der Soledrainage durch die von oben eindringende Luft. Schmelzwassertümpel haben je nach Tiefe Albedos zwischen 0.15 (tiefe Tümpel) und 0.4 (flache Tümpel). Die Albedos der freien Wasserflächen zwischen den Eisschollen sind vom Wellengang und dem Neigungswinkel der Sonne abhängig, erreichen aber im Mittel einen Wert von 0.08 (Maykut 1985). Aufgrund der saisonalen Temperaturfluktuationen und der räumlichen Dynamik des Meereises kommt es zu dieser großen Variabilität der optischen Eigenschaften (Eicken 1992).

3.4 Besiedlung des Meereises

Die Konzentrationen der Organismen im Meereis sind im allgemeinen höher als im darunter befindlichen Wasser (z.B. Horner & Schrader 1982, Hsiao 1988, Nöthig et al. 1991, Hsiao 1992, Mock et al. 1997). So fand Nöthig et al. (1991) im Meereis der Antarktis $1 \cdot 10^9$ Diatomeen l^{-1} , während die Phytoplanktonkonzentration in der Wassersäule nur Werte von bis zu $1 \cdot 10^5$ Zellen l^{-1} erreichte. Desweiteren konnte z.B. Dieckmann et al. (1991) für die Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* im antarktischen Meereis eine 70 mal höhere Anreicherung als im Meerwasser finden. Die Ursachen dieser Organismenanreicherung sind zwei grundlegende Prozesse. Zum einen findet eine passive Anreicherung durch hydrodynamische Kräfte statt und zum anderen entstehen die höheren Abundanzen durch die aktive Vermehrung der Organismen im Meereis.

Für die passive Anreicherung, die hauptsächlich während der Eisbildungsphase erfolgt, werden drei Mechanismen diskutiert (Abb. 4):

- Das Einfangen von pelagischen Organismen durch aufsteigende Eiskristalle ("harvesting and scavenging") (Weeks & Ackley 1982, Osterkamp & Gosink 1984).
- Pelagische Organismen als Bildungskeime für Eis, die dadurch mit dem Eis zur Oberfläche steigen ("nucleation") (Weeks & Ackley 1982).
- Anreicherung durch das Wellenfeld, welches Organismen aus dem Wasser in das Eis befördert ("propagating wave field") (Ackley et al. 1987, Ackermann et al. 1990, Shen & Ackermann 1990).

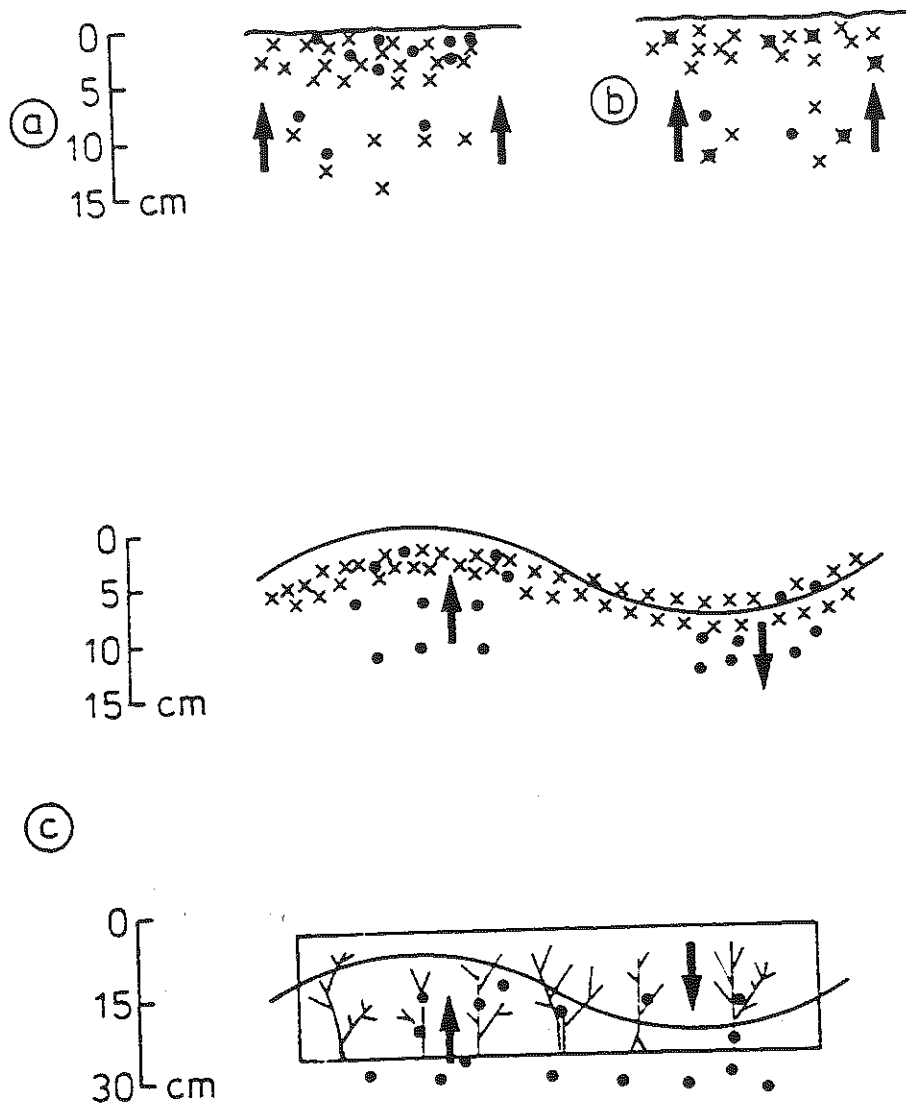


Abb. 4.: Anreicherungsmechanismen

• Organismen des Planktons; x Eiskristalle

- Das Einfangen von pelagischen Organismen durch aufsteigende Eiskristalle ("harvesting and scavenging") (Weeks & Ackley 1982, Osterkamp & Gosink 1984).
- Pelagische Organismen als Bildungskeime für Eis, die dadurch mit dem Eis zur Oberfläche steigen ("nucleation") (Weeks & Ackley 1982).
- Anreicherung durch das Wellenfeld, welches Organismen aus dem Wasser in das Eis befördert ("propagating wave field") (Ackley et al. 1987, Ackermann et al. 1990, Shen & Ackermann 1990).

Aus Spindler (1994)

Während der Eisbildung erfahren die eingeschlossenen Organismen drastische abiotische Änderungen in der Hydrodynamik, den Lichtintensitäten, der Salinität und den Nährsalzkonzentrationen. Die Algen, die mit dem Eis an die Wasseroberfläche befördert werden, erfahren eine kurzfristige Erhöhung der Lichtintensität, die aber durch das anschließende Dickenwachstum des Eises und erste Schneeauflagen im Laufe der Zeit wieder abnehmen. Zudem wird durch die Eisbildung der besiedlungsfähige Raum stark begrenzt. Inmitten der

freien Wassersäule entstehen durch das Eis Oberflächen, die einen neuen Lebensraum schaffen. Die Natur des Meereises entspricht hierdurch eher einem bentischen als einem pelagischen Habitat, weshalb man es auch als semi-bentisch bezeichnet (Gradinger & Ikävalko, in press).

Das Meereis wird deshalb besonders von oberflächenassoziierten Organismen wie pennaten Diatomeen, Euglenophyceen (Ikävalko & Gradinger 1997) oder Turbellarien (Gradinger et al. 1991) besiedelt. Diese und andere Organismen nutzen den neu entstandenen Lebensraum, um darin zu wachsen und sich zu vermehren (z.B. Hegseth 1992, Grossmann & Dieckmann 1994, Mock et al. 1997).

4 Material und Methoden

4.1 Probenentnahme aus dem Meereis

Die Eiskerne dieser Untersuchung sind auf allen Eisstationen (Abb. 1) mit einem 9 cm (Innendurchmesser) SIPRE Kernbohrer gewonnen worden. Die Kennzeichnung der Kerne erfolgte mit einem Buchstaben und Nummerncode. Die ersten vier Zeichen stehen für die Expedition und die nächsten drei für den Tag im Jahr (1 bis 365). Ar131150 kennzeichnet demnach einen Kern, der auf der Expedition Ark 13/1 am Tag Nr. 150 genommen wurde. Auf jeder Eisstation wurden 6 Kerne gebohrt: (I) für die Bestimmung der Eistemperatur, Salinität, gelösten Nährsalze und den Pigmentkonzentrationen; (II) für pH - Messungen; (III) für die Analyse von partikulären organischen Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON); (IV) für die Algenzusammensetzung, Abundanz (IAA) und Biomasse (IAC); (V+VI) für die *in situ* Primärproduktionsmessungen.

4.2 Bestimmung der abiotischen Eisparameter

4.2.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung

Die Messung des Lichtes im photosynthetisch aktiven Bereich (PAR) zwischen 380 und 740 nm erfolgte mit einem 2π - (LI 193) und einem 4π - Sensor (Li 193SB), die an ein Radioquantameter (LIQUOR Datalogger Li 1000) angeschlossen waren. Während die 2π - Sonde die aus einer Halbkugel einfallenden Strahlung mißt, berücksichtigt die 4π - Sonde die Strahlung aus allen Raumrichtungen. Die verwendeten Sensoren messen den Lichtquantenfluß in der Einheit $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($= 6.02 \cdot 10^{17}$ Photonen $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Mit der 2π - Sonde wurde die solare Einstrahlung über dem Eis gemessen, wohingegen die 4π - Sonde das Licht direkt an der Eisunterseite erfaßt hat. Nach Befestigung der 4π - Sonde wurde das Bohrloch bis zur ursprünglichen Schneedicke mit Schnee verschlossen. Bezugsebene der Tiefenmaße war die Eisoberkante. Die Messung der atmosphärischen UV-B - (290 - 320 nm) und UV-A - (320 - 400 nm) Strahlung erfolgte mit einem UV - Messgerät (Gröbel Inc.) und je einer 2π - Sonde für das jeweilige UV - Spektrum. Alle 2π - Sonden sind im Abstand von ca. 10 m vom Bohrloch senkrecht ausgerichtet worden. Die Strahlungsmessungen erfolgten simultan, wobei die UV - Strahlung in unregelmäßigen Abständen abgelesen wurde. Die Schneeoberfläche war während den Lichtmessungen nur minimalen Störungen ausgesetzt, und zusätzlich wurde darauf geachtet, daß keine schattenwerfende Gegenstände im Umkreis von 20 m auf dem Eis lagen und ein Mindestabstand von 50 m zum Schiff eingehalten wurde.

Auf der Basis der 4π - Messungen erfolgten die Berechnungen der Lichtintensitäten in den Eisschichten der Primärproduktion mit Hilfe eines einfachen Modells nach Smith et al. (1988). Der PAR - Photonenfluß, der jede dieser Eisschichten erreicht, wurde anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$I_0 = I_u / e^{(k_i * Z_i - k_{chl} * Z_{chl})}$$

wobei I_0 = PAR auf der Oberseite der Eisschicht [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$]; I_u = PAR an der Unterseite der Eisschicht [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$]; k_i = diffuser Attenuationskoeffizient für Meereis [1.5 m^{-1}] (Maykut 1985); Z_i = Eisdicke [m]; k_{chl} = Mittlerer Spektralextinktionskoeffizient für Chlorophyll *a* [$0.035\text{ m}^2\text{ mg}^{-1}$]; Z_{chl} = Chlorophyll *a* - Konzentration in der Eisschicht [mg m^{-2}].

4.2.2 Schnee- und Eisdicke

Die Schneedicke ist an mindestens 5 unterschiedlichen Orten des Untersuchungsareales mit einem Messzollstock ermittelt worden. Der Mittelwert aus den 5 Messungen ergab die durchschnittliche Schneedicke für die gesamte Eisstation. Die Eisdicke wurde anhand der Eiskernlänge festgestellt.

4.2.3 Eistemperatur

Für die Messung der Eistemperatur wurde der Kern (I) unmittelbar nach dem Erbohren in ein PVC - Rohr gelegt und im Abstand von 5 cm mit 5 mm dicken und ca. 4 cm tiefen Löchern versehen. In diesen erfolgte die Temperaturmessung mit einem elektronischen Thermometer (Testotherm 700) nach einer Einstellzeit von ca. einer Minute. Die Meßgenauigkeit betrug $\pm 0.1\%$ des Meßwertes.

4.2.4 Salinität

Für die Salinitätsmessungen wurde der Kern (I) nach der Temperaturmessung mit einer rostfreien Stahlsäge von oben nach unten in 1-10 cm lange Segmente zerteilt. Die Eissegmente wurden für den Transport zum Schiff in saubere Polyethylenbeuteln verpackt. Nach dem direkten Auftauen im Dunkeln bei 4°C erfolgte die Salinitätsmessung unter Verwendung eines Konduktometers (LF 191, Firma WTW) am geschmolzenem Eis. Die Messgenauigkeit betrug $\pm 0.5\%$ des Meßwertes.

4.2.5 Solesalinität

Die Solesalinität wurde basierend auf der Eistemperatur nach der Gleichung von Assur (1958) berechnet.

4.2.6 Solevolumen

Mit Hilfe der Eistemperatur und -salinität ist es möglich, das Solevolumen zu berechnen. Die Berechnungen erfolgten nach den Gleichungen von Frankenstein & Garner (1967) und Leppäranta & Manninen (1988).

4.2.7 pH - Wert

Nach dem Erbohren des Kernes (II) wurde er in 10 cm Segmente zersägt und in saubere Polyethyldosen verpackt. Um ein Schmelzen des Eises auf ein Minimum zu beschränken, erfolgte die pH - Messung unmittelbar nach der Probennahme an Bord. Hierfür wurde jedes Kernsegment in einer Kühlzentrifuge in speziellen Zentrifugenbechern bei *in situ* Temperatur und 1250 U min^{-1} 10 min lang zentrifugiert. Nach dieser Methode (Weissenberger 1992) konnte immer ausreichend Sole zur Messung gewonnen werden. Als Meßgerät diente ein pH - Meter (PH191, WTW) mit interner Temperaturkompensation. Eichungen erfolgten vor und zwischen den Messungen mit pH 7 und pH 9 Standardpufferlösungen.

4.2.8 Nährsalzkonzentration

Nach der Salinitätsbestimmung wurde von jedem geschmolzenen Kernsegment des Kernes (I) eine Unterprobe für die Nährsalzbestimmung abgefüllt. Die Konzentration von Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Silikat erfolgte unmittelbar an Bord nach der Methode von Grasshoff et al. (1983). Um eine Kontaminierung der Proben mit Ammonium durch die Klimaanlage zu vermeiden, wurden diese Proben an Deck mit den dazu notwendigen Chemikalien versetzt. Die Nährsalzkonzentrationen des Eises wurden für die Primärproduktionshorizonte auf die Sole normalisiert (Gleitz et al. 1995).

4.3 Bestimmung der biotischen Eisparameter

4.3.1 Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON)

Für die C (Kohlenstoff)/N (Stickstoff) - Analyse wurde der Kern (IV) direkt nach dem Erbohren in 1-10 cm Segmente zerlegt. Um eine C - oder N - Kontamination während des Sägens zu vermeiden, wurde das Eis nur mit Latexhandschuhen berührt. Nach dem direkten Schmelzen im Dunkeln bei 4°C erfolgte die Filtration des Schmelzwassers auf vorgeglühte (12 Stunden bei 500°C) Glasfaserfilter (Whatman GF/F). Als Blindproben (4 pro Eiskern) dienten wie Probenfilter behandelte Filter, durch die einige Milliliter destillierten Wassers hindurchgesaugt worden war. Bis zur Weiterverarbeitung in Kiel lagerten alle Filter bei -25°C . Vor der eigentlichen gaschromatographischen CN - Bestimmung wurden die Filter 24 h lang mit rauchender HCl angesäuert, um anorganischen Kalk herauszulösen, und danach für mindestens 12 h im Trockenschrank bei 60°C getrocknet. Mit Hilfe des CHN-O-RAPID Elementaranalysators von Heraeus wurden die Proben aufgeschlossen und C und N getrennt nachgewiesen. Das beim Verbrennen des Probenmaterials entstandene CO_2 und N_2 Gas wurde gereinigt und getrennt in Wärmeleitfähigkeitsmeßzellen quantitativ erfaßt. Eine Eichung erfolgte für jeden Analysengang (ca. 50 Proben) mit 10 Proben Acetanilid.

4.3.2 Pigmentkonzentration

Das verbleibende Schmelzwasser von jedem Eissegment des Kernes (I) wurde nach der Volumenbestimmung mit geringem Unterdruck (0.2 bar) über Whatman GF/F Filter filtriert. Anschließend erfolgte eine Aufschluß der Zellen mit 90%igem Aceton durch 5-minütiges Homogenisieren in einer Zelmühle. Nach 12-stündiger Extraktion bei +5°C wurde jede Probe für 15 min bei 2000 U min⁻¹ zentrifugiert. Die Fluoreszenz des Überstandes wurde vor und nach Ansäuerung durch 0.1 N HCl mit Hilfe eines Turner Designs Model 10-AU Fluorometer gemessen. Die Umrechnung der Fluoreszenz auf die Chlorophyll *a* - und Phaeophytin - Konzentration erfolgte nach Arar & Collins (1992).

4.3.3 Abundanz, Biomasse und Artenspektrum der Eisalgen

Das Eis des Kernes (IV) wurde im Dunkeln in filtriertem Seewasser (vorfiltriert über 0.2 µm) bei +2°C mit einer Verdünnung von 4 : 1 (Seewasser : geschmolzenes Eis) geschmolzen, um osmotischen Streß auf ein Mindestmaß zu reduzieren (Garrison & Buck 1986, Spindler & Dieckmann 1986). Unterproben von 100 und 250 ml wurden mit Borax gepuffertem Formol (Endkonzentration 2%) fixiert. Die Proben lagerten für die restliche Zeit der Expedition im Dunkeln bei ca. +10°C.

In Kiel erfolgten die lichtmikroskopischen Analysen nach der von Uthermöhl (1958) entwickelten Sedimentationsmethode an einem umgekehrten Zeiss Axiovert 35 Mikroskop. Zur Sedimentation wurden die Proben nach fünf minütiger Durchmischung, die der homogenen Verteilung der Partikel dient, in einer Verbundkammer (HYDRO-BIOS) angesetzt. Das verwendete Volumen (10-100 ml) der Kammern richtete sich nach der Anzahl der Partikel in jeder Probe. Die Sedimentationszeit an einem licht-, vibrations-, und wärme geschützten Ort betrug mindestens 48 h.

Nachdem die Fläche des Kammerbodens, einzelner Streifen und Gesichtsfelder mit Hilfe eines Objektmikrometers bestimmt worden waren, erfolgte die Zählung und Vermessung des nun auf dem Kammerboden befindlichen Probenmaterials. Größere und einfach zu identifizierende Algen wurden bei 200 - facher und kleinere Arten bei 400 - facher Vergrößerung gezählt. Dabei wurden mindestens 100 Individuen einer Art bzw. Form erfaßt, um den Zählfehler im Verhältnis zum Arbeitsaufwand möglichst gering zu halten (Venrick 1978). Die Flagellaten (heterotrophe und autotrophe Arten) ≤ 20 µm wurden in 50 Gesichtsfeldern bei 1000 - facher Vergrößerung gezählt.

Zur Bestimmung der Taxa wurde folgende Literatur benutzt: Crawford et al. (1994), Gran (1904), Husted (1966), Ikävalko & Gradinger (1997), Medlin & Priddle (1990), Quillfeld (1997) und Throndsen (1970, 1974).

Die Abundanz und Biomasse wurde auf 1 l Eisvolumen standardisiert. Die Ermittlung des Kohlenstoffgehaltes der Eisalgen (IAC = ice algal carbon = Eisalgenkohlenstoff) erfolgte auf der Basis der oben beschriebenen Zählungen und Vermessungen nach den von der Baltic Marine Environment Protection Commission (1989) vorgeschlagenen Umrechnungsfaktoren.

4.3.4 *In situ* Primärproduktion

4.3.4.1 Die *in situ* Inkubationstechnik

Die Primärproduktion dP/dt (produzierte organische Substanz (P) während der Zeit (t)) wurde mit der von Steemann Nielsen (1958) beschriebenen ^{14}C - Methode bestimmt. Bei dieser Bestimmungsmethode wird üblicherweise eine Wasserprobe mit gelöstem $\text{Na}^{14}\text{CO}_3$ versetzt. Während der Inkubation wird das entstehende $^{14}\text{CO}_2$ neben dem normalen $^{12}\text{CO}_2$ in die Algenzelle aufgenommen und der Kohlenstoff zum Aufbau der organischen Substanz benutzt.

Die Inkubation des Radiotracers erfolgte in dieser Untersuchung an Eisproben. Hierfür wurde der Eiskern (V) nach dem Erbohren sofort zwischen zwei schwarze PVC - Folien gelegt, um eine Photoinhibition der schattenadaptierten Algen zu vermeiden. Darauf folgend wurden 6 Eisscheiben von je 1 cm Dicke mit einer Edelmetallsäge nach einem definiertem Schema herausgesägt, und die sechs folgenden Probenhorizonte wurden in folgenden Entfernungen von der Eisunterseite erhalten: (1) 0-1 cm, (2) 1-2 cm, (3) 2-3 cm, (4) 8-9 cm, (5) 34-35 cm und (6) 60-61. Jede dieser Eisscheiben wurde in eine auslaufsichere Petrischale aus Quarzglas gelegt und mit 15 ml filtriertem Seewasser ($0.2 \mu\text{m}$) versetzt, das kurz zuvor mit $50 \mu\text{l}$ ($15 \mu\text{Ci}$) ^{14}C -Stammlösung inokuliert wurde. Als Blindwert diente der unterste Zentimeter des Kernes (VI), der in einer schwarzen lichtundurchlässigen Petrischale inkubiert wurde.

Die 6 Proben und das restlichen Meereis des Kernes (V) wurden in der ursprünglichen Reihenfolge in ein transparentes Acrylglasrohr geschichtet, wobei an unterster Stelle die Blindprobe plaziert wurde (Abb. 5). Ein Test zur Lichttransmission des Acrylglases erfolgte in 1 nm Schritten zwischen 180 und 800 nm und ergab eine Lichtabsorption von $< 2\%$ über das gesamte Spektrum.

Nach dem Verschluss des Rohres an der Unterseite konnten die Proben bis auf ± 1 cm an die ursprünglichen Stelle im Bohrloch versenkt werden. Die Befestigung des Rohres erfolgte über die Trägerseile an Metallstangen, die als Eisanker dienten. Bei Eis mit über einem Meter Dicke wurde der Rest des Kernes in sehr dünne transparente Schlauchfolie geschoben und im Bohrloch auf das Inkubationsrohr gestellt. Abschließend erfolgte die Wiederherstellung des ursprünglichen Schneebelages. Nach einer Inkubationszeit von 8 bis 9 Stunden wurde das Rohr an den Trägerseilen aus dem Bohrloch gezogen und unter einer schwarzen Folie lichtgeschützt in das Isotopenlabor transportiert, um dort die Inkubation abzustoppen.

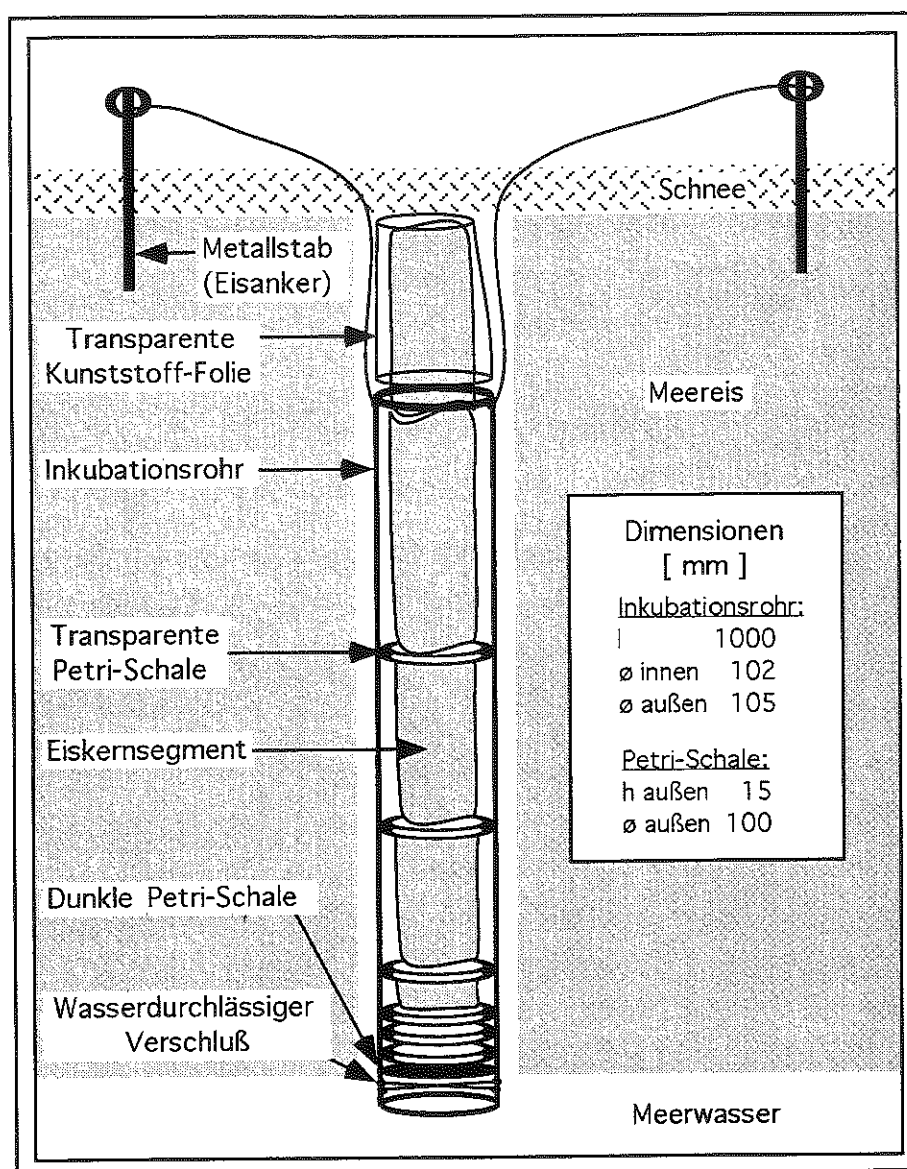


Abb. 5.: Schematische Darstellung der Technik zur *in situ* Inkubation. Die Petri-Schalen dienen als Inkubationskammern, in denen je ein Eissegment enthalten ist. l = Länge; h = Höhe; ø = Durchmesser

4.3.4.2 Gesamtproduktion

Im Isotopenlabor des Schiffes wurden die Proben bei Zimmertemperatur im Dunkeln zum Schmelzen gebracht und anschließend mit je 500 µl DCMU fixiert (Endkonz.: 2.33 mg l⁻¹). Von jeder Probe wurden 3 Unterproben á 15 ml mit 150 µl 1N HCl angesäuert (Endwert: pH < 2), und nicht fixiertes ¹⁴C wurde durch 20 min Belüften als ¹⁴CO₂ ausgetrieben. 10 ml der so behandelten Suspension wurde zur Scintillationsmessung in 20 ml Plastikvials mit 10 ml Lumagel Scintillationscocktail (Baker) gemischt und frühestens nach 6 Stunden in einem Packard TriCarb Flüssigkeits-Scintillationszähler gemessen. Zur Quenckorrektur wurde die Zählzelle mit der externen Standardmethode bestimmt. Die Bestimmung mit der

Ansäuerungs - Belüftungsmethode erfasst neben dem partikulär fixierten ^{14}C auch radioaktiv markierte Exsudationsprodukte. Die Berechnung der Kohlenstoffproduktion erfolgte nach Strickland & Parsons (1972). Dabei wurde ein Isotopendiskriminierungsindex von 1.05 und ein Gesamtkohlenstoffgehalt der Probe, beruhend auf dem Kohlensäure - Karbonat - Gleichgewicht, von 25 mg C l^{-1} angenommen.

4.3.4.3 Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P^b), photosynthetische Effizienz (Alpha^*) und die Wachstumsrate (μ)

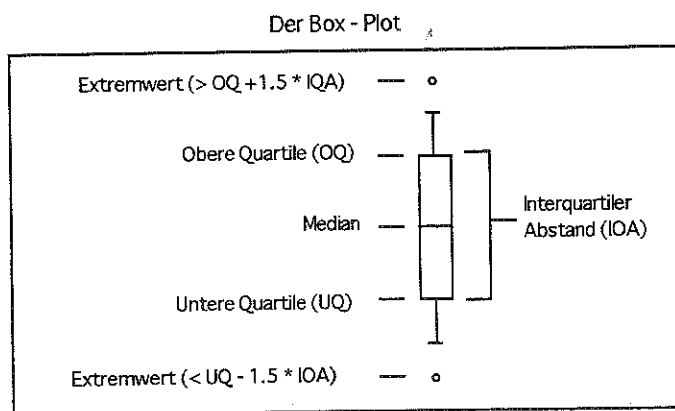
Die Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P^b) ergab sich aus dem Quotienten der Primärproduktion und der Biomasse [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl } a^{-1}\text{h}^{-1}$]. Die photosynthetische Effizienz (Alpha^*) berechnete sich aus dem Quotienten von P^b zu PAR [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl } a^{-1}\text{h}^{-1}$] [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] $^{-1}$. In dieser Untersuchung wird die photosynthetische Effizienz mit Alpha^* bezeichnet, da das konventionelle Alpha experimentell durch die Steigung der P^b vs I (irradiance = Strahlung) Kurve ermittelt wird und deshalb nicht analog zu Alpha^* ist. Die Wachstumsraten der Algen wurden nach Sakshaug et al. (1989) mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\mu + r = \text{Chl } a \text{ C}^{-1} * P^b * D$$

wobei $\text{Chl } a \text{ C}^{-1}$ der Quotient aus der Chlorophyll a - und Eisalgenkohlenstoff - Konzentration ist, D die Tageslänge in Stunden (24 h) und P^b die biomasse-spezifische Photosyntheserate.

4.4 Statistik

In den graphischen und tabellarischen Darstellungen wurden die Daten oft durch Bildung von Mittelwerten (\bar{x}), Standardabweichungen (STD), Medianen (M), Wertebereichen und Anzahl der Werte (n) zusammengefasst. Der Median und seine Variabilität wurde anhand von Box - Plot - Graphiken mit Hilfe des Programms KaleidaGraph 3.0 (Synergy Software) dargestellt.



Für den Vergleich zwischen ein- und mehrjährigem Meereis auf der Basis biotischer und abiotischer Eisparameter wurde der U-Test von Mann und Whitney (1947) verwendet. Dieser nichtparametrische Test basiert auf der Vergabe von Rangzahlen. Desweiteren wurde in dieser Untersuchung die Korrelationsanalyse (Sachs 1984) eingesetzt.

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse gliedern sich in einen ersten (5.1) und zweiten (5.2) Teil. Der erste Teil gibt einen Überblick über die Wertebereiche derjenigen Parameter, für die komplette Profile durch das Eis vorliegen und stellt ihre Verteilung exemplarisch anhand der vier Primärproduktionskerne dar. Für die Lichtmessungen werden nur die Stationen mit den vollständigsten Datensätze dargestellt. Der zweite Teil konzentriert sich in allen Parametern ausschließlich auf die Orte im Eis, in denen *in situ* Primärproduktion gemessen wurde, um diese und die daraus abgeleiteten Größen so genau wie möglich erklären zu können.

5.1 Erster Teil (komplette Eiskerne)

5.1.1 Abiotische Eisparameter

5.1.1.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung

Obwohl die Tageslänge während der gesamten Expedition 24 Stunden betrug, wurden starke Schwankungen der PAR - Strahlung mit dem 2π - Sensor an der Eisoberseite registriert (Tabelle 1a). Auf den gemessenen Stationen reichte die 2π - Einstrahlung von 106 bis 2173 [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$]. Für diese Unterschiede in den Strahlungsintensitäten war der Tagesgang der Sonne, mit Einstrahlungsmaxima während des Höchststandes und -minima während des Tiefststandes verantwortlich. Zusätzlich verursachten vorüberziehenden Wolkenfelder kurzfristigen Änderungen der Strahlungsintensität, wie sie anhand des unregelmäßigen Kurvenverlaufes der Strahlung auf Station 157 zu erkennen sind (Abb. 6a). Diese diskontinuierlichen Intensitätsschwankungen konnten auch unter dem Eis mit dem 4π - Sensor in stark abgeschwächter Form nachgewiesen werden (Abb. 6a). Die relativen Änderungen der Ober- und Untereisstrahlung im Tagesgang verlaufen demnach identisch und zeitgleich, was durch eine sehr gute Korrelation der beiden Messungen sichtbar wird (Abb. 6b). Die

Tabelle 1a: Vergleich zwischen ein- und mehrjährigem Eis. Angegeben sind die Wertebereiche aller abiotischer Parameter für die vollständigen Vertikalprofile.

ABIOTISCHE EISPARAMETER	EINJÄHRIGES MEEREIS	MEHRJÄHRIGES MEEREIS
Anzahl der Stationen	5	8
PAR (2π) [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$]	106 - 2173	
PAR (4π) [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$]	8.0 - 24.0	0.2 - 15.0
$4\pi : 2\pi$ [%]	2.3 - 4.6	0.03 - 1.10
UV-A [mW cm^{-2}]	0.32 - 2.48	
UV-B [mW cm^{-2}]	0.005 - 0.050	
Schneedicke [cm]	3.5 - 13.0	27.5 - 66.0
Eisdicke [cm]	47 - 172	257 - 502
Eistemperatur [°C]	-1.4 - -3.6	-0.4 - -6.9
Salzgehalt	2.4 - 8.0	0.0 - 10.8
Solesalinität	28.7 - 62.4	7.3 - 113.1
Solevolumen [% am Eisvolumen]	3.9 - 15.3	0.0 - 22.0
pH der Sole	7.9 - 8.8	5.9 - 8.9
NH ₄ [$\mu\text{mol l}^{-1}$]	0.0 - 15.5	0.0 - 9.3
NO ₃ [$\mu\text{mol l}^{-1}$]	0.05 - 4.25	0.10 - 2.01
NO ₂ [$\mu\text{mol l}^{-1}$]	0.00 - 0.29	0.00 - 0.28
SiO ₄ [$\mu\text{mol l}^{-1}$]	0.06 - 4.82	0.15 - 4.59
PO ₄ [$\mu\text{mol l}^{-1}$]	0.00 - 7.44	0.00 - 1.04

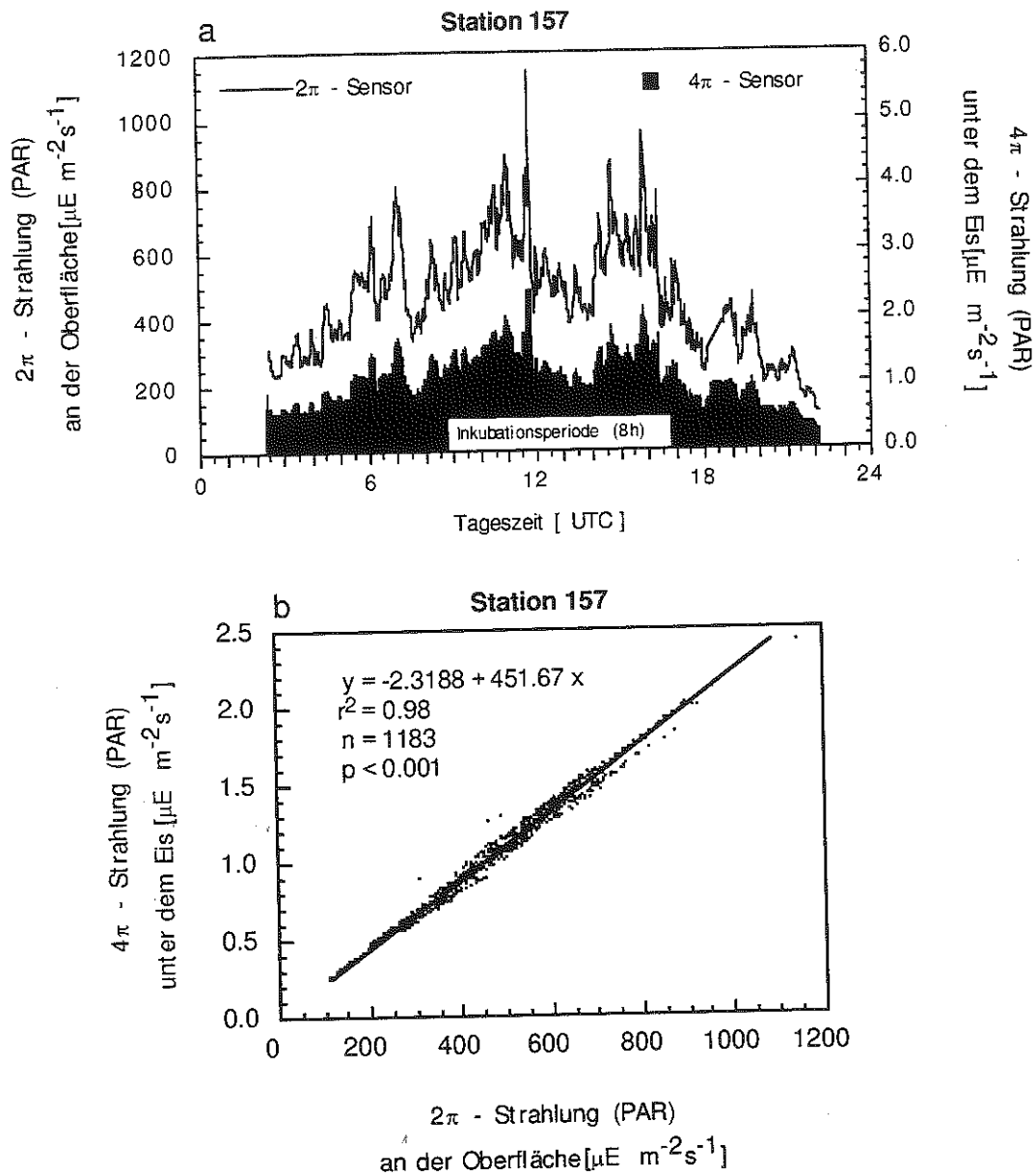


Abb. 6. a) Intensität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) auf der Oberfläche und an der Unterseite des Eises auf Station 157. Die Primärproduktionsmessung begann um 8⁴⁵ [UTC] und endete um 16⁴⁵ [UTC]. b) Das Verhältnis zwischen 4 π - und 2 π - Strahlung für den gesamten Messzeitraum auf Station 157.

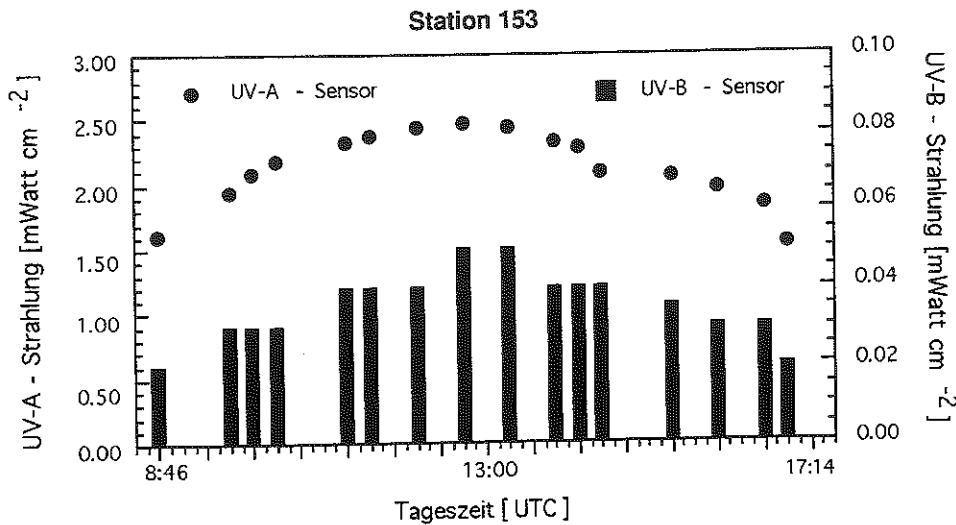


Abb. 7.: Intensität der UV-A - und UV-B - Strahlung auf der Station 153.

absoluten Werte der Untereisstrahlung variierten für beide Eistypen zwischen 0.2 und 24 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$, wobei die Maxima unter einjährigem und die Minima unter mehrjährigem Eis gemessen wurden. Die Lichtänderungen unter dem Eis erstrecken sich zwischen den einzelnen Eisschollen generell über einen größeren Bereich (zwei Größenordnungen Differenz) als die über dem Eis (eine Größenordnung Differenz).

Die gemessene UV-A - Strahlung erreichte höhere Werte als die UV-B - Strahlung (Tabelle 1a). Sie variierte zwischen 0.32 und 2.48 mW cm^{-2} , während die UV-B- Strahlung zwischen 0.01 und 0.05 mW cm^{-2} schwankte. Die Intensitätsänderungen beider Strahlungsspektren wurden durch die gleichen Ursachen bedingt wie die der PAR - Strahlung. Unter wolkenbedecktem Himmel und während dem Tiefststand der Sonne wurden Minima gemessen und an sonnigen Tagen Maxima. Durch die diskontinuierliche Aufzeichnung ist es hier leider nicht möglich, die kurzfristigen Schwankungen genauso aufzuzeigen wie bei der PAR - Strahlung. Ein unvollständiger Tagesgang beider UV - Spektren ist für einen sonnigen Tag (Station 153) mit wenig Wolken exemplarisch in der Abb. 7 dargestellt.

5.1.1.2 Schnee- und Eisdicke

In dieser Arbeit wurde unterschiedlich dickes und somit auch unterschiedlich altes Eis untersucht (Tabelle 1a). Das jüngste Eis (einjährig) wurde mit 47 cm Dicke im Barentsmeer beprobt, während das älteste Eis (mehrjährig) mit 502 cm in der Grönland-See gefunden wurde. Ähnlich bemerkenswerte Differenzen fanden sich in der Höhe der Schneeeauflage. Sie reichte von 3.5 cm auf einjährigem Eis bis 66 cm auf mehrjährigem Eis (Tabelle 1a).

5.1.1.3 Eistemperatur

Der Bereich der gemessenen Eistemperaturen erstreckte sich von -6.9°C bis -0.4°C (Tabelle 1a). Sowohl das Temperaturminimum als auch das -maximum wurde im mehrjährigen Eis registriert. Im einjährigen Eis war die Spannweite der Ergebnisse kleiner, mit Temperaturen zwischen -3.6°C und -1.4°C . Das einjährige Eis hatte generell signifikant höhere Temperaturen als das mehrjährige Eis (Tabelle 2). Ein weiterer Unterschied beider Eistypen wurde durch die Verteilung deutlich. Das einjährige Eis zeichnete sich durch lineare Temperaturprofile aus, mit tiefen Werten an der Eisoberseite und höheren Werten an der Unterseite des Eises, während das mehrjährige Eis c-förmige Profile der Temperatur aufwies (Abb. 8). Diese kamen durch höhere Temperaturen sowohl an der Eisunterseite als auch an der -oberseite zustande. Die Minima lagen in der Regel bei diesem Eistyp in den mittleren Tiefen.

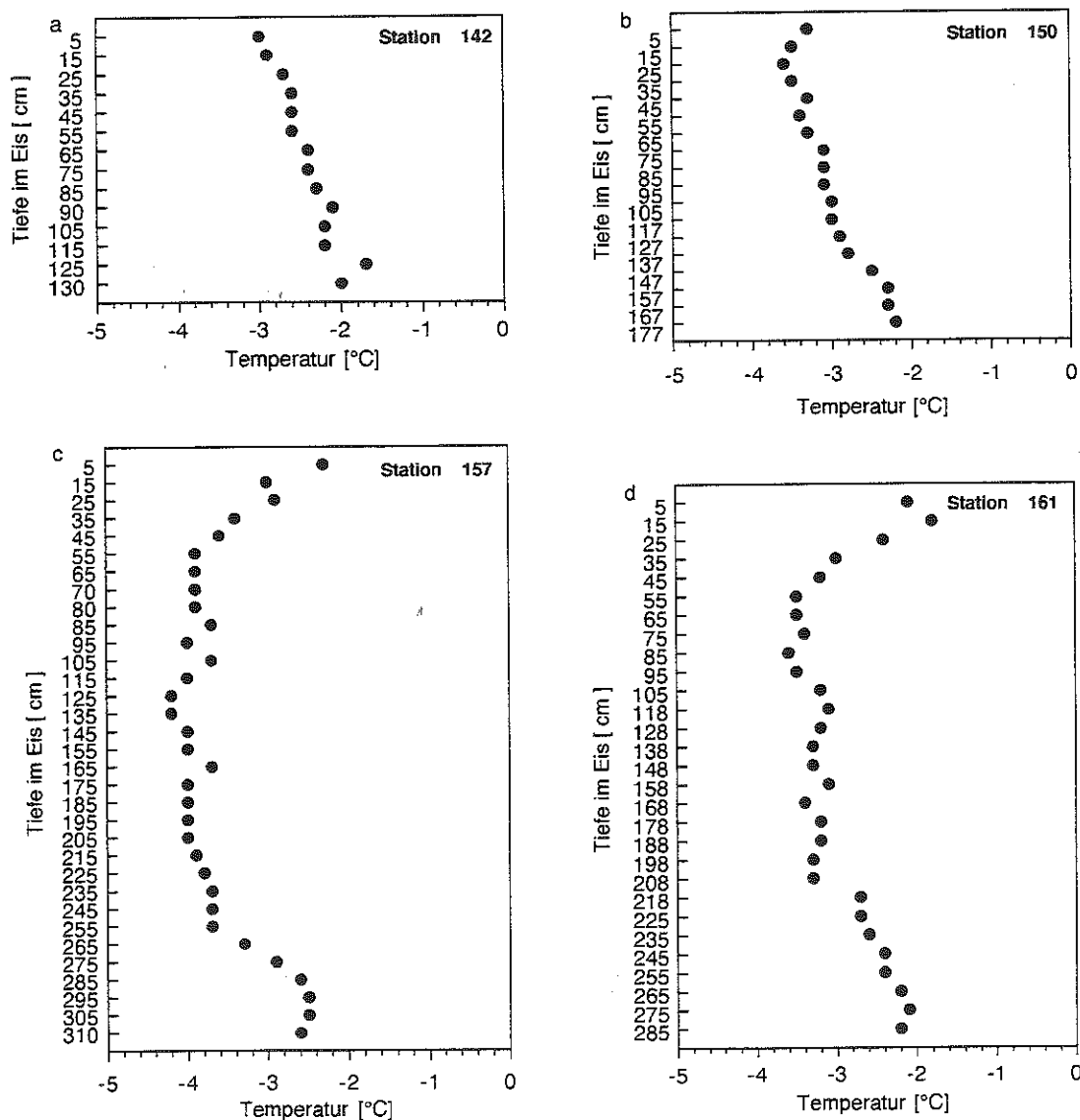


Abb. 8.: Vertikalprofile der Temperatur

5.1.1.4 Salinität

Die Salinitäten des Eises befanden sich in einem Bereich zwischen 0 und 10.8 (Tabelle 1a). Unterschiede zwischen den beiden Eistypen zeigten sich auch hier in der Spannbreite der Wertebereiche und in den Mustern der vertikalen Verteilung. Das einjährige Eis wies im Gegensatz zum mehrjährigen keine Aussüßung der oberen Bereiche auf, sondern teilweise traten die maximalen Salzgehalte in den oberen Bereichen auf (Station 142, 150) (Abb. 9). Hierdurch wurde in diesem Eistyp eine signifikant höhere Salinität nachgewiesen als im mehrjährigen Eis (Tabelle 2) Im mehrjährigen Eis kommt es durch die oberflächennahe Aussüßung zu einem internen Salinitätsgradienten mit Maxima an der Unterseite und Minima an der Oberseite des Eises, wie es auch auf den Stationen 157 und 161 der Fall ist (Abb. 9).

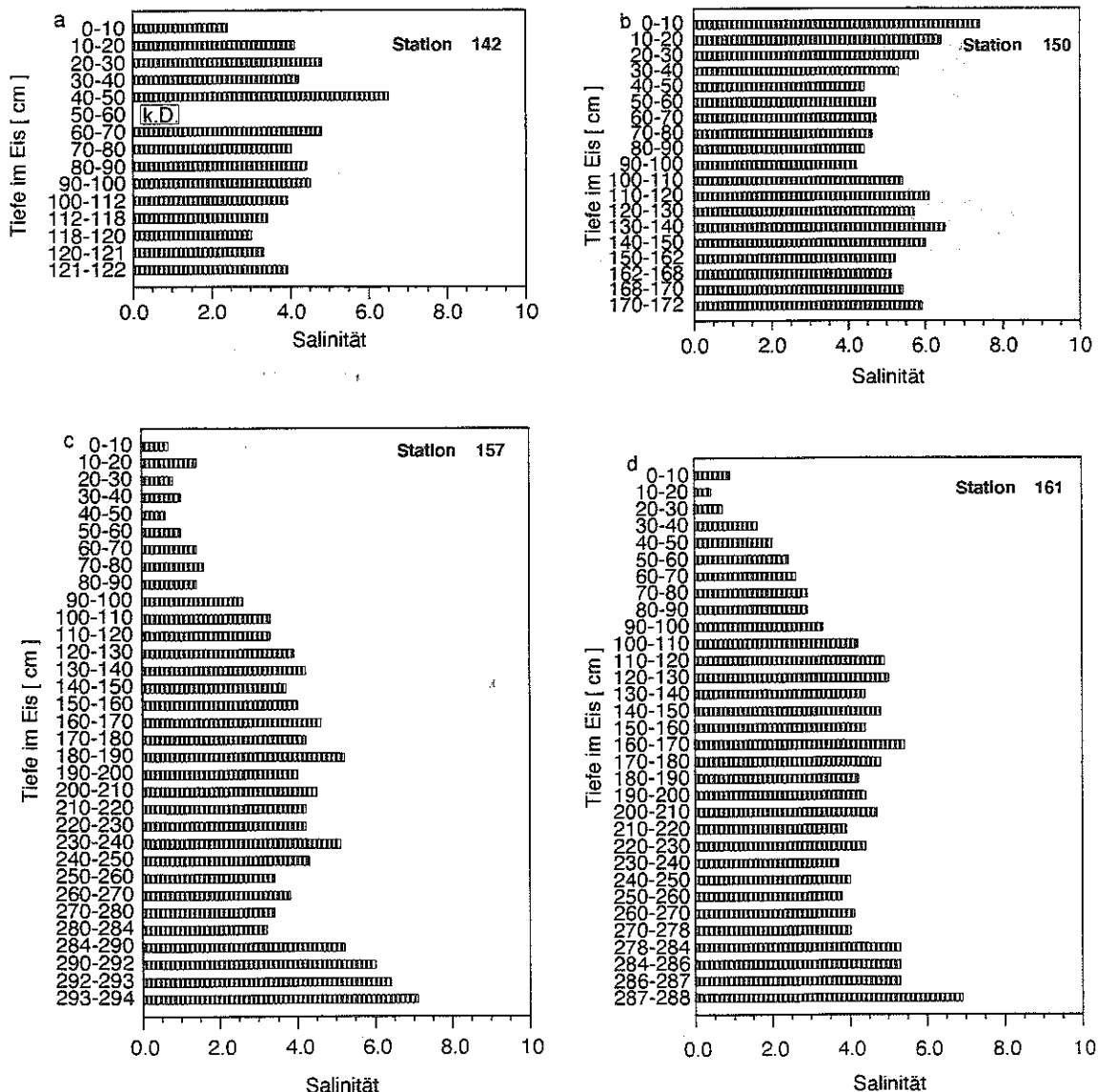


Abb. 9.: Salinitätsprofile durch das Eis; k.D. = keine Daten

5.1.1.5 Solesalinität

Die Solesalinität als Funktion der Temperatur erreichte Maxima ($S = 113.1$) bei tiefen Temperaturen (-6.9°C) und Minima ($S = 7.3$) bei hohen Temperaturen (-0.4°C) (Tabelle 1a). Aufgrund der tiefsten Temperaturen in den mittleren Tiefen des mehrjährigen Eises befanden sich hier die höchsten Solesalinitäten (Abb. 10), wodurch sich dieser Eistyp grundlegend vom einjährigen Eis unterschieden hat (Tabelle 2). Ein linearer Verlauf der Solesalinität im einjährigen Eis führt von geringeren Werten an der Unterseite zu höheren an der Oberseite. Diese Verteilungsmuster entsprechen generell der reziproken Verteilung der Temperaturen im Eis (Abb. 8).

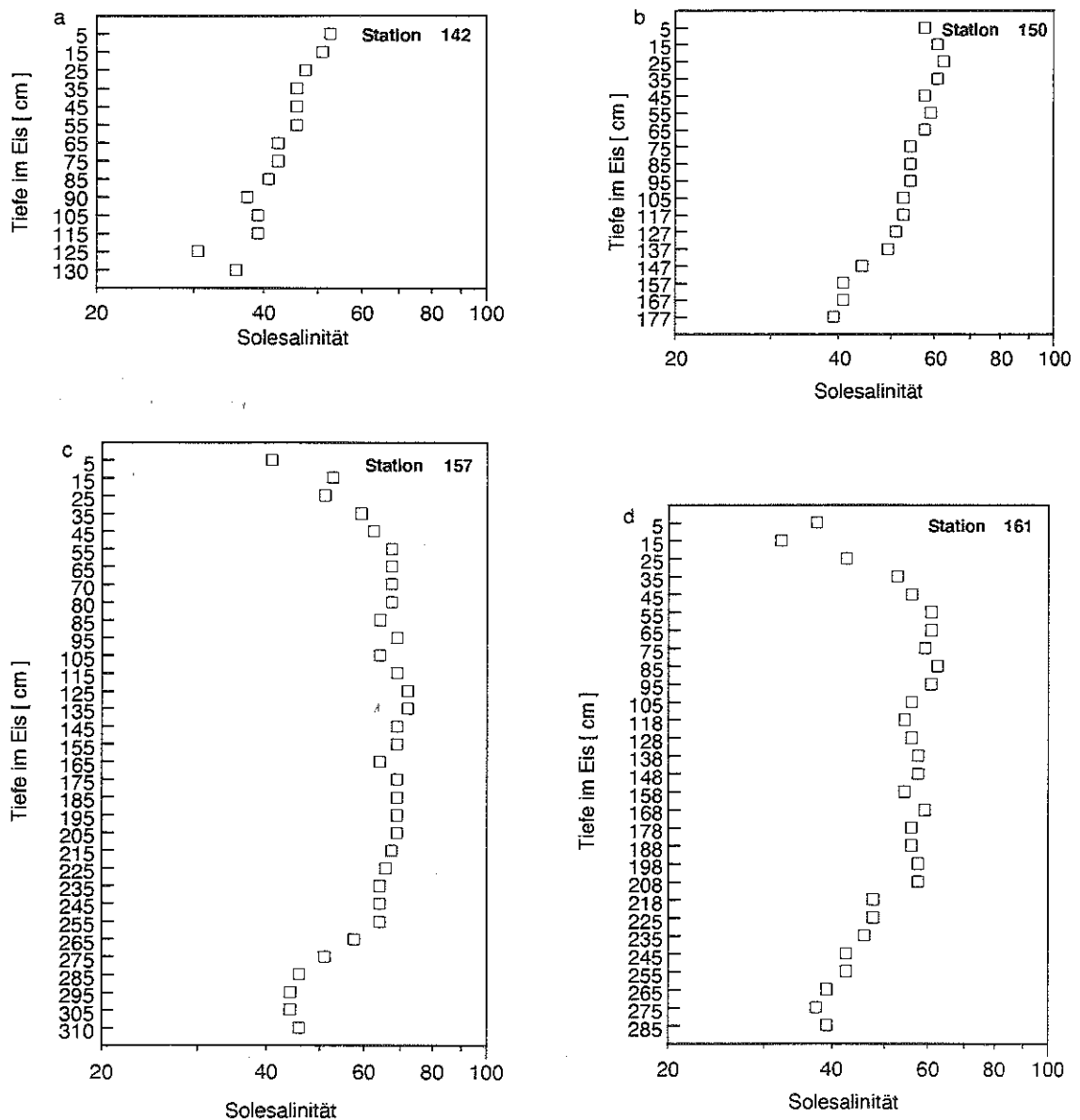


Abb. 10.: Vertikalverteilungen der Solesalinität

5.1.1.6 Solevolumen

Das Solevolumen als Funktion der Eistemperatur und der Salinität des Eises ist dort groß, wo hohe Temperaturen und hohe Salinitäten vorliegen. Innerhalb des gesamten Wertebereiches (0 - 22% am Eisvolumen; Tabelle 1a) fanden sich die größten Solevolumina, zumeist in den unteren Zentimetern des ein- und mehrjährigen Eises (Abb. 11). An der Oberseite des einjährigen Eises traten sowohl höhere als auch niedrigere Solevolumina auf. Dagegen wurden an der Oberseite des mehrjährigen Eises einheitlich sehr niedrige Solevolumina ermittelt, wodurch sich dieser Eistyp signifikant vom einjährigen Eis absetzte (Tabelle 2).

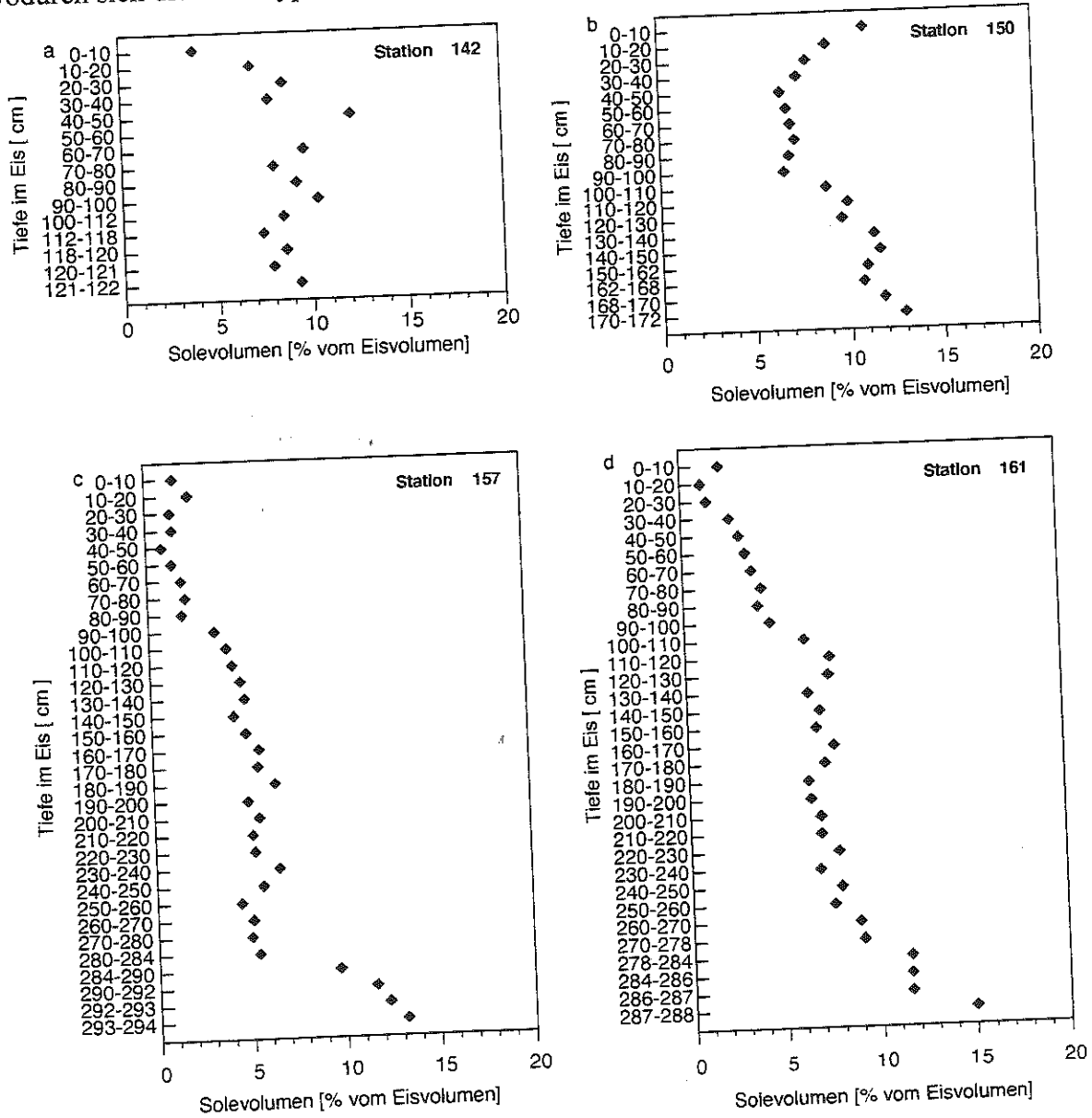


Abb. 11.: Vertikalprofile des Solevolumens [% vom Eisvolumen]

5.1.1.7 pH - Wert

Im einjährigen Eis befanden sich die pH - Werte der Sole ($M = 8.27$, $n = 23$) in der Nähe des durchschnittlichen pH - Wertes für Meerwasser (pH 8.4) und nahmen nur geringfügig zur Eis - Wasser - Grenzfläche zu (Abb. 12). Im mehrjährigen Eis wurden bis auf wenige Maxima im Inneren des Eises (z.B. pH 8.9 im Eis der Station 157) generell pH - Werte unterhalb des Meerwasser pH - Wertes nachgewiesen ($M = 8.11$, $n = 87$). Diese Unterschiede zwischen den Eistypen waren statistisch signifikant (Tabelle 2). Eine pH - Verschiebung zu neutraleren Bereichen ist an der Unterseite des Eises festgestellt worden. Zusätzlich wurden an der Oberseite des mehrjährigen Eises saure pH - Milieus beobachtet (pH 5.9 im Eis der Station 157) (Abb. 12).

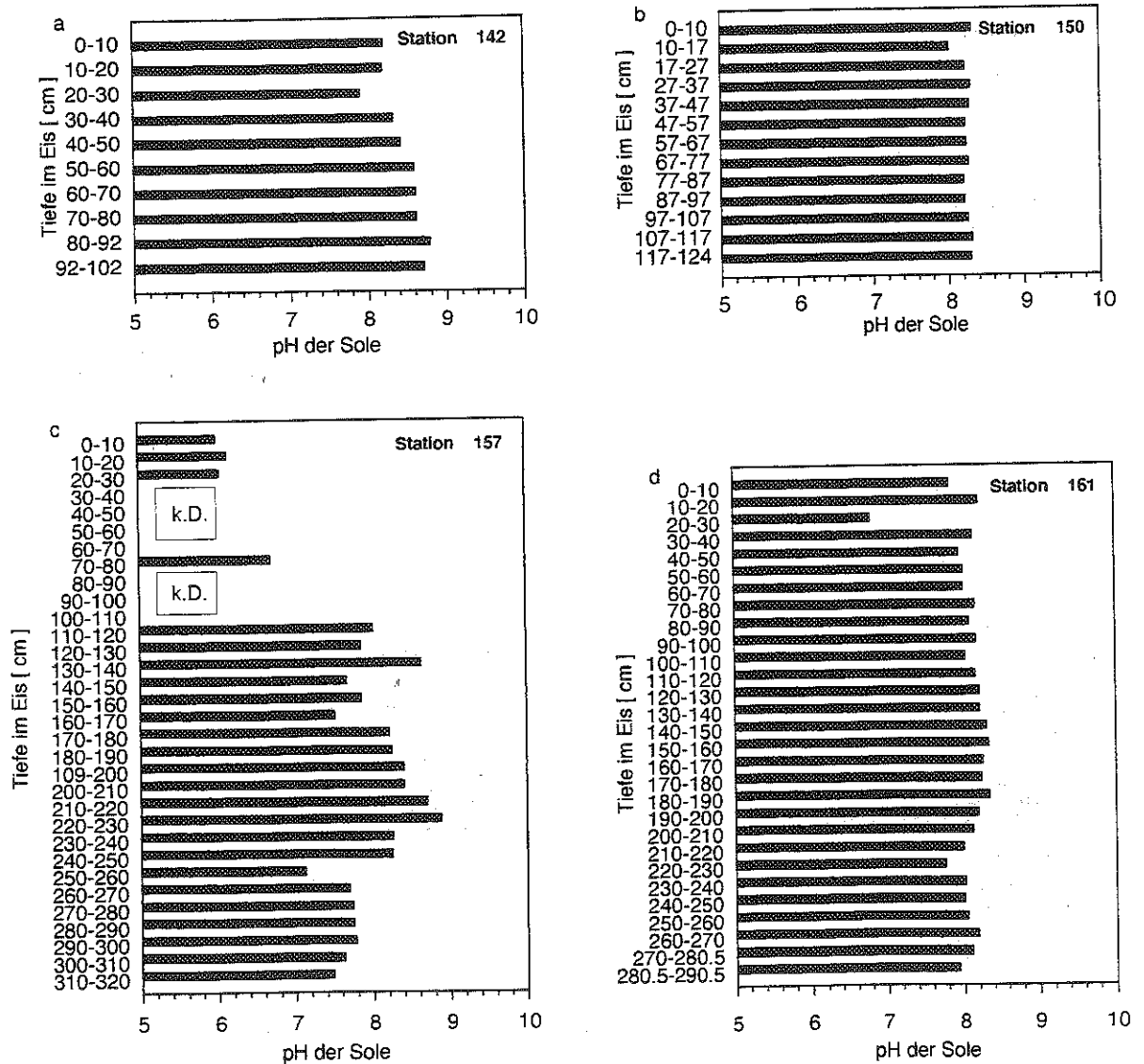


Abb. 12.: Vertikalprofile des pH - Wertes der Sole; k.D. = keine Daten

5.1.1.8 Nährsalzkonzentration

Die Konzentrationen der gelösten Nährsalze im Eis lagen oft in der Nähe der Nachweisgrenze, wobei hier besonders bedacht werden muß, daß es sich um verdünnte Konzentrationen aufgrund der Eisschmelze handelt. Der Verdünnungseffekt bei den Nährsalzkonzentrationen liegt in dieser Untersuchung unter Einbezug der entsprechenden Solesalinitäten bei einem Faktor von ca. 10. Höhere Konzentrationen wurden entweder direkt im Eis oder an der Eis - Wasser - Grenzfläche gemessen (Abb. 13, 14), wobei Maximalwerte aller Nährsalze generell im

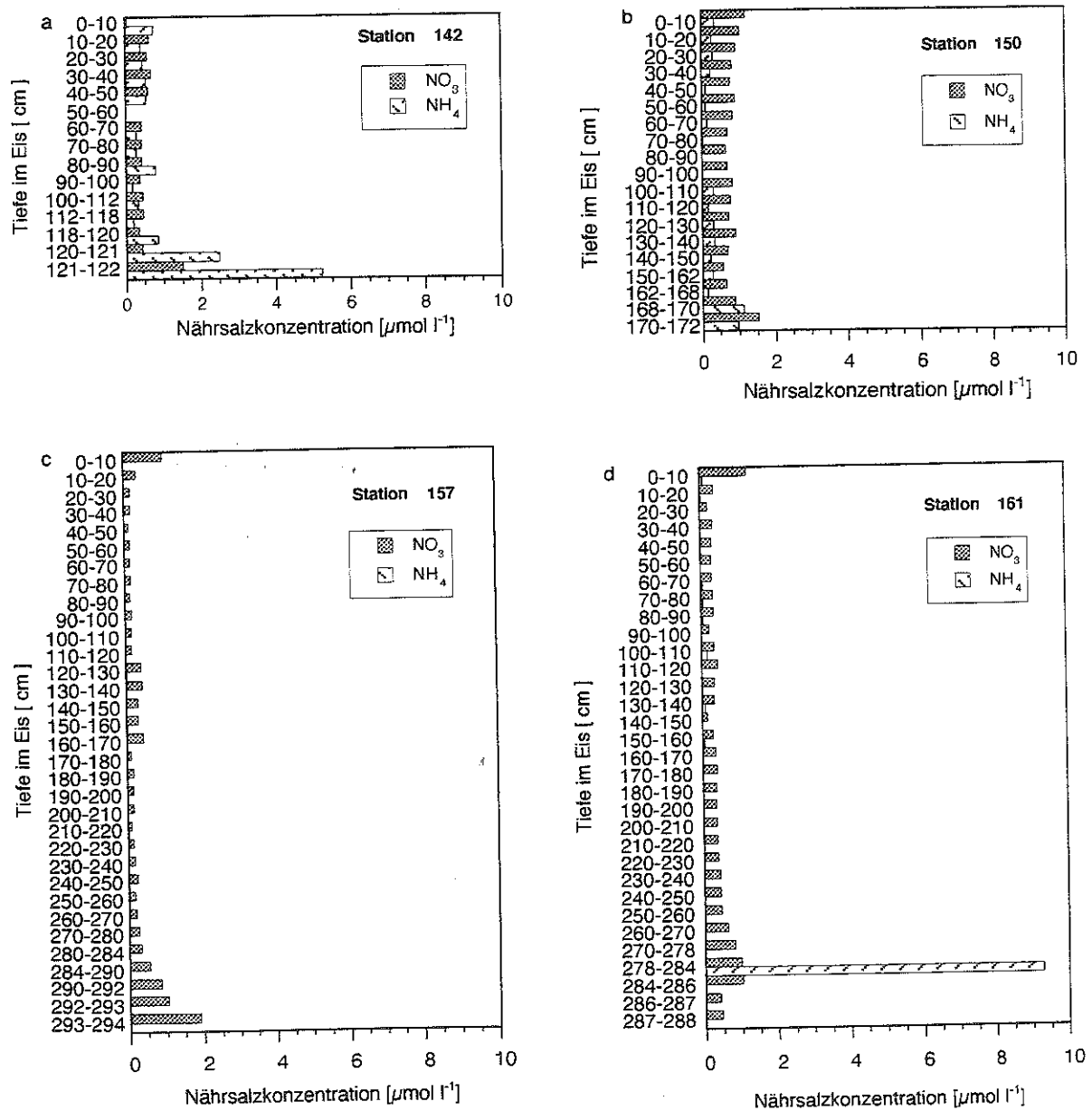


Abb. 13.: Vertikale Verteilungsmuster der gelösten Nährsalze Nitrat und Ammonium

einjährigen Eis auftraten. Zudem variierten hier die Konzentrationen innerhalb eines Kernes und zwischen den Kernen stärker als im mehrjährigen Eis, was neben den Vertikalprofilen (Abb. 13, 14) auch durch die größere Spannweite der Wertebereiche sichtbar wird (Tabelle 1a).

Signifikante Unterschiede zwischen beiden Eistypen zeigten sich in der NH_4 - Konzentration (Tabelle 2). Das mehrjährige Eis war bis auf wenige Ausnahmen (Station 161) frei von Ammonium, während die Ammoniumkonzentrationen des einjährigen Eises meistens über der Nachweisgrenze lagen. Nitrat und Phosphat wiesen ebenfalls höhere Konzentrationen im ein- als im mehrjährigen Eis auf (Tabelle 2) (Abb. 13, 14). Die Wertebereiche von Nitrit (ein-

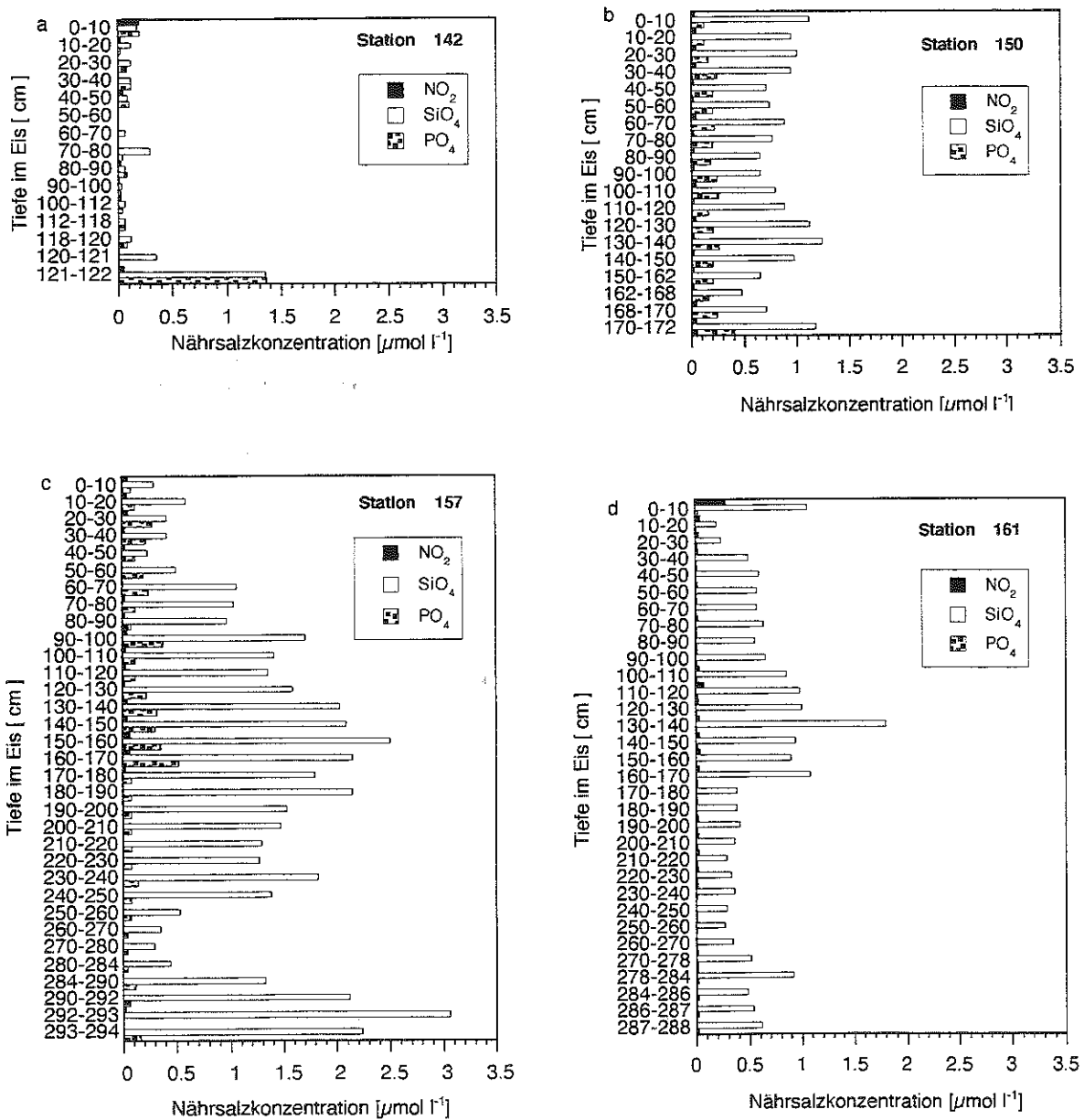


Abb. 14.: Vertikale Verteilungsmuster der gelösten Nährsalze Nitrit, Silikat und Phosphat

jähriges Eis: 0.00 - 0.29 $\mu\text{mol l}^{-1}$, mehrjähriges Eis: 0.00 - 0.28 $\mu\text{mol l}^{-1}$) und Silikat (einjähriges Eis: 0.06 - 4.82 $\mu\text{mol l}^{-1}$, mehrjähriges Eis: 0.15 - 4.59 $\mu\text{mol l}^{-1}$) stimmten für beide Eistypen relativ gut überein (Tabelle 1a), wobei ein signifikanter Unterschied für Silikat nachgewiesen werden konnte (Tabelle 2), der dadurch zustande kam, daß das mehrjährige Eis im allgemeinen höhere Silikatkonzentrationen aufwies.

5.1.2 Biotische Eisparameter

5.1.2.1 Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON)

POC und PON konnten sehr oft nicht nachgewiesen werden, weil die Konzentrationen in der Nähe der Nachweisgrenze lagen und die Blindwerte die Meßwerte überschritten. Die Ursache der erhöhten Blindwerte war eine Kontamination der Proben durch Staubpartikel. Ungeachtet dieser Schwierigkeiten wurden maximale POC - Konzentrationen im einjährigen Meereis gemessen (Tabelle 1b), wodurch sich dieser Eistyp signifikant vom mehrjährigen Eis unterschied (Tabelle 2). Die POC - Konzentrationen stiegen hier in Richtung Eis - Wasser - Grenzfläche an (Abb. 15) und erreichten in den untersten zwei Zentimetern die Maximalwerte wie z.B. im Eis der Station 140 mit 13.92 mg POC l^{-1} . Im mehrjährigen Eis wurden neben hohen Konzentrationen an der Unterseite auch interne und oberflächennahe Maxima von POC und PON nachgewiesen (z.B. Station 161, Abb. 15).

Das molare Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C : N) deckte für alle Eiskerne einen Bereich zwischen 5.0 und 392.6 ab (Tabelle 1b). Im einjährigen Eis kam es zu einem leichten Anstieg des C : N - Verhältnisses in Richtung Eisoberseite (Abb. 16), wobei die höchsten Werte meistens auch dort (z.B. Station 150: 68.9) gemessen wurden. Im mehrjährigen Eis traten Maximalwerte auch im Inneren des Eises auf (z.B. Station 161: 392.6) (Abb. 16). Die niedrigsten C : N - Verhältnisse im einjährigen Eis wurden ausschließlich im untersten Zentimeter an der Eis - Wasser - Grenzfläche (Abb. 16) bestimmt. Im mehrjährigen Eis konnten geringe C : N - Verhältnisse neben der Eisunterseite (z.B. Station 167: 5.7) auch oberflächennah nachgewiesen werden (z.B. Station 153: 9.1, Station 164: 7.2) (Abb. 16).

Tabelle 1b.: Vergleich zwischen ein- und mehrjährigem Eis. Angegeben sind die Wertebereiche aller biotischer Parameter für die vollständigen Vertikalprofile.

BIOTISCHE EISPARAMETER	EINJÄHRIGES MEEREIS	MEHRJÄHRIGES MEEREIS
POC [mg l^{-1}]	0.06 - 13.92	0.05 - 4.10
PON [mg l^{-1}]	0.01 - 2.35	0.00 - 0.57
C : N	6.4 - 68.8	5.0 - 392.6
Chlorophyll <i>a</i> [$\mu\text{g l}^{-1}$]	0.02 - 825.60	0.00 - 52.77
Phaeophytin [$\mu\text{g l}^{-1}$]	0.01 - 188.40	0.00 - 13.09
Phaeo : Chl <i>a</i>	0.09 - 1.21	0.00 - 8.09

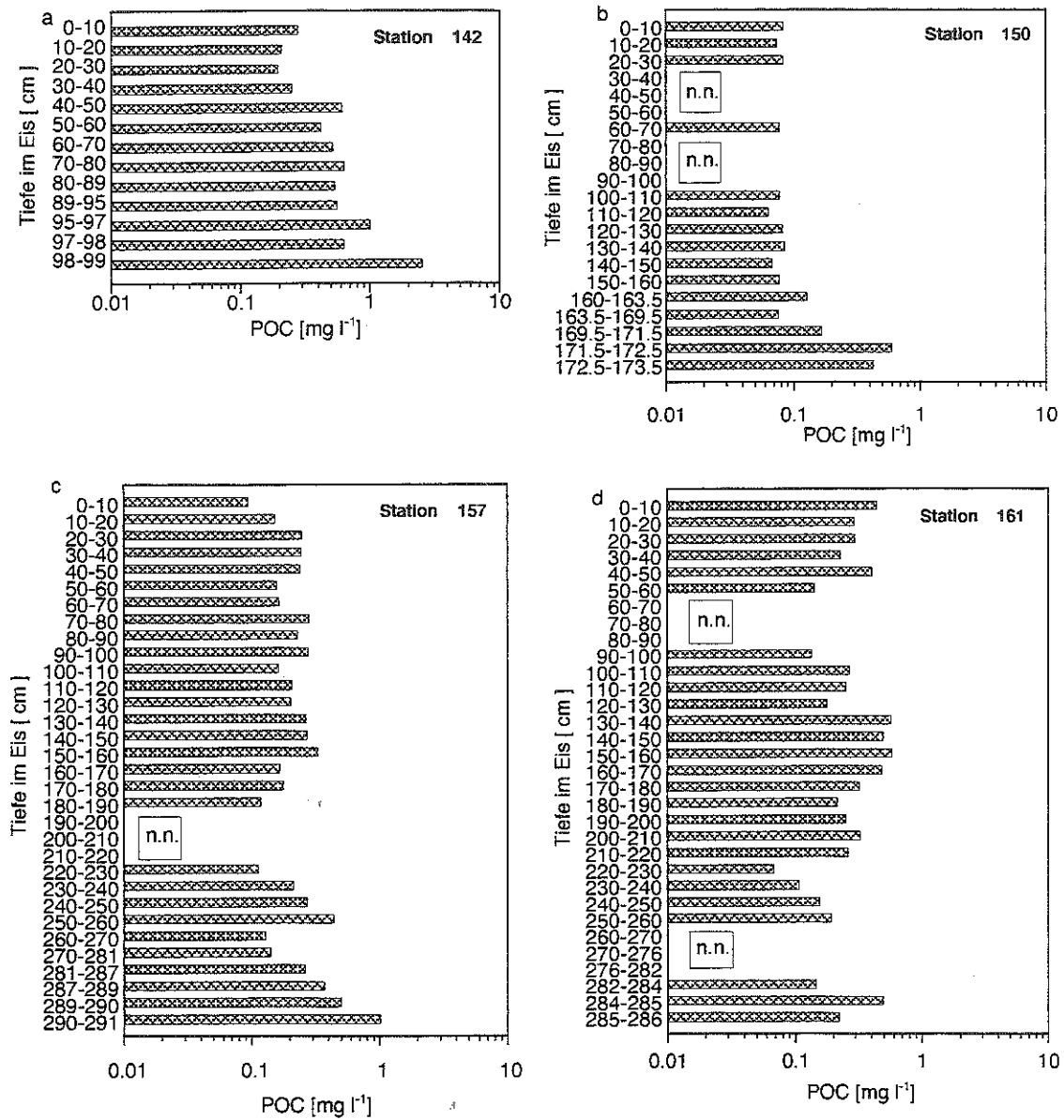


Abb. 15.: Vertikalprofile von partikulärem organischem Kohlenstoff (POC); n.n. = nicht nachweisbar

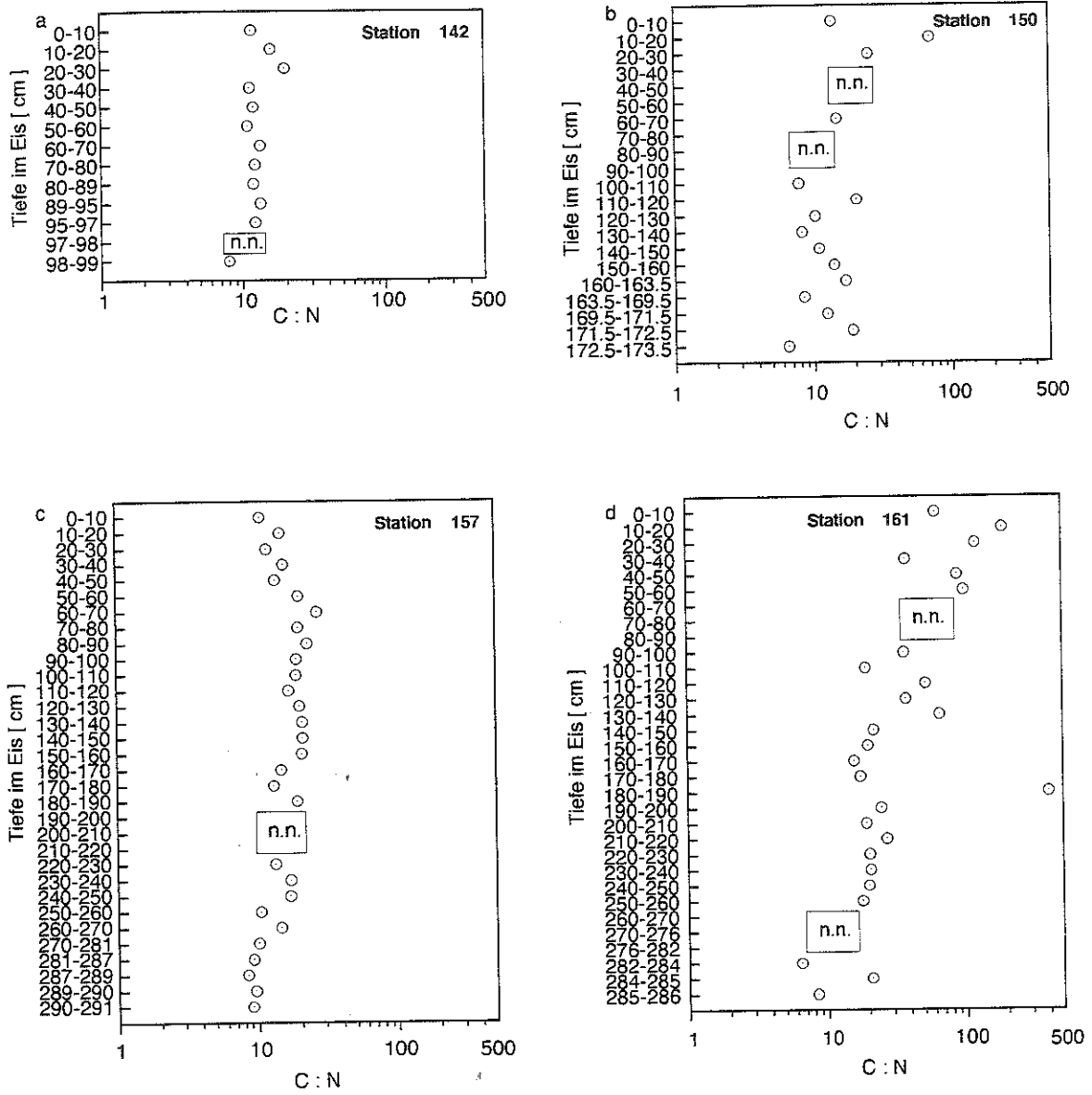


Abb. 16.: Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) im Eis;
 n.n. = nicht nachweisbar

5.1.2.2 Pigmentkonzentration

Das Spektrum der Chlorophyll *a* - Konzentrationen reichte in dieser Untersuchung von 0 bis 825.6 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Tabelle 1b), wobei das einjährige Eis signifikant höhere Chlorophyll *a* - Konzentrationen aufwies (Tabelle 2). Der Maximalwert (825.6 $\mu\text{g Chl } a \text{ l}^{-1}$) wurde im untersten Zentimeter des einjährigen Eises der Station 140 bestimmt. In allen weiteren einjährigen Eiskernen konnten ebenfalls hohe Chlorophyll *a* - Konzentrationen (15.4 - 171.6 $\mu\text{g l}^{-1}$) an der Eis - Wasser - Grenzfläche registriert werden. Starke Gradienten in den Konzentrationen kennzeichneten in diesem Eistyp die rasche Abnahme der Werte zur Eisoberseite (Abb. 17). Die maximalen Chlorophyll *a* - Konzentrationen des mehrjährigen Eises fanden sich auch an der Eisunterseite, erreichten hier aber niemals die Maximalkonzentration des einjährigen Eises (Tabelle 1b). Die Gradienten waren vergleichbar stark ausgeprägt, wobei die Absolutwerte in den oberen Bereichen teilweise noch geringer waren oder vollständig unter der Nachweisgrenze lagen (z.B. Station 161, 148).

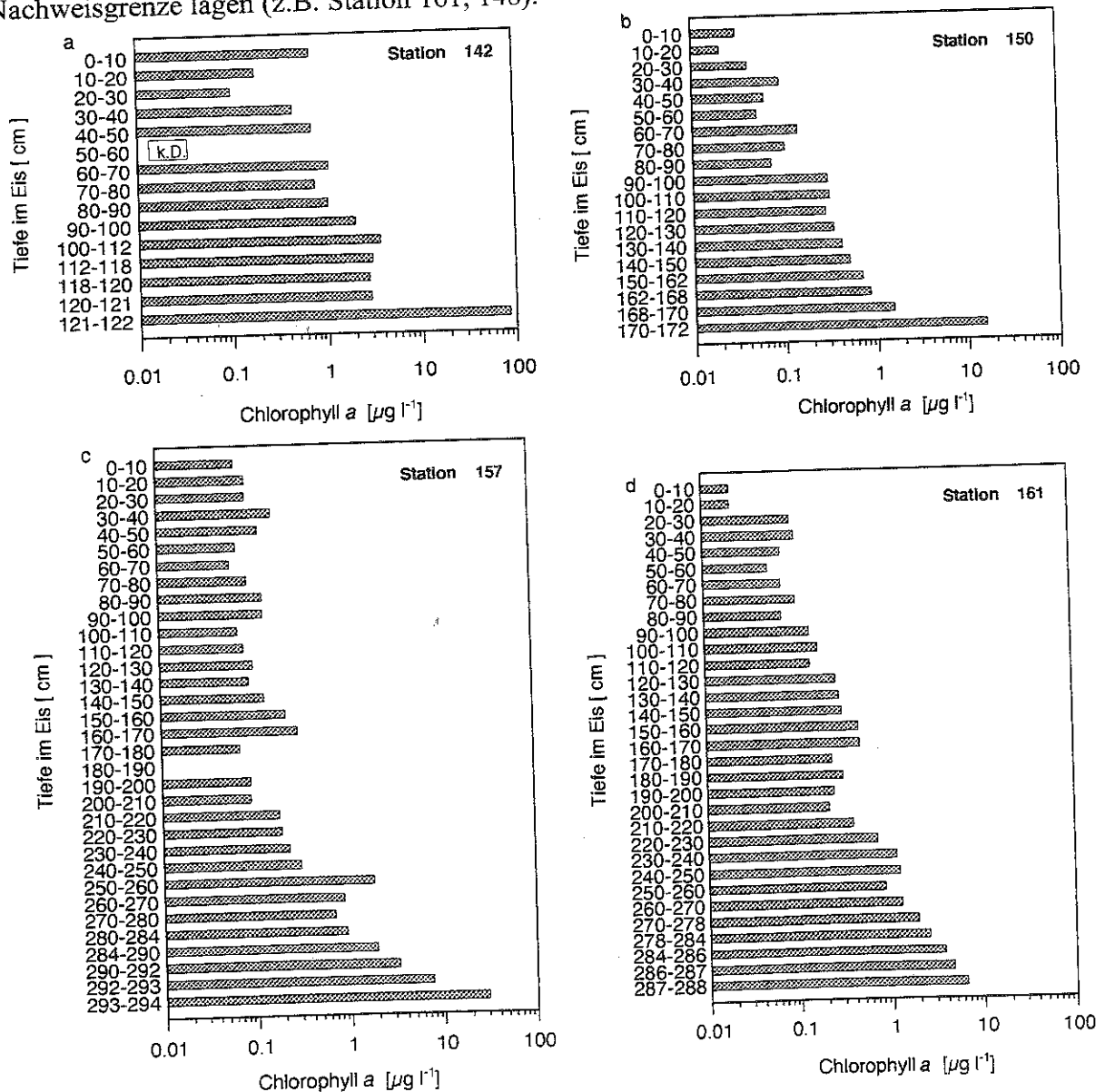


Abb. 17.: Vertikalprofile von Chlorophyll *a*; k.D. = keine Daten

Sehr ähnliche Verhältnisse wurden für beide Eistypen in den Phaeophytinkonzentrationen nachgewiesen (Abb. 18). Die Phaeophytin zu Chlorophyll *a* - Verhältnisse erstrecken sich im einjährigen Eis von 0.09 bis 1.21 und im mehrjährigen Eis von 0.00 bis 8.09, wobei die Verhältnisse im mehrjährigen Eis signifikant über denen des einjährigen Eises lagen (Tabelle 2). Die Extreme wurden demnach im mehrjährigem Eistyp gebildet, wobei die Verteilung der Werte innerhalb des Eises und zwischen den unterschiedlichen Eiskernen sehr heterogen ist. Hohe und niedrige Verhältnisse könne an allen Orten im Eis auftreten.

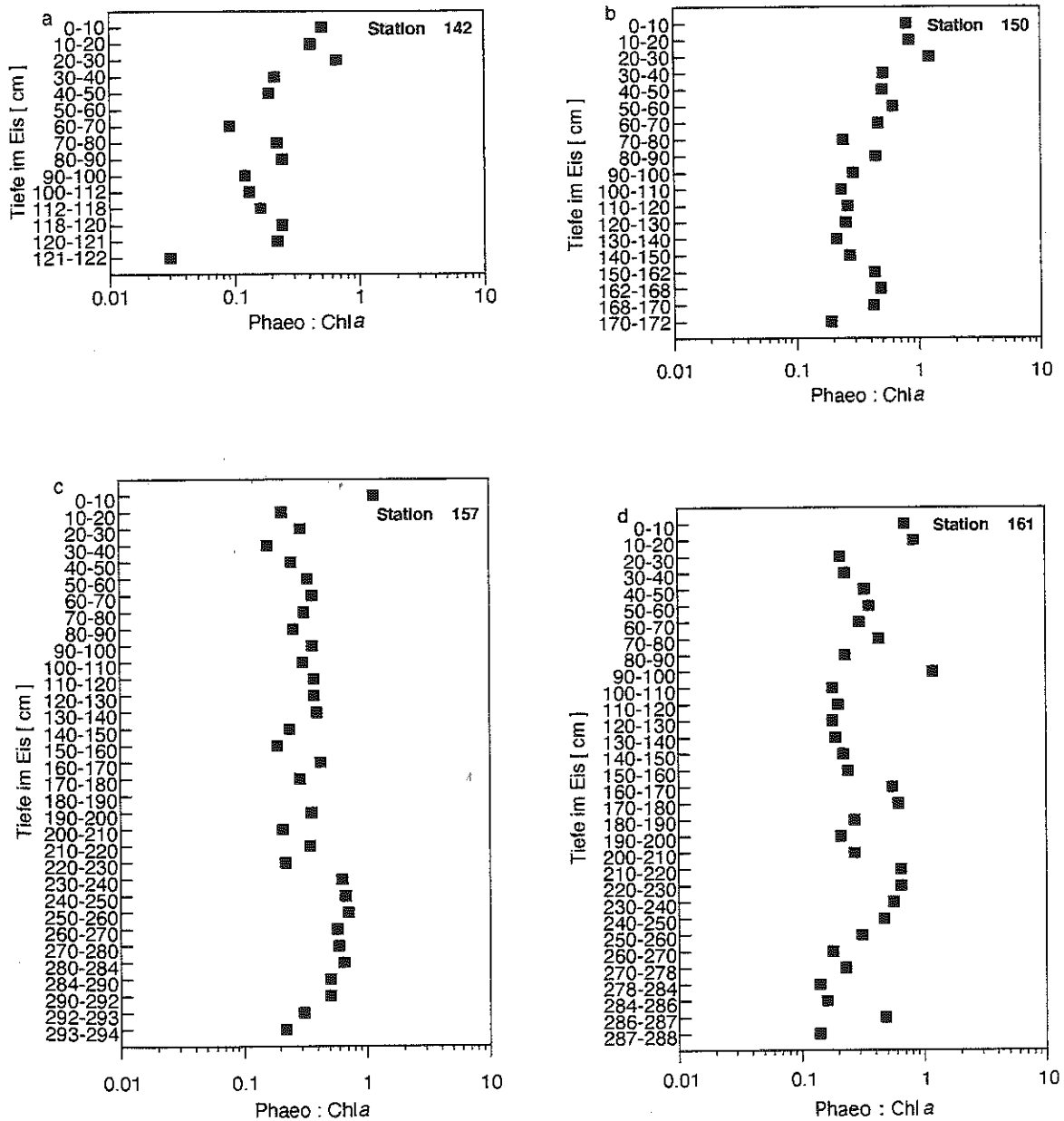


Abb. 18.: Das Verhältnis zwischen Phaeophytin und Chlorophyll *a* im Eis

5.2 Zweiter Teil (ausgewählte Eishorizonte)

5.2.1 Abiotische Eisparameter

5.2.1.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung

Die mittlere Untereisstrahlung auf allen Primärproduktions-Stationen lag zwischen 0.03% (Station 161) und 2.30% (Station 150) der einfallenden Oberflächenstrahlung. Dementsprechend variierten auch die berechneten PAR - Intensitäten in den jeweiligen Eiskernen (Abb. 19). Hier reichten die Strahlungsintensitäten in den Horizonten der

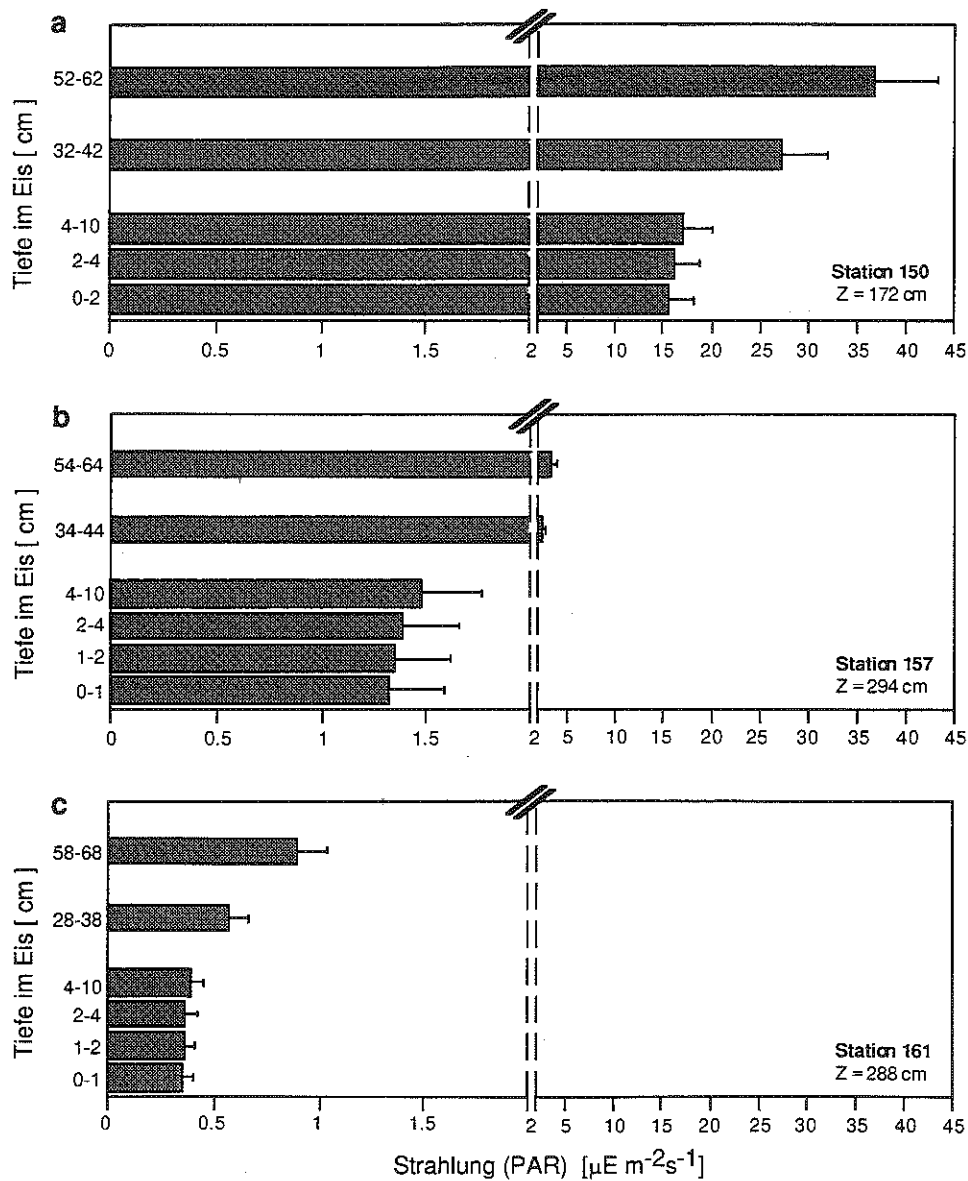


Abb. 19.: Berechnete mittlere Intensität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) für die Eistiefen, in denen Primärproduktionsmessungen durchgeführt wurden. Balken kennzeichnen Standardabweichung. Für jeden Eishorizont der Station 150: n = 480, der Station 157: n = 482 und der Station 161: n = 482; Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

Primärproduktion auf Station 150 von 15.7 bis 37.0 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$, auf Station 157 von 1.3 bis 3.3 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ und auf Station 161 von 0.4 bis 1.0 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Abb. 19).

5.2.1.2 Temperatur, Salinität, Solesalinität, Solevolumen, pH - Wert

Die Temperaturen der entsprechenden Eissegmente erstreckten sich über einen Bereich von -2.0°C bis -3.7°C , wobei sie mit zunehmender Entfernung von der Eis - Wasser - Grenzfläche abnahmen (Station 142: $\Delta T = -0.4^{\circ}\text{C}$, Station 150: $\Delta T = -1.2^{\circ}\text{C}$, Station 157: $\Delta T = -1.1^{\circ}\text{C}$, Station 161: $\Delta T = -0.5^{\circ}\text{C}$) (Abb. 20a). Im mehrjährigen Eis (Station 157, 161) konnte für die unteren 10 cm Eis ein leichter Temperaturanstieg ($\Delta T = +0.1^{\circ}\text{C}$) registriert werden.

Der Wertebereich der Salinität in den entsprechenden Segmenten des einjährigen Eises befand sich zwischen $S = 3.0$ und $S = 6.1$, während der des mehrjährigen Eises von $S = 3.4$ bis $S = 7.1$ reichte (Abb. 20b). Die vertikalen Verteilungsmuster der Salinität in beiden Eistypen (Abb. 9) spiegeln sich auch in den Horizonten der Primärproduktion wieder.

Im einjährigen Eis nehmen die Salinitäten nur in den unteren 4 (Station 142) bis 10 (Station 150) cm mit zunehmender Entfernung von der Eis - Wasser - Grenzfläche geringfügig ab (Station 142: $\Delta S = -0.9$, Station 150: $\Delta S = -0.8$), während sie dann wieder zu den oberen Segmenten zunehmen. Im mehrjährigen Eis fand eine Abnahme der Salinität bis zu 44 (Station 157) und bis zu 38 cm (Station 161) von der Unterseite des Eises statt (Station 157: $\Delta S = -3.7$, Station 161: $\Delta S = -3.1^{\circ}\text{C}$). In den obersten Primärproduktionshorizonten des mehrjährigem Eis nahmen die Salinitäten dann wieder geringfügig zu (Abb. 20b).

Die berechneten Solesalinitäten der entsprechenden Eishorizonte reichten von $S = 36$ bis $S = 64$ mit den höchsten Werten in den obersten Proben (Abb. 20c). Die vertikale Solesalinitätszunahme zu den oberen Segmenten und die absoluten Solesalinitäten fielen für die unterschiedlichen Stationen verschieden aus (Station 142: $S = 35.6-42.5$, Station 150: $S = 39.1-52.5$, Station 157: $S = 45.8-64.0$) (Abb. 20d).

Das Solevolumen reichte in den Eishorizonten der Primärproduktion von 5 (Station 157) bis 15% (Station 161) des totalen Eisvolumens (Abb. 20d). Maxima wurden für die entsprechenden Proben der Station 150, 157 und 161 im untersten Zentimeter der "skeletal layer" nachgewiesen (Abb. 20d). In den Segmenten der Station 142 änderten sich die Solevolumina ohne einen allgemeinen Trend der Ab- oder Zunahme (7.4-9.6%). Dagegen verringerten sich die Solevolumina der entsprechenden Eissegmente bei den übrigen Stationen mit zunehmender Entfernung von der Eis - Wasser - Grenzfläche (Station 150: 12.9 - 9.9%, Station 157: 13.2 - 6.6%, Station 161: 15 - 7.9%).

Der Bereich der pH - Werte in den entsprechenden Eisproben des einjährigen Eises lag zwischen 8.2 und 8.7. Der des mehrjährigen Eises erstreckte sich von 7.2 bis 8.0, wobei sich hier außer einem Wert alle unter pH 8 befanden. Dieser Unterschied war statistisch signifikant. Die

pH - Werte beider Eistypen nahmen zur Unterseite geringfügig zu (Station 142: $\Delta\text{pH} = +0.4$, Station 150: $\Delta\text{pH} = +0.05$, Station 157: $\Delta\text{pH} = +0.4$, Station 161: $\Delta\text{pH} = +0.2$), wobei es im mehrjährigen Eis zwischen 30 und 40 cm Eistiefe zu einem internen Maximum kam (Abb. 20e).

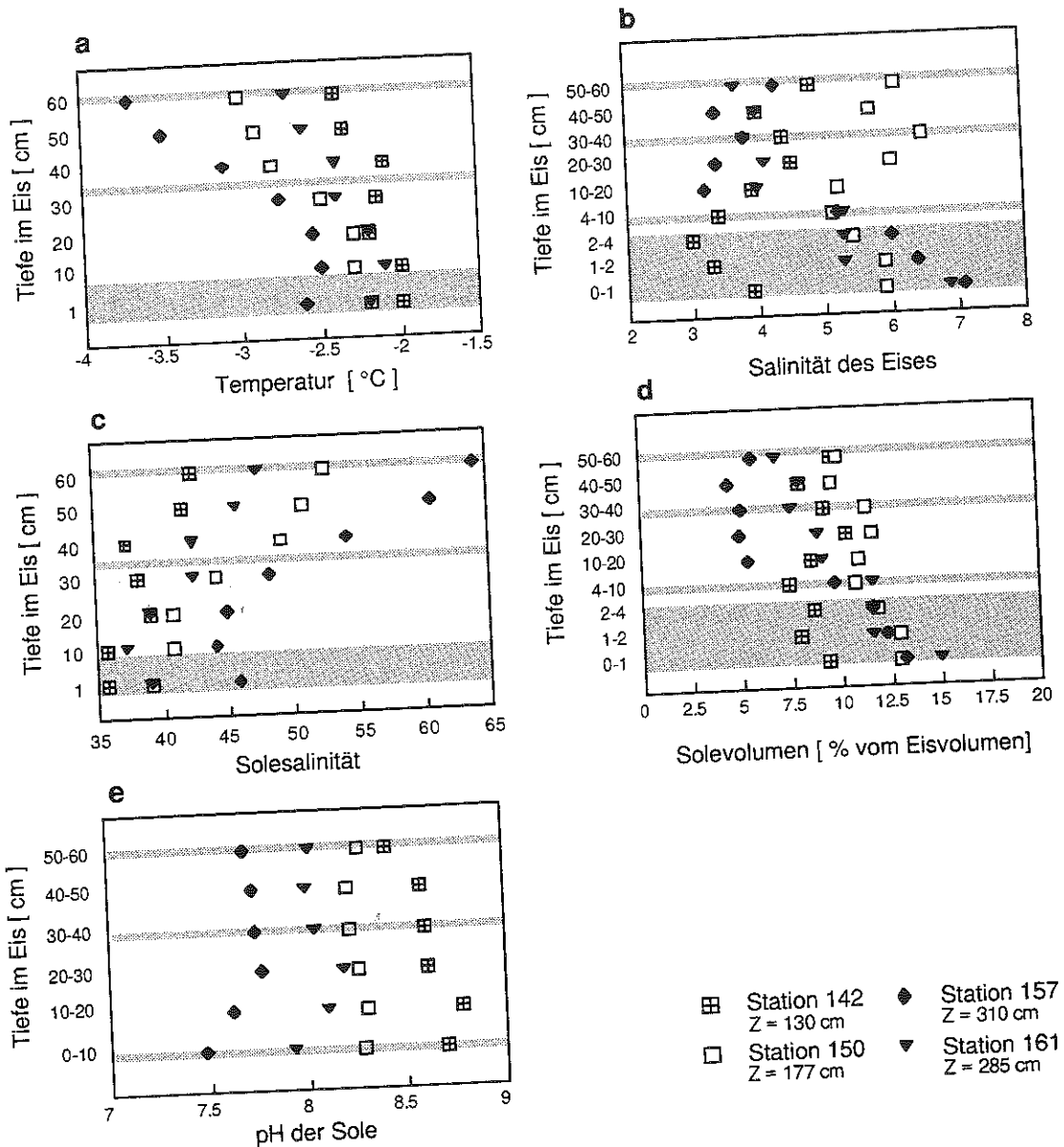


Abb. 20.: Vertikalprofile von a) der Temperatur, b) der Salinität des Eises, c) dem pH der Sole, d) der Solesalinität und e) dem relativen Solevolumen in den unteren 60 cm des Eises. Die unterlegten Bereiche repräsentieren die Orte der Primärproduktionsmessung. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

5.2.1.3 Nährsalzkonzentration der Sole

Die Muster der Vertikalverteilungen aller Solenährsalze der Primärproduktionshorizonte stimmten generell mit denen des Eises gut überein, was den repräsentativen Charakter der Primärproduktionshorizonte unterstreicht. Der Unterschied besteht nur in der absoluten Höhe der Konzentrationen (vergl. Kapitel 5.1.1.8) Nitrat und Ammonium der Sole zeigten besonders in den unteren 10 cm des Eises der Stationen 142 große Gradienten mit maximalen Konzentrationen an der Eisunterseite und minimalen weiter im Inneren des Eises (Abb. 21a). In den unteren 4 cm waren die Ammoniumkonzentrationen zudem höher als die Nitratkonzentrationen ($\text{NO}_3 = 13.5 - 3.5 \mu\text{mol l}^{-1}$, $\text{NH}_4 = 47.7 - 8.6 \mu\text{mol l}^{-1}$) (Abb. 21a). Die Sole in den Eissegmente der Station 150 hatten generell niedrigere Konzentrationen an Ammonium als die der Station 142. Zudem gab es auf Station 150 nur ein Eissegment, in dem Ammonium in der Sole höher konzentriert vorlag als Nitrat (Abb. 21a). Steile Konzentrationsgradienten fanden sich besonders beim Ammonium in den unteren 10 cm, während die Nitratkonzentrationen zum Inneren des Eises nur mäßig abnahmen.

In den mehrjährigen Eisproben war Ammonium bis auf eine Probe der Station 161 ($22.3 \mu\text{mol l}^{-1}$) vollständig abwesend (Abb. 21c+d). Der ausgeprägteste Nitratgradient zeigte sich in diesem Eistyp an Station 157, während ein derartiger Gradient für die Segmente der Station 161 nicht nachgewiesen werden konnte. Hier wurden maximale Sole - Nitratkonzentrationen zwischen 2 und 10 cm Entfernung von der Eis - Wasser Grenzfläche gemessen. In den Eissegmenten der Station 142 wurde eine besonders deutliche Abnahme der Sole - Nährsalze Nitrit, Silikat und Phosphat mit zunehmender Entfernung von der Unterseite des Eises registriert (Abb. 22a). Die Sole - Nährsalze erschöpften sich im Inneren teilweise vollständig (Abb. 21a). Auf den Stationen 150 und 157 wiesen auch die oberen Segmente höhere Konzentrationen von Silikat und Phosphat auf (Abb. 22b+c). In der Sole der Station 161 verringerte sich die Silikatkonzentration erst ab 10 cm Eistiefe (Abb. 22d). Im Eis dieser Station wurden generell die niedrigsten Sole - Phosphatkonzentrationen gemessen.

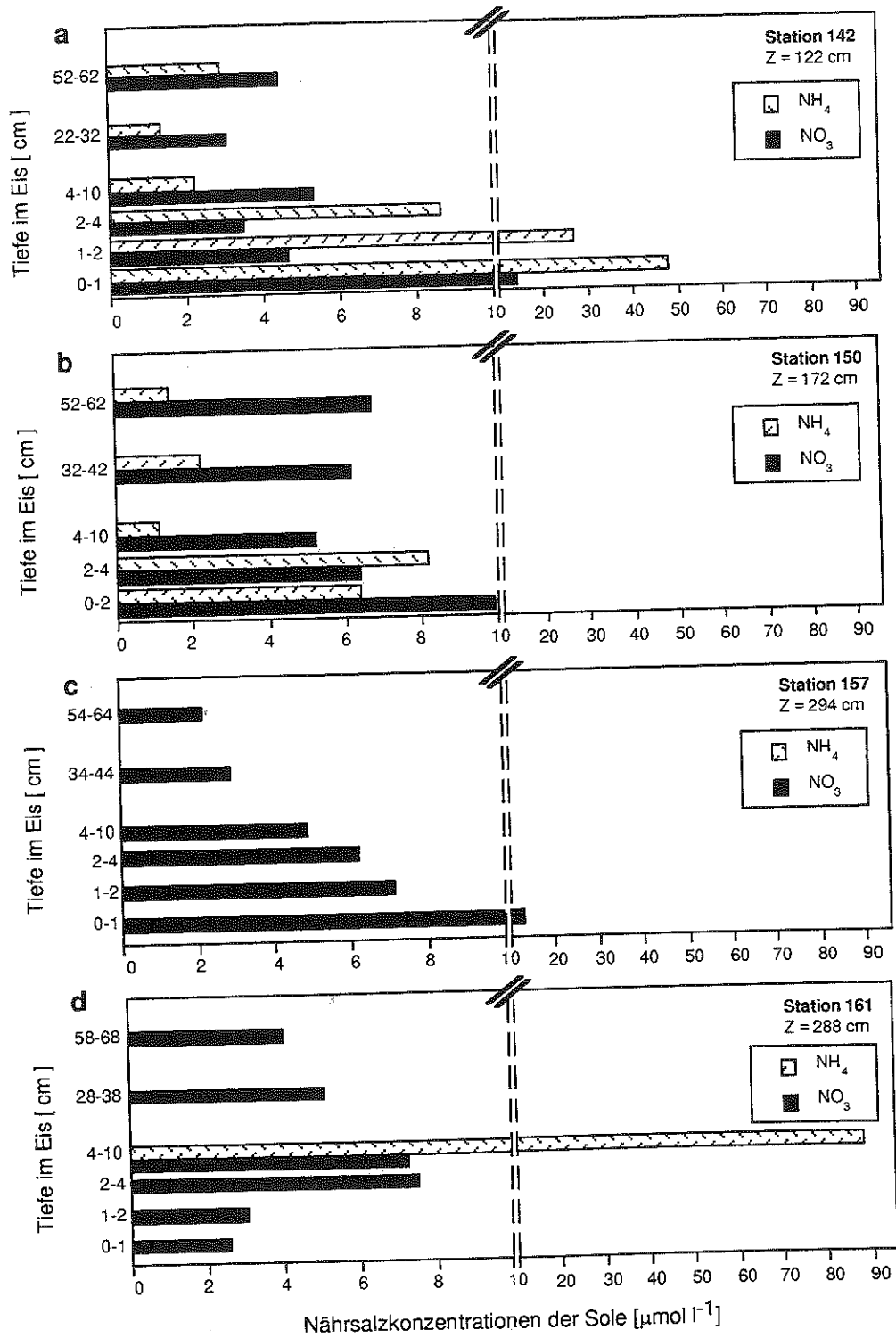


Abb. 21.: Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen der Sole in den Eistiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

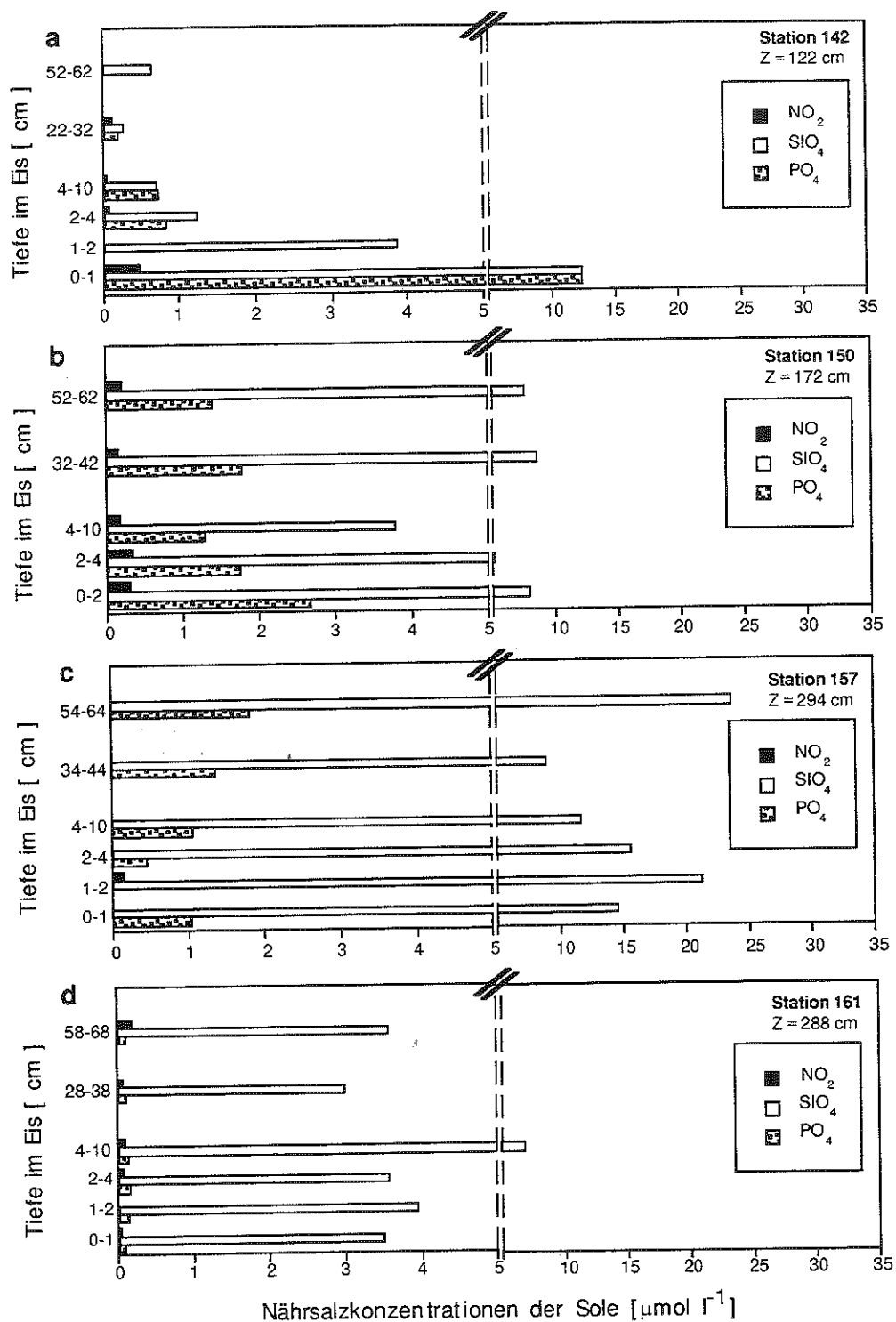


Abb. 22.: Nitrit-, Silikat- und Phosphatkonzentrationen der Sole aus den Eissegmenten der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

5.2.2 Biotische Eisparameter

5.2.2.1 Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON)

Die POC - Gehalte wiesen keine generellen Unterschiede zwischen ein- und mehrjährigem Eis auf (Abb. 23) (Tabelle 2). Auf der Station 142 und 157 wurden hohe Konzentrationen direkt im Eis an der Eis - Wasser - Grenzfläche gemessen (Station 142: 2.5 mg l^{-1} , Station 157: 1.0 mg l^{-1}), die dann zum Inneren sprunghaft (Station 142) oder gleichmäßiger (Station 157) abnahmen (Abb. 23a+c). Durchschnittlich geringere POC - Konzentrationen fanden sich in den Eissegmenten der Stationen 150 und 161 (Abb. 23b+d), wobei hier die Maximalwerte nicht direkt an der Grenzfläche zum Meerwasser nachgewiesen wurden.

Die C : N - Verhältnisse in den Proben der vier Kerne deuteten auf keine generellen Unterschiede zwischen beiden Eistypen (Tabelle 2). Ein allgemeines Muster der Verteilung wurde ebenfalls nicht erkannt, wobei oft niedrigere Verhältnisse an der Eis - Wasser - Grenzschicht und höhere in den inneren Segmenten gefunden wurden (Abb. 23). Sie reichten generell von 6.4 (Station 157) bis 20.3 (Station 150). Desweiteren konnte keine Abhängigkeit des C : N - Verhältnisses von der POC/PON - Konzentration nachgewiesen werden.

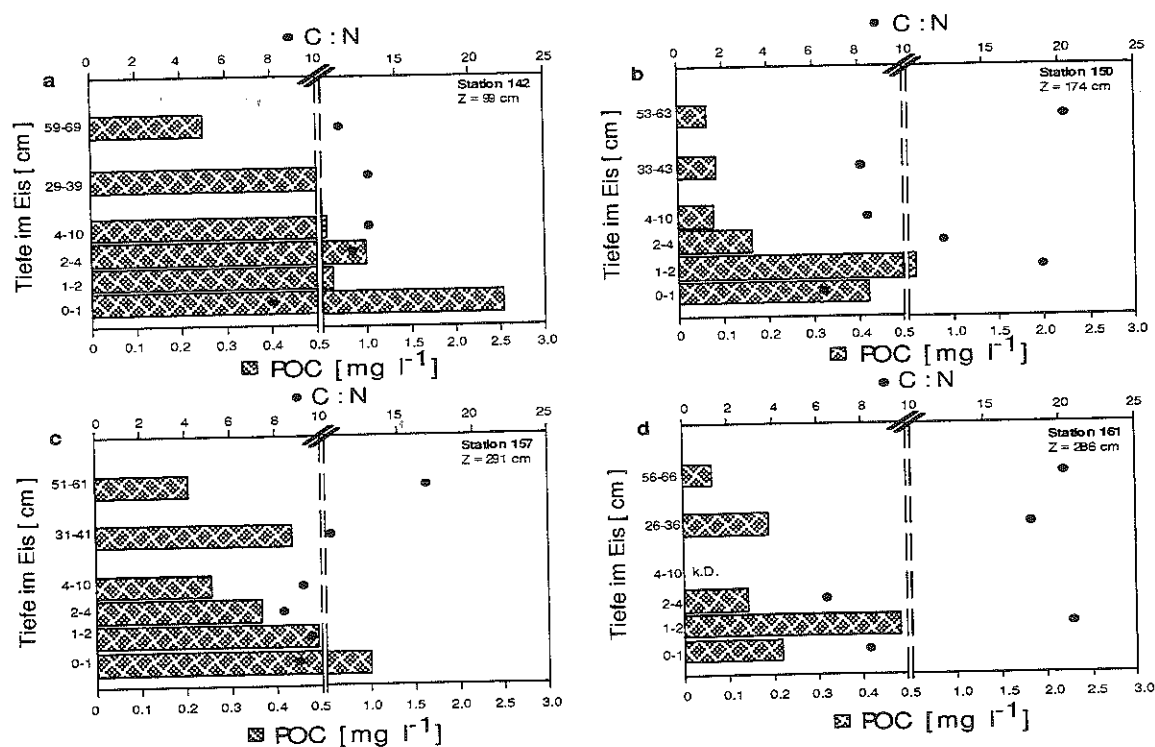


Abb. 23.: Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Kohlenstoff (C) / Stickstoff (N) - Verhältnisse in den Eistiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

5.2.2.2 Pigmentkonzentration

Die Chlorophyll *a* - Konzentrationen der entsprechenden Eissegmente erreichten im untersten Zentimeter des Eises die Maximalwerte (Station 142: $84.4 \mu\text{g l}^{-1}$, Station 150: $15.4 \mu\text{g l}^{-1}$, Station 157: $29.8 \mu\text{g l}^{-1}$, Station 161: $6.4 \mu\text{g l}^{-1}$) (Abb. 24). Sprunghafte Konzentrationsunterschiede wurden hauptsächlich im einjährigen Eis zwischen dem untersten und dem darüberliegenden Eishorizont nachgewiesen (Station 142: $84.2 - 2.8 \mu\text{g l}^{-1}$, Station 150: $15.4 - 1.5 \mu\text{g l}^{-1}$). Die Phaeophytin zu Chlorophyll *a* - Verhältnisse deckten den Wertebereich zwischen 0.12 und 0.71 ab, waren in den einjährigen Eissegmenten aber häufig niedriger als in den mehrjährigen (einjähriges Eis: 9 von 11 Werten lagen unter 0.4, mehrjähriges Eis: 6 von 12 Werten lagen unter 0.4). Dieser Unterschied war statistisch signifikant (Tabelle 2). Eine Abhängigkeit dieser Verhältnisse von den Chlorophyll *a* - Konzentrationen konnte auch hier nicht nachgewiesen werden.

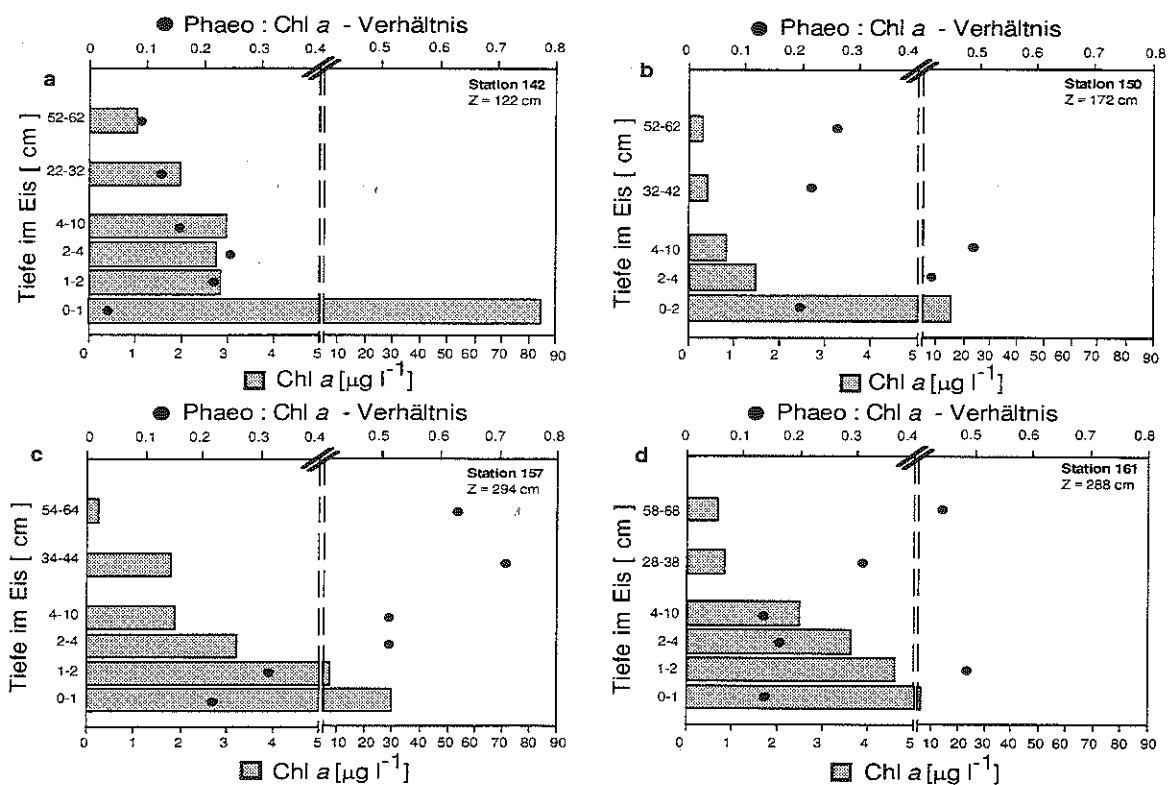


Abb. 24.: Chlorophyll *a* (Chl *a*) - Konzentrationen und Phaeophytin (Phaeo) : Chl *a* - Verhältnisse der Eissegmente in den Eistiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

5.2.2.3 Eisalgenabundanz (IAA) und Eisalgenkohlenstoff (IAC)

Der Bereich der Zellkonzentration im Eis befand sich zwischen $0.2 \cdot 10^6$ und $94.4 \cdot 10^6 \text{ l}^{-1}$, wobei die maximalen Konzentrationen ausschließlich in den untersten Eisproben bestimmt wurden (Abb. 25). In den oberen Segmenten waren die Algenkonzentrationen generell geringer. Die höchsten Algenkonzentrationen in allen Eissegmenten fanden sich im einjährigen Eis der Station 142 (Abb. 25a), während die niedrigsten hauptsächlich im mehrjährigen der Station 161 nachgewiesen wurden (Abb. 25d). Dennoch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Eistypen festgestellt werden (Tabelle 2).

Die Konzentrationen des Eisalgenkohlenstoffes reichten von minimal 8.0 bis maximal 13.8 mg l^{-1} (Abb. 26). Das Verteilungsmuster entsprach dem des Chlorophyll *a*, POC und der der Eisalgenabundanz. Die identische Verteilung des Eisalgenkohlenstoffes zu der von Chlorophyll *a* und POC wurde durch hoch signifikante Korrelationen belegt (Abb. 27a, b).

Die mittleren IAC : Chl *a* - Verhältnisse in den Proben des grönländischen Meereises (Station 150, 157, 161) unterschieden sich nur geringfügig von 40, wohingegen das mittlere Verhältnis in den Eissegmenten des Barentsmeeres (Station 142) bei 144 lag (Abb. 28).

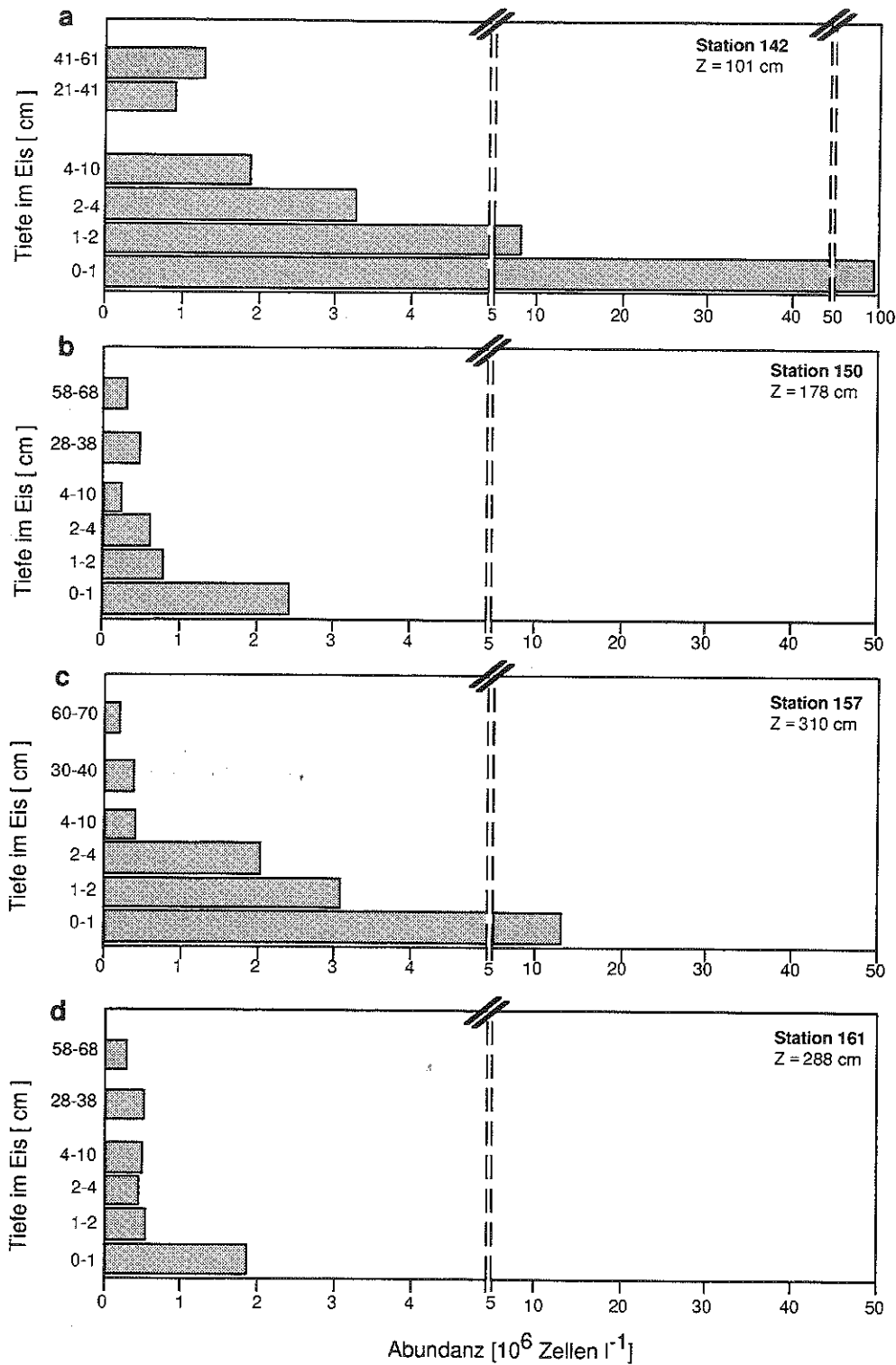


Abb. 25.: Vertikalprofile der Eisalgenabundanz (IAA) für die Eissegmente der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

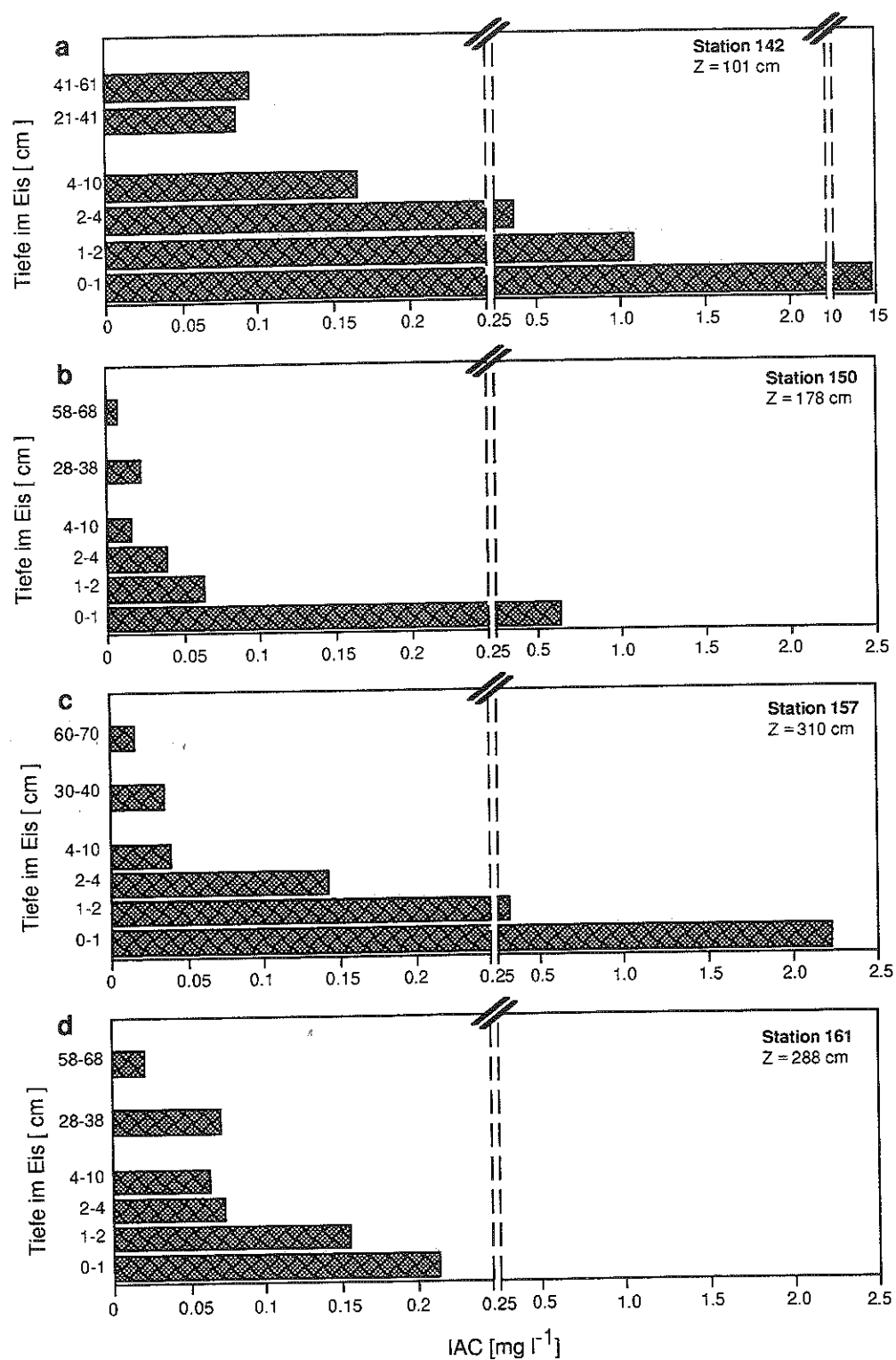


Abb. 26.: Eisalgenkohlenstoff (IAC) in den Eistiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

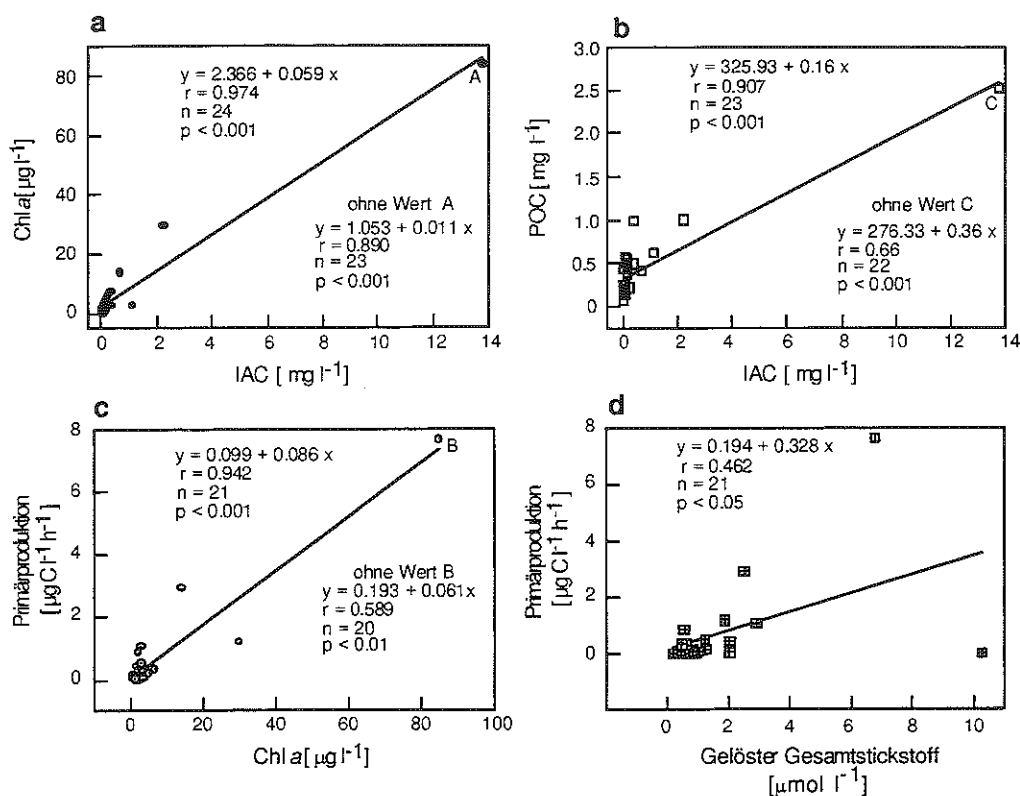


Abb. 27.: Korrelation zwischen a) Chl a und Eisalgenkohlenstoff (IAC), b) partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und IAC, c) Primärproduktion und Chlorophyll a (Chl a) und d) Primärproduktion und gelöstem Gesamtstickstoff. Die Korrelationen in a), b) und c) sind für alle Datenpunkte bzw. ohne die Datenpunkte A, B, C berechnet worden, welche für die Werte des untersten Eiszentimeters der Station 142 stehen.

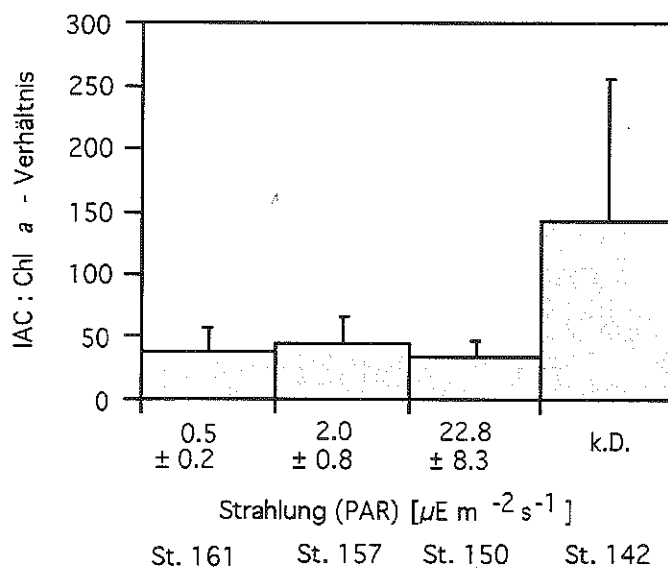


Abb. 28.: Mittlere Eisalgenkohlenstoff (IAC) : Chlorophyll a (Chl a) - Verhältnisse und Strahlungsintensitäten (PAR) der Eissegmente in den Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Balken kennzeichnen Standardabweichung; Station 142: $n = 6$; Station 150 $n = 6$, PAR: $n = 2400$; Station 157 $n = 6$, PAR: $n = 2892$; Station 161: $n = 6$, PAR: $n = 2892$; k.D. = keine Daten

5.2.2.4 Eisalgen-Taxa

Neun unterschiedliche Genera von Diatomeen wurden im Eis beider Untersuchungsgebiete identifiziert (Abb. 29, 30). Die Flagellaten konnten hinsichtlich ihrer Formenfülle und aufgrund der Utermöhlmethode nicht taxonomisch aufgetrennt werden. Jedoch waren die meisten von ihnen autotrophe Vertreter der Chrysophyceen, Dinophyceen und Prasinophyceen. Häufig stellten sie den größten Anteil an der Gesamtzellzahl ($M = 56.32\%$, $n = 24$) (Abb. 29), aber nicht an der Biomasse ($M = 10.29\%$, $n = 24$) (Abb. 30). Diese wurde eindeutig von den Diatomeen dominiert ($M = 89.71\%$, $n = 24$). Sowohl in der Abundanz als auch der Biomasse kam es zu Unterschieden in den relativen Anteilen der jeweiligen Genera zwischen Barentsmeer und Grönland-See (Abb. 29, 30). Während im Eis des Barentsmeeres die drei Gattungen *Nitzschia* spp., *Navicula* spp. und *Thalassiosira* spp. dominierten, waren es im Eis der Grönland-See fünf Gattungen: *Nitzschia* spp., *Navicula* spp., *Entomoneis* spp. und *Gyrosigma* spp./*Pleurosigma* spp. Die Artenzusammensetzung der Eisalgengemeinschaft differierte ebenfalls zwischen beiden Meeresgebieten. Zum Beispiel konnten die Diatomeen

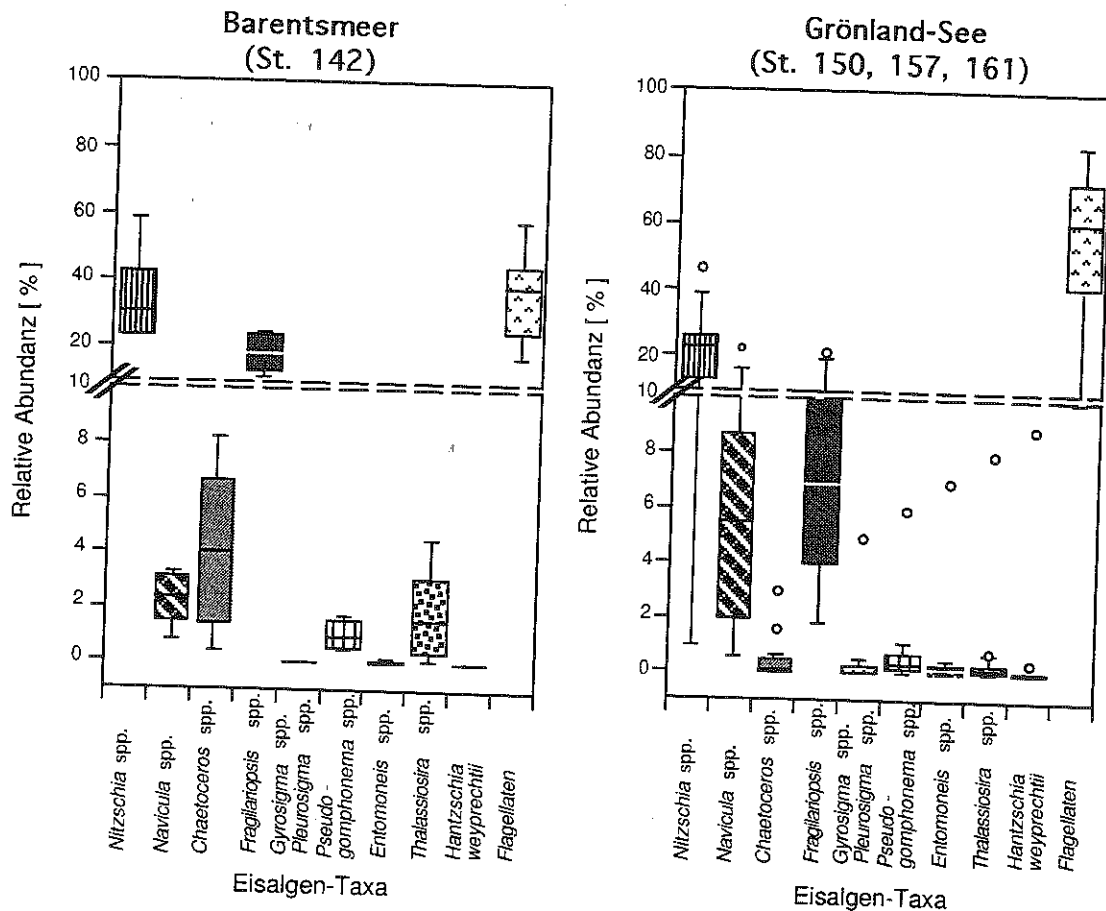


Abb. 29.: Relative Abundanz der Eisalgen-Taxa in den Eissegmenten der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Barentsmeer: $n = 6$; Grönland-See: $n = 18$

Arten *Hantzschia weyprechtii*, *Pseudogomphonema groenlandicum* und die Prasinophyceae *Pyramimonas* spp. nicht im Eis des Barentsmeeres gefunden werden.

In Bezug auf die Biomasse war in beiden Ökosystemen *Nitzschia* mit der Art *Nitzschia frigida* die dominierende Gattung. *Navicula* spp. übertraf die relative Biomasse von *Nitzschia* spp. nur in einigen Proben im Eis der Grönland-See (z.B.: Station 150, 0-1 cm Eistiefe: 50% der totalen Biomasse).

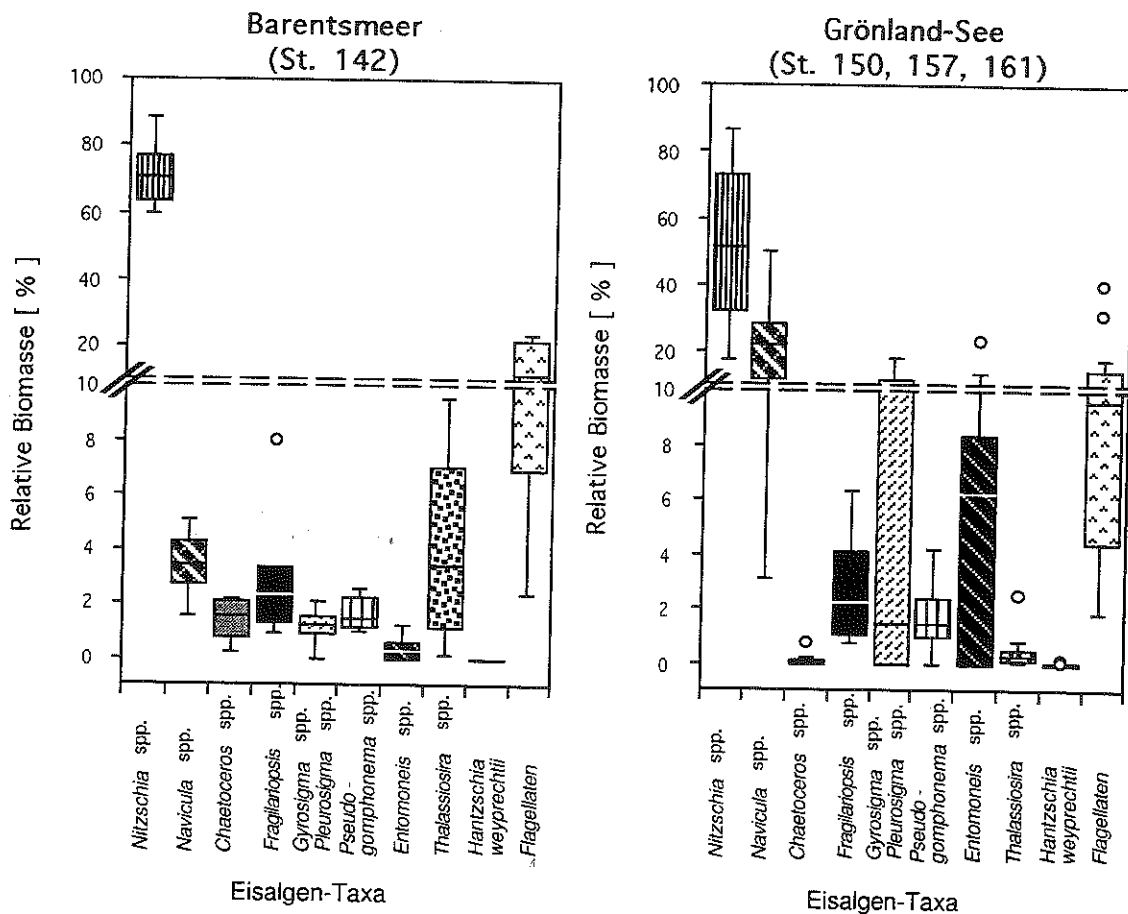


Abb. 30.: Relative Biomasse der Eisalgem-Taxa in den Eissegmenten der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Barentsmeer: n = 6; Grönland-See: n = 18

Dauerstadien von Dinoflagellaten waren nur in einer Probe, mit einem Anteil von 39.8% an der totalen Biomasse (Station 142, 21 - 41 cm Eistiefe) vertreten und wurden deshalb nicht in weitere Berechnungen einbezogen. Innerhalb der untersuchten Proben konnten neben dieser Ausnahme keine größeren Unterschiede in der Artenzusammensetzung der Eisalgengemeinschaft erkannt werden.

5.2.2.5 *In situ* Primärproduktion, Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P_b) und photosynthetische Effizienz (Alpha^*)

Die *in situ* Primärproduktion war vertikal sehr variabel (Abb. 31), wobei die höchsten Produktionsraten in den untersten Zentimetern des Eises auftraten (Station 142: $7.6 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, Station 150: $3.0 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, Station 157: $1.2 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, Station 161: $0.3 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$). Im einjährigen Eis der Station 142 wurde neben dem Produktionsmaximum an der Unterseite ein internes Maximum gemessen ($0.9 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$) (Abb. 31a). Diese Verteilungsmuster der Primärproduktion entsprachen denen der Chlorophyll *a* -, IAA -, IAC - und POC - Konzentrationen. Die gute Übereinstimmung zwischen den genannten Parametern konnte durch signifikante Korrelationen zwischen Chlorophyll *a* und der Primärproduktion belegt werden (Abb. 27c). Dennoch wurden keine signifikanten Unterschiede in der Primärproduktion zwischen beiden Eistypen nachgewiesen (Tabelle 2).

Die Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P_b) dagegen war in den Eissegmenten des einjährigen Eises signifikant höher (Tabelle 2, 3) und streute stärker als die der mehrjährigen Eissegmente (Abb. 32). Im mehrjährigen Eis (Station 157, 161) verringerte sich das P_b - Verhältnis erst mit zunehmender Entfernung zur Eis - Wasser - Grenzfläche und stieg dann im obersten Eissegment wieder an (Abb. 32a).

Die photosynthetische Effizienz (Alpha^*) aller Proben war relativ konstant (Abb. 32b) mit Ausnahme des Eises der Station 161, das zugleich maximale Werte aufwies (Abb. 32b). Besonders in den unteren Eisproben waren die Werte für Alpha^* im mehrjährigen Eis deutlich höher als die des einjährigen Eises der Station 150 (Tabelle 3). Diese Differenzen zwischen ein- und mehrjährigem Eis waren statistisch signifikant (Tabelle 2).

5.2.2.6 Wachstumsrate (μ)

Die berechneten Wachstumsraten der Eisalgen reichten von minimal 0.01 d^{-1} bis maximal 1.96 d^{-1} . Ein genereller Unterschied zwischen beiden Eistypen konnte durch die mittleren Wachstumsraten der Algen für die jeweilige Station sichtbar gemacht werden (Abb. 33). Die Diskrepanz zwischen ein- und mehrjährigem Eis war signifikant (Tabelle 2) und betrug eine Größenordnung mit Raten von 0.15 d^{-1} auf Station 150 gefolgt von 0.10 d^{-1} auf Station 142 und 0.02 d^{-1} auf Station 157 und 0.04 d^{-1} auf Station 161. Zudem waren die Wachstumsraten im Inneren des einjährigen Eises häufig höher als an der Unterseite des Eises (Tabelle 3). Dieses Muster konnte im mehrjährigem Eis nicht erkannt werden.

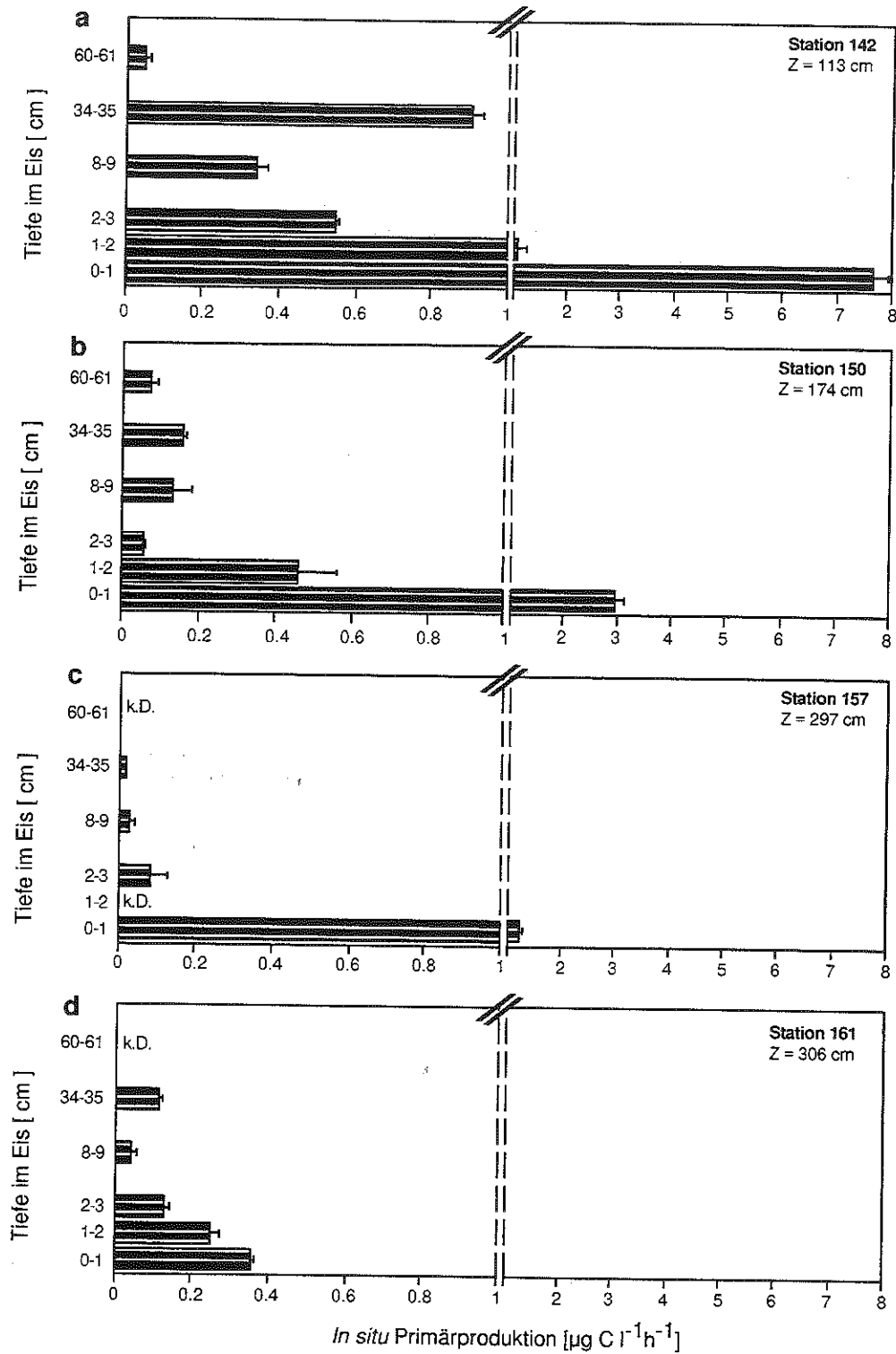


Abb. 31.: *In situ* Primärproduktion. Balken kennzeichnen Standardabweichung; Für jeden Eishorizont: n = 3; k.D. = keine Daten; Z = Eisdicke; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

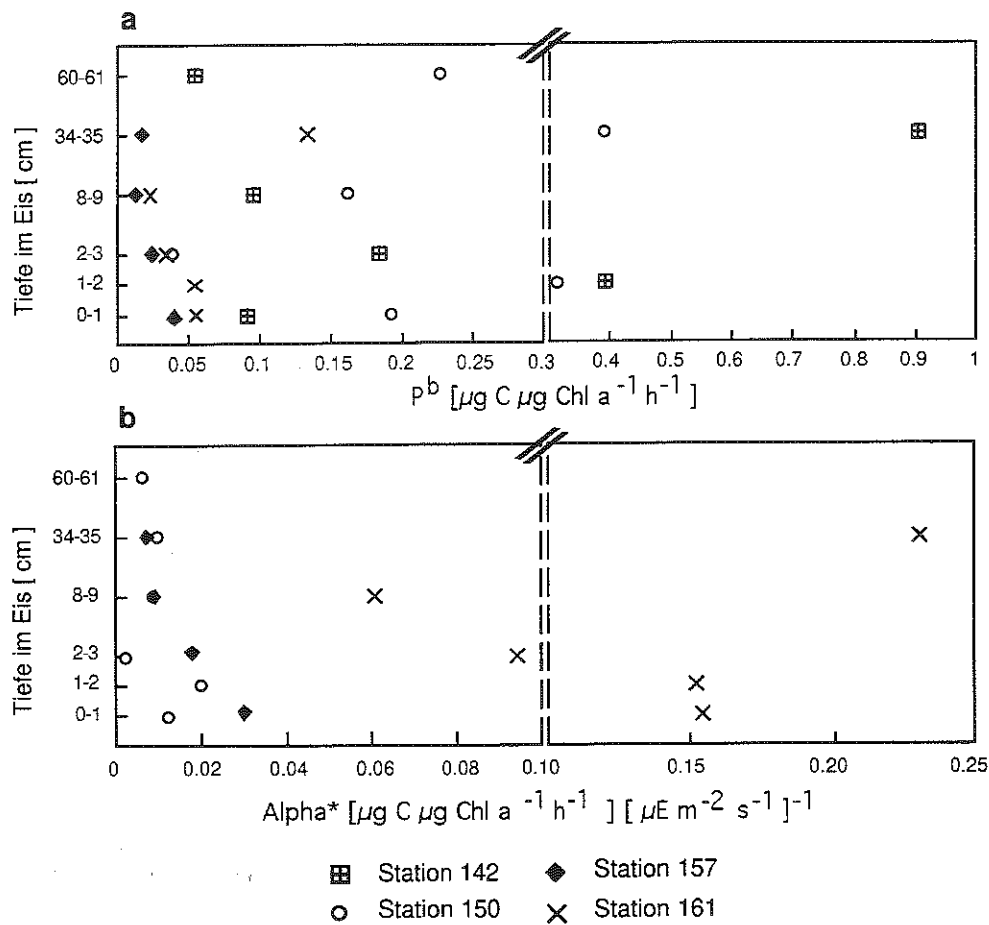


Abb. 32.: Vertikalprofile der a) mittleren Biomasse-spezifischen Photosyntheserate (P^b) und der b) mittleren photosynthetischen Effizienz (Alpha^*). P^b und Alpha^* : für jeden Eishorizont: $n = 3$; Tiefenintervalle geben den Abstand zur Eisunterseite an.

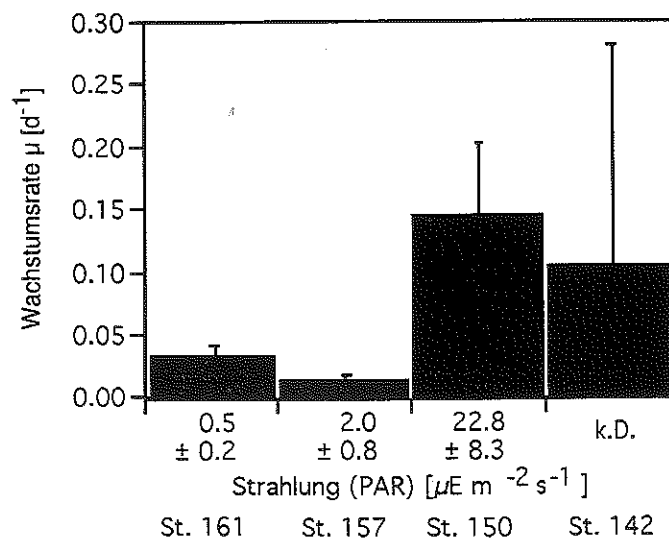


Abb. 33.: Mittlere Wachstumsraten (μ) und Strahlungsintensitäten (PAR) für jede Station und die Eissegmente der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Balken kennzeichnen Standardabweichung; Station 142: μ : $n = 18$; Station 150: μ : $n = 18$, PAR: $n = 2400$, Station 157: μ : $n = 12$, PAR: $n = 2892$, Station 161: μ : $n = 15$, PAR: $n = 2892$; k.D. = keine Daten; St. = Station

Tabelle 2.: Statistischer Vergleich zwischen ein- und mehrjährigem Eis auf der Basis aller Parameter für die kompletten Eiskerne und für diejenigen Eissegmente der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Die Daten der beiden Eistypen wurden mit Hilfe des U-Testes auf signifikante Unterschiede getestet. POC = partikulärer organischer Kohlenstoff; PON = partikulärer organischer Stickstoff; C = Kohlenstoff; N = Stickstoff; Chl *a* = Chlorophyll *a*; Phaeo = Phaeophytin; IAC = Eisalgenkohlenstoff; P^b = Biomasse-spezifische Photosyntheserate; Alpha* = photosynthetische Effizienz; μ = Wachstumsrate; k.D. = keine Daten

Parameter	Komplette Eiskerne		Eissegmente entsprechend den Tiefen der Primärproduktion	
	signifikant unterschiedlich	nicht signifikant unterschiedlich	signifikant unterschiedlich	nicht signifikant unterschiedlich
	[U-Test]	[U-Test]	[U-Test]	[U-Test]
Vergleich zwischen ein- und mehrjährigem Eis				
PAR	k.D.	k.D.	p < 0.001	
Eistemperatur	p < 0.001			x
Salinität des Eises	p < 0.001			x
pH der Sole	p < 0.01		p < 0.001	
Solesalinität	p < 0.001			x
Solevolumen	p < 0.001			x
NH ₄	p < 0.001		p < 0.01	
NO ₃	p < 0.001			x
NO ₂		x	p < 0.05	
SiO ₄	p < 0.001			x
PO ₄	p < 0.001			x
POC	p < 0.01			x
PON		x		x
C : N		x		x
Chlorophyll <i>a</i>	p < 0.001			x
Phaeo : Chl <i>a</i>	p < 0.05		p < 0.05	
Abundanz der Algen	k.D.	k.D.		x
IAC	k.D.	k.D.		x
Primärproduktion	k.D.	k.D.		x
P ^b	k.D.	k.D.	p < 0.01	
Alpha*	k.D.	k.D.	p < 0.05	
μ	k.D.	k.D.	p < 0.05	

Tabelle 3.: Vergleich zwischen den Stationen der Primärproduktion basierend auf Eistyp, Eis- und Schneedicke [cm], mittlere Untereislichtintensität [% der Oberflächenstrahlung], Inkubationsperiode [UTC], integrierte Primärproduktion [$\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$], Biomasse-spezifische Photosyntheserate (Pb) [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$], photosynthetische Effizienz (Alpha*, definiert in Material und Methoden) [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$] [$\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$], Wachstumsrate (μ) [d^{-1}]. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte bzw. Wertebereiche.

	Station 142	Station 150	Station 157	Station 161
Eistyp	einjährig	einjährig	mehrfährig	mehrfährig
Eisdicke	113	174	297	306
Schneedicke	7	40	46	66
Untereislichtintensität	keine Daten	2.3	0.2	0.03
$T_{\text{Inkubation}}$	8 ³⁰ -16 ³⁰	8 ⁴⁵ -17 ¹⁵	8 ⁴⁵ -16 ⁴⁵	8 ³⁰ -16 ³⁰
Primärproduktion	7.11	1.71	0.25	1.23
	Intern(>5-61 cm)			
	2.56	0.87	0.51	0.25
	Boden(0-5 cm)			
Pb	0.05-0.90	0.16-0.40	0.01-0.02	0.02-0.13
	Intern(>5-61 cm)			
	0.09-0.18	0.04-0.31	0.02-0.04	0.03-0.05
	Boden(0-5 cm)			
Alpha*	keine Daten	0.006-0.010	0.008-0.009	0.06-0.23
	Intern(>5-61 cm)			
	keine Daten	0.002-0.020	0.02-0.03	0.09-0.15
	Boden(0-5 cm)			
Wachstumsrate	0.01-0.50	0.17-0.20	0.02	0.02-0.04
	Intern(>5-61 cm)			
	0.01-0.33	0.03-0.18	0.01	0.03-0.05
	Boden(0-5 cm)			

6 DISKUSSION

6.1 Methodenkritik

Die Probennahme erfolgte an weit auseinanderliegenden Stationen in zwei unterschiedlichen Gebieten des arktischen Mittelmeeres (Abb. 1). Das Barentsmeer war während des Untersuchungszeitraumes vorwiegend von einjährigem Eis bedeckt, wodurch eine Beprobung von mehrjährigem Eis in diesem Meeresgebiet nicht möglich war.

Diese Untersuchung ist nur in der Lage, eine Momentaufnahme der Eisalgenentwicklung für unterschiedliche Orte darzustellen. Durch zusätzliche Berücksichtigung der erfaßten Randparameter (Strahlung, Eistemperatur, Nährsalze, u.s.w.) lassen sich ergänzende Aussagen über die Vergangenheit und das Entwicklungspotential der Eisalgen des jeweiligen Ortes machen. Durch den großen Zeitbedarf für die *in situ* Primärproduktionsmessung von mindestens 12 Stunden war es nicht möglich, auf allen Eisstationen derartige Messungen durchzuführen. Aufgrund dieser Tatsache wurden nur vier Stationen ausgewählt, die repräsentativ für den jeweiligen Eistyp (ein- bzw. mehrjähriges Eis) und das jeweilige Untersuchungsgebiet (Barentsmeer und Grönland-See) sein sollten. Desweiteren wurden feinauflösende Primärproduktionsmessungen im Eis nur in den unteren 3 cm durchgeführt, weil es besonders dort zu großen vertikalen Gradienten der Algenbiomasse kommt (Horner 1990a). Im Inneren des arktischen Eises konnten solche Gradienten bisher noch nicht beobachtet werden, da die vertikale Auflösung dort weniger feinauflösend ist (z.B. Gradinger & Zhang 1997). In diesen Regionen wurden maximal 3 Eissegmente inkubiert, um den Zeit- und Kostenaufwand in Maßen zu halten. Aufgrund der begrenzten Rohrlänge (1 m) konnten keine Messungen in größerer Entfernung von der Eis - Wasser - Grenzfläche durchgeführt werden.

Nicht alle Parameter konnten an einem Kern bestimmt werden, weshalb es notwendig wurde, sechs Kerne auf jeder Station zu entnehmen. Die Verwendung von mehreren Eiskernen zur Beprobung der Algengemeinschaften hat den Nachteil, daß man immer unterschiedliche Orte des Eises beprobt. Auch eine noch so dichte Entnahme der Kerne aus einem kleinen Areal (z.B. 1 m²) vermeidet nicht größere Variabilität der Werte. Die Ursache hierfür ist die ungleichmäßige horizontale Verteilung der Algen im Eis (Alexander 1980, Booth 1984), wie sie auch als "Patchiness"-Erscheinung aus dem Plankton bekannt ist (Parsons et al. 1984). Die signifikante Korrelation einzelner Parameter für die Primärproduktionshorizonte aus verschiedenen Eiskernen (Abb. 27) deutet allerdings auf eine gute Vergleichbarkeit und Parallelität hin. Ein weiterer Nachteil der Kernbohrung ist der Verlust von Sole bei der Bergung des Kerns. Eine Unterschätzung der Nährsalzkonzentrationen und der Salinität des Eises ist durch diesen Prozeß nicht auszuschließen. Desweiteren kann es durch den Soleausfluß zu größeren Verlusten der Organismen kommen, die sich nicht oberflächenassoziiert an den Wänden der Solekanälchen aufhalten. In antarktischem Meereis konnte Weissenberger (1992) jedoch feststellen, daß nach einer Solezentrifugation der Großteil (70 - 90%) der Algenbiomasse im Eis verbleibt und damit der Verlust von Algenbiomasse durch den Soleausfluß niedrig ist.

pH - Wert - Messungen im Eis wurden bisher hauptsächlich an Sole aus unterschiedlich tiefen "Sacklöchern" durchgeführt (z.B. Eicken et al. 1995, Gleitz et al. 1995). Diese Methode läßt nur eine begrenzte Aussage über die vertikale Verteilung des pH - Wertes zu, weil sich die Sole in einem Sackloch immer aus den Eisbereichen des gesamten Bohrloches zusammensetzt. Eine weitere Methode ist die pH - Bestimmung an geschmolzenen Eissegmenten (Overgaard et al. 1983, Wollenburg 1993). In dieser Untersuchung wurden durch Vergleichsmessungen an geschmolzenen Eissegmenten pH - Verschiebungen in neutrale (ca. pH 7) bis leicht saure Bereiche (ca. pH 6 - 7) gegenüber den Solemeßwerten nachgewiesen ($\Delta\text{pH} = 0.5 - 1.5$). Die Bestimmung des pH - Wertes an geschmolzenen Eissegmenten liefert gegenüber der Messung in Sacklöchern eine genauere vertikale Auflösung, ist aber stärker fehlerbelastet. Die Solezentrifugation jedes Eiskernsegmentes, wie sie in dieser Untersuchung durchgeführt wurde, liefert dagegen exakte pH - Werte durch nur geringfügige Störungen der Biogeochemie aufgrund einer Vermeidung von Schmelzprozessen. Zudem wird durch die Unterteilung des Eiskernes in 10 cm lange Segmente eine gute vertikale Auflösung erreicht.

Unterschätzungen der Chlorophyll *a* - und POC - Konzentrationen können durch direktes Auftauen der Eisproben mit anschließender Filtration auftreten. Aufgrund der geringen Salinität des Schmelzwassers besteht die Möglichkeit eines hypotonischen Schocks der Organismen, durch den Zellbestandteile austreten, die bei der Filtration ungehindert den Filter passieren können. In Vergleichsmessungen mit Eisproben, die in Meerwasser aufgetaut wurden, konnte von Gradinger (unveröffentlichte Daten) jedoch kein Unterschied in den absoluten Konzentrationen nachgewiesen werden.

Für die Zellzählungen und die Biomassebestimmung wurden die Eisproben, gemäß der von Garrison & Buck (1986) sowie Spindler & Dieckmann (1986) vorgeschlagenen Methode, in einem Überschuß an filtriertem Seewasser aufgetaut, um einen osmotischen Schock so weit wie möglich zu vermeiden. Die Auftauphase betrug je nach Segmentdicke (1 - 10 cm) ca. 24 bis 36 Stunden. Um ein Wachstum der Algen während dieser Zeit zu vermeiden, wurde im Dunkeln aufgetaut. Jedoch ist eine geringe Abnahme der Abundanzen während dieser Auftauphase durch den Fraß von heterotrophen Eisorganismen nicht auszuschließen.

Die Fixierung und Lagerung der Proben stellt eine weitere Fehlerquelle dar. Hällfors et al. (1979) konnte nachweisen, daß sowohl Formalin als auch Lugol's Reagenz einen deutlichen Einfluß auf das Phytoplankton während der Lagerung hatten. So zerstörte Formalin zerbrechliche Nanoflagellaten und Diatomeen mit schwach verkieselten Wänden. Ebenso konnten Garrison & Buck (1986) einen Verlust von bis zu 95% bei der Zählung von fixierten Flagellaten im Vergleich zu Zählungen von lebenden Organismen feststellen. Durch Untersuchungen von Booth (1987) konnte ebenfalls nachgewiesen werden, daß die meisten

Nanoplankter durch Formalin zerstört wurden. Bei *Chrysochromolina* Arten z.B. reichte schon eine 0.1 - 0.2 %ige Formalinlösung, um ein Platzen der Zellen zu verursachen. Ein Schrumpfen von Algenzellen wurde jedoch nicht beobachtet (Booth 1987).

Das Kammerzählverfahren nach Utermöhl (1958) zur qualitativen und quantitativen Ermittlung der Phytoplanktonzusammensetzung beinhaltet weitere Unsicherheiten bei der Ermittlung genauer Zellzahlen. Nach den Richtlinien der Baltic Marine Environment Commission (1989) wurden von jeder Art/Form und Größenklasse bis zur 400 - fachen Vergrößerung immer mindestens 100 Zellen gezählt. Dies führt nach Edler (1979) zu einem maximalen Zählfehler von 20%. Die Flagellaten konnten nur mit eindeutiger Sicherheit bei 1000 - facher Vergrößerung unter Ölimmersion identifiziert, vermessen und gezählt werden. Hierbei wurden routinemäßig nur 50 Gesichtsfelder ausgezählt, ungeachtet dessen, wie hoch die Flagellatenkonzentration in der Probe war. Der Bereich der gezählten Flagellaten reichte von 12 - 55 Zellen, was nach Edler (1979) zu einem Zählfehler von ca. 60 - 30 % führt. Durch die Grenzen der Lichtmikroskopie in den Vergrößerungs - und Auflösungsöglichkeiten konnten einige Taxa nicht mit Sicherheit bestimmt werden. Aus diesem Grund wurden die meisten Arten in Gattungen zusammengefaßt.

Produktionsmessungen von Eisalgen sind bisher mit sehr unterschiedlichen *in situ* bzw. simulierten *in situ* Inkubationsmethoden ausgeführt worden. Detaillierte Darstellungen aller bis jetzt existierenden Techniken findet man in den Arbeiten von Smith & Herman (1991), Herman et al. (1993) und Horner (1990b). In dieser Diskussion soll der Schwerpunkt auf den Vor- und Nachteilen der neu entwickelten *in situ* Technik liegen, um diese mit den bestehenden anderen Techniken zu vergleichen.

Die neue Methode hat drei wesentliche Vorteile gegenüber den bestehenden Methoden:

- Eine homogene Verteilung des Tracers ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) in der Eisprobe wird durch die kurzen Diffusionswege in der 1 cm dicken Eisscheibe erreicht. In Vorversuchen unter Tageslicht konnte beobachtet werden, wie die Tracerlösung schnell und gleichmäßig die interstitielle Matrix der Eiskristalle durchdrang. Dies ist vermutlich in allen anderen bisher eingesetzten *in situ* Techniken mit Untereisinkubatorokammern nicht der Fall, da die inkubierten Eissegmente entweder zu groß sind (5 cm Länge und 8 cm Durchmesser (Booth 1984), 5 cm Länge und 9 cm Durchmesser (Hsiao 1988), oder überhaupt keine definierte Größe haben, weil die Kammern nach oben offen sind (Clasby et al. 1973, Andersen 1977, Schrader et al. 1982, Herman et al. 1993, Smith & Herman 1991, 1992). Da die absolute Eindringtiefe des Tracers ^{14}C in das Eis unbekannt ist, kann ein Verlust bei offenen Kammern nicht ausgeschlossen werden. Hierdurch ist eine korrekte Angabe der Produktion pro Volumeneinheit Eis nicht mehr möglich.

- Die neue Methode erlaubt eine hohe vertikale Auflösung von Primärproduktionsprofilen im Eis. Hierdurch wird es möglich, die Algenproduktion über die gesamte Eisdicke zu erfassen. Das ist von besonderem Interesse für Meereis mit internen Algengemeinschaften, wie sie bisher aus der Antarktis bekannt sind (z.B. Palmisano & Garrison 1993, Syvertsen & Kristiansen 1993, Spindler 1990), aber auch in der Arktis nachgewiesen wurden (Gradinger, in prep.). Die hochauflösende Messung erlaubt zudem die Produktionsbestimmung in der stratifizierten Bodengemeinschaft des Eises in mehreren Schichten, was bis dato nur selten gelungen war (z.B. Smith & Herman 1992).
- Der Licht- und Temperaturgradient im Eis wird nach dem Zurücksetzen des Rohres in das ursprüngliche Bohrloch wieder annähernd hergestellt. Die Messungen werden im Gegensatz zu Labormessungen an einer fast ungestörten Eisalgengemeinschaft mit intakter Eismorphologie und Geochemie durchgeführt.

In Herbst und Wintermessungen sollte wegen der tiefen Eistemperaturen und hohen Solesalinitäten Sole adäquater Salinität verwendet werden, um den Tracer darin zu lösen. Bei einer Abnahme der Eistemperatur von z.B. -2°C auf -10°C kommt es zur Bildung von Süßwassereiskristallen in der Sole, wobei das Volumen der Solekanälchen und -taschen kleiner wird und die Solesalinität von $S = 38$ auf $S = 142$ ansteigt (Assur 1958).

Laborexperimente zeigten, daß schon kleine Änderungen der Temperatur und des Lichtes zu großen Veränderungen in der Photophysiologie der Algen führen (Palmisano et al. 1987). Um aus diesen Gründen negative Einwirkungen auf die schattenadaptierten Eisalgen zu vermeiden, wurde nach der Bergung des Eiskernes jeder nachfolgende Arbeitsschritt unter schwarzer, lichtundurchlässiger Folie durchgeführt. Hierdurch wurde die Strahlungsexposition der Algen auf ein Minimum eingeschränkt sowie der Wärmeaustausch mit der Luft reduziert.

Die neue Methode erlaubt ergänzende *in situ* Untersuchungen zum UV-A- und UV-B-Einfluß auf die Eisalgen durch Verwendung unterschiedlicher Folien, die das Inkubationsrohr umschließen und nur bestimmte Anteile des Lichtspektrums durchlassen (Villafane et al. 1995). So absorbiert die Mylar-Folie das UV-B-Spektrum (280-320 nm) wodurch der Einfluß dieser UV-Strahlung auf die Photosyntheseraten von Algen untersucht werden kann (Helbling et al. 1992). Desweiteren ermöglicht diese neue Methode Messungen zur *in situ* Sekundärproduktion von Bakterien (Fuhrman & Azam 1982, Rieman et al. 1987, Simon & Azam 1989) im Eis und viele andere Arten von *in situ* Inkubationen, wie z.B. die Produktion von DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) durch Algen (Gosselin et al. 1997) oder den Abbau von DOC durch Bakterien im Eis (Helmke & Weyland 1995). Genauso lassen sich *in situ* Untersuchungen zur Dynamik des mikrobiellen Nahrungsnetzes im Eis durchführen, wie z.B. die Bestimmung der Bakterien-Ingestionsrate von Protisten (Sherr et al. 1987, Laurion et al. 1995).

Die Nachteile dieser Methode liegen *per se* in der Eiskernbohrung und der Inkubation in Petrischalen. Eine Unterschätzung der Produktion kann durch Soleausfluß beim Bergen des Kernes erfolgen, wie es schon generell für die anderen Parameter diskutiert wurde (siehe oben). Die Inkubation in geschlossenen Gefäßen grenzt die Organismen vom umgebenden Eis ab, wodurch ein Austausch von Nährsalzen oder gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) nicht mehr möglich ist. Die Bedeutung solcher Prozesse wurde durch zahlreiche Arbeiten bestätigt (z.B. Cota et al. 1987, Bunch & Harland 1990, Pomeroy et al. 1990, Gradinger et al. 1992, Thomas et al. 1995). Aus diesem Grund wird die mit der neuen Technik gemessene Primärproduktion wahrscheinlich in Perioden mit niedrigen Nährsalzkonzentrationen unterschätzt.

6.2 Die Frühjahrsbedingungen im Packeis des Barentsmeeres und der Grönland-See und ihre möglichen Ursachen

6.2.1 Die abiotischen Bedingungen

Das Frühjahr setzt in den beiden Untersuchungsgebieten mit dem Ende der winterlichen Dunkelphase ein. Diese dauert je nach Breitengrad zwischen einem (70°N) und vier Monaten (80°N) und endet frühestens Anfang Januar (70°N) für die südlichen Breiten und Ende März für die Breiten um 80°N (Sakshaug 1989). Mit der zunehmenden Intensität der solaren Einstrahlung erhöhen sich die Lufttemperaturen und somit auch die Temperaturen von Schnee und Eisoberfläche. Diese oberflächennahe Erwärmung des Eises konnte anhand der Temperaturprofile für die Stationen 157 und 161 festgestellt werden. Geringer war die Erwärmung der Eisoberfläche auf Station 150, kein Temperaturanstieg war auf Station 142 zu messen. Die Ursache für die nur sehr langsame Ausbreitung der Wärme in das Innere der Eisschollen ist die geringe Wärmeleitfähigkeit des Eises (Untersteiner 1961). Sie ist generell unter Winterverhältnissen bei tiefen Eistemperaturen und hohen Salzgehalten der Sole sehr niedrig. Unter diesen physiko-chemische Bedingungen gefriert viel Wasser aus der Sole, die aufgrund der höheren Dichte nach unten abfließt, wodurch von oben her Luft in die Kanälchen eindringt (Untersteiner 1968). In diesen Bereichen des mehrjährigen Eises wurden von Eicken et al. (1995) Gaskonzentrationen von 250 ppt gemessen. Sowohl diese Lufteinschlüsse als auch die Sole wirken als Temperaturpuffer und reduzieren so den Wärmefluß, wodurch sich die Erwärmung im Frühjahr nur sehr langsam in das Innere des Eises fortsetzt (Untersteiner 1961). Die tiefsten Temperaturen im Eis spiegeln demnach noch Winterbedingungen wider. Einjähriges Eis, das generell in den oberen Schichten höhere Salinitäten und Solesalinitäten aufweist (z.B. Station 142, 150) hat dementsprechend geringere Wärmeleitfähigkeiten als mehrjähriges Eis. Aus diesem Grund war offenbar die oberflächennahe Erwärmung in diesem Eistyp noch nicht derart deutlich ausgeprägt wie im mehrjährigem Eis (Abb. 8). Zudem wurde dieser Eistyp am Anfang der Expedition beprobt, als die atmosphärischen Temperaturen noch geringer waren. Zum Ende der Expedition wurden trotz einer hohen Schneeauflage (z.B. Station 161 = 66 cm) in den oberen Eiszentimetern die höchsten Temperaturen erreicht (z.B.

Station 161 = -2.1°C , Station 164 = -1.2°C , Station 167 = -0.4°C), was die Folge von einer ansteigenden Lufttemperatur war. Zu Beginn der Expedition wurden Lufttemperaturen von bis zu ca. -10°C gemessen, während zum Ende hin die Temperatur auch manchmal über 0°C anstieg. Der Einfluß des Eisalters und der Temperatur auf die physiko-chemischen Parameter Salinität, Solesalinität und Solevolumen, wie er in dem einleitenden Kapitel 3.3 dargestellt wurde, konnte in gleicher Weise für das arktische Meereis im Frühjahr bestätigt werden.

Die unterschiedlichen pH - Wert - Profile im ein- und mehrjährigen Eis werden durch folgende Ursachen bedingt. pH - Werte im sauren Bereich unter pH 7, wie sie in den oberen 80 cm des Eises der Station 157 gemessen wurden, sind die Folge von atmosphärischer Präzipitation und Schmelzwasser des Schnees (Stumm & Morgan 1981). Mehrjähriges Eis, das schon mindestens eine sommerliche Schmelzperiode mitgemacht hat und sich gerade in einer Erwärmungsphase befindet, zeigt deshalb sehr charakteristisch diese sauren pH - Werte an der Oberfläche (Eicken et al. 1995). Ein Anstieg des pH - Wertes in Richtung Eis - Wasser - Grenzfläche (Station 142, 150) deutet generell auf einen zunehmenden Meerwassercharakter der Sole hin, die aufgrund der Puffereigenschaften des Karbonatsystems einen pH - Wert um ca. 8.4 hat (Eicken et al. 1995). Ähnliche pH - Wert - Zunahmen zur Eisunterseite wurden im arktischen Meereis von Overgaard et al. (1983) und Wollenburg (1993) an geschmolzenen Eisproben festgestellt.

pH - Werte höher als die des Meerwassers, wie sie besonders in den unteren Zentimetern des Eises der Station 142 gemessen wurden, deuten auf Assimilation von Algen hin (z.B. Gleitz et al. 1995, 1996), die gerade in diesen Eistiefen sowohl die größten Biomassen (z.B. Station 140, 142, 150) als auch die höchsten Assimilationsraten erreichen (z.B. Station 142). Durch die CO_2 Aufnahme während der Photosynthese wird pro Atom Kohlenstoff ein Proton (H^+) aus dem Medium gezehrt, wodurch sich der Anteil der dissoziierten Formen von Kohlensäure (HCO_3^- und CO_3^{2-}) in der Sole erhöht. Zudem kann es zur Bildung von schwer löslichem Kalziumkarbonat (CaCO_3) kommen (Sommer 1994). Die pH - Wert - Abnahme in den unteren Zentimetern des mehrjährigen Eises der Grönland-See ist wahrscheinlich die Folge von schon einsetzenden Schmelzprozessen Anfang bis Mitte Juni. Die Photosynthese der Eisalgen in den unteren Zentimetern des mehrjährigen Eises erreichte nicht die Höhe wie im einjährigen Eis und hat somit auch keinen deutlichen Effekt auf den pH - Wert. Der eindeutig pH - Wert dominierende Prozeß bleibt hier wahrscheinlich die Bildung von Schmelzwasser unter der Voraussetzung, daß heterotrophe Prozesse wie Respiration nur eine untergeordnete Rolle spielen. Respiration verursacht durch die CO_2 - Bildung Freisetzung von Protonen (H^+), die zu einer Abnahme des pH - Wertes führen können. Möglicherweise könnte dieser Prozeß dort eine Rolle spielen, wo die pH - Werte unter dem des Meerwassers liegen und keine Schmelzprozesse stattfinden, wie z.B. im Inneren des Eises der Station 157 und 161. Die dominante Gruppe der Heterotrophen im arktischen Meereis sind die Bakterien (Gradinger et al., subm.). Untersuchungen des Einflusses dieser Gruppe auf eventuelle pH - Wert - Veränderungen der Sole wurden bisher nicht durchgeführt. Allerdings deuten Produktionsmessungen im Frühjahr an geschmolzenen Eissegmenten der unteren Zentimeter

aus einjährigem Festeis der kanadischen Arktis auf vergleichbar hohe Kohlenstoffproduktionsraten hin ($\bar{O} = 1.04 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$) (Bunch & Harland 1990) wie die der Eisalgen aus dieser Untersuchung. Welcher Prozeß (CO_2 -Aufnahme oder Abgabe) den größeren Einfluß auf den pH-Wert der Sole hat, oder ob sich beide unter bestimmten Bedingungen gerade aufheben, bleibt in zukünftigen Arbeiten zu untersuchen.

Der Einfluß der Stickstoffassimilation (bei der Aufnahme von NH_4^+ werden zum Ladungsausgleich H^+ -Ionen an das Medium abgegeben, bei Aufnahme von NO_3^- werden OH^- -Ionen an das Medium abgegeben) auf den Protonenhaushalt der Sole ist weniger bedeutend, da er 1/10 bis 1/5 der Kohlenstoffassimilation ausmacht und nur bei niedrigen pH-Werten einen entscheidenden Einfluß ausübt (Sommer 1994).

Einen ebenfalls geringen Einfluß auf den pH-Wert der Sole hat vermutlich die Kalziumkarbonatfällung, die ab ca. -2°C einsetzt (Assur 1958). Hierbei wird CO_2 gebildet (Jones & Coote 1981), das mit dem Wasser reagieren kann, wodurch Kohlensäure entsteht und der pH-Wert fällt. Diese pH-Abnahme während der Solebildung ($S = 34 - 100$) betrug in Laboruntersuchungen 0.2 pH-Einheiten (Gleitz et al. 1995). Nach Berechnungen von Assur (1958) werden 10% der totalen Kalziumionenkonzentration des Meerwassers als Kalziumkarbonat ausgefällt, wenn das Eis -10°C erreicht.

Die Nährsalze beeinflussen genau wie alle anderen Ionen der Sole die Leitfähigkeit und werden somit bei der Salinitätsmessung berücksichtigt. Die vertikalen Verteilungsmuster entsprechen im allgemeinen denen der Salinität, wobei die Konzentrationsgradienten der Nährsalze bedeutend größer sein können (z.B. Nitratverteilung im Eis der Station 142). Ihre Verteilung im Eis wird zusätzlich zu den physikalischen Mechanismen (z.B. Gefrieren von Sole und Soledrainage) durch biologische Prozesse bestimmt. Nitrat, Ammonium, Nitrit, Silikat und Phosphat gehören zu der Klasse der biolimitierenden Stoffe, d.h., sie sind essentiell für biologische Prozesse (Brown et al. 1989). Die Algen nehmen während ihres Wachstums aktiv Nährsalze auf und tragen somit zur Konzentrationsabnahme im Medium bei (Parsons et al. 1984).

Dieser Prozeß kann für eine Nährsalzerschöpfung besonders im Inneren des Eises verantwortlich sein (z.B. Station 142), weil hier nur ein verminderter Austausch mit dem darunter befindlichen Meerwasser möglich ist (Cota & Horne 1989). Durch turbulente und diffusive Transportprozesse können Nährsalze an der Grenzfläche Eis-Wasser schnell aus dem angrenzenden Meerwasser nachgeführt werden (Cota & Horne 1989). Aus diesem Grund findet man trotz höherer Primärproduktion an der Eis-Wasser-Grenzfläche (z.B. Station 142, 150) ebenso die höchsten Nährsalzkonzentrationen (z.B. Station 142). Dort, wo dies nicht zutrifft, kann Remineralisierung durch Exsudation und/oder Exkretion von Heterotrophen zu lokal erhöhten Nährsalzkonzentrationen beitragen (Cota & Horne 1989). Diese Prozesse können für die internen Phosphat- (Station 157) oder auch Ammoniummaxima (Station 161) in Frage kommen. Interne Silikatmaxima (Station 161) beruhen dagegen vermutlich auf einer Lyse von

Diatomeenschalen. Höhere Salinitäten und somit auch Nährsalzkonzentrationen direkt an der Oberfläche des Eises sind die Folge von Überspülungen und starker Gischt (Station 150) (Eicken et al. 1995). Die lokalen Nitratmaxima an der Eisoberfläche (z.B. Station 157, 161) können weiterhin durch atmosphärische Präzipitation hervorgerufen worden sein, wie sie als Ursache für einen erhöhten Nitrateintrag im Meereis des Bottnischen Meerbusens von Norrman & Andersson (1994) nachgewiesen wurden.

In küstennahen Untersuchungen der kanadischen Arktis wurden ähnliche Nährsalzkonzentrationen im Eis (Demers et al. 1989) gemessen. In diesen Regionen können aber auch maxiale Nährsalzkonzentrationen im Eis auftreten (Cota et al. 1987, Smith et al. 1990), wie Nitratkonzentrationen von bis zu $400 \mu\text{mol l}^{-1}$, Silikatkonzentrationen über $150 \mu\text{mol l}^{-1}$ und Phosphatkonzentrationen von bis zu $70 \mu\text{mol l}^{-1}$ (Smith et al. 1990). Alle hier erwähnten Untersuchungen fanden im Frühjahr und/oder Sommer statt.

6.2.2 Die biotischen Bedingungen

Die maximalen POC - Konzentrationen an der Unterseite und im Inneren des Eises (Abb. 15), deuten auf größere Biomasseakkumulationen von Organismen und Detritus (totes organisches Material) hin. Diese beiden Gruppen des POC wurden in dieser Untersuchung nicht getrennt erfaßt. Allerdings lassen sich mit Hilfe der C : N - Verhältnisse Aussagen zum allgemeinen Zustand der Eisorganismengemeinschaft machen. Das C : N - Verhältnis ist ein Teil des Redfield - Verhältnisses (C : N : P = 106 : 16 : 1) (Redfield et al. 1963), das Planktonorganismen in der Regel bei nicht limitiertem Wachstum aufweisen (z.B. Sommer 1994). Bei Nährsalzlimitation kommt es bei Algen zu einem Anstieg des C : N - Verhältnisses auf Werte von 15 und mehr (Antia et al. 1963). Desweiteren treten hohe C : N - Verhältnisse bei Abbau von organischem Material auf (z.B. Holm - Hansen et al. 1968, Gordon 1970, Alldredge 1979). Hierbei werden durch mechanische oder chemische Zerstörung partikuläre und/oder gelöste Stickstoffverbindungen freigesetzt, wodurch das C : N - Verhältnis des übrigbleibenden Detritus ansteigt. Die besonders hohen C : N - Verhältnisse im Inneren des ein- und mehrjährigen Eises deuten auf diese Abbauprozesse hin. An der Unterseite des Eises fanden sich generell C : N - Verhältnisse in der Nähe des Redfield - Verhältnisses (C : N = 6.6), was auf Organismengemeinschaften hindeutet, die in ihrem Wachstum nicht limitiert sind und deshalb hier die größten Biomassen aufbauen. Oft traten in den obersten Schichten beider Eistypen, ähnlich wie an der Unterseite, wieder abnehmende C : N - Verhältnisse auf (z.B. Station 142, 150, 152, 153). Eine mögliche Ursache könnte ein schnelles Absterben der Organismen durch rasche Gefrierprozesse sein, die zusammen mit hohen Solesalinitäten einen konservierenden Effekt haben, der Abbauprozesse weitgehend verhindert (Kottmeier & Sullivan 1988, Bartsch 1989). Schnelles Gefrieren ist oberflächennah durch tiefe Temperaturen möglich, wie sie im Herbst und Winter nach und während der Neueisbildung auftreten (Siehe Kapitel 3.2). Desweiteren können auch Schmelzwassertümpel durch die geringen Salinitäten bei abnehmenden Temperaturen sehr schnell zufrieren.

Ein weiterer Indikator für den physiologischen Zustand der Algen ist der Anteil der Abbauprodukte des Chlorophylls, den Phaeophorbiden am Gesamtpigmentgehalt (Barlow et al. 1993). Zu dieser Gruppe gehört u.a. das Phaeophytin. Es entsteht durch Entfernung des zentralen Magnesium - Ions aus Chlorophyll *a*. Maximale Phaeophytin zu Chlorophyll *a* - Verhältnisse wurden vergleichbar zu den C : N - Verhältnissen im Inneren des ein- und mehrjährigen Eises gemessen, während sie zur Unterseite und teilweise auch zur Oberseite des Eises abnahmen. Steigende Phaeophytinkonzentrationen können zum einen die Folge von Seneszenz der Algen sein und zum anderen die Folge von Fraßaktivität Heterotropher (Welschmeyer & Lorenzen 1985). Die letztgenannte Ursache wird als hauptsächlicher Prozeß der Phaeopigmentproduktion angenommen (Lorenzen 1967, Daley 1973). Heterotrophe Protisten, die auch aus dem Meereis bekannt sind (Friedrich 1997), stellen eine wichtige Quelle von Phaeopigmenten dar, die während der Verdauung von Algen entstehen und anschließend an das umgebende Medium abgegeben werden (SooHoo & Kiefer 1982, Welschmeyer & Lorenzen 1985). Da die heterotrophen Protisten aber hauptsächlich an der Eisunterseite vorkommen (Friedrich 1997), dort die Phaeophytin : Chlorophyll *a* - Verhältnisse jedoch am niedrigsten waren, liegt die Vermutung nahe, daß die Phaeophytinproduktion durch Heterotrophe in dieser Untersuchung eher von untergeordneter Bedeutung ist. Der dominierende Prozeß war vermutlich die Seneszenz der Algen, besonders im Eisinneren, da hier die höchsten Verhältnisse gefunden wurden (Abb. 18). Aufgrund der sehr geringen Phaeophytin : Chlorophyll *a* - Verhältnisse an der Grenzfläche Eis - Wasser (Abb. 18) kann hier eine Seneszenz der Algen ausgeschlossen werden. Zurückgehende Verhältnisse an der Oberfläche des Eises haben vermutlich dieselben Ursachen, auf denen auch die Abnahme der C : N - Verhältnisse beruhen (siehe oben). Die gut übereinstimmenden vertikalen Verteilungsmuster der C : N - und Phaeophytin : Chlorophyll *a* - Verhältnisse sind ein Indiz dafür, daß die Biomasse der Eisalgen einen bedeutenden Anteil an der Menge des partikulären organischen Kohlenstoffes haben. Die Detrituskonzentration ist daher vermutlich an der Eisunterseite geringer und möglicherweise höher im Eisinneren.

6.3 Der Einfluß der Frühjahrsbedingungen auf die Entwicklung der Eisalgen

Die wichtigsten Faktoren, die einen potentiellen Einfluß auf das Algenwachstum ausüben, sind Licht, Eistemperatur, Solesalinität und die Konzentrationen der gelösten Nährsalze (Gosselin et al. 1985, 1990, Grossi et al. 1987, Cota et al. 1987, Cota & Sullivan 1990, Maestrini et al. 1986, Michel et al. 1988, Smith et al. 1988). Im folgenden soll der Einfluß dieser Faktoren auf die Photosynthese und das Wachstum der Eisalgen diskutiert werden.

6.3.1 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A - und UV-B - Strahlung

Das Wachstum polarer Mikroalgen ist entscheidend von der Intensität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) abhängig (Cota 1985, Sullivan et al. 1985, Gleitz & Kirst 1991). Die solare Einstrahlung in den Polarregionen variiert primär mit den Jahreszeiten, dem Tagesgang und auf kürzeren Zeitintervallen, z.B. mit der Wolkenbedeckung (Abb. 6). Die Lichtintensitäten im Eis werden zudem durch die Schneebedeckung und die Eisdicke beeinflusst (Cota et al. 1991, Hegseth 1992). Für die UV-B - (280-320 nm) und UV-A - (320-400 nm) Strahlung konnten über schneebedecktem Eis Albedos nahe 1 gemessen werden, wobei die Transmission der Strahlung von 10^{-7} bei 280 nm bis 10^{-4} bei 400 nm reichte (Perovich 1993). An antarktischem und tropischem Phytoplankton wurde nachgewiesen, daß eine Inhibition der Photosynthese durch UV - Strahlung (295-385) unter einem Schwellenwert von 5 - 10 W m⁻² nicht mehr stattfindet (Helbling et al. 1992). In dieser Untersuchung wurden maximale UV - Strahlungen im UV-A - Bereich von 2.48 mW cm⁻² gemessen. Für die Frühjahrssituation mit einer noch hohen Schneeauflage auf dem Eis (Tabelle 1a) und der geringen Intensität der UV - Strahlung (Tabelle 1a) kann aufgrund der hohen Albedos und der geringen Transmission eine Schädigung der Eisalgen in den unteren Bereichen des Eises vermutlich ausgeschlossen werden. Vollkommen andere Verhältnisse finden sich dagegen im Sommer durch maximale Einstrahlung und Bildung von Schmelzwassertümpel. Die Albedos werden kleiner (siehe Kapitel 3.3), wodurch sich der Anteil an eindringender UV - Strahlung erhöht. Unter diesen Bedingungen ist es möglich, daß die schattenadaptierten Eisalgen besonders in den oberen Bereichen des Eises durch die UV - Strahlung geschädigt werden. Aufgrund der schlechten Anpassung an hohe Strahlungsintensitäten sind bei schattenadaptierten Algen die Reparatur- und Schutzmechanismen gegen UV - Strahlung mangelhaft ausgebildet (Helbling et al. 1992).

Der Einfluß der Albedo und Attenuation auf die Intensität der PAR - Strahlung wird durch die berechneten Strahlungsintensitäten im Inneren des Eises (Abb. 19) deutlich. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Lichtbedingungen in der Vertikalen und zwischen ein- und mehrjährigem Eis auf das Wachstum der Algen werden anhand der P^b - Raten sichtbar. Aufgrund der höheren Strahlungsintensitäten im Inneren des Eises werden hier Maximalwerte von 0.9 für ein- und 0.13 für mehrjähriges Eis erreicht (Tabelle 3). Die Unterschiede zwischen P^b des ein- und mehrjährigen Eises spiegeln die Unterschiede in der durchschnittlichen Lichtintensität dieser beiden Eistypen wieder (Abb. 34). Die Attenuation des Lichtes ist im mehrjährigen Eis der Stationen 157 und 161 aufgrund der Schneeauflage und der Eisdicke entsprechend höher als im einjährigen Eis der Stationen 142 und 150. Die Folge sind Lichtintensitäten, die bis zu zwei Größenordnungen unter denen des einjährigen Eises liegen

Abb. 34). Die Konsequenz dieser geringen Strahlungsintensitäten von $0.5 \mu E m^{-2}s^{-1}$ (Station 161) und $2.0 \mu E m^{-2}s^{-1}$ (Station 157) ist ein Wachstum der Algen unter Lichtlimitation. Maximale Photosyntheseraten von Eisalgen werden erst bei einem Photonenfluß zwischen $5 - 10 \mu E m^{-2}s^{-1}$ erreicht (Cota 1985, Cota & Sullivan 1990, Palmisano et al. 1985, 1987, Smith et al. 1987, 1988). Lichtintensitäten von $1.0 - 9.3 \mu E m^{-2}s^{-1}$ werden in unterschiedlichen arktischen und subarktischen Feldstudien als untere Grenzwerte für positive Photosynthese angenommen (z.B. Alexander et al. 1974, Horner & Schrader 1982, Gosselin et al. 1985, Smith et al. 1987). Dagegen wurden in dieser Untersuchung positive Photosyntheseraten schon ab mittleren Strahlungsintensitäten von $0.36 \pm 0.05 \mu E m^{-2}s^{-1}$ gemessen. In physiologischen Laborexperimenten konnte ein netto Wachstum der Algen ab $0.2 - 2.0 \mu E m^{-2}s^{-1}$ festgestellt

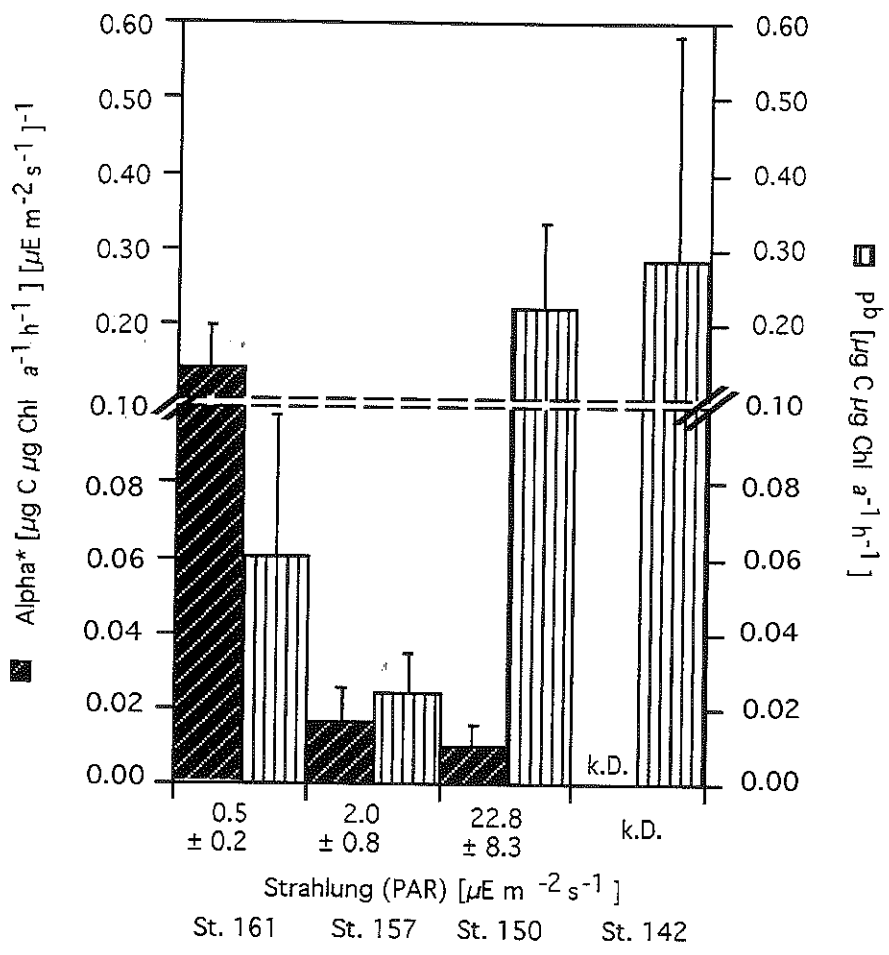


Abb. 34.: Mittelwerte für die Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P^b), photosynthetische Effizienz (α^*) und Strahlungsintensität (PAR) für jede Station und diejenigen Eissegmente der Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Balken kennzeichnen Standardabweichung; Station 142: P^b : n = 18; Station 150: P^b : n = 18, α^* : n = 18, PAR: n = 2400, Station 157: P^b : n = 12, α^* : n = 12, PAR: n = 2892, Station 161: P^b : n = 15, α^* : n = 15, PAR: n = 2892; k.D. = keine Daten; St. = Station

werden (Cota 1985, Horner 1985, Smith et al. 1985), was deutlich unter den Werten der oben aufgeführten Felduntersuchungen liegt, mit unseren Beobachtungen aber sehr gut übereinstimmt.

Eine Photoadaptation an die extrem niedrigen Lichtintensitäten im mehrjährigen Eis wurde durch die Berechnung der photosynthetischen Effizienz Alpha* sichtbar. Mittlere Werte von Alpha* nahmen mit abnehmender Lichtintensität im mehrjährigen Eis zu (Abb. 34). Sie erreichten Maxima von $0.14 \pm 0.06 [\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}] [\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}]^{-1}$ auf Station 161, wie sie auch für antarktische Eisalgen bekannt sind (Palmisano et al. 1987). Schattenadaptierte Eisalgen weisen mittlere Werte von Alpha auf, die um das 2 - 3 fache über denen von Phytoplankton liegen (Cota & Smith 1991), wodurch sie durch die relativ hohen spezifischen Absorptionskoeffizienten zu sehr effektiven Nutzern von sehr geringen Lichtintensitäten werden (Smith et al. 1988, Cota & Horne 1989). In dieser Untersuchung deckt sich der absolute Wertebereich von Alpha* ($0.002 - 0.25 [\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}] [\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}]^{-1}$) sehr gut mit photosynthetischen Effizienzen arktischer und antarktischer Eisalgen (Kirst & Wiencke 1995). Diese Vergleichbarkeit der photosynthetischen Effizienzen zeigt deutlich, daß die Eisalgen des Barentsmeeres und der Grönland-See ebenfalls sehr gut an die geringen Lichtintensitäten im Meereis angepaßt sind.

6.3.2 Eistemperatur

Die maximalen Wachstumsraten polarer Algen werden neben dem Licht auch thermodynamisch kontrolliert. Der optimale Temperaturbereich für das Wachstum der Algen ($+4^{\circ}\text{C}$ bis $+10^{\circ}\text{C}$) liegt über dem Bereich der *in situ* Temperaturen in polaren Meeresgebieten (-2°C bis 0°C) (Bunt 1968). Die Konsequenz dieser suboptimalen Wachstumsbedingungen ist wahrscheinlich eine verminderte Kohlenstoff-Fixierung (Kottmeier & Sullivan 1988), von der auch in dieser Untersuchung aufgrund der teilweise tiefen Eistemperaturen zwischen -2.0°C und -3.7°C ausgegangen werden kann. Dieser suppressive Temperatureffekt wird wenigstens teilweise durch die unterschiedlichen Temperaturabhängigkeiten von Respiration und Assimilation kompensiert (Tilzer & Dubinsky 1987). Tiefe Temperaturen verursachen eine stärkere Abnahme der Respirationsaktivitäten im Vergleich zur Assimilationsaktivität (Bunt 1968). In Laborexperimenten mit einer antarktischen *Chaetoceros* Art konnte Thomas et al. (1992) keine Respirationsaktivität bei -1.5°C und $5 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nachweisen. Hierdurch wird die reduzierte Primärproduktion aufgrund verminderter Verluste durch die Respiration wenigstens teilweise kompensiert. Michel et al. (1989) berichtete, daß die polaren Algen auf kurzfristige Umweltveränderungen, wie z.B. plötzlicher Eisbildung, mit schnellen Temperaturanpassungen reagieren können. Aus diesen Gründen kann angenommen werden, daß die niedrigen Eistemperaturen in dieser Untersuchung das Algenwachstum nicht generell drastisch eingeschränkt haben.

6.3.3 Solesalinität

Eine Limitation physiologischer Prozesse bei Eisalgen ist neben der geringen Strahlungsintensität, der tiefen Temperatur und den niedrigen Nährsalzkonzentrationen auch durch eine hohe Salinität der Sole möglich. (z.B. Bates & Cota 1986, Bunt 1968, Fiala & Oriol 1990, Palmisano et al. 1987, Kirst & Wiencke 1995). Die Solesalinität ist ausschließlich eine Funktion der Eistemperatur (Assur 1958). Je tiefer die Temperatur ist, desto größer ist die Salinität, weil zunehmend reines Wasser aus der Sole ausfriert, wodurch eine Salzlösung steigender Konzentration in den Kanälchen verbleibt. Hohe Solesalinitäten bilden sich durch starke Abkühlung des Eises bei tiefen Lufttemperaturen besonders im Herbst und Winter in den oberen Bereichen des Eises. Aufgrund der höheren Dichte kann ein Solefluß durch das Eis erfolgen, der vor allem starke Salinitätsänderungen in den unteren Bereichen des Meereises hervorrufen kann (Grant & Horner 1976). Wenn sich aus einem Solekanal eine Tasche abschnürt, sind Salinitätsänderungen durch solche Transportprozesse nicht mehr möglich. Die Salinität und das Volumen dieser Tasche ist jetzt nur noch von der Eistemperatur abhängig. Bei fallender Temperatur nimmt das Volumen durch ausfrierendes Wasser ab, wodurch gleichzeitig die Salinität in der Tasche zunimmt (Apollonio 1965, Meguro et al. 1966, 1967, Buinitsky 1977). Bei zunehmender Temperatur tritt der Umkehrfall ein. Meguro et al. (1967) deutete darauf hin, daß ein Anstieg des osmotischen Druckes durch zunehmende Salinität einen größeren Einfluß auf das Überleben der Algen im Eis hat als die tiefen Temperaturen oder niedrige Nährsalzkonzentrationen.

Änderungen der Salinität haben bedeutenden Einfluß auf die Lichtsättigung der Photosynthese. Die Photosyntheseaktivität verringert sich bei steigenden Salinitäten des Mediums, was Gilmour et al. (1984) mit einer Inhibition des nicht zyklischen Elektronentransportes am Photosystem II erklärt. Eine Zunahme an Salz vergrößert den Lichteinfall am Photosystem I, wodurch der zyklische Elektronentransport stimuliert werden kann. Diese Prozesse können neben den tieferen Temperaturen und den geringeren Gesamtstickstoffkonzentrationen für die abnehmenden Produktionsraten im Inneren des Eises verantwortlich sein. Die Konsequenz ist suboptimales Wachstum der Algen mit geringer Biomasseakkumulation. In P (production = Produktion) vs I (irradiance = Strahlung) Experimenten von Bates & Cota (1986) wurde an Eisalgen nachgewiesen, daß die photosynthetische Kapazität und Effizienz durch die Salinität beeinflusst wird. Beide Parameter nahmen bei Salinitäten oberhalb eines Optimalbereiches zwischen $S = 20$ und $S = 35$ rapide ab. In dieser Untersuchung wurde der Optimalbereich immer überschritten, wobei die Salinitäten mit der Entfernung von der Eis - Wasser - Grenzfläche generell anstiegen. Der inhibierende Effekt

hoher Salinität auf die Photosyntheseprozesse kann eine Ursache für die abnehmenden Werte von Alpha^* im Inneren des Eises sein (Abb. 32). Tiefe Werte fanden sich auf Stationen (150, 157) mit hohen Solesalinitäten, wohingegen die höchsten Werte von Alpha^* im Eis mit den geringsten Salinitäten (Station 161) gemessen wurden (Abb. 32). Aus diesen Ergebnissen wird ersichtlich, daß die photosynthetische Effizienz Alpha^* neben dem Licht auch durch den Salzgehalt beeinflußt wird.

Für die Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P^b) konnte keine Abhängigkeit von den hier gemessenen Salinitäten nachgewiesen werden. Es bleibt demnach eine primäre Abhängigkeit von der Strahlungsintensität. Die Folge der unterschiedlichen Einflußgrößen auf P^b und Alpha^* sind gegenläufige Gradienten zwischen den Eistypen: Die mittleren P^b im einjährigen Eis (Station 142: $P^b = 0.3 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$, Station 150: $P^b = 0.2 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$) liegen über denen des mehrjährigen Eises (Station 157: $P^b = 0.02 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$, Station 161: $P^b = 0.06 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$), während der Gradient bei Alpha^* genau umgekehrt verläuft (Station 150: $\text{Alpha}^* = 0.01 [\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}] [\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}]^{-1}$, Station 157: $\text{Alpha}^* = 0.02 [\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}] [\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}]^{-1}$, Station 161: $\text{Alpha}^* = 0.14 [\mu\text{g C } \mu\text{g Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}] [\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}]^{-1}$) (Abb.34). Die geringsten Werte für beide Parameter finden sich im Eis der Station 157, das sich sowohl durch niedrige Strahlungsintensitäten als auch hohe Salinitäten auszeichnet. Hier wirkten beide suppressive Faktoren auf die Aktivität der Eisalgen ein (Abb. 34).

Poulin et al. (1983) konnte einem Einfluß der Salinität auf die Abundanz und die taxonomische Zusammensetzung der Eisalgenegemeinschaft nachweisen. Eine derartige Auswirkung des hier gemessenen Salinitätsgradienten im Eis wurde in dieser Untersuchung nicht festgestellt. Die Erklärung für dieses Phänomen liegt wahrscheinlich in der Euryhalinität der meisten Eisalgen, die sich über einen Salzgehaltsbereich von $S = 10$ bis $S = 100$ erstrecken kann (Grant & Horner 1976, Vargo et al. 1986, Bartsch 1989, Kottmeier & Sullivan 1988) Die Abundanz und Biomasse nahm dagegen mit zunehmender Solesalinität im Inneren des Eises ab, was aber auch, wie schon erwähnt, mit den abnehmenden Gesamtstickstoffkonzentrationen und der Abnahme des zur Verfügung stehenden Raumes für die Besiedlung der Algen erklärt werden kann.

6.3.4 pH - Wert

Direkte Auswirkungen des pH - Wertes auf die Photosyntheseleistung von Algen können sich u.a. dadurch ergeben, daß die meisten Enzyme nur bei bestimmten pH - Werten optimal arbeiten (Sommer 1994). Viele Algen haben allerdings die Fähigkeit, trotz externen pH - Schwankungen des Mediums ihren inneren pH - Wert möglichst in diesem Optimalbereich zu halten. Erst wenn der externe pH - Wert einen bestimmten Grenzwert überschreitet, fällt der Regelmechanismus aus und die betroffenen Enzyme werden inaktiv (Coleman & Coleman 1981). So ist z.B. die Blaualge *Coccochloris peniocyctis* bei einem externen pH - Wert von 5.25 nicht mehr in der Lage, Photosynthese zu betreiben, weil das Enzym Ribulosebisphosphatcarboxylase/oxygenase (RUBISCO) unter diesen Bedingungen (interner pH - Wert von 6.6) inaktiv ist (Coleman & Coleman 1981). Da die pH - Werte der Sole in dieser Untersuchung meistens zwischen 7 und 9 schwanken, können solche suppressiven Effekte auf die Photosynthese der Algen eher ausgeschlossen werden. Allerdings trifft dies nicht für die oberen 80 cm der Station 157 zu, da hier die pH - Werte im sauren Bereich liegen.

Indirekte Auswirkungen des pH - Wertes auf die Photosynthese finden über Verschiebungen im Karbonatsystem statt (Sommer 1994). Bei einer geringen Gesamtkonzentration von gelöstem anorganischem Kohlenstoff (z.B. pH - Wert von 10) kann es zu einer CO_2 - Limitation des Algenwachstums im Eis kommen (Gleitz et al. 1995, 1996). Eisalgen, die ausschließlich auf CO_2 angewiesen sind, stellen unter solchen Bedingungen die Zellteilung ein. Von *Nitzschia frigida* ist bekannt, daß sie die Fähigkeit hat, CO_2 im Zellinneren zu akkumulieren und zusätzlich HCO_3^- aus dem Medium aufzunehmen (Mitchell & Beardall 1996). Diese photosynthetische Aufnahme von gelöstem anorganischem Kohlenstoff ist assoziiert mit einer Abgabe von Sauerstoff in das Medium. Sauerstoff ist ein kompetitiver Inhibitor der Carboxylierung durch RUBISCO (Mohr & Schopfer 1992). Hohe O_2 - und niedrige CO_2 - Konzentrationen fördern die Oxygenierung und hemmen die Carboxylierung von Ribulosebisphosphat. Spezifische physiologische Adaptationen, die es ermöglichen, unter solchen Bedingungen Photosynthese zu betreiben, können möglicherweise ein kontrollierender Faktor für die Besiedlung und das Wachstum von Eisalgen sein (Gleitz et al. 1995). Die Bedeutung der CO_2 - Limitation und/oder der O_2 - Inhibition des Eisalgenwachstums im Barentsmeer und der Grönland-See kann demnach nur für die Orte im Eis angenommen werden, bei denen der pH - Wert über dem des Meerwassers liegt. Dieses traf für das Eis der Station 142 zu und wenigen Eissegmenten des Eises der Station 157 (Abb. 12, 20c). Vermutlich ist eine Wachstumslimitierung aufgrund solcher Prozesse besonders in abgeschlossenen Solekanälchen oder -taschen zu erwarten, da hier ein Gasaustausch mit dem umgebenden Medium unmöglich ist.

6.3.5 Nährsalzkonzentration der Sole

Die Abhängigkeit der Primärproduktion von der totalen Konzentration an gelöstem Stickstoff wird durch die signifikante Korrelation beider Parameter sichtbar (Abb. 27d). Eine solche Beziehung konnte zwischen den anderen Nährsalzen (SiO_4 , NO_2 , PO_4) und der Primärproduktion nicht nachgewiesen werden, was nicht heißt, daß diese Nährsalze nicht auch einen Einfluß auf das Algenwachstum ausüben können. Für die Diskussion eines möglichen Einflusses der Nährsalzkonzentrationen auf die Höhe der Primärproduktion bzw. des Wachstumestumes, ist es unumgänglich die absoluten Konzentrationen der Nährsalze in der Sole zu berücksichtigen (Abb. 21, 22). Hier zeigt sich, welche Menge an Nährsalzen die Algen potentiell aus dem Medium zehren können. Für Nitrat und Ammonium sind das in den Tiefenhorizonten der Primärproduktion Konzentrationen von $1.1 - 13.6 \mu\text{mol l}^{-1}$ (NO_3) und $0 - 68.4 \mu\text{mol l}^{-1}$ (NH_4). Die meisten dieser Stickstoffkonzentrationen liegen über dem Vielfachen der Halbsättigungskonstanten des Wachstums (k_s = Ressourcenkonzentration, bei der die Hälfte der maximalen Bruttowachstumsrate erreicht wird) vieler anspruchsloser Phytoplankter (Stickstoff: k_s ($\mu\text{mol l}^{-1}$) $0.3 - 3.0$, Sommer 1994). D.h., daß die gelösten Stickstoffkonzentrationen in dieser Untersuchung vermutlich keinen limitierenden Effekt auf die Produktion bzw. das Wachstum der Eisalgen hatten, sondern einen fördernden. Dieser ist um so größer, je höher die Konzentrationen sind (Abb. 35). Aufgrund der mittleren Pigment- und C : N - Verhältnisse in den Eistiefen der Primärproduktion des ein- ($0.23, 12$) und mehr-jähriges Eises ($0.37, 12.4$) läßt sich erkennen, daß sich die Algengemeinschaft des einjährigen Eises durch die generell höheren Stickstoffkonzentrationen (Abb. 35) in einem besseren physiologischen Zustand befindet und deshalb neben der höheren Einstrahlung auch höhere Wachstumsraten aufweist als die des mehrjährigen Eises (Abb. 33). Desweiteren ist im ein-jährigen Eis regenerierte Produktion aufgrund der hohen Ammoniumkonzentrationen nicht auszuschließen (Abb. 21 a+b).

Silikat als potentiell limitierendes Nährsalz des Diatomeenwachstumestumes wies nur im Inneren des Eises der Station 142 Konzentrationen auf, die unterhalb häufiger k_s -Werte vieler Diatomeen lagen (Silizium: k_s ($\mu\text{mol l}^{-1}$) $2 - 5$, Sommer 1994). In diesen Regionen des Eises ist demnach eine Wachstumslimitation der Diatomeen nicht auszuschließen. Das interne Produktionsmaximum ($0.9 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$) (Abb. 31a) könnte vermutlich auf die Aktivität von Flagellaten zurückzuführen sein, die auf Silikat nicht angewiesen sind, oder sehr niedrige k_s -Werte besitzen. Neben den Dinophyceencysten in diesem Horizont (siehe Kapitel 5.2.2.4) hatten die Flagellaten einen Anteil von 58.5% an der Gesamtabundanz und 24.0% an der Gesamtbiomasse der Algen. Im Vergleich zu den anderen Eishorizonten dieser Station wurden in diesem die höchsten Anteile der Flagellaten sowohl an der Abundanz als auch an der Biomasse festgestellt. Da die Flagellaten taxonomisch nicht weiter aufgetrennt wurden, ist es unmöglich zu sagen, ob hier tatsächlich die autotrophen Flagellaten für dieses Produktionsmaximum verantwortlich sind. Zudem bleibt die Rolle der Dinophyceencysten ungeklärt.

Ein wachstumslimitierender Effekt von gelöstem Phosphat ist besonders dort möglich, wo sich die Konzentrationen der Sole vollständig erschöpft haben (Abb. 22a+c). Sonst liegen die Sole-Phosphatkonzentrationen in den Bereichen, die den Nährstoffansprüchen der meisten Phytoplankter entsprechen (Phosphor: k_s ($\mu\text{mol l}^{-1}$) = 0.02 - 0.2, Sommer 1994).

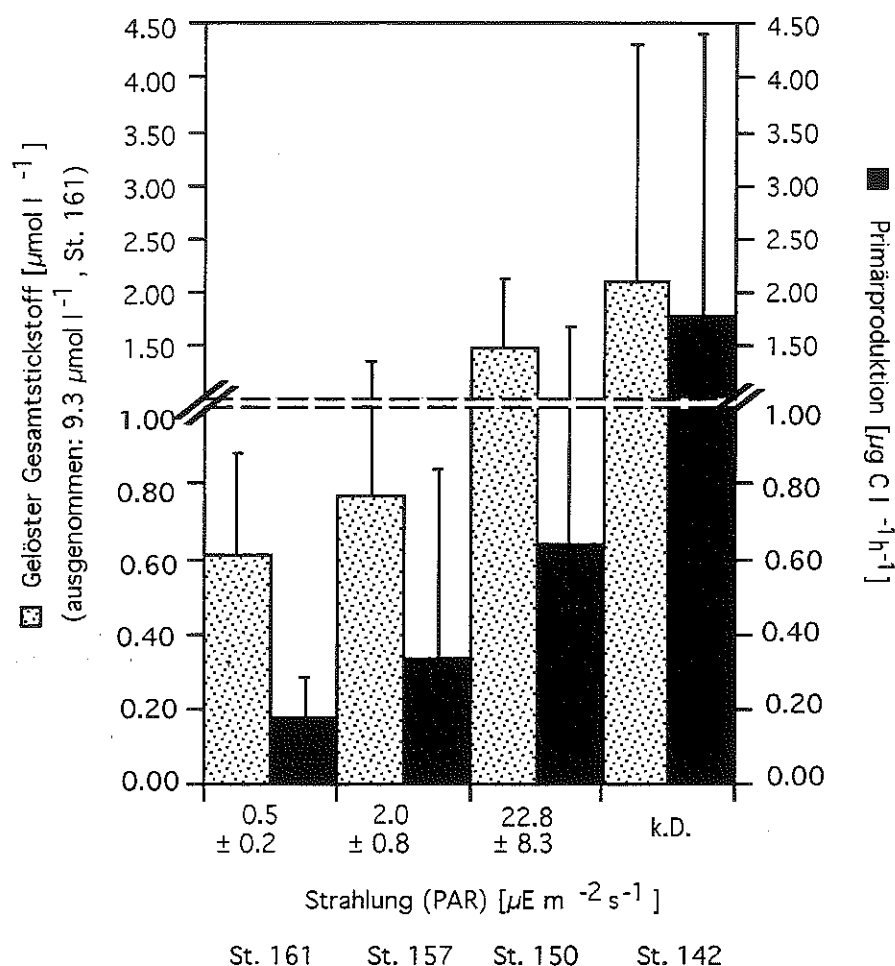


Abb. 35.: Mittlere Primärproduktion (PP), gelöster Gesamtstickstoff (GS) (ausgenommen: $9.3 \mu\text{mol l}^{-1} \text{NH}_4$, Station 161) und Strahlungsintensität (PAR) von jeder Station für die Eissegmente in den Tiefen, in denen Primärproduktion gemessen wurde. Balken kennzeichnen Standardabweichung; Station 142: PP: $n = 18$, GS: $n = 16$; Station 150: PP: $n = 18$, GS: $n = 15$, PAR: $n = 2400$, Station 157: PP: $n = 12$, GS: $n = 7$, PAR: $n = 2892$, Station 161: PP: $n = 15$, GS: $n = 11$, PAR: $n = 2892$; k.D. = keine Daten; St. = Station

Diese Daten zeigen, daß die Nährsalzverhältnisse auch in der Sole zwischen den Eiskernen und den einzelnen Eissegmenten sehr unterschiedlich sein können. Eine Limitation des Algenwachstums kann hauptsächlich von Phosphat und Silikat ausgehen, die unter den besonderen räumlichen Verhältnissen im Eis, aber nur sehr schwer festzustellen ist. Es können große Nährsalzgradienten auf sehr kleinen Entfernungen (einige μm) im Eis auftreten. Während z.B. die Nährsalze in einer abgeschlossenen Soletasche durch das Eisalgenwachstum vollständig

aufgezehrt sein können, ist es möglich, daß sie in einem angrenzenden Solekanal durch diffusiven Austausch mit dem Meerwasser in sehr viel höheren Konzentrationen vorliegen. Solche kleinskaligen Gradienten konnten bisher aus Mangel an geeigneten Meßverfahren allerdings noch nicht festgestellt werden.

6.4 Der Entwicklungszustand der Eisalgengemeinschaft im Frühjahr 1997

Das Wachstum der Eisalgen folgt generell dem saisonalen Trend der solaren Einstrahlung, wodurch das Licht der ausschlaggebende Faktor für den Beginn und das Ende der Eisalgenblüte ist (Cota et al. 1991). Nach der Dunkelheit des Winters können die Eisalgen aufgrund ihrer guten Anpassung an sehr niedrige Lichtintensitäten die ersten Sonnenstrahlen für das Wachstum nutzen. Der Strahlungsgrenzwert für eine positive Photosynthesebilanz ($0.2 - 2 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) wird zuerst im dünnen einjährigen Eis mit geringer Schneeauflage überschritten (Cota & Smith 1991). In diesem Eistyp beginnt die Frühjahrsblüte und setzt sich erst etwas später im Jahr durch die höhere Einstrahlung im mehrjährigen Eis fort.

Die mittleren Lichtintensitäten im einjährigen Eis überschritten während unserer Studie bei weitem den oben genannten Strahlungsgrenzwert. Die existierenden Regenerationsprozesse durch heterotrophe Organismen im einjährigen Eis deuten darauf hin, daß die Frühjahrsentwicklung hier schon fortgeschrittener ist als im mehrjährigen Eis. Die Lichtintensitäten übertrafen dort gerade den Grenzwert für die positive Photosynthese, und Ammonium konnte bis auf eine Eisprobe nicht nachgewiesen werden.

Die Folge waren geringere integrierte Primärproduktionsraten im mehrjährigen Eis (Station 157: $0.76 \text{ mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, Station 161: $1.48 \text{ mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) im Vergleich zu denen des einjährigen Eises (Station 142: $9.67 \text{ mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, Station 150: $2.58 \text{ mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Die Wachstumsraten der Eisalgen bestätigen ebenfalls diese Unterschiede im Entwicklungszustand zwischen beiden Eistypen (Abb. 33, Tabelle 2). Die Konsequenz daraus war eine größere Biomasseakkumulation im einjährigen Eis mit höheren integrierten Chlorophyll *a* - Konzentrationen wie z.B. im Eis der Station 142 ($2.22 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$). Die dazu relativ geringen Chlorophyll *a* - Konzentrationen im Eis der Station 150 ($0.20 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$) sind vielleicht die Folge von Soledrainage (z.B. Gradinger et al. 1991) und damit auch von Exportprozessen und/oder von einem erhöhten Fraßdruck durch die Fauna im und unter dem Eis.

Der Vergleich der integrierten Primärproduktion mit Werten aus anderen Untersuchungen (Tabelle 4) wird dadurch erschwert, daß mit sehr unterschiedlichen Methoden gearbeitet wurde (Smith & Herman 1991, Herman et al. 1993). Desweiteren wurden Primärproduktionsmessungen im arktischen Meereis hauptsächlich an einjährigem Festeis durchgeführt (z.B. Cota & Horne 1989, Smith & Herman 1992) und nur sehr selten an Packeis (Gosselin et al. 1997), das oft größere Eis- und Schnee-Dicken erreicht und somit geringere Strahlungintensitäten im und unter dem Eis aufweist (Tabelle 3). Zusätzlich können die absoluten Nährsalzkonzentrationen im Eis der Hochseeregionen unter denen der Küstenregionen liegen (Cota et al. 1987, Smith

et al. 1990). Diese regionalen Unterschiede sind vermutlich dafür verantwortlich, daß die Produktion der Eisalgen im Barentsmeer und in der Grönland-See trotz der Berücksichtigung von internen Gemeinschaften oft in den unteren Wertebereichen der anderen arktischen Untersuchungen liegen (Tabelle 4).

Die Bedeutung der internen Eisalgengemeinschaften an der Kohlenstoffproduktion wurde besonders durch die integrierten Werte deutlich. Sie überschritten die der Bodengemeinschaften in den meisten Fällen (z.B. Station 142: Intern: $7.11 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$, Boden: $2.56 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$) oder die Werte lagen in der gleichen Größenordnung (Station 157: Intern: $0.25 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$, Boden: $0.51 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$, Tabelle 3). Bisherige *in situ* und simulierte *in situ* Messungen waren nicht in der Lage, die Bedeutung der internen arktischen Eisalgengemeinschaften an der Kohlenstoffproduktion festzustellen. Durch die Beschränkung dieser Methoden auf die Bodengemeinschaften des Eises und aufgrund der inadäquaten Tracerverteilung bei den *in situ* Messungen kann eine Unterschätzung der Eisalgenproduktion angenommen werden.

Tabelle 4.: Vergleich zwischen photosynthetischen Parametern und Wachstumsraten von Eisalgen der Bodengemeinschaft und der internen Gemeinschaft für die Arktis und Antarktis. Photosynthetische Effizienz (Alpha / Alpha*, definiert in Material und Methoden) [$\mu\text{g C Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$] [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] $^{-1}$, maximale Photosyntheserate unter Lichtsättigung (Pb_m) [$\mu\text{g C Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$], Biomasse-spezifische Photosyntheserate (Pb) [$\mu\text{g C Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$], maximale Photosyntheserate unter Lichtsättigung (Pb_m) [$\mu\text{g C Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$], Wachstumsrate (μ) [d^{-1}]. Die Dicke der Bodengemeinschaft und die der internen Gemeinschaft variiert zwischen den einzelnen Autoren; die angegebenen Werte sind Mittelwerte bzw. Wertebereiche.

Eishabitat	Alpha Alpha*	Pb_m	Pb	Primär- produktion	Wachstums- rate	Gebiet	Autoren
<i>Boden</i>	0.003-0.091	0.04-0.38	0.6-7.5		0.13 0.01-0.09	Antarktis	Palmisano & Sullivan (1983)
			< 0.12-3.5	140 16.8-184		Antarktis	Cota & Sullivan (1990)
				57.5	0.07-0.37	Antarktis	Sullivan et al. (1985)
				20-157	0.15-0.8	Antarktis	Cota & Smith (1991)
						Antarktis	Archer et al. (1996)
						Arktis	Clasby et al. (1973)
						Arktis	Cota et al. (1987)
						Arktis	Irwin (1990)
						Arktis	Hegseth (1992)
						Arktis	Smith & Herman (1991)
						Arktis	Smith & Herman (1992)
						Arktis	Cota (1985)
						Arktis	Bates & Cota (1986)
						Arktis	Herman et al. (1993)
						Arktis	Smith et al. (1988)
						Arktis	Cota & Horne (1989)
						Arktis	Bergmann et al. (1991)
						Arktis	Horner & Schrader (1982)
						Arktis	Alexander et al. (1974)
						Arktis	Welch & Bergmann (1989)
						Arktis	Cota & Smith (1991)
						Arktis	Gilstad & Sakshaug (1990)
						Arktis	Booth (1984)
						Arktis	Gosselin et al. (1997)
						Arktis	Gosselin et al. (1986)
					Arktis	Diese Arbeit	
	0.11-0.32	1.8-5.2	0.03-0.40	0.25-2.55	0.01-0.20	Antarktis	Arrigo et al. (1997)
	0.002-0.150*			45		Arktis	Diese Arbeit
<i>Intern</i>	0.006-0.230*		0.01-0.90	0.25-7.11	0.01-0.50	Antarktis	
						Arktis	

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß der Frühjahrsbedingungen im Eis des Barentsmeeres und der Grönland-See auf die Kohlenstoffproduktion und das Wachstum arktischer Meereisalgengemeinschaften untersucht. Die Probennahme und die *in situ* Messungen erfolgten während der F.S. "Polarstern" - Expedition ARK XIII/1 (a+b) (14.5. bis 24.6. 1997) in die beiden Meeresgebiete.

Um die abiotischen und biotischen Bedingungen im Eis zu erfassen, wurden auf mehreren Stationen Messungen der einfallenden photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) über und unter dem Eis durchgeführt sowie Oberflächenmessungen von UV-A - und UV-B - Strahlung. Desweiteren wurde regelmäßig auf jeder Station die *in situ* Eistemperatur erfaßt, die Eisdicke, die Salinität des Eises, die Konzentration der gelösten Nährsalze (NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4 , SiO_4) und die Chlorophyll *a* - Konzentrationen. Zudem erfolgten Messungen des pH - Wertes der Sole und der partikulären organischen Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentration des Eises. Weiterführend wurde für die Orte der Primärproduktionsmessungen das Artenspektrum, die Abundanz und Biomasse der Algengemeinschaften erfaßt. Auf der Basis der PAR-, Eistemperatur- und Salinitäts-Daten erfolgten Berechnungen zu den PAR - Intensitäten im Inneren des Eises, dem Solegehalt und der Solesalinität.

Die Bearbeitung der Fragestellung erfolgte an je zwei repräsentativen Eisstationen im ein- und mehrjährigen Meereis der beiden Untersuchungsgebiete. Zur Schaffung der methodischen Grundlage für die *in situ* Primärproduktionsmessung wurde eine neue Technik entwickelt, die es ermöglicht, repräsentative und gut reproduzierbare *in situ* Messungen im Eis durchzuführen. Mit Hilfe der anderen Parameter konnte die Produktion und das Wachstum der Algengemeinschaften im ein- und mehrjährigen Eis interpretiert werden.

Die so bestimmten Produktionsraten schwankten zwischen 0.02 und 7.60 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$. Maximale Werte wurden generell auf jeder Station im untersten Zentimeter Eis gemessen. Mit zunehmender Entfernung von der Eis - Wasser - Grenzfläche verringerte sich die Produktion und erreichte im Inneren des Eises die tiefsten Werte. Die Ursachen dieser vertikalen Produktionsgradienten, die konträr zu den Lichtgradienten verlaufen, sind hauptsächlich die Konzentrationen an gelösten Stickstoffnährsalzen, die Solesalinität und die Größe des Porenraumes, der zur Besiedlung der Algen zur Verfügung steht.

Der unterste Zentimeter des Eises innerhalb der "skeletal layer" ist der ideale Besiedlungsort, da hier ein größerer Porenraum zur Verfügung steht, die Solesalinitäten ähnlich denen des darunter befindlichen Meerwassers sind und eine wahrscheinlich ausreichende Nährsalzversorgung durch diffusiven und turbulenten Transport aus dem Meerwasser gewährleistet ist. Aus diesen Gründen kann es hier zu einer großen Biomasseakkumulation von Algen kommen.

8 Literaturverzeichnis

- Ackermann NL, Shen HT, Sanders BE (1990) Sediment enrichment of coastal ice covers. In: Proceedings of the International Association of Hydraulic Research Ice Symposium, Espoo, Finland, p 86-96
- Ackley SF, Sullivan CW (1994) Physical controls on the development and characteristics of Antarctic sea ice biological communities - a review and synthesis. *Deep Sea Res* 41(10):1583-1604
- Ackley SF, Dieckmann G, Shen HT (1987) Algal and foram incorporation into new sea ice. *EOS* 68, 1736
- Alexander V (1980) Interrelationships between the seasonal sea ice and biological regimes. *Cold Reg Sci Tech* 2: 157-178
- Alexander V, Horner R, Clasby RC (1974) Metabolism of Arctic sea ice organisms. Report R74-4, Institute of Marine Science, University of Alaska, Fairbanks, p 1-120
- Allredge AL (1979) The chemical composition of macroscopic aggregates in two neretic seas. *Limnol Oceanogr* 24: 855-866
- Andersen OGN (1977) Primary production associated with sea ice at Godhaven Disko, Wasr Greenland. *Ophelia* 16: 205-220
- Andriashev AP (1968) The problem of the life community associated with the Antarctic fast ice. In: Currie RI (ed) Symposium on Antarctic Oceanography. Scott Polar Res Inst, Cambridge, p 147-155
- Antia NJ, McAllister CD, Parsons TR, Stephens K, Strickland JDH (1963) Further measurements of primary production using a large-volume plastic sphere. *Limnol Oceanogr* 8: 166-183
- Apollonio S (1965) Chlorophyll in Arctic sea ice. *Arctic* 18: 118-122
- Apollonio S (1985) Arctic marine phototrophic systems: functions of sea ice stabilization. *Arctic* 38(3): 167-173
- Arar EJ, Collins GB (1992) In vitro determination of chlorophyll *a* and phaeophytin *a* in marine and freshwater phytoplankton by fluorescence. Method 445.0 In: USEPA (eds) Methods for the determination of chemical substances in marine and estuarine environmental samples EPA. Cincinnati, OH
- Archer SD, Leakey RJG, Burkill PH, Sleigh MA, Appleby CJ (1996) Microbial ecology of sea ice at a coastal Antarctic site: community composition, biomass and temporal change. *Mar Ecol Prog Ser* 135: 179-195
- Arrigo KR, Worthen DL, Lizotte MP, Dixon P, Dieckmann G (1997) Primary production in Antarctic sea ice. *Science* 276: 394-397
- Assur A (1958) Composition of sea ice and its tensile strength. In: National Academy of Sciences (ed) Arctic Sea Ice. National Research Council publ 598, Washington DC, p 106-138
- Azam F, Fenchel T, Field JG, Gray JS, Meyer-Reil LA, Thingstad F (1983) The Ecological Role of Water-Column Microbes in the Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 10: 257-263
- Baltic Marine Environment Protection Commission (1989) Guidelines for the Baltic Monitoring Programm for the third stage part D. Biological Determinands. Baltic Sea Environment Proceedings No. 27 D, Helsinki
- Barlow RG, Mantoura RFC, Gough MA, Filman TW (1993) Phaeopigment distribution during the 1990 spring bloom in the northeastern Atlantic. *Deep-Sea Res* 40 (11/12): 2229-2242
- Bartsch A (1989) Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten. *Ber Polarforsch* 63: 1-110
- Bates SS, Cota GF (1986) Fluorescence induction and photosynthetic response of Arctic ice algae to sample treatment and salinity. *J Phycol* 22: 421-429
- Bergmann MA, Welch HE, Butler-Walker JE, Sifferd TD (1991) Ice algal photosynthesis at Resolute and Saqvaquac in the Canadian Arctic. *J Mar Syst* 2 (1-2): 43-52
- Booth JA (1984) The epontic algal community of the ice edge zone and its significance to the Davis Strait ecosystem. *Arctic* 37 (3): 234-243
- Booth BC (1987) The use of autofluorescence for analyzing oceanic phytoplankton communities. *Botanica Marina* 30: 101-108
- Bradstreet MS, Cross WE (1982) Trophic relationships at high arctic ice edges. *Arctic* 35 (1): 1-12
- Brown J, Colling A, Park D, Phillips J, Rothery D, Wright J (1989) OCEAN CHEMISTRY AND DEEP-SEA SEDIMENTS. Pergamon, Oxford

- Buckley RG, Trodahl HJ (1987) Scattering and absorption of visible light by sea ice. *Nature* 326: 867-869
- Buinitzky VK (1977) Organic life in sea ice. In: Dunbar MJ (ed) *Polar Oceans Arc Inst N Amer*, Calgary, p 301-306
- Bunch JN, Harland RC (1990) Bacterial production in the bottom surface of sea ice in the Canadian Subarctic. *Can J Fish Aqua Sci* 47: 1986-1995
- Bunt JS (1968) Some characteristics of microalgae isolated from Antarctic sea ice. *Antarct Res Ser* 11: 1-14
- Carey AG (1985) Marine ice fauna: Arctic. In: Horner R (ed) *Sea ice biota*. Boca Raton, Florida, p 173-190
- Carey AG, Montagna PA (1982) Arctic sea ice faunal assemblage: First approach to description and source of the underice meiofauna. *Mar Ecol Prog Ser* 8: 1-8
- Clasby RC, Horner R, Alexander V (1973) An in situ method for measuring primary production of Arctic sea ice algae. *J Fish Res Board Canada* 30: 635-638
- Clasby RC, Alexander V, Horner R (1976) Primary productivity in sea-ice algae. In: Hood DW, Burrell DC (eds) *Assessment of the arctic marine environment: selected topics*. Institute of Marine Science, University of Alaska, Fairbanks, p 289
- Coleman JR, Coleman B (1981) Inorganic carbon accumulation and photosynthesis in a blue-green alga as a function of external pH. *Plant Phys* 67: 917-921
- Colony R, Thorndike AS (1985) Sea ice motion as a drunkard's walk. *J Geophys Res* 90 (C1): 965-974
- Cota GF (1985) Photoadaptation of high Arctic ice algae. *Nature* 315: 219-222
- Cota GF, Horne EPW (1989) Physical control of Arctic ice algal production. *Mar Ecol Prog Ser* 52: 111-121
- Cota GF, Smith REH (1991) Ecology of bottom ice algae: III. Comparative physiology. *J Mar Syst* 2: 297-315
- Cota GF, Sullivan CW (1990) Photoadaptation, growth and production of bottom ice algae in the Antarctic. *J Phycol* 26: 399-411
- Cota GF, Prinsenberg SJ, Bennett EB, Loder JW, Lewis MR, Anning JL, Watson NHF (1987) Nutrient fluxes during extended blooms of Arctic ice algae. *J Geophys Res* 92(C2): 1951-1962
- Cota GF, Legendre L, Gosselin M, Ingram RG (1991) Ecology of bottom ice algae. I. Environmental controls and variability. *J Mar Syst* 2: 257-277
- Cox GFN, Weeks WF (1983) Equations for determining the gas and brine volumes in sea-ice samples. *J Glaciol* 29: 306-316
- Cox GFN, Weeks WF (1988) Numerical simulations of the profile properties at undeformed first-year ice during growth season. *J Geophys Res* 93: 3581-3585
- Crawford RM, Gardner C, Medlin LK (1994) The genus *Attheya*. I. A description of four new taxa, and the transfer of *Gonioceros septentrionalis* and *G. armatus*. *Diatom Res* 9 (1): 27-51
- Daley RJ (1973) Experimental characterization of lucastrine chlorophyll diagenesis: II Bacterial, viral and herbivore grazing effects. *Arch Hydrobiol* 72: 409-439
- Davis NR, Wadhams P (1995) A statistical analysis of Arctic pressure ridge morphology. *J Geophys Res* 100 (C6): 10915-10925
- Demers S, Legendre L, Maestrini SY, Rochet M, Ingram RG (1989) Nitrogenous Nutrition of Sea-Ice Microalgae. *Polar Biol* 9: 377-383
- Dieckmann GS, Spindler M, Lange MA, Ackley SF, Eicken H (1991) Antarctic sea ice: A habitat for the foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma*. *J Foram Res* 21: 184-191
- Dietrich G, Kalle K, Krauss W, Siedler G (1975) *Allgemeine Meereskunde*. Gebrüder Borntraeger, Berlin
- Edler L, (1979) Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea: Phytoplankton and Chlorophyll. *The Baltic Mar Biol Publ* 5: 1-38
- Ehrenberg CG (1841) Ein Nachtrag zu dem Vortrag über Verbreitung und Einfluß des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-Amerika. *Monatsber Dtsch Akad Wiss, Berlin*, p 202-207
- Ehrenberg CG (1853) Über neue Anschauungen des kleinsten nördlichen Polarlebens. *Monatsber Dtsch Akad Wiss Berlin* 522
- Eicken H (1992) The role of sea ice in structuring Antarctic ecosystems. *Polar Biol* 12: 3-13
- Eicken H (1995) Wie polar wird ein Polarmeer durch das Meereis? In: Hempel I, Hempel G (eds) *Biologie der Polarmeere*. Gustav Fischer, Jena, p 58-76
- Eicken H, Lange MA (1989) Development and properties of sea ice in the coastal regime of the southeastern Weddell Sea. *J Geophys Res* 94 (C6): 8193-8206

- Eicken H, Lensu M, Leppäranta M, Tucker III WB, Gow AJ, Salmela O (1995) Thickness, structure, and properties of level summer multiyear ice in the Eurasian sector of the Arctic Ocean. *J Geophys Res* 100 (C11): 22697-22710
- Eide LI, Martin S (1975) The formation of brine drainage features in young sea ice. *J Glaciol* 14: 137-154
- Emery WJ, Meincke J (1986) Global water masses: summary and review. *Oceanol Acta* 9 (4): 383-391
- Fiala M, Oriol L (1990) Light-temperature interactions on the growth of Antarctic diatoms. *Polar Biol* 10: 629-636
- Frankenstein G, Garner R (1967) Equations for determining the brine volume of sea ice from -0.5°C to -22.9°C . *J Glaciol* 6: 943-944
- Friedrich C (1997) Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises. *Ber Polarforsch* 246: 1-211
- Fuhrman JA, Azam F (1982) Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: evaluation and field results. *Mar Biol* 66: 109-120
- Garrison DL, Buck KR (1986) Organism losses during ice melting: a serious bias in sea ice community studies. *Polar Biol* 6: 237-239
- Gilmour DJ, Hipkins MF, Boney AD (1984) The effect of decreasing the external salinity on the primary processes of photosynthesis in *Dunaliella tertiolecta*. *J Exp Bot* 35: 28-35
- Gilstad M, Sakshaug E (1990) Growth rates of ten diatom species from the Barents Sea at different irradiances and day lengths. *Mar Ecol Prog Ser* 64: 169-173
- Gleitz M, Kirst GO (1991) Photosynthesis-irradiance relationship and carbon metabolism of different ice algal assemblages collected from Weddell Sea pack ice during austral spring (EPOS 1). *Polar Biol* 11: 385-392
- Gleitz M, Rutgers v d Loeff M, Thomas DN, Dieckmann GS, Millero FJ (1995) Comparison of summer and winter inorganic carbon, oxygen and nutrient concentrations in Antarctic sea ice brine. *Mar Chem* 51: 81-91
- Gleitz M, Kukert H, Riebesell U, Dieckmann GS (1996) Carbon acquisition and growth of Antarctic sea ice diatoms in closed bottle incubations. *Mar Ecol Prog Ser* 135: 169-177
- Gordon DC (1970) Some studies on the distribution and composition of particulate organic carbon in the North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res* 17: 233-243
- Gosselin M, Legendre L, Demers S, Ingram RG (1985) Responses of sea ice microalgae to climatic and fortnightly tidal energy inputs (Manitounuk Sound, Hudson Bay). *Can J Fish Aquat Sci* 42: 999-1006
- Gosselin M, Legendre L, Therriault JC, Demers S, Rochet M. (1986) Physical control of the horizontal patchiness of sea-ice microalgae. *Mar Ecol Prog Ser* 29: 289-298
- Gosselin M, Legendre L, Therriault JC, Demers S (1990) Light and nutrient limitation of sea ice microalgae. *J Phycol* 26: 220-232
- Gosselin M, Levasseur M, Wheeler PA, Horner RA, Booth BC (1997) New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean. *Deep-Sea Res.* 44 (8): 1623-1644
- Gradinger R (in prep.) Biomass and Composition of Arctic pack ice algal communities.
- Gradinger & Ikävalko (in press) Organism incorporation into newly forming Arctic sea ice in the Greenland Sea. *J Plankton Res*
- Gradinger R, Lenz J (1995) Seasonal occurrence of picocyanobacteria in the Greenland Sea and central Arctic Ocean. *Polar Biol* 15: 447-452
- Gradinger R, Zhang Q (1997) Vertical distribution of bacteria in Arctic sea ice from the Barents and Laptev Seas. *Polar Biol* 17: 448-454
- Gradinger R, Spindler M, Henschel D (1991) Development of Arctic sea-ice organisms under graded snow cover. *Polar Res* 10: 295-308
- Gradinger R, Spindler M, Weissenberger J (1992) On the structure and development of Arctic pack ice communities in Fram Strait: a multivariate approach. *Polar Biol* 12: 727-733
- Gradinger R, Friedrich C, Spindler M (subm.) The sea ice biota of the Greenland Sea pack ice. *Deep-Sea Res*
- Grainger EH, Hsiao IC (1990) Trophic relationships of the sea ice meiofauna in Frobisher Bay, Arctic Canada. *Polar Biol* 10: 283-292
- Gran HH (1904) Diatomaceae from the ice-floes and plankton of the Arctic Ocean. *Norw North Polar Exped 1893-1896 Scient Res* 11: 1-74
- Grant WS, Horner RA (1976) Growth responses to salinity variation in four Arctic ice diatoms. *J Phycol* 12: 180-185

- Grasshoff K, Ehrhardt M, Kremling K (1983) *Methods of seawater analyses*. Verlag Chemie, Weinheim
- Grossi SMcG, Kottmeier ST, Moe RL, Taylor GT, Sullivan CW (1987) Sea ice microbial communities. VI. Growth and primary production in bottom ice under graded snow cover. *Mar Ecol Prog Ser* 35: 153-164
- Grossmann S, Dieckmann GS (1994) Bacterial standing stock, activity and carbon production during formation and growth of sea ice in the Weddell Sea, Antarctica. *Appl Environ Microbiol* 60: 2746-2753
- Hällfors G, Melvasalo T, Niemi A, Viljamaa H (1979) Effect of different fixatives and preservatives on phytoplankton counts. *Eripianos* 34: 25-34
- Hegseth EN (1992) Sub-ice algal assemblages of the Barents Sea: Species composition, chemical composition, and growth rates. *Polar Biol* 12: 485-496
- Helbling EW, Villafane VE, Ferrario M, Holm-Hansen O (1992) Impact of natural ultraviolet radiation on rates of photosynthesis and on specific marine phytoplankton species. *Mar Ecol Prog Ser* 80: 89-100
- Helmke E, Weyland H (1995) Bacteria in sea ice and underlying water of the eastern Weddell Sea in midwinter. *Mar Ecol Prog Ser* 117: 269-287
- Herman AW, Knox DF, Conrad J, Mitchell MR (1993) Instruments for measuring subice algal profiles and productivity in situ. *Can J Fish Aquat Sci* 50: 359-369
- Holm-Hansen O, Sutcliffe WH, Sharp J, Sharp Jr (1968) Measurement of deoxyribonucleic acid in the ocean and its ecological significance. *Limnol Oceanogr* 13: 507-514
- Hooker JD (1847) *The botany of the antarctic voyage of HM Discovery ships Erebus and Terror in the years 1835-1843*. Vol 1 Cramer J, Weinheim, p 503-519
- Horner R (1985) *Sea ice biota*. CRC, Boca Raton, Florida
- Horner R (1990a) Ice-associated ecosystems. In: Medlin LK, Priddle J (eds) *Polar marine diatoms*. British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council, Cambridge, p 9-14
- Horner R (1990b) Techniques for sampling sea ice algae. In: Medlin LK, Priddle J (eds) *Polar marine diatoms*. British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council, Cambridge, p 19-24
- Horner R, Alexander V (1972) Algal populations in arctic sea ice: an investigation of heterotrophy. *Limnol Oceanogr* 17: 454-458
- Horner R, Schrader GC (1982) Relative contribution of ice algae, phytoplankton, and benthic microalgae to primary production in nearshore regions of the Beaufort Sea. *Arctic* 35(4): 485-503
- Horner R, Ackley SF, Dieckmann GS, Gulliksen B, Hoshiai T, Legendre L, Melnikov IA, Reeburgh WS, Spindler M, Sullivan CW (1992) Ecology of sea ice biota. 1. Habitat, terminology, and methodology. *Polar Biol* 12: 417-427
- Hsiao SIC (1988) Spatial and seasonal variations in primary production of sea ice microalgae and phytoplankton in Frobisher Bay, Arctic Canada. *Mar Ecol Prog Ser* 44: 275-285
- Hsiao SIC (1992) Dynamics of ice algae and phytoplankton in Frobisher Bay. *Polar Biol* 12: 645-651
- Husted F (1966) *Die Kieselalgen*. Rabenhorsts Kryptogamenflora. Akad Verl, Leipzig
- Ikävälko J, Gradinger R (1997) Flagellates and heliozoans in the Greenland Sea ice studied alive using light microscopy. *Polar Biol* 17: 473-481
- Irwin BD (1990) Primary production of ice algae on a seasonally-ice covered, continental shelf. *Polar Biol* 10: 247-254
- Jones EP, Coote AR (1981) Oceanic CO₂ Produced by the Precipitation of CaCO₃ From Brines in Sea Ice. *J Geophys Res* 68 (C11): 11041-11043
- Kirst GO, Wiencke C (1995) Ecophysiology of polar algae. *J Phycol* 31: 181-199
- Kottmeier ST, Sullivan CW (1988) Sea ice microbial communities (SIMCO). 9. Effects of temperature and salinity on rates of metabolism and growth of autotrophs and heterotrophs. *Polar Biol* 8: 293-304
- Lake RA, Lewis EL (1970) Salt rejection by sea ice during growth. *J Geophys Res* 75 (3): 583-597
- Lange MA, Eicken H (1991) Textural characteristics of sea ice and the major mechanisms of ice growth in the Weddell Sea. *Ann Glaciol* 15: 210-215
- Lange MA, Ackley SF, Wadhams P, Dieckman GS, Eicken H (1989) Development of sea ice in the Weddell Sea, Antarctica. *Ann Glaciol* 12: 92-96
- Laurion I, Demers S, Vézina AF (1995) The microbial food web associated with the ice algal assemblage: biomass and bacterivory of nanoflagellate protozoans in Resolute Passage (High Canadian Arctic). *Mar Ecol Prog Ser* 120: 77-87
- Legendre L, Ingram RG, Poulin M (1981) Physical Control of Phytoplankton Production under Sea Ice (Manitounuk Sound, Hudson Bay). *Can J Fish Aquat Sci* 38: 1385-1392

- Leppäranta M, Manninen T (1988) The brine and gas content of sea ice with attention to low salinities and high temperatures. Finn Inst Mar Res Internal Rep 2: 1-14
- Lewis EL, Perkin RG (1986) Ice Pumps and Their Rates. J Geophys Res 91: 11756-11762
- Lorenzen CJ (1967) Vertical distribution of chlorophyll and phaeo-pigments: Baja California. Deep-Sea Res 14: 735-745
- Maestrini SY, Rochet M, Legendre L, Demers S (1986) Nutrient limitation of the bottom-ice microalgae biomass (southern Hudson Bay, Canadian Arctic). Limnol Oceanogr 31 (5): 969-982
- Mann HB, Whitney DR (1947) On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. Ann Math Statist 18: 50-60
- Martin S (1974) Ice stalactites: Comparison of a laminar flow theory with experiment. J Fluid Mech 63: 51-79
- Martin S (1979) A field study of brine drainage and oil entrainment in first-year sea ice. J Glaciol 22 (88): 473-502
- Maykut GA (1985) The ice environment. In: Horner R (ed) Sea ice biota. CRC, Boca Raton, Florida, p 21-82
- Medlin LK, Priddle J (1990) Polar marine diatoms. British Antarctic Survey, Cambridge
- Meguro H, Ito K, Fukushima H (1966) Diatoms and the ecological conditions of their growth in sea ice in the Arctic Ocean. Science 152: 1089-1090
- Meguro H, Ito K, Fukushima H (1967) Ice flora (bottom type): a mechanism of primary production in polar seas and the growth of diatoms in sea ice. Arctic 20: 114-133
- Melnikov I (1995) An in situ experimental study of young sea ice formation on an Antarctic lead. J Geophys Res 100 (C3): 4673-468
- Michel CL, Legendre L, Demers S, Therriault JC (1988) Photoadaptation of sea ice microalgae in springtime: Photosynthesis and carboxylating enzymes. Mar Ecol Prog Ser 50: 177-185
- Michel CL, Legendre L, Therriault JC, Demers S (1989) Photosynthetic responses of Arctic sea ice microalgae to short term temperature acclimation. Polar Biol 9: 437-442
- Mitchell C, Beardall J (1996) Inorganic carbon uptake by an Antarctic sea-ice diatom, *Nitzschia frigida*. Pol Biol 16: 95-99
- Mock T, Meiners KM, Giesenhagen HC (1997) Bacteria in sea ice and underlying brackish water at 54°26'50"N (Baltic Sea, Kiel Bight). Mar Ecol Prog Ser 158: 23-40
- Mohr H, Schopfer P (1992) Pflanzenphysiologie, Springer, Berlin
- Muench RD, Ahlmas K (1976) Ice movement and distribution in the Bering Sea from March to June. J Geophys Res 81: 4467
- Nansen F (1898) Farthest North. Harper & Brothers, London
- Niedrauer TM, Martin S (1979) An experimental study of brine drainage and convection in young sea ice. J Geophys Res 84: 1179-1186
- Norrman B, Andersson A (1994) Development of ice biota in a temperate sea area (Gulf of Bothnia). Polar Biol 14: 531-537
- Nöthig EM, Bathmann U, Jennings JC, Fahrbach E, Gradinger R, Gordon LI, Makarov R (1991) Regional relationships between biological and hydrographical properties in the Weddell Gyre in late austral winter 1989. Mar Chem 35: 325-336
- Osterkamp TE, Gosink JP (1984) Observations and analysis of sediment laden sea ice. In: Barnes PW, Scholl DM, Reimnitz E (eds) The Alaska Beaufort Sea: Ecosystems and Environments. Academic Press, San Francisco, CA, p 73-94
- Overgaard S, Wadhams P, Leppäranta M (1983) Ice properties in the Greenland and Barents Seas during summer. J Glaciol 29: 142-164
- Palmisano AC, Garrison, DL (1993) Microorganisms in Antarctic sea ice. In: Friedmann EI (ed) Antarctic Microbiology. Wiley, New York, p 167-218
- Palmisano AC, Sullivan CW (1983) Sea ice microbial communities (SIMCO). I. Distribution, abundance and primary production of ice microalgae in McMurdo Sound, Antarctica in 1980. Polar Biol 2: 171-177
- Palmisano AC, Kottmeier ST, Moe RL, Sullivan CW (1985) Sea ice microbial communities. IV: The effect of light perturbation on microalgae at the ice-seawater interface in McMurdo Sound, Antarctica. Mar Ecol Prog Ser 21: 37-45
- Palmisano AC, Beeler Soohoo J, Sullivan CW (1987) Effects of four environmental variables on photosynthesis-irradiance relationships in Antarctic sea-ice microalgae. Mar Biol 94: 299-306
- Parsons TR, Takahashi M, Hargrave B (1984) Biological Oceanographic Processes. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford
- Perovich DK (1990) Theoretical estimates of light reflection and transmission by spatially complex and temporally varying sea ice covers. J Geophys Res 95: 9557-9567

- Perovich DK (1993) A Theoretical Model of Ultraviolet Light Transmission Through Antarctic Sea Ice. *J Geophys Res* 98 (C12): 22579-22587
- Perovich DK, Gow AJ (1991) A statistical description of the microstructure of young sea ice. *J Geophys Res* 96: 16943-16953
- Pett JR, Vickers GP, Acreman JC, Ethier AG (1983) A seasonal study of epontic and planktonic communities near the Issungnak artificial island and McKinley Bay in the Canadian Beaufort Sea. Contract ISZ81-00026 for Department of Supply and Services Canada by Arctic Laboratories Ltd, Sidney
- Pomeroy LR, Macko SA, Ostrom PH, Dunphy J (1990) The microbial food web in Arctic seawater: concentration of dissolved free amino acids and bacterial abundance and activity in the Arctic Ocean and in Resolute Passage. *Mar Ecol Prog Ser* 61: 31-40
- Poulin M, Cardinal A, Legendre L (1983) Réponse d'une communauté de diatomées de glace à un gradient de salinité (baie d'Hudson). *Mar Biol (Berl)* 76: 191-20
- Quillfeld CH von (1997) Distribution of diatoms in the Northeast Water Polynia, Greenland. *J Mar Syst* 10: 211-240
- Redfield AC, Ketchum BH, Richard FA (1963) The influence of organisms on the composition of sea water. In: Hill MN (ed) *The sea*. Wiley, New York, p 26-77
- Riemann B, Björnsen PK, Newell S, Fallon R (1987) Calculation of cell production of coastal marine bacteria based on measured incorporation of [³H]thymidine. *Limnol Oceanogr* 32: 471-476
- Runge JA, Therriault JC, Legendre L, Ingram RG, Demers S (1991) Coupling between ice microalgal productivity and the pelagic, metazoan food web in southeastern Hudson Bay: a synthesis of results. In: Sakshaug E, Hopkins CCE, Oritsland NA (eds) *Proceedings of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Ecology*, Trondheim, 12-16 May 1990. *Polar Res* 10 (2): 325-338
- Sachs L (1984) *Angewandte Statistik*, Springer, Berlin
- Sakshaug E (1989) The physical ecology of polar phytoplankton. In: Rey L, Alexander V (eds) *Proceedings of the 6th Conference of the Comité Arctique International*. Brill, Leiden, p 61-89
- Sakshaug E, Andresen K, Kiefer DA (1989) A steady state description of growth and light absorption in the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Limnol Oceanogr* 34: 198-205
- Schrader GC, Horner R, Smith GF (1982) An improved chamber for in situ measurement of primary productivity by sea ice algae. *Can J Fish Aquat Sci* 39: 522-524
- Shen HT, Ackermann NL (1990) Wave induced sediment enrichment in coastal ice covers. In: *Proceedings of the WF Weeks Sea Ice Symposium*. US Army Cold Regions Res and Eng Lab Monograph 90-1, Hanover, NH, p 100-102
- Sherr BF, Sherr EB, Fallon RD (1987) Use of monodispersed fluorescently labeled bacteria to estimate in situ protozoan bacterivory. *Appl Environ Microbiol* 53: 958-965
- Simon M, Azam F (1989) Protein content and protein synthesis rates of planktonic marine bacteria. *Mar Ecol Prog Ser* 51: 201-213
- Smith REH, Herman AW (1991) Productivity of sea ice algae: In situ vs. incubator methods. *J Mar Syst* 2: 97-110
- Smith REH, Herman AW (1992) In situ patterns of intracellular photosynthate allocation by sea ice algae in the Canadian High Arctic. *Polar Biol* 12: 545-551
- Smith JC, Platt T, Li WKW, Horne EPW, Harrison WG, Subba Rao DV, Irwin BD (1985) Arctic marine photoautotrophic picoplankton. *Mar Ecol Prog Ser* 20: 207-220
- Smith REH, Clement PC, Cota GF, Li WKW (1987) Intracellular photosynthate allocation and the control of Arctic marine ice algal production. *J Phycol* 23: 124-132
- Smith REH, Anning J, Clement P, Cota G (1988) Abundance and production of ice algae in Resolute Passage, Canadian Arctic. *Mar Ecol Prog Ser* 48: 251-263
- Smith REH, Clement P, Head E (1989) Biosynthesis and photosynthate allocation patterns of Arctic ice algae. *Limnol Oceanogr* 34: 591-605
- Smith REH, Harrison WG, Harris LR, Herman AW (1990) Vertical Fine Structure of Particulate Matter and Nutrients in Sea Ice of the High Arctic. *Can J Fish Aquat Sci* 47: 1348-1355
- Sommer U (1994) *Planktologie*. Springer, Berlin
- SooHoo JB, Kiefer DA (1982) Vertical distribution of phaeopigments. I. A simple grazing and photooxidative scheme for small particles. *Deep-Sea Res* 29: 1539-1551
- SooHoo JB, Lizotte MP, Robinson DH, Sullivan CW (1987) AMERIEZ 1986: Photoadaptation of phytoplankton and light limitation of primary production in the ice-edge zone of the Weddell Sea. *Ant JUS*, p 185-187

- Spindler M (1990) A comparison of Arctic and Antarctic sea ice and the effects of different properties on sea ice biota. In: Bleil U, Thiede J (eds) Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic. Kluwers Academic Publishers, p 173-186
- Spindler M (1994) Notes on the biology of sea ice in the Arctic and Antarctic. *Polar Biol* 14: 319-324
- Spindler M, Dieckmann GS (1986) Distribution and abundance of the planktic foraminifer *Neoglobobulimina pachyderma* in sea ice of the Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biol* 5: 185-191
- Steele M, Thomas D, Rothrock D, Seely M (1996) A simple model study of the Arctic Ocean freshwater balance, 1979-1985. *J Geophys Res* 101 (C9): 20833-20848
- Steemann Nielsen E (1958) Experimental methods for measuring organic production in the sea. *Rapp Proc-Verb Cons Int Explor Mer* 144: 38-46
- Strickland JDH, Parsons TR (1972) A practical handbook of seawater analysis. Fish Res Bd, Canada
- Stumm W, Morgan JJ (1981) Aquatic Chemistry. John Wiley, New York
- Sullivan CW, Palmisano AC, Kottmeier S, McGrath Grossi S, Moe R (1985) The influence of light on growth and development of the sea-ice microbial community in McMurdo Sound. In: Siegfried WR, Condy PR, Laws RM (eds) Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer, Berlin, p 78-83
- Syvertsen EE, Kristiansen S (1993) Ice algae during EPOS, leg 1: assemblages, biomass, origin and nutrients. *Polar Biol* 13: 61-65
- Thomas DN, Baumann MEM, Gleitz M (1992) Efficiency of carbon assimilation and photoacclimation in a small unicellular *Chaetoceros* species from the Weddell Sea (Antarctica): influence of temperature and irradiance. *Exp Mar Biol Ecol* 157: 195-209
- Thomas DN, Lara RJ, Eicken H, Kattner G, Skoog A (1995) Dissolved organic matter in Arctic multi-year sea ice during winter: major components and relationship to ice characteristics. *Polar Biol* 15: 477-483
- Thronsdon J (1970) Flagellates in Arctic waters. *Nytt Mag Bot* 17: 49-57
- Thronsdon J (1974) Planctonic choanoflagellates from North Atlantic waters. *Sarsia* 56: 95-122
- Tilzer MM, Dubinski Z (1987) Effects of temperature and day length on the mass balance of Antarctic phytoplankton. *Polar Biol* 7: 35-42
- Tomczak M, Godfrey JS (1994) Regional Oceanography: An Introduction. Pergamon, Oxford
- Untersteiner N (1961) On the mass and heat budget of Arctic sea ice. *Arch Meteorol Geophys Bioklimatol Ser A* 12: 151-182
- Untersteiner N (1968) Natural desalination and equilibrium salinity profile of perennial sea ice. *J Geophys Res* 73 (4): 1251-1257
- Utermöhl H (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt Int Ver Theor Angew Limnol* 9: 1-38
- Vargo GA, Fanning K, Bell L (1986) Growth rates and the salinity response of an Antarctic ice microflora community. *Polar Biol* 5: 241-247
- Venrick EL (1978) How many cells to count? In: Sourin A (ed) Phytoplankton manual. UNESCO Monogr Oceanogr Methodol 6: 167-180
- Villafane VE, Helbling EW, Holmhansen O, Chalker BE (1995) Acclimatization of Antarctic natural phytoplankton assemblages when exposed to solar ultraviolet radiation. *J Plankton Res* 17 (12): 2295-2306
- Walsh JE, Johnson CE (1979) An analysis of arctic sea ice fluctuations, 1953-77. *J Phys Oceanogr* 9: 580
- Weeks WF, Ackley SF (1982) The growth, structure and properties of sea ice. *CRREL Monogr* 82: 1-116
- Weeks WF, Ackley SF (1986) The growth, structure and properties of sea ice. In: Untersteiner N (ed) The geophysics of sea ice. NATO ASI B146, New York, p 9-164
- Weissenberger J (1992) Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meereises. *Ber Polarforsch* 111: 1-159
- Welch HE, Bergmann MA (1989) Seasonal Development of Ice Algae and its Prediction from Environmental Factors near Resolute, N.W.T., Canada. *Can J Fish Aquat Sci* 46: 1793-1804
- Welschmeyer NA, Lorenzen CJ (1985) Chlorophyll budgets: zooplankton grazing and phytoplankton growth in a temperate fjord and the Central Pacific Gyres. *Limnol Oceanogr* 30: 1-21
- Werner I (1998) Grazing of Arctic under-ice amphipods on sea-ice algae. *Mar Ecol Prog Ser* 160: 93-99
- Wheeler PA, Gosselin M, Sherr E, Thibault D, Kirchner DL, Benner R, Whittledge TE (1996) Active cycling of organic carbon in the central Arctic Ocean. *Nature* 380: 697-699

Wollenburg I (1993) Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht. Ber Polarforsch 127: 1-159

Zakharov VF (1976) Cooling of the Arctic and the ice cover of the arctic seas. AANII Trudy 37: 1-96

World Meteorological Organization (1985) WMO sea-ice nomenclature. WMO/DMM/BMO-259-TP-145, World Meteorol Org, Geneva

Danksagung

- Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Michael Spindler, der es mir ermöglicht hat, im Rahmen meiner Diplomarbeit an der F.S. "Polarstern" Expedition ARK XIII/1(a+b) teilzunehmen, für die Betreuung dieser Arbeit und die sehr guten Arbeitsbedingungen.
- Mein besonderer Dank gilt Dr. Rolf Gradinger, für die ausgezeichneten Ideen und Anregungen zu dieser Arbeit. Ohne seine in jeder Art großzügige Hilfe und Unterstützung wäre meine Arbeit in dieser Form nicht zustande gekommen.
- Ein großer Dank gilt Marita Krumbholz und Dr. Iris Werner, die mir bei der Bearbeitung der POC - Proben geholfen haben und Angela Lunau für die Messung der gelösten Nährsalze. Christopher Krembs danke ich herzlich für die konstruktiven Diskussionen und die Unterstützung in Form von Geräten.
- Für die gute Zusammenarbeit und Hilfe während der Expedition danke ich ferner Holger Auel, Helmut Beese, Bodil Bluhm, Gabriele Donner, Franziska Gutthann, Friederike Haaß, Dr. Olaf Haupt, Felix Janßen, Klaus Meiners, dem ich auch besonders für die Expeditionsplanung danke, Dr. Ilka Peeken, Tina Treude und Quing Zhang.
- Allen unzähligen Eisbärenwächtern sei besonders für ihre unermüdliche Aufmerksamkeit während der Eisstationen gedankt.
- Der Besatzung von F.S. "Polarstern" möchte ich für die sehr gute Zusammenarbeit und große Hilfsbereitschaft während der Expedition danken.
- Dr. Hanna Giesenhagen, Dr. Klaus Gocke und Regine Koppe aus der Mikrobiologischen Abteilung des IfM danke ich besonders für den unerschöpflichen Fundus an Materialien und Geräten und ihre allseits großzügige und herzliche Unterstützung bei Arbeiten am IfM.
- Herrn Uwe Rabsch danke ich herzlich für die Hilfe und sehr gute Zusammenarbeit im Isotopenlabor des IfM und Dr. Will Ritzrau für die Bereitstellung eines Mikroskopier-Arbeitsplatzes am Sonderforschungsbereich 313.
- In den letzten Tagen und Stunden dieser Arbeit verdanke ich es besonders Silke Lischka und Dorothee Stübing, daß auftauchende Layout-Probleme etc. sehr schnell verschwanden.
- Allen IPÖs und Mitarbeitern des Sonderforschungsbereiches 313 der Universität Kiel danke ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die vielen hilfreichen Tips und Anregungen.
- Für die großzügige finanzielle Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit sei dem SFB 313 gedankt.
- Ein liebes Dankeschön an Claudia Coenen für ihre vielfältige Unterstützung, Geduld und ihr Verständnis für diese Arbeit.
- Ebenso danke ich meinen Eltern, die es mir ermöglicht haben zu studieren, mich aber leider nicht mehr bis zum Ende meines Studiums begleiten konnten.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel "Ökologische Untersuchungen zur Frühjahrsentwicklung arktischer Meereisalgengemeinschaften" selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Mit der Einstellung dieser Arbeit in die Fachbibliothek Biologiezentrum bzw. des Institutes für Polarökologie sowie der Universitätsbibliothek der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bin ich einverstanden.

Kiel, den 5. Juni 1998

Fortsetzung Tabelle A.6: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	NH ₄	N0 ₃	N0 ₂	P0 ₄	Si0 ₄
Station 161					
0-10	0.06	1.27	0.28	0.02	1.05
10-20	0.02	0.36	0.04	0	0.19
20-30	0	0.19	0.03	0.01	0.23
30-40	0	0.33	0.02	0	0.49
40-50	0.01	0.3	0.02	0	0.59
50-60	0	0.28	0.02	0.01	0.57
60-70	0.03	0.3	0.01	0.01	0.57
70-80	0.03	0.31	0.02	0.01	0.63
80-90	0.03	0.33	0.01	0.01	0.55
90-100	0	0.2	0.01	0.01	0.65
100-110	0.13	0.33	0.03	0.01	0.86
110-120	0	0.42	0.08	0.01	0.98
120-130	0	0.33	0.02	0.01	1
130-140	0.06	0.32	0.03	0.01	1.8
140-150	0.01	0.13	0.03	0.01	0.94
150-160	0.03	0.27	0.04	0.01	0.9
160-170	0	0.35	0.03	0.01	1.08
170-180	0	0.37	0.01	0.01	0.38
180-190	0	0.35	0.01	0.01	0.38
190-200	0	0.34	0.02	0.01	0.41
200-210	0	0.35	0.02	0.01	0.36
210-220	0	0.36	0.02	0.01	0.29
220-230	0	0.37	0.02	0.01	0.33
230-240	0	0.42	0.01	0.01	0.36
240-250	0	0.43	0	0.01	0.29
250-260	0	0.45	0.01	0.01	0.27
260-270	0	0.62	0	0.01	0.34
270-278	0	0.81	0.01	0.01	0.51
278-284	9.27	0.98	0.01	0.02	0.92
284-286	0	1.02	0.01	0.02	0.48
286-287	0	0.41	0	0.02	0.53
287-288	0	0.45	0.01	0.01	0.61

Fortsetzung Tabelle A.6: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	NH ₄	N0 ₃	N0 ₂	P0 ₄	Si0 ₄
Station 167					
0-10	0.22	1.2	0.02	0.01	0.14
10-20	0.11	0.56	0.03	0.01	0.23
20-30	0	0.41	0.02	0.01	0.29
30-40	0.12	0.35	0.03	0.01	1.45
40-50	0	0.3	0.04	0.02	3.6
50-60	0.11	0.35	0.01	0.02	3.34
60-70	0.05	0.36	0	0.01	0.58
70-80	0.06	0.37	0.01	0.01	0.63
80-90	0	0.36	0.03	0.01	0.61
90-100	0	0.34	0.02	0.02	0.53
100-110	0.09	0.33	0.02	0.02	1.8
110-120	0.13	0.35	0.01	0.02	1.54
120-130	0.09	0.33	0.01	0.02	1.2
130-140	0.07	0.32	0.01	0.02	1.11
140-150	0.06	0.41	0.01	0.02	1.09
150-160	0.1	0.28	0.03	0.02	1.19
160-170	0.07	0.34	0.02	0.02	0.94
170-180	0.08	0.3	0.02	0.02	0.94
180-190	0.06	0.28	0.01	0.02	1.3
190-200	0.04	0.32	0.01	0.02	1.11
200-210	0.02	0.34	0.01	0.01	1.1
210-220	0	0.33	0.02	0.02	1.03
220-230	0.05	0.38	0.02	0.02	0.91
230-240	0.05	0.17	0.03	0.02	0.99
240-250	0.09	0.5	0.02	0.02	0.52
250-260	0.11	0.47	0.01	0.02	0.43
260-265	0	0.32	0	0.02	0.9
265-271	0	0.36	0	0.02	1.31
271-273	0	0.41	0.01	0.03	1.51
273-275	0	0.41	0.01	0.01	1.39

Tabelle A.7: Auf die Solesalinität normalisierte Nährsalzkonzentrationen [$\mu\text{mol l}^{-1}$]

Tiefe von unten [cm]	NH ₄	NO ₃	NO ₂	PO ₄	SiO ₄
Station 142					
62-122					
52-62	2.90	4.45	0	0	0.63
32-52					
22-32	1.37	3.04	0.09	0.17	0.24
10-22					
4-10	2.21	5.27	0.03	0.69	0.68
2-4	8.58	3.45	0.05	0.81	1.20
1-2	26.66	4.63	0	0	3.81
0-1	47.74	13.61	0.45	12.43	12.36
Station 150					
62-172					
52-62	6.66	1.40	0.19	1.38	7.60
42-52					
32-42	6.11	2.21	0.15	1.77	8.40
10-32					
4-10	5.18	1.08	0.18	1.28	3.77
2-4	6.35	8.06	0.32	1.74	5.12
0-2	9.97	6.30	0.29	2.65	7.79
Station 157					
64-294					
54-64	0	2.15	0	1.80	23.47
44-54					
34-44	0	2.82	0	1.35	8.94
10-34					
4-10	0	4.80	0	1.06	11.67
2-4	0	6.16	0	0.44	15.59
1-2	0	7.07	0.15	0	21.11
0-1	0	12.16	0	1.03	14.43
Station 161					
68-288					
58-68	0	4.00	0.17	0.10	3.53
38-58					
28-38	0	5.02	0.06	0.10	2.96
10-28					
4-10	68.35	7.21	0.08	0.12	6.77
2-4	0	7.50	0.04	0.15	3.54
1-2	0	3.02	0	0.12	3.91
0-1	0	2.54	0.03	0.07	3.47

Tabelle A.8: Partikulärer organischer Stickstoff (PON) [$\mu\text{g l}^{-1}$], Kohlenstoff (POC) [$\mu\text{g l}^{-1}$] und das C : N - Verhältnis

Tiefe [cm]	PON	POC	C:N
Station 140			
0-10	10.98	216.64	24.66
10-20	10	177.81	22.22
20-30	7.47	230.61	38.56
30-40	17.65	381.8	27.03
40-50	11.31	280.54	30.99
50-60	14.54	268.91	23.12
60-70	16.75	359.46	26.83
70-80	24.68	311.28	15.76
80-87	16.55	416.27	31.44
87-93	45.45	527.97	14.52
93-95	50.92	775.8	19.04
95-96	51.93	804.94	19.37
96-97	2349.54	13923.8	7.41
Station 142			
0-10	30.01	277.35	11.55
10-20	16.45	206.1	15.67
20-30	12.42	193.99	19.53
30-40	27.76	247.98	11.16
40-50	63.56	600.1	11.8
50-60	48.07	414.52	10.78
60-70	48.7	512.1	13.14
70-80	65.04	629.96	12.11
80-89	56.47	529.48	11.72
89-95	33.7	551.43	13.14
95-97	76.16	998.83	12.11
97-98		629.64	
98-99	399.19	2527.72	7.92
Station 143			
0-10	41.06	570.41	17.36
10-20	23.79	305.92	16.08
20-30	29.63	501.78	21.17
30-40	31.48	464.74	18.46
40-50	21.28	438.73	25.78
50-61	25.63	359.35	17.53
61-67	29.05	336.1	14.46
67-69	53.71	736.94	17.15
69-70	103.96	736.86	8.86
70-71	1365.77	7587.56	6.94

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PON	POC	C:N
Station 150			
0-10	7.7	82.82	13.44
10-20	1.33	73.09	68.85
20-30	4.17	82.93	24.88
30-40			
40-50			
50-60			
60-70	6.5	76.03	14.62
70-80			
80-90			
90-100			
100-110	12.43	77.08	7.75
110-120	3.93	63.82	20.31
120-130	10.14	81.87	10.1
130-140	12.96	84.21	8.12
140-150	7.8	67.12	10.76
150-160	6.94	76.76	13.84
160-163.5	9.31	125.08	16.79
163.5-169.5	11.28	75.62	8.38
169.5-171.5	16.79	164.42	12.24
171.5-172.5	39.12	588.22	18.79
172.5-173.5	82.25	421.99	6.41
Station 152			
0-10	12.16	88.01	9.05
10-20	16.88	154.82	11.46
20-30	52.06	568.9	13.66
30-40	24.52	291.17	14.84
40-50	30.23	361.59	14.95
50-60	7.71	187.59	30.43
60-70	9.54	184.45	24.16
70-80	13.74	148.8	13.53
80-90	22.6	308.89	17.08
90-100	20.28	231.11	14.24
100-110	12	197.84	20.6
110-120	12.74	180.12	17.67
120-130	16.86	196.61	14.58
130-140	16.56	207.03	15.63
140-150	14.27	184.56	16.17
150-160	10.48	135.2	16.12
160-170	19.4	239.49	15.43
170-180	19.24	235.8	15.32
180-190	32.45	388.36	14.96
190-200	17.59	265.34	18.86
200-210	12.42	174.67	17.58
210-220	16.04	218.14	17
220-230	18.37	274.35	18.67
230-240	37.48	465.35	15.52
240-250	66.32	746.46	14.07
250-260	24.99	346.34	17.32
260-270	12.89	175.94	17.06
270-277	34.56	335.52	12.14
277-283	30.6	330.42	13.5
283-285	100.72	923.95	11.47
285-286	141.01	934.14	8.28
286-287	397.11	2554.97	8.04

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PON	FCC	C:N
Station 153			
0-10	11.61	84.4	9.09
10-20	8.31	143.59	21.61
20-30	9.73	192.86	24.79
30-40	8.95	126.05	17.6
40-50	7.17	150.73	26.27
50-60	11.69	136.46	14.59
60-70	4.18	89.28	26.72
70-80			
80-90			
90-100			
100-110	10.26	108.2	13.18
110-120			
120-130			
130-140			
140-150	11.09	154.78	17.45
150-160	9.77	151.83	19.43
160-170	13	220.58	21.21
170-180	6.16	135.72	27.55
180-190	15.4	185.5	15.06
190-200	26.13	288.65	13.81
200-210	62.75	819.36	16.32
210-220	29.66	371.18	15.64
220-230	21.17	299.51	17.69
230-240	20.33	252.86	15.54
240-244.5	32.16	279.47	10.86
244.5-250.5	36.56	267.29	9.14
250.5-252.5	73.8	588.29	9.96
252.5-253.5	92.41	621.55	8.41
253.5-254.5	572.28	3316.42	7.24

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PON	POC	C:N
Station 157			
0-10	10.88	93.48	10.74
10-20	12.88	151.56	14.71
20-30	25.96	247.17	11.9
30-40	19.62	243.41	15.51
40-50	22.14	240.31	13.57
50-60	9.96	156.5	19.65
60-70	7.67	162.99	26.57
70-80	17.82	278.86	19.57
80-90	12.6	228.32	22.65
90-100	18.09	274.37	18.96
100-110	10.71	161.41	18.84
110-120	15.38	205.13	16.67
120-130	12.76	201.84	19.77
130-140	16.05	265.44	20.67
140-150	16.25	270.45	20.8
150-160	19.8	324.03	20.45
160-170	14.12	165.53	14.66
170-180	16.9	175.5	12.98
180-190	7.71	116.39	18.88
190-200			
200-210			
210-220			
220-230	10.49	111.39	13.27
230-240	15.59	209.57	16.8
240-250	20.28	271.55	16.74
250-260	52.4	436.5	10.41
260-270	11.1	127.49	14.36
270-281	17.48	140.04	10.02
281-287	35.42	259.85	9.17
287-289	55.35	367.74	8.31
289-290	65.26	494.7	9.48
290-291	140.54	1006.43	8.95

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PON	POC	C:N
Station 161			
0-10	8.76	433.59	61.88
10-20	1.94	290.44	187.21
20-30	3.1	293.58	118.51
30-40	7.5	224.5	37.4
40-50	5.65	398.11	88.14
50-60	1.81	141.33	97.79
60-70			
70-80			
80-90			
90-100	4.59	133.07	36.23
100-110	17.41	267.8	19.23
110-120	6.02	249.27	51.79
120-130	5.89	175.99	37.32
130-140	10.81	562.71	65.07
140-150	28.1	489.45	21.78
150-160	35.84	569.5	19.86
160-170	37.77	476.08	15.75
170-180	22.95	319.92	17.42
180-190	0.68	213.16	392.57
190-200	12.71	248.97	24.49
200-210	20.94	320.95	19.16
210-220	12.19	260.95	26.75
220-230	4.18	67.41	20.15
230-240	6.49	105.96	20.41
240-250	9.63	154.08	19.99
250-260	13.33	191.11	17.92
260-270			
270-276			
276-282			
282-284	28.29	144.69	6.39
284-285	29.3	486.08	20.73
285-286	33.12	219.77	8.29

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PON	POC	C:N
Station 163			
0-10	16.02	169.04	13.19
10-20	26.59	392.58	18.46
20-30	15.21	496.74	40.82
30-40	15.22	286.06	23.49
40-50	14.69	261.6	22.25
50-60	13.26	154.54	14.57
60-70	14.28	286.44	25.07
70-80	12.8	119.91	11.71
80-90	18.08	273.68	18.92
90-100	17.16	262.02	19.08
100-110	30.8	470.47	19.1
110-120	23.1	368.88	19.96
120-130	36.29	464.6	16
130-140	2.25	22.26	12.37
140-150	42.26	537.91	15.91
150-160	17.53	394.88	28.15
160-170	13.83	501.95	45.37
170-180	18.95	319.53	21.08
180-190	30.18	481.16	19.93
190-200	19.64	426.47	27.14
200-210	20.75	603.75	36.37
210-220	15.7	258.11	20.55
220-230	10.76	229.05	26.6
230-240	43.24	670.82	19.39
240-246	19.22	436.49	28.39
246-248	45.85	467.15	12.74
248-249	79.23	633.74	10
249-250	166.82	1127.41	8.45

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PCN	FOC	C:N
Station 164			
0-10	29.76	171.57	7.21
10-20	10.12	117.05	14.45
20-30	0.91	50.55	69.21
30-40	5.76	65.84	14.28
40-50	2.91	57.73	24.82
50-60			
60-70			
70-80			
80-90	10.32	104.33	12.64
90-100	12.23	140.7	14.37
100-110	6.25	142.28	28.45
110-120	11.14	137.64	15.44
120-130	7.07	131.07	23.18
130-140			
140-150			
150-160			
160-170	18.1	326.15	22.53
170-180	21.4	398.99	23.3
180-190	40.4	468.57	14.5
190-200	22.62	263.62	14.57
200-210	16.4	215.92	16.46
210-220	7.44	121.61	20.43
220-230	10.2	121.56	14.9
230-240	13.85	187.03	16.88
240-250	41.45	425.37	12.83
250-260	12.88	192.89	18.72
260-270	11.96	116.94	12.22
270-280	15.66	178.59	14.26
280-290	10.84	152.4	17.57
290-300	15.02	185.46	15.44
300-308	28.18	424.7	18.84
308-314	40.81	739.1	22.64
314-316	69.35	1838.16	33.13
316-317	118.28	3214.93	33.98
317-318	329.03	4051.73	15.39

Fortsetzung Tabelle A.8: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	PON	FCC	C:N
Station 167			
0-10	25.57	244.81	11.97
10-20	20.05	265.43	16.55
20-30	30.45	441.17	18.11
30-40	43.43	596.03	17.16
40-50	50.36	710.32	17.63
50-60	19.26	284.13	18.44
60-70	11.46	306.74	33.47
70-80	12.05	297.88	30.89
80-90	23.45	304.57	16.23
90-100	11.38	253.23	27.81
100-110	18.47	282.99	19.15
110-120			
120-130			
130-140			
140-150	4.99	260.6	65.31
150-160	3.71	98.25	33.14
160-170			
170-180			
180-190	7.52	162.34	26.97
190-200	6.07	100.87	20.79
200-210	11.47	126.74	13.82
210-220	16.06	217.87	16.96
220-230	42.91	390.35	11.37
230-240	9.49	99.93	13.16
240-250	15.83	137.51	10.86
250-258	16.04	119.12	9.28
258-264	40.29	271.28	8.42
264-266	46.5	185.58	4.99
266-267	24.09	246.84	12.81
267-268	118.35	542.61	5.73

Tabelle A.9: Eisalgenkohlenstoff (IAC) [$\mu\text{g l}^{-1}$] und Eisalgenabundanz [10^6 Zellen l^{-1}]

Tiefe von unten [cm]	IAC	Abundanz
Station 142		
61-101		
41-61	93.89	1.30
21-41	85.42	0.91
4-10	164.58	1.90
2-4	363.05	3.28
1-2	1076.78	8.31
0-1	13759.60	94.42
Station 150		
68-178		
58-68	7.91	0.30
28-38	22.34	0.49
4-10	16.05	0.22
2-4	39.12	0.61
1-2	63.31	0.80
0-1	632.22	2.43
Station 157		
70-310		
60-70	15.93	0.22
30-40	34.92	0.40
4-10	39.26	0.41
2-4	143.16	2.05
1-2	315.37	3.08
0-1	2223.23	13.05
Station 161		
68-288		
58-68	21.33	0.26
28-38	70.42	0.49
4-10	63.80	0.49
2-4	73.75	0.42
1-2	155.82	0.51
0-1	214.86	1.83

Fortsetzung Tabelle A.11: Legende siehe oben.

Taxa	Vakuolen- volumen	Zellvolumen	Plasmavolumen	Kohlenstoff- gehalt
<i>Navicula</i> spp. Form 5	331.34	2197.35	1899.14	208.91
<i>Nitzschia</i> spp. Form 2	120.27	2460.89	2352.65	258.79
<i>Pseudogomph.</i> spp. Form 4	572.56	6509.77	5994.47	659.39
<i>Nitzschia</i> <i>neofrigida</i>	98.17	3502.09	3413.73	375.51
<i>N. laevis</i>	402.12	10573.42	10211.51	1123.27
<i>N.</i> spp. Form 3	269.39	898.59	656.14	72.18
<i>Navicula</i> spp. Form 6	305.53	1766.16	1491.18	164.03
Zentr. Diatomee Form 2	2539.00	3790.92	1505.82	165.64
<i>Bacteriosira</i> spp.	30733.03	56868.81	29209.08	3213.00
<i>Nitzschia</i> spp. Form 4	205.89	2660.05	2474.75	272.22
<i>N.</i> spp. Form 5	269.39	4784.02	4541.56	499.57
Zentr. Diatomee Form 3	6724.42	9266.28	3214.30	353.57
Pennate Diatomee Form 4	0.10	31.25	31.16	3.43
P. D. Form 5 Cysten	0.10	62.50	62.41	6.87
Flagellaten		3187.81	3187.81	350.66
0-2.5 µm		1.36	1.36	0.15
Flagellaten 2.5-5 µm		20.58	20.58	2.26
Flagellaten 5-10 µm		124.19	124.19	13.66
Flagellaten 10-20 µm		1246.43	1246.43	137.11
Flagellaten > 20 µm		2920.11	2920.11	321.21

Tabelle A.12: Relative Abundanz (%) und Biomasse (%) der jeweiligen Taxa pro Eissegment

Genera	Relative Abundanz	Relative Biomasse
Station 142		
0-1 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	58.88	88.43
<i>Navicula</i> spp.	2.46	2.71
<i>Chaetoceros</i> spp.	8.25	2.23
<i>Fragilariopsis</i> spp.	11.43	0.93
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.02	1.52
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	1.24	1.42
<i>Entomoneis</i> spp.	0.06	0.21
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.08	0.14
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	17.58	2.42
1-2 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	43.05	76.98
<i>Navicula</i> spp.	3.16	4.27
<i>Chaetoceros</i> spp.	6.68	2.12
<i>Fragilariopsis</i> spp.	17.37	1.33
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.02	1.56
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	1.73	2.28
<i>Entomoneis</i> spp.	0.01	0.02
<i>Thalassiosira</i> spp.	2.37	4.46
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	25.62	6.97
2-4 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	31.73	63.25
<i>Navicula</i> spp.	3.35	5.08
<i>Chaetoceros</i> spp.	5.35	2.10
<i>Fragilariopsis</i> spp.	19.07	2.40
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.02	2.08
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	1.60	2.56
<i>Entomoneis</i> spp.	0.13	0.64
<i>Thalassiosira</i> spp.	4.55	9.58
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	34.21	12.30
4-10 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	23.43	60.13
<i>Navicula</i> spp.	1.54	2.97
<i>Chaetoceros</i> spp.	1.86	1.01
<i>Fragilariopsis</i> spp.	23.93	3.35
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.01	0.98
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.75	1.54
<i>Entomoneis</i> spp.	0.20	1.22
<i>Thalassiosira</i> spp.	3.16	7.07
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	45.12	21.73

Fortsetzung Tabelle A.12: Legende siehe oben.

Genera	Relative Abundanz	Relative Biomasse
21-41 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	23.48	64.69
<i>Navicula</i> spp.	2.32	3.89
<i>Chaetoceros</i> spp.	1.44	0.83
<i>Fragilariopsis</i> spp.	12.91	2.22
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.01	0.94
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.49	1.01
<i>Entomoneis</i> spp.	0.00	0.00
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.84	2.39
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	58.51	24.04
41-61 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	28.81	76.84
<i>Navicula</i> spp.	0.85	1.58
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.39	0.21
<i>Fragilariopsis</i> spp.	24.79	8.03
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.59	1.15
<i>Entomoneis</i> spp.	0.08	0.46
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.39	1.15
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	44.11	10.57
Station 150		
0-1 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	24.26	23.11
<i>Navicula</i> spp.	22.48	50.02
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.21	0.03
<i>Fragilariopsis</i> spp.	7.03	0.78
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.50	15.53
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.40	0.90
<i>Entomoneis</i> spp.	0.30	4.98
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.12	0.09
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.40	0.11
Flagellaten	44.30	4.44
1-2 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	15.74	45.43
<i>Navicula</i> spp.	2.70	12.22
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.11	0.05
<i>Fragilariopsis</i> spp.	1.93	0.82
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.01	1.22
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.21	1.33
<i>Entomoneis</i> spp.	0.14	7.93
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.13	0.14
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	79.03	30.87
2-4 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	22.66	73.06
<i>Navicula</i> spp.	1.51	7.50
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.00	0.00
<i>Fragilariopsis</i> spp.	1.85	0.87
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.08	0.68
<i>Entomoneis</i> spp.	0.09	6.01
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.32	0.74
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	73.48	11.14

Tabelle A.11: Das Vakuolenvolumen [μm^3], Zellvolumen [μm^3], Plasmavolumen [μm^3] und der Kohlenstoffgehalt [pg] der gezählten und vermessenen Taxa

Taxa	Vakuolen- volumen	Zellvolumen	Plasmavolumen	Kohlenstoff- gehalt
<i>Nitzschia frigida</i>	101.15	2186.03	2095.00	230.45
Dinocysten		3187.81	3187.81	350.66
<i>Pseudogomph.</i>	258.01	1735.70	1503.49	165.38
spp. Form 1				
<i>P.</i> spp. Form 2	204.83	1547.63	1363.29	149.96
<i>P.</i> spp. Form 3	220.71	1584.64	1386.01	152.46
<i>Nitzschia clos-</i>	1.53	228.13	226.75	24.94
<i>terium</i> Form 1				
<i>N. c.</i> Form 2	9.93	593.43	584.49	64.29
<i>N. c.</i> Form 3	9.56	1369.43	1360.83	149.69
<i>Pseudo-Nitzschia</i>	0.17	99.02	98.87	10.88
spp. Form 1				
<i>P-N.</i> spp. Form 2	7.27	541.30	534.76	58.82
<i>P-N.</i> spp. Form 3	6.83	842.43	836.29	91.99
<i>P-N.</i> spp. Form 4	7.81	1312.07	1305.05	143.56
<i>P-N.</i> spp. Form 5	8.36	1526.76	1519.23	167.12
<i>Hantzschia</i>	21.21	697.04	677.96	74.58
<i>weyprechtii</i>				
<i>Entomoneis</i> spp.	17241.06	57962.38	42445.43	4669.00
<i>Attheya</i>	98.17	396.39	308.03	33.88
<i>septenentrionalis</i>				
<i>Chaetoceros</i>	101.15	702.65	611.62	67.28
spp. Form 1				
<i>C.</i> spp. Form 2	6.77	231.88	225.80	24.84
Pennate Diatomee	9.56	288.44	279.84	30.78
Form 1				
<i>P. D.</i> Form 2	0.03	69.40	69.37	7.63
<i>Gyrosigma/</i>	9555.94	86884.67	78284.33	8611.28
<i>Pleurosigma</i> spp.				
<i>Nitzschia seriata</i>	2.65	670.30	667.92	73.47
Pennate Diatomee	5.18	1058.44	1053.78	115.92
Form 3				
<i>Navicula</i> spp.	346.13	3630.72	3319.20	365.11
Form 1				
<i>Navicula</i> spp.	538.52	2540.18	2055.52	226.11
Form 2				
<i>Navicula</i> spp.	762.07	5327.45	4641.59	510.57
Form 3				
<i>Navicula</i> spp.	1686.01	13164.65	11647.25	1281.20
Form 4				
Zentr. Diatomee	606.94	1129.26	583.02	64.13
Form 1				
<i>Z. D.</i>	2539.00	3790.92	1505.82	165.64
Form 2				
<i>Z. D.</i>	6724.42	9266.28	3214.30	353.57
Form 3				
<i>Nitzschia</i> spp.	182.69	944.24	779.82	85.78
Form 1				

Tabelle A.10: Liste der Taxa

Zentrische Diatomeen

<i>Attheya septentrionalis</i>	(Østrup) Crawford
<i>Bacterosira</i> spp.	
<i>Biddulphia</i> spp.	
<i>Chaetoceros socialis</i>	Lauder
<i>C.</i> spp.	
<i>Melosira arctica</i>	(Ehrenberg) Dicki
<i>Thalassiosira cf. grvida</i>	Cleve
<i>T. nordenskiöldii</i>	Cleve
Zentrische Diatomeen, unident.	

Pennate Diatomeen

<i>Entomoneis cf. alata</i>	(Ehrenberg) Poulin & Cardinal
<i>E. kjellmanii</i>	(Cleve) Poulin & Cardinal
<i>E.</i> spp.	
<i>Fragilariopsis cylindrus</i>	(Grunow) Krieger
<i>F. oceanica</i>	(Cleve) Hasle
<i>F.</i> spp.	
<i>Gyrosigma</i> spp.	
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	Grunow
<i>Navicula pelagica</i>	Cleve
<i>N. vanhoeffnii</i>	Gran
<i>N.</i> sp. 1	
<i>N.</i> sp. 2	
<i>N.</i> sp. 3	
<i>N.</i> sp. 4	
<i>Nitzschia closterium</i>	(Ehrenberg) Smith
<i>N. frigida</i>	Grunow
<i>N. laevisissima</i>	Grunow
<i>N. neofrigida</i>	Medlin
<i>N. polaris</i>	Grunow
<i>N. promare</i>	Medlin
<i>N.</i> spp.	
<i>Pleurosigma siberica</i>	(Grunow) Cardinal et al.
<i>P. stuxbergii</i>	Cleve
<i>Pseudogomphonema arcticum</i>	(Grunow) Medlin
<i>P. groenlandicum</i>	(Østrup) Medlin
<i>P.</i> spp.	
<i>Pseudo-Nitzschia delicatissima</i>	(Cleve) Heiden
<i>P. seriata</i>	Cleve
Pennate Diatomeen, unident.	

Dinophyceen

<i>Gymnodinium</i> spp.
<i>Katodinium</i> spp.
<i>Protoperidinium</i> spp.
Dinophyceen - Cysten
Dinophyceen, unident.

Chrysophyceen

<i>Dinobryon</i> spp.
Chrysophyceen - Cysten
Chrysophyceen, unident.

Nanoplankton

Zellen 0-2.5 µm
Zellen 2.5-5 µm
Zellen 5-10 µm
Choanoflagellaten

Zooplankton

Ciliaten
Copepoditstadien
Nauplius-Larven
Amöben

Pilze

Chytridiomyceten
Pilze, unident.

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl a	Phaeo/ Chl a	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 161							
5	-2.1	0-10	0.9	0.02	0.70	37.36	2.10
15	-1.8	10-20	0.4	0.02	0.84	32.19	1.10
25	-2.4	20-30	0.7	0.09	0.21	42.47	1.40
35	-3.0	30-40	1.6	0.10	0.23	52.53	2.60
45	-3.2	40-50	2.0	0.07	0.33	55.84	3.10
55	-3.5	50-60	2.4	0.05	0.36	60.75	3.40
65	-3.5	60-70	2.6	0.07	0.30	60.75	3.70
75	-3.4	70-80	2.9	0.10	0.43	59.12	4.20
85	-3.6	80-90	2.9	0.07	0.23	62.38	4.00
95	-3.5	90-100	3.3	0.14	1.19	60.75	4.60
105	-3.2	100-110	4.2	0.17	0.18	55.84	6.40
118	-3.1	110-120	4.9	0.14	0.20	54.19	7.70
128	-3.2	120-130	5.0	0.26	0.18	55.84	7.60
138	-3.3	130-140	4.4	0.28	0.19	57.48	6.50
148	-3.3	140-150	4.8	0.30	0.22	57.48	7.10
158	-3.1	150-160	4.4	0.45	0.24	54.19	6.90
168	-3.4	160-170	5.4	0.46	0.55	59.12	7.80
178	-3.2	170-180	4.8	0.23	0.61	55.84	7.30
188	-3.2	180-190	4.2	0.30	0.27	55.84	6.40
198	-3.3	190-200	4.4	0.24	0.21	57.48	6.50
208	-3.3	200-210	4.7	0.21	0.27	57.48	7.00
218	-2.7	210-220	3.9	0.38	0.64	47.53	7.00
225	-2.7	220-230	4.4	0.69	0.64	47.53	7.90
235	-2.6	230-240	3.7	1.11	0.56	45.85	6.90
245	-2.4	240-250	4.0	1.21	0.47	42.47	8.00
255	-2.4	250-260	3.8	0.84	0.31	42.47	7.60
265	-2.2	260-270	4.1	1.27	0.18	39.07	8.90
275	-2.1	270-278	4.0	1.88	0.23	37.36	9.10
285	-2.2	278-284	5.3	2.48	0.14	39.07	11.60
		284-286	5.3	3.63	0.16	39.07	11.60
		286-287	5.3	4.59	0.48	39.07	11.60
		287-288	6.9	6.42	0.14	39.07	15.00

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl <i>a</i>	Phaeo/ Chl <i>a</i>	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 163							
5	-3.1	0-10	0.5	0.18	0.19	54.19	0.80
15	-3.3	10-20	2.6	0.29	0.14	57.48	3.90
25	-3.5	20-30	4.9	0.20	0.25	60.75	6.90
35	-3.6	30-40	4.2	0.29	0.20	62.38	5.70
45	-3.8	40-50	4.1	0.32	0.25	65.62	5.30
55	-3.8	50-60	4.1	0.35	0.26	65.62	5.30
60	-3.8	60-70	5.0	0.33	0.22	65.62	6.50
68	-3.7	70-80	4.8	0.37	0.19	64.00	6.40
78	-3.7	80-90	4.5	0.32	0.18	64.00	6.00
88	-3.8	90-100	4.7	0.34	0.23	65.62	6.10
98	-3.8	100-110	4.9	0.38	0.25	65.62	6.40
108	-3.8	110-120	5.9	0.54	0.30	65.62	7.70
118	-3.7	120-130	6.0	0.81	0.25	64.00	8.00
128	-3.6	130-140	5.5	1.22	0.24	62.38	7.50
138	-3.6	140-150	5.2	1.94	0.32	62.38	7.10
147	-3.3	150-160	5.4	0.90	0.26	57.48	8.00
157	-3.2	160-170	5.0	0.45	0.17	55.84	7.60
167	-2.8	170-180	4.7	0.51	0.17	49.20	8.10
177	-2.9	180-190	4.8	0.36	0.25	50.87	8.00
187	-3.0	190-200	5.0	0.44	0.32	52.53	8.10
197	-2.8	200-210	4.1	0.72	0.32	49.20	7.10
207	-2.6	210-220	4.8	1.07	0.27	45.85	8.90
217	-2.3	220-230	4.3	1.33	0.02	40.77	9.00
227	-2.2	230-240	4.0	1.47	0.17	39.07	8.70
237	-2.2	240-247	4.0	1.79	0.06	39.07	8.70
247	-2.2	247-253	4.0	1.86	0.26	39.07	8.70
257	-1.9	253-255	3.7	3.01	0.19	33.92	9.40
		255-256	3.4	7.41	0.19	33.92	8.60
		256-257	3.1	49.41	0.19	33.92	7.90

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl a	Phaeo/ Chl a	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 164							
5	-1.2	0-10	0.1	0.01	1.56	21.70	0.40
15	-1.4	10-20	0.3	0.01	1.72	25.22	1.10
25	-1.7	20-30	0.4	0.03	0.55	30.46	1.10
35	-2.2	30-40	0.5	0.03	0.29	39.07	1.10
45	-2.2	40-50	0.8	0.01	0.95	39.07	1.70
55	-2.2	50-60	1.1	0.03	0.30	39.07	2.40
65	-2.4	60-70	1.1	0.03	0.52	42.47	2.20
75	-2.5	70-80	0.9	0.02	1.94	44.16	1.70
85	-2.6	80-90	1.5	0.01	2.34	45.85	2.80
95	-2.5	90-100	1.6	0.02	0.67	44.16	3.10
105		100-110	3.3	0.05	0.45	42.47	6.60
115		110-120	2.7	0.02	0.40	42.47	5.40
125	-2.3	120-130	3.0	0.02	0.48	40.77	6.30
135	-2.0	130-140	3.1	0.03	0.29	35.64	7.40
145	-2.4	140-150	3.1	0.02	0.41	42.47	6.20
155	-1.8	150-160	3.2	0.03	0.49	32.19	8.60
165	-1.7	160-170	3.7	0.07	0.36	30.46	10.60
175	-1.6	170-180	2.7	0.06	0.30	28.72	8.30
185	-1.7	180-190	2.5	0.06	0.53	30.46	7.20
195	-1.6	190-200	3.5	0.28	0.12	28.72	10.70
205	-1.9	200-210	5.5	0.10	0.35	33.92	14.00
215	-2.5	210-220	4.4	0.07	0.38	44.16	8.50
225	-2.2	220-230	3.7	0.06	0.65	39.07	8.10
235	-2.5	230-240	3.6	0.06	0.25	44.16	6.90
245	-2.4	240-250	4.1	0.17	0.21	42.47	8.20
255	-2.2	250-260	3.8	0.29	0.19	39.07	8.30
265	-2.2	260-270	4.6	1.16	0.24	39.07	10.00
275	-2.2	270-280	4.1	0.56	0.13	39.07	8.90
285	-2.1	280-290	4.0	0.72	0.17	37.36	9.10
295	-2.0	290-300	4.3	1.31	0.08	35.64	10.30
305	-1.9	300-310	3.3	1.05	0.05	33.92	8.40
315	-1.8	310-320	3.4	1.68	0.12	32.19	9.20
325	-1.6	320-327	4.2	3.79	0.08	28.72	12.80
335	-1.6	327-333	4.6	4.90	0.13	28.72	14.10
345	-1.6	333-335	5.7	10.75	0.13	28.72	17.40
355	-1.6	335-336	6.3	15.31	0.11	28.72	19.30
365	-1.6	336-338	7.2	44.69	0.17	28.72	22.00

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl <i>a</i>	Phaeo/ Chl <i>a</i>	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 167							
5	-0.4	0-10	0.2	0.07	0.10	7.34	2.60
15	-0.5	10-20	0.2	0.11	0.15	9.16	2.10
25	-0.5	20-30	0.1	0.09	0.27	9.16	1.00
35	-0.7	30-40	0.4	0.40	0.18	12.77	2.90
45	-1.3	40-50	0.7	0.51	0.19	23.46	2.70
55	-1.2	50-60	0.7	0.47	0.11	21.70	2.90
65	-1.2	60-70	0.3	0.16	0.09	21.70	1.20
75	-1.9	70-80	1.0	0.09	0.03	33.92	2.50
85	-1.3	80-90	1.6	0.09	0.02	23.46	6.10
95	-1.2	90-100	1.1	0.10	0.03	21.70	4.60
105	-1.7	100-110	3.9	0.12	0.01	30.46	11.20
115	-3.1	110-120	3.7	0.18	0.01	54.19	5.80
125	-2.6	120-130	3.9	0.07	0.01	45.85	7.30
135	-3.2	130-140	4.0	0.06	0.00	55.84	6.10
145	-3.2	140-150	3.9	0.07	0.01	55.84	6.00
155	-3.2	150-160	4.3	0.07	0.01	55.84	6.60
165	-3.2	160-170	3.6	0.09	0.01	55.84	5.50
175	-3.2	170-180	3.7	0.10	0.01	55.84	5.70
185	-3.2	180-190	3.7	0.20	0.01	55.84	5.70
195	-3.1	190-200	3.1	0.23	0.02	54.19	4.90
205	-3.0	200-210	3.6	0.28	0.02	52.53	5.80
215	-2.7	210-220	4.1	0.29	0.03	47.53	7.40
225	-2.9	220-230	3.8	0.62	0.11	50.87	6.40
235	-2.7	230-240	4.1	1.38	0.21	47.53	7.40
245	-2.6	240-250	4.6	0.86	0.06	45.85	8.60
255	-1.9	250-260	3.6	1.08	0.10	33.92	9.10
265	-1.8	260-265	3.4	1.24	0.10	32.19	9.20
275	-1.7	265-271	3.9	2.17	0.18	30.46	11.20
		271-273	4.3	3.09	0.23	30.46	12.30
		273-275	4.0	8.82	0.45	30.46	11.50

Tabelle A.5: pH - Werte der Sole

Tiefe [cm]	pH	Tiefe [cm]	pH	Tiefe [cm]	pH	Tiefe [cm]	pH	Tiefe [cm]	pH
Station 142		Station 150		Station 157		Station 161		Station 164	
0-10	8.20	0-10	8.31	0-10	6.00	0-10	7.84	0-10	5.94
10-20	8.19	10-17	8.01	10-20	6.15	10-20	8.21	10-20	6.74
20-30	7.90	17-27	8.22	20-30	6.04	20-30	6.79	20-30	6.75
30-40	8.32	27-37	8.29	30-40		30-40	8.14	30-40	7.21
40-50	8.41	37-47	8.27	40-50		40-50	7.95	40-50	7.30
50-60	8.58	47-57	8.22	50-60		50-60	8.00	50-60	7.19
60-70	8.60	57-67	8.23	60-70		60-70	8.01	60-70	7.13
70-80	8.61	67-77	8.26	70-80	6.69	70-80	8.16	70-80	7.43
80-92	8.78	77-87	8.20	80-90		80-90	8.08	80-90	7.35
92-102	8.70	87-97	8.21	90-100		90-100	8.17	90-100	8.14
		97-107	8.25	100-110		100-110	8.03	100-110	8.37
		107-117	8.30	110-120	8.01	110-120	8.16	110-120	8.41
		117-124	8.28	120-130	7.86	120-130	8.21	120-130	8.38
				130-140	8.63	130-140	8.21	130-140	8.47
				140-150	7.67	140-150	8.30	140-150	8.26
				150-160	7.86	150-160	8.33	150-160	7.35
				160-170	7.51	160-170	8.25	160-170	8.11
				170-180	8.21	170-180	8.23	170-180	8.30
				180-190	8.24	180-190	8.34	180-190	8.21
				190-200	8.40	190-200	8.19	190-200	7.40
				200-210	8.40	200-210	8.12	200-210	8.15
				210-220	8.70	210-220	7.99	210-220	8.07
				220-230	8.88	220-230	7.76	220-230	8.33
				230-240	8.25	230-240	8.02	230-240	8.27
				240-250	8.24	240-250	8.00	240-250	8.28
				250-260	7.12	250-260	8.04	250-260	8.30
				260-270	7.69	260-270	8.18	260-270	8.39
				270-280	7.73	270-280	8.10	270-280	8.39
						280.5			
				280-290	7.74	280.5-290.5	7.93	280-290	8.47
				290-300	7.77			290-300	8.47
				300-310	7.62			300-310	8.61
				310-320	7.48			310-320	8.66
								320-330	7.65

Tabelle A.6: Vertikalprofile der gelösten Nährsalze [$\mu\text{mol l}^{-1}$] NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , SiO_4

Tiefe [cm]	NH_4	NO_3	NO_2	PO_4	SiO_4
Station 140					
0-10	1.06	0.83	0.04	0.2	0.59
10-20	1.12	0.38	0	0.08	0.41
20-30	0.85	0.31	0	0.08	0.29
30-40	1.44	0.43	0.03	0.12	0.23
40-50	0.74	0.28	0.01	0.06	0.18
50-60	1.17	0.27	0.02	0.06	0.59
60-70	0.74	0.42	0	0.08	0.18
70-80	1.44	4.25	0.02	0.08	0.21
80-83	1.06	0.22	0.03	0.12	0.26
83-89	1.01	1.45	0.03	0.12	0.18
89-91	1.87	1.06	0	0.16	0.35
91-92	8.09	0.12	0.29	7.44	4.82
92-93	8.09	0.12	0.29	7.44	4.82
Station 141					
0-10	0.81	0.72	0.03	0.04	0.29
10-20	0.81	0.75	0.02	0.06	0.18
20-30	0.98	0.71	0.04	0.04	0.18
30-37	2.19	1.28	0.03	0.08	0.23
37-43	15.52	4.24	0.31	5.92	1.76
43-45	3.55	1.41	0.01	0.16	0.41
45-46					
46-47	10.63	2.97	0.12	2.88	2.71
Station 142					
0-10	0.74	0.05	0.2	0.2	0.18
10-20	0.41	0.63	0.02	0.02	0.12
20-30	0.46	0.56	0	0.08	0.12
30-40	0.54	0.67	0	0.12	0.12
40-50	0.54	0.58	0.04	0.1	0.09
50-60					
60-70	0.27	0.42	0	0	0.06
70-80	0.27	0.42	0	0.04	0.29
80-90	0.79	0.42	0.02	0.08	0.06
90-100	0.17	0.37	0.01	0.02	0.03
100-112	0.33	0.44	0.02	0.04	0.06
112-118	0.19	0.46	0	0.06	0.06
118-120	0.85	0.34	0.01	0.08	0.12
120-121	2.47	0.43	0	0	0.35
121-122	5.22	1.49	0.05	1.36	1.35
Station 143					
0-10	0.7	0.63	0.04	0.18	0.23
10-20	0.62	0.52	0.02	0	0.73
20-30	0.54	0.5	0	0.04	0.18
30-40	0.7	0.54	0.02	0.06	0.29
40-50	0.98	0.55	0.03	0.1	0.35
50-57	1.22	0.61	0.02	0.12	0.18
57-63	0.98	0.61	0.02	0.16	0.21
63-65	2.2	0.28	0	0.08	0.23
65-66	1.82	0.32	0.01	0.32	0.35
66-67	2.74	1.43	0.03	1.44	1.53

Fortsetzung Tabelle A.6: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	NH ₄	N0 ₃	N0 ₂	P0 ₄	Si0 ₄
Station 148					
0-10	1.51	1.42	0.02	0.12	0.53
10-20	0.38	0.67	0	0.08	0.23
20-30	0.22	0.58	0.04	0.18	0.18
30-40	0.35	1.07	0.02	0.24	0.41
40-50	0.32	0.66	0.01	0.16	0.29
50-60	0.27	1.32	0.02	0.24	0.41
60-70	0.35	1.95	0.02	0.2	0.35
70-80	0.46	1.8	0.02	0.16	0.35
80-90	0.32	0.83	0.01	0.16	0.47
90-100	0.3	0.49	0.01	0.12	0.71
100-110	0.27	0.48	0.02	0.2	0.65
110-120	0.22	0.54	0	0.16	1.29
120-130	0.32	0.55	0.01	0.24	1.88
130-140	0.41	0.35	0.02	0.24	3.18
140-150	0.3	0.39	0.03	0.36	3.23
150-160	0.49	0.69	0.04	0.44	3.88
160-170	0.27	0.44	0.02	0.24	3.06
170-180	0.35	0.48	0.02	0.28	3.77
180-190	0.38	0.4	0.02	0.24	4.59
190-200	0.38	0.4	0.02	0.24	3.41
200-210	0.3	0.36	0.03	0.28	3.12
210-220	0.22	0.38	0.02	0.24	2.47
220-230	0.3	0.4	0.02	0.16	1.53
230-240	0.27	0.4	0.02	0.2	1.59
240-250	0.35	0.4	0.02	0.24	2.35
250-260	0.35	0.48	0.02	0.24	1.88
260-270	0.19	0.48	0.02	0.2	1.47
270-280	0.38	0.4	0.02	0.18	1.59
280-290	0.3	0.42	0.04	0.2	1.09
290-300	0.3	0.37	0.04	0.16	1.09
300-310	0.16	0.38	0	0.16	0.79
310-320	0.24	0.31	0.02	0.2	1.18
320-330	0.16	0.35	0.02	0.28	1.26
330-340	0.3	0.96	0.04	0.2	1.38
340-350	0.19	0.35	0.02	0.14	0.82
350-360	0.22	0.4	0.02	0.16	1.09
360-370	0.22	0.4	0.02	0.16	1.12
370-380	0.14	0.31	0.02	0.12	1.32
380-390	0.24	0.31	0.02	0.18	1.5
390-400	0.11	0.31	0.02	0.16	1.35
400-410	0.32	0.42	0.04	0.16	2.29
410-420	0.14	0.44	0.02	0.14	0.97
420-430	0.14	0.37	0.04	0.12	0.82
430-440	0.11	0.35	0.02	0.08	0.53
440-450	0.16	0.4	0	0.12	0.68
450-460	0.24	0.33	0.02	0.16	1.53
460-470	0.3	0.48	0.02	0.16	0.79
470-480	0.19	0.33	0.04	0.12	0.53
480-492	0.27	0.43	0.03	0.16	0.71
492-498	0.3	0.35	0.02	0.16	0.35
489-500	0.87	0.58	0.02	0.16	1.53
500-501	0.19	0.75	0.02	0.16	1.82
501-502	0.3	0.81	0.02	0.24	1.06

Fortsetzung Tabelle A.6: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	NH ₄	N ₀₃	N ₀₂	P ₀₄	Si ₀₄
Station 150					
0-10	0.36	1	0.04	0.12	1.24
10-20	0.28	0.88	0.05	0.12	1.05
20-30	0.31	0.77	0.05	0.16	1.11
30-40	0.25	0.68	0.05	0.24	1.05
40-50	0.11	0.65	0.03	0.2	0.79
50-60	0.11	0.76	0.03	0.2	0.82
60-70	0.14	0.7	0.05	0.22	0.98
70-80	0.03	0.57	0.03	0.2	0.85
80-90		0.54	0.03	0.18	0.72
90-100	0	0.57	0.03	0.24	0.72
100-110	0.31	0.68	0.05	0.26	0.88
110-120	0.17	0.36	0.03	0.16	0.98
120-130	0.31	0.59	0.05	0.2	1.24
130-140	0.33	0.16	0.03	0.26	1.37
140-150	0.22	0.57	0.03	0.2	1.08
150-162	0.28	0.46	0.03	0.2	0.72
162-168	0.14	0.54	0.03	0.16	0.52
168-170	1.53	0.18	0.01	0.24	0.79
170-172	1.36	0.32	0.01	0.4	1.31
Station 152					
0-10	0	0.4	0.07	0.02	0.09
10-20	0.14	0.27	0.07	0.1	0.15
20-30	0.03	0.19	0.04	0.14	0.21
30-40	0.27	0.29	0.04	0.12	0.23
40-50	0.11	0.15	0.02	0.04	0.29
50-60	0	0.17	0.02	0.04	0.47
60-70	0.03	0.19	0.02	0.1	3.23
70-80	0.05	0.1	0.02	0.04	0.62
80-90	0.03	0.23	0.02	0.08	0.77
90-100	0.05	0.1	0.02	0.06	0.94
100-110	0	0.23	0.07	0.16	1.56
110-120	0	0.12	0.04	0.16	1.76
120-130	0.16	0.17	0.04	0.26	2.09
130-140	0.14	0.14	0.07	0.28	1.76
140-150	0.08	0.19	0.02	0.26	3.18
150-160	0	0.15	0.02	0.12	2.77
160-170	0.14	0.14	0.01	0.18	2.71
170-180	0.11	0.15	0	0.18	2.68
180-190	0	0.15	0	0.08	1.56
190-200	0.03	0.15	0	0.18	1.29
200-210	0.03	0.13	0	0.22	0.94
210-220	0.22	0.21	0	0.32	1.21
220-230	0.14	0.15	0	0.24	0.71
230-240	0.14	0.15	0	0.24	0.41
240-252	0.14	0.21	0	0.24	0.53
252-258	0.68	0.5	0	0.28	1.71
258-260	0.73	0.33	0.04	0.56	3.41
260-261	0.84	0.33	0.04	0.68	3.88
261-262	1.33	0.54	0.11	1.04	4.35

Fortsetzung Tabelle A.6: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	NH ₄	N0 ₃	N0 ₂	P0 ₄	Si0 ₄
Station 153					
0-10	0.32	2.01	0.21	0.08	0.41
10-20	0.22	0.25	0.07	0.08	0.71
20-30	0.27	0.25	0.04	0.12	1.82
30-40	0.22	0.31	0.09	0.14	1.85
40-50	0.16	0.27	0.04	0.12	1.79
50-60	0.16	0.21	0.02	0.12	1.53
60-70	0.16	0.25	0.02	0.12	1.29
70-80	0.19	0.25	0.04	0.12	2
80-90	0.19	0.81	0.02	0.14	1.85
90-100	0.08	0.72	0.03	0.12	1.59
100-110	0.22	0.21	0.02	0.12	1.79
110-120	0.19	0.27	0.02	0.12	2
120-130	0.16	0.19	0.02	0.14	2.15
130-140	0.19	0.21	0.04	0.12	2.29
140-150	0.19	0.19	0.02	0.16	2.21
150-160	0.14	0.23	0.02	0.12	2.18
160-170	0.14	0.17	0.02	0.16	2.29
170-180	0.16	0.19	0.02	0.16	2.5
180-190	0.14	0.21	0.02	0.16	2.21
190-200	0.08	0.21	0.02	0.12	1.47
200-210	0.08	0.21	0.02	0.12	1.12
210-220	0.11	0.21	0.04	0.16	1.23
220-230	0.16	0.19	0.02	0.08	0.65
230-240	0.05	0.18	0.03	0.08	0.65
240-250	0	0.23	0.02	0.08	0.65
250-252	0.9	0.35	0.04	0.08	2.12
252-258	0.84	0.33	0.02	0.12	1.29
258-260	0.84	0.46	0.02	0.12	1.82
260-261	0.95	0.79	0.04	0.2	2
261-262	2.95	1.67	0.09	0.33	1.47

Fortsetzung Tabelle A.6: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	NH ₄	N03	N02	P04	Si04
Station 157					
0-10	0	1.03	0.05	0.08	0.29
10-20	0	0.31	0.04	0.12	0.59
20-30	0	0.16	0.05	0.28	0.41
30-40	0	0.17	0.02	0.22	0.41
40-50	0	0.1	0.02	0.12	0.23
50-60	0	0.13	0	0.2	0.5
60-70	0	0.13	0	0.24	1.06
70-80	0	0.15	0.02	0.12	1.03
80-90	0	0.13	0.02	0.08	0.97
90-100	0	0.17	0.04	0.38	1.71
100-110	0	0.14	0.03	0.12	1.41
110-120	0	0.14	0.03	0.12	1.35
120-130	0	0.4	0.02	0.22	1.59
130-140	0	0.42	0.04	0.32	2.03
140-150	0	0.29	0.04	0.3	2.09
150-160	0	0.29	0.07	0.36	2.5
160-170	0	0.44	0.07	0.52	2.15
170-180	0	0.1	0.02	0.08	1.79
180-190	0	0.17	0	0.08	2.15
190-200	0	0.15	0	0.08	1.53
200-210	0	0.15	0	0.08	1.47
210-220	0	0.08	0	0.08	1.29
220-230	0	0.13	0	0.08	1.26
230-240	0	0.17	0	0.14	1.82
240-250	0	0.23	0	0.08	1.38
250-260	0	0.17	0	0.08	0.53
260-270	0	0.19	0	0.04	0.35
270-280	0	0.25	0	0.04	0.29
280-284	0	0.31	0	0.04	0.44
284-290	0	0.54	0	0.12	1.32
290-292	0	0.84	0	0.06	2.12
292-293	0	1.02	0.02	0	3.06
293-294	0	1.88	0	0.16	2.23

Anhang

Tabelle A.1: Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] über dem Eis (2π - Sensor) und unter dem Eis (4π - Sensor)

Tabelle A.2: Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] im Eis; STD = Standardabweichung

Tabelle A.3: UV-A - und UV-B - Strahlung [mWatt cm^{-2}]

Tabelle A.4: Vertikalprofile der Temperatur (Temp.) [$^{\circ}\text{C}$], der Salinität, der Chlorophyll *a* (Chl *a*) Konzentration [$\mu\text{g l}^{-1}$], des Phaeophytin (Phaeo) zu Chlorophyll *a* - Verhältnisses, der Solesalinität und des Solevolumens [% vom Eisvolumen]

Tabelle A.5: pH - Werte der Sole

Tabelle A.6: Vertikalprofile der gelösten Nährsalze [$\mu\text{mol l}^{-1}$] NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , SiO_4

Tabelle A.7: Auf die Solesalinität normalisierte Nährsalzkonzentrationen [$\mu\text{mol l}^{-1}$]

Tabelle A.8: Partikulärer organischer Stickstoff (PON) [$\mu\text{g l}^{-1}$], Kohlenstoff (POC) [$\mu\text{g l}^{-1}$] und das C : N - Verhältnis

Tabelle A.9: Eisalgenkohlenstoff (IAC) [$\mu\text{g l}^{-1}$] und Eisalgenabundanz [10^6 Zellen l^{-1}]

Tabelle A.10: Liste der Taxa

Tabelle A.11: Das Vakuolenvolumen [μm^3], Zellvolumen [μm^3], Plasmavolumen [μm^3] und der Kohlenstoffgehalt [pg] der gezählten und vermessenen Taxa

Tabelle A.12: Relative Abundanz (%) und Biomasse (%) der jeweiligen Taxa in pro untersuchtem Eissegment

Tabelle A.13: Mittlere *in situ* Primärproduktion (PP) [$\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$], Biomasse-spezifische Photosyntheserate (Pb) [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl } a \text{ h}^{-1}$], photosynthetische Effizienz (Alpha*) [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl } a \text{ h}^{-1}$] [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] $^{-1}$ und die Wachstumsrate (μ) [d^{-1}]; STD = Standardabweichung

Tabelle A.1: Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] über dem Eis (2 π - Sensor) und unter dem Eis (4 π - Sensor)

Station	2 π - Sensor			4 π - Sensor			Zeit [UTC]
	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	
144	334	271	434	15	12	19	17:08 - 18:32
150	660	348	1127	15	8	24	8:28 - 17:50
151	591	292	1501	9	5	18	8:11 - 13:26
152	1116	563	1422	12	5	15	10:26 - 21:00
157	459	106	1148	1.0	0.3	2.4	2:26 - 22:06
161	979	226	1238	0.3	0.2	0.4	6:46 - 17:13

Tabelle A.2: Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] im Eis;
 STD = Standardabweichung

Tiefe von unten [cm]	PAR	STD
Station 157		
64-294		
54-64	3.30	0.66
34-44	2.43	0.49
4-10	1.48	0.30
2-4	1.39	0.28
1-2	1.36	0.27
0-1	1.33	0.27
Station 150		
62-172		
52-62	37.05	6.43
32-42	27.38	4.75
4-10	17.32	3.00
2-4	16.28	2.82
0-2	15.70	2.72
Station 161		
68-288		
58-68	0.90	0.14
28-38	0.58	0.09
4-10	0.39	0.06
2-4	0.37	0.06
1-2	0.36	0.06
0-1	0.36	0.05

Tabelle A.3: UV-A - und UV-B - Strahlung [mWatt cm⁻²]

Zeit [UTC]	UV-A - Strahlung	UV-B - Strahlung
Station 153		
8:46	1.61	0.02
9:44	1.95	0.03
10:13	2.10	0.03
10:30	2.18	0.03
11:17	2.33	0.04
11:30	2.38	0.04
12:05	2.45	0.04
12:45	2.48	0.05
13:18	2.45	0.05
13:55	2.33	0.04
14:12	2.29	0.04
14:22	2.10	0.04
15:21	2.06	0.04
15:45	1.96	0.03
16:13	1.84	0.03
16:20	1.53	0.02

Tabelle A.4: Vertikalprofile der Temperatur (Temp.) [°C], der Salinität, der Chlorophyll *a* (Chl *a*) - Konzentration [$\mu\text{g l}^{-1}$], des Phaeophytin (Phaeo) zu Chlorophyll *a* - Verhältnisses, der Solesalinität und des Solevolumens [% vom Eisvolumen]

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl <i>a</i>	Phaeo/ Chl <i>a</i>	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 140							
5	-2.2	0-10	7.0	1.90	0.20	39.07	15.30
15	-2.1	10-20	4.2	3.60	0.10	37.36	9.60
25	-2.1	20-30	3.7	3.00	0.10	37.36	8.40
35	-1.8	30-40	3.9	5.70	0.20	32.19	10.50
45	-1.9	40-50	3.7	1.40	0.10	33.92	9.40
55	-1.8	50-60	3.1	1.30	0.10	32.19	8.30
65	-1.7	60-70	2.8	1.10	0.20	30.46	8.00
75	-1.6	70-80	3.4	0.80	0.10	28.72	10.40
85	-1.7	80-83	3.2	1.70	0.20	30.46	9.20
		83-89	3.4	12.50	0.10	30.46	9.70
		89-91	3.7	5.80	0.20	30.46	10.60
		91-92	4.1	18.10	0.10	30.46	11.70
		92-93	4.2	825.60	0.20	30.46	12.00
Station 141							
5	-2.1	0-10	6.6	4.15	0.11	37.36	15.00
15	-1.9	10-20	4.6	3.46	0.15	33.92	11.70
25	-1.9	20-30	4.0	3.88	0.23	33.92	10.20
35	-1.9	30-37	4.4	7.20	0.16	33.92	11.20
45	-1.9	37-43	4.4	6.59	0.19	33.92	11.20
		43-45	4.9	8.74	0.13	33.92	12.40
		45-46				33.92	12.40
		46-47	4.9	171.56	0.18	33.92	12.40
Station 142							
5	-3.0	0-10	2.4	0.68	0.51	52.53	3.90
15	-2.9	10-20	4.1	0.18	0.41	50.87	6.90
25	-2.7	20-30	4.8	0.10	0.66	47.53	8.60
35	-2.6	30-40	4.2	0.44	0.21	45.85	7.80
45	-2.6	40-50	6.5	0.69	0.19	45.85	12.10
55	-2.6	50-60			0.00	45.85	0.00
65	-2.4	60-70	4.8	1.03	0.09	42.47	9.60
75	-2.4	70-80	4.0	0.73	0.22	42.47	8.00
85	-2.3	80-90	4.4	1.00	0.24	40.77	9.20
90	-2.1	90-100	4.5	1.98	0.12	37.36	10.30
105	-2.2	100-112	3.9	3.59	0.13	39.07	8.50
115	-2.2	112-118	3.4	2.97	0.16	39.07	7.40
125	-1.7	118-120	3.0	2.74	0.24	30.46	8.60
130	-2.0	120-121	3.3	2.84	0.22	35.64	7.90
		121-122	3.9	84.44	0.03	35.64	9.30

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl a	Phaeo/ Chl a	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 143							
5	-2.8	0-10	8.0	2.31	0.13	49.20	13.90
10	-2.6	10-20	6.5	1.87	0.21	45.85	12.10
15	-2.2	20-30	4.6	1.37	0.23	39.07	10.00
20	-2.2	30-40	4.6	1.37	0.22	39.07	10.00
25	-2.3	40-50	4.6	1.75	0.29	40.77	9.60
30	-2.2	50-57	4.0	0.84	0.47	39.07	8.70
35	-1.7	57-63	3.5	1.57	0.20	30.46	10.00
40	-1.6	63-65	4.2	1.44	0.27	28.72	12.80
45	-1.7	65-66	4.8	4.14	0.21	30.46	13.70
50	-1.7	66-67	4.7	90.35	0.20	30.46	13.50
55	-1.7						
60	-1.4						

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl <i>a</i>	Phaeo/ Chl <i>a</i>	Sole- salinität	Sole- volumen
Station							
148							
5							
15	-5.2	0-10	0.4	0.02	3.99	87.67	0.40
25	-5.1	10-20	0.0	0.01	4.71	87.67	0.00
35	-5.1	20-30	0.0	0.00	3.54	86.13	0.00
45	-5.5	30-40	0.0	0.01	1.92	86.13	0.00
55	-5.7	40-50	0.0	0.02	1.45	92.27	0.00
65	-6.2	50-60	0.0	0.04	0.89	95.30	0.00
75	-6.4	60-70	0.5	0.04	1.17	102.80	0.40
85	-5.6	70-80	2.4	0.27	0.24	105.77	1.90
95	-5.0	80-90	2.7	0.21	0.47	93.79	2.50
100	-5.2	90-100	2.1	0.03	0.95	84.59	2.10
110	-6.0	100-110	2.9	0.06	0.43	87.67	2.80
120	-6.3	110-120	4.5	0.13	0.33	99.82	3.90
130	-6.1	120-130	6.1	0.21	0.26	104.29	5.00
140	-6.1	130-140	4.8	0.22	0.82	101.31	4.10
150	-6.0	140-150	4.0	0.29	0.57	101.31	3.40
165	-6.5	150-160	3.8	0.92	0.29	99.82	3.30
175	-6.7	160-170	5.4	0.33	0.22	107.24	4.30
185	-6.8	170-180	8.1	0.34	0.23	110.18	6.30
195	-6.9	180-190	10.8	0.50	0.27	111.64	8.30
205	-6.6	190-200	7.6	0.66	0.31	113.10	5.80
215	-6.5	200-210	5.7	1.40	0.28	108.71	4.50
225	-6.3	210-220	4.7	0.97	0.25	107.24	3.80
235	-6.2	220-230	4.1	0.76	0.34	104.29	3.40
245	-6.1	230-240	4.5	1.09	0.25	102.80	3.80
255	-5.6	240-250	7.2	1.19	0.28	101.31	6.10
268	-6.3	250-260	5.4	1.36	0.21	93.79	4.90
278	-6.1	260-270	6.2	1.15	0.24	104.29	5.10
288	-5.9	270-280	5.9	0.91	0.25	101.31	5.00
298	-5.9	280-290	5.4	0.83	0.28	98.32	4.70
308	-5.8	290-300	5.6	0.64	0.34	98.32	4.90
318	-5.7	300-310	5.6	0.61	0.31	96.81	5.00
328	-5.6	310-320	6.0	0.58	0.35	95.30	5.40
338	-5.6	320-330	6.2	0.49	0.39	93.79	5.70
348	-5.6	330-340	6.6	0.48	0.22	93.79	6.00
358	-5.1	340-350	5.3	0.47	0.65	93.79	4.80
368	-5.0	350-360	4.9	0.50	0.34	86.13	4.90
378	-4.9	360-370	4.9	0.49	0.41	84.59	5.00
388	-5.0	370-380	4.4	0.56	0.28	83.04	4.50
398	-4.8	380-390	4.9	0.78	0.32	84.59	5.00
418	-3.7	390-400	4.1	0.55	0.29	81.48	4.30
428	-3.6	400-410	6.6	0.53	0.61	64.00	8.80
438	-3.4	410-420	3.0	0.77	0.67	62.38	4.10
448	-3.0	420-430	2.0	0.67	0.36	59.12	2.90
458	-2.9	430-440	2.0	0.92	0.27	52.53	3.20
468	-2.7	440-450	2.2	1.49	0.27	50.87	3.70
478	-2.5	450-460	3.0	2.80	0.54	47.53	5.40
488	-2.4	460-470	3.1	2.26	0.42	44.16	6.00
498	-2.0	470-480	3.3	2.55	0.58	42.47	6.60
508	-2.1	480-492	3.1	3.77	0.47	35.64	7.40
		492-498	2.1	4.34	0.34	37.36	4.80
		489-500	2.8	3.79	0.28	37.36	6.40
		500-501	3.0	4.36	0.36	37.36	6.80
		501-502	3.1	5.17	0.28	37.36	7.10

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl <i>a</i>	Phaeo/ Chl <i>a</i>	Sole- salinität	Sole- volumen
Station							
150							
5	-3.3	0-10	7.4	0.03	0.79	57.48	11.00
15	-3.5	10-20	6.4	0.02	0.83	60.75	9.00
25	-3.6	20-30	5.8	0.04	1.21	62.38	7.90
35	-3.5	30-40	5.3	0.09	0.51	60.75	7.40
45	-3.3	40-50	4.4	0.06	0.50	57.48	6.50
55	-3.4	50-60	4.7	0.05	0.61	59.12	6.80
65	-3.3	60-70	4.7	0.14	0.46	57.48	7.00
75	-3.1	70-80	4.6	0.10	0.24	54.19	7.20
85	-3.1	80-90	4.4	0.07	0.44	54.19	6.90
95	-3.1	90-100	4.2	0.29	0.29	54.19	6.60
105	-3.0	100-110	5.4	0.30	0.23	52.53	8.80
117	-3.0	110-120	6.1	0.27	0.26	52.53	9.90
127	-2.9	120-130	5.7	0.33	0.25	50.87	9.60
137	-2.8	130-140	6.5	0.40	0.21	49.20	11.30
147	-2.5	140-150	6.0	0.49	0.27	44.16	11.60
157	-2.3	150-162	5.2	0.67	0.43	40.77	10.90
167	-2.3	162-168	5.1	0.81	0.48	40.77	10.70
177	-2.2	168-170	5.4	1.47	0.42	39.07	11.80
		170-172	5.9	15.37	0.19	39.07	12.90
Station							
152							
5	-1.1	0-10	0.0	0.01	8.09	19.92	0.00
15	-1.4	10-20	0.1	0.03	1.42	25.22	0.40
25	-1.9	20-30	0.2	0.02	1.93	33.92	0.50
35	-2.2	30-40	0.5	0.04	1.49	39.07	1.10
45	-2.7	40-50	0.9	0.04	0.50	47.53	1.60
55	-3.0	50-60	1.1	0.03	1.35	52.53	1.80
65	-3.3	60-70	1.4	0.04	1.20	57.48	2.10
75	-3.3	70-80	1.2	0.09	0.57	57.48	1.80
90	-3.4	80-90	1.3	0.03	0.58	59.12	1.90
95		90-100	1.6	0.03	0.84	57.48	2.40
110	-3.2	100-110	2.0	0.06	0.76	55.84	3.10
120	-3.7	110-120	2.4	0.10	0.03	64.00	3.20
130	-3.5	120-130	2.7	0.20	0.26	60.75	3.80
143	-3.6	130-140	2.5	0.23	0.19	62.38	3.40
153	-3.6	140-150	5.0	0.12	0.38	62.38	6.80
163	-3.4	150-160	4.3	0.08	0.29	59.12	6.20
173	-3.3	160-170	5.4	0.08	0.60	57.48	8.00
194	-3.1	170-180	3.9	0.10	0.42	54.19	6.10
204	-2.9	180-190	3.4	0.10	0.40	50.87	5.70
214	-2.8	190-200	3.4	0.12	0.39	49.20	5.90
224	-2.8	200-210	3.4	0.28	0.49	49.20	5.90
234	-2.5	210-220	4.5	1.74	0.24	44.16	8.70
244	-2.2	220-230	4.2	1.67	0.17	39.07	9.20
254	-1.9	230-240	3.7	2.66	0.11	33.92	9.40
264	-2.2	240-252	3.8	3.13	0.17	39.07	8.30
269	-2.6	252-258	4.7	3.10	0.19	45.85	8.70
		258-260	7.2	4.65	0.22	45.85	13.40
		260-261	8.1	8.61	0.26	45.85	15.10
		261-262	9.4	32.77	0.23	45.85	17.50

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl a	Phaeo/ Chl a	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 153							
5	-0.9	0-10	0.7	0.05	0.66	16.36	3.90
15	-1.6	10-20	1.6	0.20	0.15	28.72	4.90
25	-2.2	20-30	2.9	0.13	0.27	39.07	6.30
35	-2.8	30-40	3.2	0.07	0.28	49.20	5.50
45	-3.3	40-50	3.5	0.04	0.40	57.48	5.20
55	-3.3	50-60	3.6	0.04	0.38	57.48	5.30
65	-3.3	60-70	3.4	0.03	0.58	57.48	5.00
70	-3.6	70-80	5.0	0.04	0.18	62.38	6.80
80	-3.7	80-90	4.1	0.03	0.36	64.00	5.50
85	-3.7	90-100	4.3	0.06	0.37	64.00	5.70
95	-3.8	100-110	4.7	0.22	0.25	65.62	6.10
105	-3.5	110-120	5.2	0.08	0.45	60.75	7.30
115	-3.7	120-130	5.4	0.08	0.27	64.00	7.20
125	-3.9	130-140	5.7	0.09	0.22	67.23	7.20
135	-3.7	140-150	5.1	0.08	0.20	64.00	6.80
145	-3.7	150-160	4.7	0.08	0.26	64.00	6.30
155	-3.7	160-170	4.8	0.06	0.46	64.00	6.40
165	-3.7	170-180	4.8	0.08	0.39	64.00	6.40
179	-3.1	180-190	4.1	0.14	0.23	54.19	6.50
189	-3.2	190-200	3.4	0.11	0.27	55.84	5.20
199	-3.1	200-210	3.9	0.37	0.22	54.19	6.10
209	-2.8	210-220	5.7	5.40	0.19	49.20	9.90
219	-2.8	220-230	4.1	4.75	0.18	49.20	7.10
229	-2.3	230-240	3.8	2.47	0.10	40.77	7.90
239	-2.3	240-250	3.8	1.45	0.39	40.77	7.90
249	-2.3	250-252	5.2	1.88	0.22	40.77	10.90
259	-2.3	252-258	5.3	2.28	0.17	40.77	11.10
		258-260	6.3	3.97	0.22	40.77	13.20
		260-261	6.9	1.85	0.22	40.77	14.40
		261-262	10.1	52.77	0.25	40.77	21.10

Fortsetzung Tabelle A.4: Legende siehe oben.

Tiefe [cm]	Temp.	Tiefe [cm]	Salinität	Chl <i>a</i>	Phaeo/ Chl <i>a</i>	Sole- salinität	Sole- volumen
Station 157							
5	-2.3	0-10	0.7	0.07	1.16	40.77	1.50
15	-3.0	10-20	1.4	0.09	0.21	52.53	2.30
25	-2.9	20-30	0.8	0.09	0.30	50.87	1.30
35	-3.4	30-40	1.0	0.17	0.16	59.12	1.40
45	-3.6	40-50	0.6	0.12	0.25	62.38	0.80
55	-3.9	50-60	1.0	0.07	0.34	67.23	1.30
65	-3.9	60-70	1.4	0.06	0.37	67.23	1.80
70	-3.9	70-80	1.6	0.09	0.32	67.23	2.00
80	-3.9	80-90	1.4	0.13	0.26	67.23	1.80
85	-3.7	90-100	2.6	0.13	0.37	64.00	3.50
95	-4.0	100-110	3.3	0.07	0.31	68.83	4.10
105	-3.7	110-120	3.3	0.08	0.38	64.00	4.40
115	-4.0	120-130	3.9	0.10	0.38	68.83	4.80
125	-4.2	130-140	4.2	0.09	0.40	72.03	5.00
135	-4.2	140-150	3.7	0.13	0.24	72.03	4.40
145	-4.0	150-160	4.0	0.22	0.19	68.83	5.00
155	-4.0	160-170	4.6	0.29	0.43	68.83	5.70
165	-3.7	170-180	4.2	0.07	0.29	64.00	5.60
175	-4.0	180-190	5.2	0.00	0.00	68.83	6.50
185	-4.0	190-200	4.0	0.09	0.36	68.83	5.00
195	-4.0	200-210	4.5	0.09	0.21	68.83	5.60
205	-4.0	210-220	4.2	0.18	0.35	68.83	5.20
215	-3.9	220-230	4.2	0.19	0.22	67.23	5.30
225	-3.8	230-240	5.1	0.23	0.63	65.62	6.60
235	-3.7	240-250	4.3	0.30	0.67	64.00	5.70
245	-3.7	250-260	3.4	1.82	0.71	64.00	4.50
255	-3.7	260-270	3.8	0.84	0.58	64.00	5.10
265	-3.3	270-280	3.4	0.67	0.59	57.48	5.00
275	-2.9	280-284	3.2	0.90	0.65	50.87	5.40
285	-2.6	284-290	5.2	1.89	0.51	45.85	9.70
295	-2.5	290-292	6.0	3.21	0.51	44.16	11.60
305	-2.5	292-293	6.4	7.42	0.31	44.16	12.30
310	-2.6	293-294	7.1	29.76	0.22	45.85	13.20

Fortsetzung Tabelle A.12: Legende siehe oben.

Genera	Relative Abundanz	Relative Biomasse
4-10 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	24.42	78.29
<i>Navicula</i> spp.	1.20	5.55
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.05	0.03
<i>Fragilariopsis</i> spp.	2.47	1.09
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.03	0.30
<i>Entomoneis</i> spp.	0.00	0.00
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.14	0.23
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	71.69	14.52
28-38 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	18.84	86.61
<i>Navicula</i> spp.	0.56	3.16
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.12	0.10
<i>Fragilariopsis</i> spp.	6.00	4.12
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.15	1.57
<i>Entomoneis</i> spp.	0.00	0.00
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.29	0.59
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	74.04	3.85
58-68 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	7.96	66.87
<i>Navicula</i> spp.	0.82	12.01
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.11	0.16
<i>Fragilariopsis</i> spp.	5.64	6.35
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.00	0.00
<i>Entomoneis</i> spp.	0.00	0.00
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.75	2.50
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	84.71	12.11
Station 157		
0-1 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	38.86	50.28
<i>Navicula</i> spp.	8.29	20.62
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.17	0.04
<i>Fragilariopsis</i> spp.	14.27	2.43
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.38	18.03
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.77	2.15
<i>Entomoneis</i> spp.	0.15	3.71
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.05	0.05
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.08	0.03
Flagellaten	36.98	2.68
1-2 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	10.95	21.14
<i>Navicula</i> spp.	8.71	31.00
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.12	0.03
<i>Fragilariopsis</i> spp.	21.10	5.55
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.22	15.95
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.66	2.44
<i>Entomoneis</i> spp.	0.34	13.45
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.22	0.44
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.10	0.06
Flagellaten	57.59	9.93

Fortsetzung Tabelle A.12: Legende siehe oben.

Genera	Relative Abundanz	Relative Biomasse
2-4 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	6.44	17.55
<i>Navicula</i> spp.	5.37	23.81
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.46	0.24
<i>Fragilariopsis</i> spp.	5.41	2.18
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.06	6.48
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.20	0.99
<i>Entomoneis</i> spp.	0.14	8.20
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.19	0.36
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.02	0.02
Flagellaten	81.70	40.18
4-10 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	13.36	31.59
<i>Navicula</i> spp.	8.43	28.26
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.54	0.20
<i>Fragilariopsis</i> spp.	4.02	1.06
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.18	1.00
<i>Entomoneis</i> spp.	0.48	23.06
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.11	0.19
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.05	0.04
Flagellaten	72.83	14.61
30-40 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	21.19	50.71
<i>Navicula</i> spp.	6.35	24.18
<i>Chaetoceros</i> spp.	1.62	0.81
<i>Fragilariopsis</i> spp.	3.68	1.17
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.02	1.73
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.32	1.92
<i>Entomoneis</i> spp.	0.16	7.49
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.06	0.08
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	66.61	11.93
60-70 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	16.05	51.76
<i>Navicula</i> spp.	3.20	13.83
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.08	0.04
<i>Fragilariopsis</i> spp.	8.84	4.18
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.08	10.27
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.34	1.97
<i>Entomoneis</i> spp.	0.00	0.00
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.08	0.20
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	71.32	17.75
Station 161		
0-1 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	25.97	32.15
<i>Navicula</i> spp.	16.65	32.92
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.00	0.00
<i>Fragilariopsis</i> spp.	16.34	2.43
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.42	17.15
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	1.12	2.85
<i>Entomoneis</i> spp.	0.37	8.37
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.37	0.33
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.08	0.03
Flagellaten	38.67	3.77

Fortsetzung Tabelle A.12: Legende siehe oben.

Genera	Relative Abundanz	Relative Biomasse
1-2 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	39.12	51.92
<i>Navicula</i> spp.	9.59	24.72
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.00	0.00
<i>Fragilariopsis</i> spp.	6.91	1.18
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.25	11.92
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.50	1.13
<i>Entomoneis</i> spp.	0.25	6.46
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.67	0.64
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.42	0.17
Flagellaten	42.30	1.86
2-4 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	24.87	35.46
<i>Navicula</i> spp.	11.40	32.96
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.22	0.04
<i>Fragilariopsis</i> spp.	7.33	1.29
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.22	10.67
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.38	1.43
<i>Entomoneis</i> spp.	0.33	8.68
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.16	0.18
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.05	0.02
Flagellaten	55.04	9.26
4-10 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	32.68	54.60
<i>Navicula</i> spp.	6.03	23.63
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.00	0.00
<i>Fragilariopsis</i> spp.	10.44	2.35
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.85	3.67
<i>Entomoneis</i> spp.	0.31	10.42
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.31	0.42
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.04	0.02
Flagellaten	49.33	4.87
28-38 cm.		
<i>Nitzschia</i> spp.	46.09	74.59
<i>Navicula</i> spp.	5.54	13.46
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.64	0.15
<i>Fragilariopsis</i> spp.	19.71	4.23
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.80	2.72
<i>Entomoneis</i> spp.	0.00	0.00
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.21	0.21
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	27.01	4.64
58-68 cm		
<i>Nitzschia</i> spp.	26.00	73.45
<i>Navicula</i> spp.	2.31	8.45
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.00	0.00
<i>Fragilariopsis</i> spp.	8.99	3.23
<i>Gyro.-/Pleurosigma</i> spp.	0.00	0.00
<i>Pseudogomphonema</i> spp.	0.51	4.19
<i>Entomoneis</i> spp.	0.07	4.24
<i>Thalassiosira</i> spp.	0.80	0.82
<i>Hantzschia weyprechtii</i>	0.00	0.00
Flagellaten	61.33	5.62

Tabelle A.13: Mittlere *In situ* Primärproduktion (PP) [$\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$], Biomasse-spezifische Photosyntheserate (P^b) [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl } a \text{ h}^{-1}$], photosynthetische Effizienz (Alpha^*) [$\mu\text{g C } \mu\text{g Chl } a \text{ h}^{-1}$] [$\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$] $^{-1}$ und die Wachstumsrate μ [d^{-1}]; STD = Standardabweichung

Tiefe von unten [cm]	PP	STD PP	P^b	STD P^b	Alpha^*	STD Alpha^*	Wachstumsrate
Station 142							
61-113							
60-61	0.05	0.013	0.05	0.015			0.01
35-60							
34-35	0.90	0.030	0.90	0.299			0.50
9-34							
8-9	0.34	0.030	0.10	0.008			0.04
3-8							
2-3	0.55	0.012	0.18	0.004			0.03
1-2	1.10	0.166	0.39	0.060			0.02
0-1	7.65	0.281	0.09	0.003			0.01
Station 150							
61-174							
60-61	0.07	0.024	0.23	0.079	0.006	0.0026	0.19
35-60							
34-35	0.16	0.009	0.39	0.024	0.010	0.0012	0.17
9-34							
8-9	0.13	0.049	0.16	0.060	0.009	0.0042	0.20
3-8							
2-3	0.06	0.005	0.04	0.004	0.002	0.0003	0.04
1-2	0.46	0.100	0.31	0.068	0.020	0.0053	0.18
0-1	2.96	0.143	0.19	0.009	0.012	0.0007	0.11
Station 157							
61-297							
60-61							
35-60							
34-35	0.02	0.004	0.02	0.004	0.008	0.0019	0.02
9-34							
8-9	0.03	0.019	0.01	0.010	0.009	0.0058	0.02
3-8							
2-3	0.08	0.045	0.03	0.014	0.018	0.0118	0.01
1-2							
0-1	1.21	0.085	0.04	0.003	0.031	0.0026	0.01
Station 161							
61-305							
60-61							
35-60							
34-35	0.11	0.009	0.13	0.011	0.230	0.0168	0.04
9-34							
8-9	0.04	0.011	0.02	0.005	0.061	0.0121	0.02
3-8							
2-3	0.13	0.018	0.03	0.005	0.094	0.0181	0.04
1-2	0.25	0.023	0.05	0.005	0.151	0.0214	0.04
0-1	0.35	0.011	0.06	0.002	0.155	0.0068	0.04