

**Zur Ökologie von Schmelzwassertümpeln auf  
arktischem Meereis – Charakteristika, saisonale  
Dynamik und Vergleich mit anderen aquatischen  
Lebensräumen polarer Regionen**

**On the ecology of meltwater ponds on Arctic sea ice –  
characteristics, seasonal dynamic and comparison with  
other aquatic habitats of polar regions**

---

**Marina Carstens**

**Ber. Polarforsch. Meeresforsch. 409 (2002)  
ISSN 1618 - 3193**

**Marina Carstens**

c/o Institut für Polarökologie der Universität Kiel  
Wischhofstraße 1-3, Geb. 12  
D-24148 Kiel  
Germany  
E-mail: carstens.pellnitz@t-online.de

Diese Arbeit ist die leicht veränderte Fassung einer Dissertation, die der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität Kiel im Juni 2001 vorgelegt wurde.

Inhaltsverzeichnis		
<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	v
<b>0</b>	<b>Summary</b>	ix
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Lebensräume im Ökosystem Meereis	2
1.2	Ökologie der Meereistümpel - Erkenntnisse anderer Autoren	4
1.3	Ziel der Untersuchungen	9
1.4	Terminologie	9
<b>2</b>	<b>Untersuchungsgebiet</b>	12
2.1	Hydrographie	12
2.2	Eisbedeckung	15
2.3	Eisverhältnisse in den Untersuchungsjahren 1993 und 1994	19
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	23
3.1	Untersuchungsmaterial	23
3.1.1	Meereistümpel	23
3.1.2	Vergleichsstationen: Landtümpel und -seen, Tümpel auf Gletschern und Eisbergen, Proben aus dem marinen Milieu	25
3.1.2.1	Schmelzwassertümpel auf Gletschern und Eisbergen	26
3.1.2.2	Landtümpel und -seen	27
3.1.2.3	Proben aus dem marinen Milieu	31
3.2	Untersuchungsmethoden	32
3.2.1	Probennahme und <i>in situ</i> -Messungen (Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, PAR, Dimensionen)	32
3.2.2	Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen	37
3.2.3	Bestimmung der Salinität	37
3.2.4	Bestimmung der Chlorophyll <i>a</i> -Konzentrationen	38
3.2.5	Bestimmung der Konzentration des partikulären organischen Materials (C/N-Analyse)	39
3.2.6	Fixierung und Probenaufbereitung für die mikroskopische Auswertung	40
3.2.7	Quantitative mikroskopische Auswertung	40
3.2.8	Mikroskopische Analyse, Identifizierung und systematische Einordnung der Organismen	41
3.2.9	Statistische Auswertung und graphische Darstellung	43
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	45
4.1	Generelle Beobachtungen	45
4.1.1	Häufigkeit der Meereistümpel	45
4.1.2	Farbe und Besonderheiten der Meereistümpel	45
4.1.3	Farbe und Besonderheiten der vergleichend untersuchten Gewässer	53
4.2	Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten	55
4.2.1	Abiotische Parameter	55
4.2.1.1	Flächenausdehnung und Wassertiefen	55
4.2.1.2	Temperatur, pH-Wert, Salinität, Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentration	59
4.2.1.3	Nährstoffkonzentrationen	68
4.2.1.4	Lichtverhältnisse (PAR)	79
4.2.2	Biomasse-Summenparameter	80
4.2.2.1	Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentrationen	82

## Inhaltsverzeichnis

---

4.2.2.2	Beziehungen zwischen den Biomasseparametern Chlorophyll, POC und PON	87
4.2.3	Statistische Analysen	89
4.2.3.1	Korrelationen zwischen abiotischen Parametern und Biomasse-Summenparametern	89
4.2.3.2	Zusammenhang zwischen Farbe und Eigenschaften der Meereistümpel	93
4.2.3.3	Vergleich des Lebensraums Meereistümpel mit anderen aquatischen Habitaten: Clusteranalyse	99
4.2.4	Zusammensetzung der mikrobiellen Planktongemeinschaften	102
4.2.4.1	Qualitative Zusammensetzung	102
4.2.4.2	Gesamtabundanzen und dominierende Taxa	124
4.2.4.3	Größenstruktur der Lebensgemeinschaften	136
4.2.4.4	Unterschiede in der Besiedlung von Süß- und Brackwassertümpeln	138
4.3	Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel	142
4.3.1	Visuelle Beobachtungen zur saisonalen Entwicklung der Meereistümpel	142
4.3.2	Zeitliche Entwicklung der wiederbesuchten Station 15	147
4.3.3	Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel	158
5.	<b>Diskussion</b>	173
5.1	Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung	173
5.1.1	Häufigkeit, Morphometrie, Farbe und Besonderheiten der Meereistümpel	173
5.1.1.1	Meereistümpel-Bedeckungsgrad und Ursachen seiner Variabilität	173
5.1.1.2	Variabilität der Flächenausdehnung und Tiefe der Meereistümpel	176
5.1.1.3	Farbe und Besonderheiten der Meereistümpel	185
5.1.1.4	Konsequenzen für den Lebensraum Meereistümpel	191
5.1.2	Temperatur, pH-Wert, Salinität, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt	192
5.1.2.1	Variabilität und Unterschiede zwischen Süß- und Brackwassertümpeln	192
5.1.2.2	Konsequenzen für die Besiedlung der Meereistümpel	198
5.1.3	Nährstoffkonzentrationen und Lichtverhältnisse	199
5.1.3.1	Nährstoffangebot in den Meereistümpeln	199
5.1.3.2	Lichtangebot in den Meereistümpeln	203
5.1.3.3	Konsequenzen für den Lebensraum Meereistümpel	206
5.1.4	Die Lebensgemeinschaften der Meereistümpel	207
5.1.4.1	Biomasse der Lebensgemeinschaft (Chlorophyll, POC, PON)	207
5.1.4.2	Zusammensetzung und Sukzession der Lebensgemeinschaft	211
5.2	Vergleich des Lebensraums "Meereistümpel" mit anderen polaren Habitaten	222
5.2.1	Meereistümpel im Vergleich mit Süßwasserhabitaten polarer und alpiner Regionen	223
5.2.1.1	Meereistümpel im Vergleich mit arktischen Süßwasserhabitaten	223
5.2.1.2	Meereistümpel im Vergleich mit antarktischen Süßwasserhabitaten	231
5.2.1.3	Meereistümpel im Vergleich mit nivalen Lebensräumen polarer und alpiner Regionen	237
5.2.2	Vergleich der Meereistümpel mit dem Meereis-Solekanalsystem	240
5.2.3	Vergleich der Meereistümpel mit meerwassergeprägten Lebensräumen und Diskussion der Frage nach der Herkunft der Meereistümpelgemeinschaft	251
5.2.3.1	Vergleich der Meereistümpel mit meerwassergeprägten Lebensräumen	251
5.2.3.2	Herkunft der Meereistümpelgemeinschaft	253
5.3	Bedeutung der Meereistümpel für das System Meereis	257
5.3.1	Physikalische Aspekte	257

## Inhaltsverzeichnis

---

5.3.2	Biologische Aspekte	258
5.4	Kritische Würdigung der eingesetzten Methoden und Geräte	266
5.4.1	Bestimmung abiotischer Parameter	266
5.4.2	Bestimmung der Farbe von Meereistümpeln	267
5.4.3	Bestimmung der Chlorophyllkonzentration	267
5.4.4	Biomasse-Umrechnungsfaktoren und Differenzierung zwischen POC und Detritus	269
5.4.5	Identifizierung und systematische Einordnung der Organismen	270
5.4.6	Statistische Methoden	271
5.4.7	Probenmaterial aus dem marinen Milieu	272
5.5	Ausblick	273
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>275</b>
<b>7</b>	<b>Danksagung</b>	<b>297</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenanhang</b>	<b>299</b>
	Tab. A-1: Liste der beprobten Meereistümpel und Vergleichsstationen	299
	Tab. A-2.a: Morphometrische Daten der Meereistümpel	302
	Tab. A-2.b: Morphometrische Daten der Vergleichsstationen	304
	Tab. A-3.a: Temperaturen, pH-Werte und Salzgehalte der Meereistümpel	305
	Tab. A-3.b: Temperaturen, pH-Werte und Salzgehalte der Vergleichsstationen	307
	Tab. A-4.a: Leitfähigkeiten und Sauerstoffgehalte der Meereistümpel	308
	Tab. A-4.b: Leitfähigkeiten und Sauerstoffgehalte der Vergleichsstationen	309
	Tab. A-5.a: pH-Werte, Salzgehalte und Leitfähigkeit von Schneeproben	310
	Tab. A-5.b: pH-Werte, Salzgehalte und Leitfähigkeit in Eiskernen	311
	Tab. A-6.a: Nährstoffkonzentrationen der Meereistümpel	312
	Tab. A-6.b: Nährstoffkonzentrationen der Vergleichsstationen	314
	Tab. A-6.c: Nährstoffkonzentrationen von Schneeproben	315
	Tab. A-6.d: Nährstoffkonzentrationen von Schneeproben	316
	Tab. A-7.a: Chlorophyll-, POC- und PON-Gehalte der Meereistümpel	317
	Tab. A-7.b: Chlorophyll-, POC- und PON-Gehalte der Vergleichsstationen	319
	Tab. A-7.c: Chlorophyll-, POC- und PON-Gehalte von Eiskernen	320
	Tab. A-8: Quantitative Zusammensetzung des mikrobiellen Planktons	321
	Tab. A-9.a: Organismische Biomasse an Station 15	323
	Tab. A-9.b: Organismische Biomasse an Station 45	324
	Tab. A-10: Abundanzen in einer Eisprobe aus dem Tümpelboden von Station 9	325



## Zusammenfassung

Auf arktischem Meereis bilden sich in den Sommermonaten Schmelzwassertümpel, deren Charakteristika, saisonale Dynamik und Besiedlung während dreier Expeditionen mit FS "Polarstern" in den Jahren 1993 und 1994 untersucht wurden. Das Untersuchungsgebiet umfaßte den Bereich des Nordostgrönlandstroms im westlichen Teil der Framstraße und der Grönlandsee zwischen 81° N und 72° N. Der Untersuchungszeitraum deckte die gesamte Sommersaison von der Entstehung der Tümpel Ende Juni bis in den Herbst hinein ab (letzte Probennahme am 16.9.). Zur Charakterisierung der Lebensbedingungen in den Meereistümpeln wurden die abiotischen Parameter Temperatur, pH-Wert, Salinität, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Nährstoffkonzentrationen und Lichtverhältnisse (PAR) untersucht. Daneben wurden die Flächenausdehnung und Wassertiefe der Tümpel bestimmt. Ermittelt wurden weiterhin die biologischen Summenparameter Chlorophyll *a*-Konzentration und partikulärer organischer Kohlenstoffgehalt als Maß für die phototrophe bzw. Gesamtbiomasse der Meereistümpel. Für die mikroskopische Untersuchung der Lebensgemeinschaften wurden Wasserproben aufbereitet und fixiert. Es erfolgte sowohl eine qualitative Untersuchung der Zusammensetzung des mikrobiellen Tümpelplanktons als auch eine Bestimmung der Organismenabundanzen. Die in den Organismengruppen festgelegte Biomasse wurde berechnet und mit der Produktion des Meereises verglichen. Zusätzlich wurden andere arktische Lebensräume untersucht (Tümpel und Seen an der nordostgrönländischen Küste, Schmelzwassertümpel auf Gletschern und Eisbergen, Meerwasser, Meereis) und mit den Meereistümpeln verglichen. Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen liefern erstmals umfassende quantitative Daten zur saisonalen Entwicklung der abiotischen und biotischen Parameter einschließlich der Lebensgemeinschaften der Meereistümpel und stellen eine Verbindung zwischen physikalisch-chemischen und biologischen Parametern her.

Der Meereistümpelbedeckungsgrad variierte im Untersuchungszeitraum sehr stark (10 bis 70 %) und lag im Durchschnitt bei 20 - 25 %. Die höchsten Bedeckungsgrade wurden auf Festeis beobachtet. Die Meereistümpel zeigten mit Flächenausdehnungen zwischen <1 m<sup>2</sup> und beinahe 21.000 m<sup>2</sup> eine hohe Größenvariabilität, während die Wassertiefe wenige Dezimeter nicht überstieg. Mit Medianwerten der Flächenausdehnung von 115 m<sup>2</sup> und der Wassertiefe von 14,3 cm ist die Bezeichnung dieser Gewässer als "Tümpel" daher gerechtfertigt, auch wenn sie gelegentlich die Größe von Seen erreichten. Damit stellt ein großer Teil der Meereisoberfläche im Sommer einen potentiellen Lebensraum für planktische Organismen dar.

Aufgrund ihrer Lage auf der Meereisoberfläche sind die Meereistümpel ein stark exponierter und kalter Lebensraum, der Witterungseinflüssen wie Wind und Sonneneinstrahlung direkt ausgesetzt ist und eine mittlere Wassertemperatur von nur +0,2° C aufweist. Im Untersuchungsgebiet dominierten reine Süßwassertümpel (79 %) und oligomixohaline Tümpel mit einer Salinität von maximal 2 (15 %); nur selten wurden Brackwassertümpel mit Salinitäten zwischen 8 und 22 gefunden. Die pH-Werte des Meereistümpelwassers lagen im Mittel bei 6,7 und variierten in den Süßwassertümpeln zwischen 5,4 und 8,1, in den brackigen Tümpeln dagegen zwischen 7,7 und 8,6. Die geringe Leitfähigkeit von 628 µs/cm spiegelt den Schmelzwassereinfluß besonders deutlich wider, wobei in den Süßwasser- und oligomixohalinen Tümpeln Werte zwischen

34  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  festgestellt wurden, während die Brackwassertümpel bis zu 33700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  erreichten. Mit einem mittleren Sauerstoffgehalt von 13,2 mg/l liegt in den Meereistümpeln eine gute Sauerstoffversorgung vor. Die geringe Salinität und Ionenarmut in den reinen Süßwasser- und schwach brackigen Tümpeln ist als begrenzender Faktor für die Besiedlung dieses Lebensraums anzusehen, der Süßwasser"inseln" in einem rein marinen Milieu bildet und völlig andere Anforderungen an die osmoregulatorischen Fähigkeiten der Organismen stellt als das marine Milieu. Hinzu kommt, daß die Salinität keinen konstanten Faktor darstellt, sondern wie auch die meisten anderen abiotischen Parameter einer saisonalen Dynamik unterliegt. Im Laufe des Sommers nehmen die Salinität und Leitfähigkeit des Meereistümpelwassers signifikant zu. Die Veränderungen der aufgrund der abiotischen Parameter gegebenen Lebensbedingungen sind ein zusätzliches Erschwernis für die Bewohner dieses Lebensraums und gleichzeitig Auslöser von saisonalen Veränderungen der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft.

Meereistümpel sind nährstoffarme Lebensräume (Nitrat: 0,3  $\mu\text{mol}/\text{l}$ ; Phosphat: 0,05  $\mu\text{mol}/\text{l}$ ; Silikat: 0,2  $\mu\text{mol}/\text{l}$ , Medianwerte) und als ultraoligotroph einzustufen. Aufgrund der starken Sonneneinstrahlung während des arktischen Sommers, verbunden mit hoher Lichtreflektion durch das Eis des Tümpelbodens, geringer Wassertiefe bei sehr klarem Wasser und fehlenden Schattenbereichen, herrschen in den Meereistümpeln extreme Lichtverhältnisse, die besondere Anforderungen an ihre Bewohner stellen. Der Maximalwert der in den Meereistümpeln gemessenen Lichtmenge (PAR) betrug 2805  $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}^2$ , gemessen in Bodennähe mit einem sphärischen Unterwassersensor (4  $\pi$ -Sensor). Zur gleichen Zeit wurde am Ufer die einfallende Lichtstrahlung mit einem herkömmlichen 2  $\pi$ -Sensor mit 966  $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}^2$  bestimmt. Das Verhältnis zwischen Ergebnissen der Lichtmessungen in der Wassersäule und der gleichzeitigen Messung der einfallenden Strahlung am Ufer war in den Meereistümpeln mit einem mittleren Wert von 2,5 deutlich höher als in den Landtümpeln und -seen (1,1).

Die Farbe der Meereistümpel gibt erste Hinweise auf ihre Salinität. Die im Untersuchungsgebiet dominierenden, charakteristischen hellblauen Tümpel (69 %) sind Süßwasserhabitats, während grünliche Tümpel (7 %) im allgemeinen brackige Lebensräume darstellen. Graue Meereistümpel sind schwerer einzuordnen. Obwohl grüne Meereistümpel höhere Chlorophyllkonzentrationen als blaue Tümpel aufweisen, ist die grüne Färbung nicht auf eine Phytoplanktonblüte zurückzuführen, da die Chlorophyllkonzentrationen insgesamt sehr niedrig waren. Es werden verschiedene Ursachen für die Ausprägung der unterschiedlichen Tümpelfarben dargestellt und diskutiert. Physikalische Faktoren, die Kombination der Lichtbrechungs- und -absorptionseigenschaften des Tümpelwassers, des Tümpelbodens und der in beiden enthaltenen Partikel bzw. Zellen scheinen eine wesentliche Rolle zu spielen. Das charakteristische Hellblau der Meereistümpel läßt sich analog zur blauen "Wüstenfarbe" des Meeres als Hinweis auf eine geringe Produktivität des Gewässers deuten.

Die Algenbiomasse in den Meereistümpeln, gemessen an der mittleren Chlorophyllkonzentration von 0,04  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Spannweite 0,01 - 0,40  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), war sehr gering und zeigte im Laufe des Sommers einen leichten, aber signifikanten Anstieg. Die Gesamtbioasse, bestimmt als partikulärer organischer Kohlenstoff (POC), bewegte sich zwischen 18 und



## Zusammenfassung

---

313  $\mu\text{g/l}$  mit einem Medianwert von 85  $\mu\text{g/l}$  und war damit höher, als die Chlorophyllkonzentrationen erwarten ließen. Die POC-Konzentrationen zeigten von Ende Juni bis Mitte September einen hochsignifikanten Anstieg.

Die Lebensgemeinschaft der Meereistümpel läßt sich als eine mikrobielle Gemeinschaft aus Bakterien und Protisten charakterisieren, wobei sich aus einer durch Schneeorganismen (z. B. Schneeealgen und der Schneepilz *Chionaster bicornis*) dominierten Gemeinschaft schnell eine "typische" Süßwassertümpel-Gemeinschaft entwickelt. Diese setzt sich aus Vertretern der Chlorophyceae (Chlamydomonadales: *Chlamydomonas* sp.; *Carteria* sp.), Chrysophyceae (*Chrysolynos* sp.; *Dinobryon* spp.), photo- und heterotrophen Dinoflagellaten sowie Nanoflagellaten und aus typischen Planktonciliaten (*Strombidium* spp.) und haptoriden Ciliaten (*Lacrymaria* sp., *Didinium* sp.) zusammen. Diatomeen fehlen, auch wurden keine vielzelligen Organismen festgestellt. In den meso- und polymixohalinen Meereistümpeln treten noch weitere Taxa auf, vor allem Diatomeen und Prasinophyceen (*Pyramimonas* sp.) sowie choreotriche Ciliaten, ferner aus dem Meereis und dem marinen Milieu bekannte Arten wie der autotrophe haptoride Ciliat *Myrionecta rubra* und der heterotrophe Flagellat *Cryothecomonas* sp., was für die Herkunft der Brackwassertümpelbewohner aus dem Meereis und Meerwasser spricht. Heterotrophe Dinoflagellaten und haptoride Ciliaten stellen die höchste trophische Ebene innerhalb des Nahrungsnetzes der Meereistümpel dar. Das Auftreten von Ruhestadien (Hypnozygoten von Dinoflagellaten, Chrysophyceen-Statocysten und Ruhestadien anderer Gruppen) in der Wassersäule und im Boden der Meereistümpel ist ein Hinweis darauf, daß eis- und tümpellebende Protisten ungünstige Lebensbedingungen z. B. in den Wintermonaten, in denen die Tümpel durchfrieren, überdauern können und diese Ruhestadien bei günstigeren Umweltbedingungen als Saatpopulationen dienen können.

Die Ergebnisse zeigen, daß Meereistümpel sehr dynamische Lebensräume darstellen, die innerhalb weniger Tage entstehen und im saisonalen Verlauf starke Veränderungen fast aller Parameter zeigen, was Konsequenzen für ihre Besiedlung und die Entwicklung der Lebensgemeinschaft hat. Zu Beginn des Sommers bilden die Meereistümpel ein stark vernetztes System aus großflächigen, flachen Tümpeln und Schmelzwasserkanälen und stellen in dieser Phase Fließgewässer dar. Im Laufe des Sommers erfolgt eine Verkleinerung und Vertiefung der Meereistümpel und der Übergang zu einem stehenden Gewässer. Bereits zur Mitte ihres Lebenszyklus bildet sich vom Rand her eine Eisdecke auf der Tümpeloberfläche aus und führt zu einem allseits von Eis umgebenen, weniger stark exponierten Lebensraum, der trotz zunehmender Dicke der Eisdecke (maximal 15 cm, gemessen Mitte September) bis in den Herbst hinein als Habitat erhalten bleibt.

Im saisonalen Verlauf zeigte sich eine signifikante Zunahme der Gesamtabundanz der Bakterien, die zwischen  $1,0 \times 10^7$  Zellen/l im Frühsommer und  $16,5 \times 10^7$  Zellen/l im Herbst variierte. Die gleichzeitige Zunahme des Anteils der Stäbchen spiegelte sich in einem ebenfalls signifikanten Anstieg der bakteriellen Biomasse wider. Das Verhältnis zwischen Kokken und Stäbchen, das anfänglich mehr Kokken zeigte, verschob sich zugunsten der Stäbchen. Die Gesamtabundanz der Protisten zeigte ähnlich wie bei den Bakterien im Frühsommer eine starke Variabilität. Innerhalb der ersten 8 Tage des Untersuchungszeitraums wurden Zellzahlen zwischen  $0,7 \times 10^5$ /l und  $12,2 \times 10^5$ /l festgestellt, letztere wurden zu >90 % von coccalen phototrophen Zellen <5  $\mu\text{m}$  gebildet. Die zwischen Mitte Juli und Mitte August untersuchten Meereistümpel wiesen Abundanzen

auf einem mittleren Niveau auf ( $1,7 \times 10^5$  Zellen/l bis  $4,1 \times 10^5$  Zellen/l), während die Zellzahlen im Herbst um eine Größenordnung niedriger lagen und gleichzeitig den Minimalwert der Meßreihe darstellten ( $0,2 \times 10^5$  Zellen/l; Station 79). Diese Unterschiede waren zwar statistisch nicht signifikant, vermutlich aufgrund der zu geringen Stichprobenzahl ( $n = 10$ ), spiegeln aber eine zeitliche Entwicklung wider, die sich anhand der wiederbesuchten Station 15 deutlicher zeigen ließ und mit einer Veränderung der Organismenzusammensetzung und Größenklassenverteilung verbunden war. Im dreiwöchigen Zeitraum zwischen der ersten und zweiten Beprobung der Station 15 verdreifachte sich die Bakterienbiomasse, die Algenbiomasse nahm um den Faktor 5,4 zu und die Protozoenbiomasse stieg sogar um den Faktor 11 an.

Ein Vergleich der über das Biovolumen der Organismen und die biologischen Summenparameter ermittelten Kohlenstoffgehalte macht deutlich, daß in den ermittelten POC-Werten ein durchschnittlicher Anteil von 85,8 % Detritus enthalten und die organismische Biomasse entsprechend gering ist. Da das Verhältnis von POC zu PON im Durchschnitt bei 7,8 lag, war dieser hohe Detritusanteil nicht zu erwarten, er erklärt jedoch die im Vergleich zu den Chlorophyllkonzentrationen auffällig hohen POC-Konzentrationen in den Meereistümpeln. Bezogen auf 10 cm Wassertiefe bzw. Meereisschichtdicke ist in Meereistümpeln 11 % der durchschnittlichen organismischen Biomasse des Meereises zu finden. Meereistümpel liefern damit einen sehr geringen Beitrag ( $< 1\%$ ) zur über die gesamte Schichtdicke integrierten Biomasse des Meereises.

Der Vergleich des Lebensraums Meereistümpel mit anderen aquatischen Lebensräumen polarer Regionen nach eigenen und Literaturdaten zeigt, daß die Meereistümpel einen ganz speziellen Lebensraum darstellen, der sich vom Meereis, vom die Eisschollen umgebenden Meerwasser und von den untersuchten Landtümpeln und -seen jeweils in zumindest einem abiotischen Parameter signifikant unterscheidet. Vergleichbare Lebensbedingungen herrschen nur in Gletschereistümpeln. Für die Besiedlung des Süßwasserhabitats Meereistümpel in einer marinen Umgebung bedeutet dies ganz besondere Anforderungen, Erschwernisse und Einschränkungen. Zu den extremen Standortbedingungen dieses Lebensraums kommen für eine Besiedlung erschwerend die grundsätzlichen Unterschiede zu seiner Umgebung (Meerwasser und Meereis) hinzu. Die Ähnlichkeit der Lebensbedingungen und Lebensgemeinschaften in den Süßwasser-Meereistümpeln mit den Verhältnissen in der arktischen und alpinen Gletscherumwelt spricht dafür, daß die Habitate an der Meereisoberseite eine Fortsetzung des Schnee-/Gletscher-Ökosystems darstellen, wie es in polaren Regionen, aber auch in hochalpinen Lagen unserer Breiten gefunden wird und das eine charakteristische Besiedlung mit kryophilen Einzellern aufweist. Die Besiedlung der stärker salinen Brackwassertümpel dagegen weist größere Ähnlichkeit mit dem Meerwasser und dem Solekanalsystem des Meereises auf.

## Summary

In Arctic summer, the sea ice surface is covered with meltwater ponds. Their characteristics, seasonal dynamic and assemblages were studied during three expeditions of R/V "Polarstern" to the Greenland Sea in 1993 and 1994. The studies were carried out in the area of the North East Greenland Current in the western part of Fram Strait and the Greenland Sea between 81°N and 72°N. In total, the three expeditions covered the whole summer season from end of June when the meltwater ponds started to develop until autumn (last samples taken on September 16). In order to describe and characterize the meltwater pond habitat, abiotic parameters such as water temperature, pH, salinity, conductivity, oxygen and nutrient concentrations as well as PAR were studied. Pond area and depth were determined as well. Furthermore, concentrations of chlorophyll *a* and particulate organic carbon were measured as biological bulk parameters serving as indicators of phototrophic and total biomass of the ponds. Water samples were fixed and processed for microscopical analysis of the composition and abundance of the microbial plankton. For selected stations, organism biomass was calculated from biovolumes as determined by microscopy and compared with the biomass of sea ice. In addition, other Arctic habitats (ponds and lakes at the North East Greenland coast; meltwater ponds on glaciers and icebergs; sea-water; sea ice) were studied and compared with the sea ice meltwater pond habitat. The investigations carried out in this study are the first comprehensive ecological survey of sea ice meltwater ponds, comprising quantitative data on the seasonal development of abiotic and biotic parameters as well as of the meltwater pond assemblage and linking physico-chemical with biological parameters.

During the period of study, between 10 % and 70 % of the sea ice surface was covered with meltwater ponds. On the average, the meltwater pond coverage amounted to 20 - 25 %. Highest coverage was observed on fast ice. With a range between <1 m<sup>2</sup> and about 21,000 m<sup>2</sup>, the meltwater ponds were highly variable in size whereas their water depth did not exceed a few decimetres. The average size and depth were 115 m<sup>2</sup> and 14.3 cms (median values). Thus, it is justified to call these water bodies "ponds" even though they may reach the size of lakes. It can be concluded that in summer, a large fraction of the Arctic sea ice surface represents a potential habitat for planktonic organisms.

Being situated at the sea ice surface, meltwater ponds are a highly exposed and cold habitat with a median temperature of only +0.2°C. The ponds are directly exposed to wind, irradiance and other factors of the harsh Arctic climate. In the study area, pure freshwater ponds (79 %) and oligomixohaline ponds with salinities not higher than 2 (15 %) prevailed whereas brackish ponds with salinities between 8 and 22 were encountered very rarely. Melt pond water had a median pH of 6.7 with values ranging from 5.4 to 8.1 in the freshwater and oligomixohaline ponds and from 7.7 to 8.6 in the brackish ponds. The low conductivity of 628  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (median value) reflects the influence of meltwater from snow and melting sea ice. This is particularly obvious in the freshwater ponds with conductivities as low as 34  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (range including oligomixohaline ponds: 34 to 1,200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). In brackish ponds, conductivities of up to 33,700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  were found. With an average dissolved oxygen concentration of 13.2 mg/l (median value), the meltwater ponds were well oxygenated. Low salinity and low ion levels in the freshwater

## Summary

---

and oligomixohaline ponds on sea ice seem to act as limiting factors regarding the colonization of this habitat. This is because the meltwater ponds are "freshwater islands" in an otherwise fully marine environment. Thus, the environmental conditions differ fundamentally and require completely different capabilities with regard to osmoregulation. In addition, meltwater pond salinity is not constant but undergoes seasonal changes. The same is true for most of the other abiotic factors. Over summer, salinity and conductivity of the melt pond water show a statistically significant increase. Seasonal changes of the environmental conditions are an additional challenge to melt pond inhabitants, at the same time triggering seasonal changes of the composition of the melt pond assemblage.

The sea ice meltwater pond habitat is characterized by very low nutrient concentrations (nitrate:  $0.3 \mu\text{mol/l}$ ; phosphate:  $0.05 \mu\text{mol/l}$ ; silicate:  $0.2 \mu\text{mol/l}$ , median values) and can be classified as ultraoligotrophic. Light conditions are extreme due to high levels of irradiance during Arctic summer, complemented by the light reflecting properties of the pond bottom consisting of ice and by other factors such as low water depth, very clear water and lack of shading. These high-light conditions are another challenge to meltwater pond inhabitants and require special adaptations. The maximum light level (PAR) measured in the meltwater ponds was  $2,805 \mu\text{mol/s/m}^2$ . The measurements were taken at the pond bottom with a spherical underwater sensor ( $4 \pi$  sensor). At the same time, the level of incident irradiance measured with a conventional  $2 \pi$  sensor amounted to  $966 \mu\text{mol/s/m}^2$ . The ratio between parallel measurements of underwater and incident light was 2.5 in the sea ice meltwater ponds, thus being clearly higher than in the land ponds and lakes (1.1).

The colour of the sea ice meltwater ponds gives a first idea of pond salinity. The characteristic light-blue ponds prevailing in the study area were freshwater ponds (69 %), whereas greenish ponds (7 %) usually are brackish habitats. Grey pond colours are more difficult to interpret. Although green meltwater ponds had higher concentrations of chlorophyll than blue ponds, the green colour was not caused by a phytoplankton bloom because the chlorophyll concentrations still were low. Different causes for the occurrence of colour variations are presented and discussed. Physical factors, such as the combined effect of light refraction and absorption properties of the pond water, the pond bottom and the particles and cells contained in both, seem to play a major role in creating different pond colours. The characteristic light-blue colour of the sea ice meltwater ponds can be interpreted as an indicator of low productivity, similar to the blue "desert colour" of the sea.

With a median chlorophyll concentration of  $0.04 \mu\text{g/l}$  (range:  $0.01 - 0.40 \mu\text{g/l}$ ), the sea ice meltwater ponds were characterized by very low levels of algal biomass. Chlorophyll concentrations showed a slight, but statistically significant increase over summer. Total biomass, determined as particulate organic carbon (POC) concentration, ranged from 18 to  $313 \mu\text{g/l}$  with a median value of  $85 \mu\text{g/l}$  and was higher than to be expected from the low chlorophyll concentrations. The POC levels showed a highly significant increase from end of June to mid of September.

## Summary

---

The sea ice meltwater pond inhabitants can be characterized as a microbial assemblage of bacteria and protists. Early in the melt pond season the assemblage is dominated by snow organisms (e. g. snow algae and snow fungi such as *Chionaster bicornis*), but it turns into a "typical" freshwater sea ice pond assemblage soon. The latter comprises chlorophycean algae (Chlamydomonadales: *Chlamydomonas* sp., *Carteria* sp.), chrysophytes (*Chrysolykos* sp., *Dinobryon* spp.), photo- and heterotrophic dinoflagellates as well as nanoflagellates, typical plankton-dwelling ciliate species such as *Strombidium* spp., and representatives of the haptorid ciliates (*Lacrymaria* sp., *Didinium* sp.). Diatoms play a minor role or are completely absent, metazoans seem to be absent, too. The brackish, i. e. meso- and polymixohaline pond assemblage contains additional taxa, mainly diatoms and prasinophytes (*Pyramimonas* sp.) as well as choreotrich ciliates, furthermore species known to occur in sea ice and in the marine pelagial, such as the autotrophic haptorid ciliate *Myrionecta rubra* and the heterotrophic flagellate *Cryothecomonas* sp. It is therefore concluded that inhabitants of the brackish ponds originate from the sea ice interior and from sea-water. Heterotrophic dinoflagellates and haptorid ciliates represent the highest trophic level within the food web of the sea ice meltwater ponds.

The occurrence of resting stages (dinoflagellate hypnozygotes, chrysophyte statocysts and resting stages of other groups) in the pond water column and in the ice of the pond bottom suggests that sea ice- and meltwater pond-dwelling protists make use of resting stages in order to survive unfavourable conditions, for example in winter when the ponds freeze solid. Furthermore, these resting stages may serve as seeding populations when conditions become more favourable.

The results of the present study show that sea ice meltwater ponds are highly dynamic habitats which come into existence very quickly, i. e. within a few days, and undergo significant changes during the summer season. These changes affect nearly all parameters, thus inducing changes of the structure and development of the meltwater pond assemblage as well. In early summer, the meltwater ponds form an interconnected system of large shallow ponds and drainage channels. At this stage of the melt pond cycle, the ponds are not stagnant, but part of a flowing system. During summer, the ponds grow smaller and deeper and turn into stagnant water bodies. Already in summer, roughly at the middle of the melt pond cycle, an ice cover develops on the pond surface, starting to grow from the sides. This leads to the formation of a less exposed habitat which is completely surrounded by ice. Although the thickness of the ice cover on top of the ponds increases with time (maximum thickness: 15 cms, measured mid of September), the water column and thus the meltwater pond habitat remain existent until autumn.

During the summer season, bacterial abundances in the sea ice meltwater ponds showed a statistically significant increase from  $1.0 \times 10^7$  cells/l in early summer to  $16.5 \times 10^7$  cells/l in autumn. At the same time, the proportion of rod-shaped bacteria increased while the number of cocci decreased. This was reflected by a statistically significant increase of bacterial biomass. Similar to the abundance of bacteria, protist abundances were highly variable in early summer. Within the first 8 days of the investigation period, protist numbers ranged from  $0.7 \times 10^5$  cells/l to  $12.2 \times 10^5$  cells/l, the latter maximum was attributed to the high proportion (>90 %) of coccal phototrophic cells  $< 5 \mu\text{m}$ . In those meltwater ponds studied between mid of July and mid of August, protist abundances were on a medium

## Summary

---

level ( $1.7 \times 10^5$  cells/l to  $4.1 \times 10^5$  cells/l), whereas cell numbers in autumn were one order of magnitude lower and dropped to the seasonal minimum value of  $0.2 \times 10^5$  cells/l (station 79). Although these differences could not be shown to be statistically significant, probably because of the relatively low number of ponds that were examined by microscopy ( $n = 10$ ), they do reflect seasonal changes. This became very obvious when the structure and size class distribution of the assemblage of a revisited pond were compared: both had clearly changed from early to mid summer. Within a period of three weeks, bacterial biomass of the revisited pond (station 15) showed a threefold increase, algal biomass increased by a factor of 5.4 and protozoan biomass even increased by a factor of 11.

A comparison of the organic carbon contents of the meltwater ponds as derived from *i*) organism biovolume and *ii*) biological bulk parameters showed that the POC concentrations measured contained a large fraction of detritus. On the average, 85.8 % of the particulate organic carbon was composed of detritus. Thus, organism biomass made only a relatively small contribution to the POC concentrations determined. It was surprising to find such a high proportion of detritus because the average molar C/N ratio was 7.8. However, high levels of detritus would help explain why there were high POC levels in spite of very low chlorophyll concentrations. If comparing the average biomass found in a sea ice layer of 10 cms thickness and in a meltwater pond of 10 cms depth, the pond water would hold only 11 % of the organism biomass found in sea ice. Thus, meltwater ponds contribute only little (<1 %) to the integrated mean biomass of sea ice in the Greenland Sea area.

The sea ice meltwater pond habitat was compared with other aquatic habitats of polar regions on the basis of own and literature data. The results showed that sea ice meltwater ponds represent a very special habitat. There are significant differences in at least one abiotic parameter between meltwater ponds on sea ice and *i*) the sea ice (i. e. brine channel) habitat, *ii*) the seawater surrounding the floes, *iii*) lakes and ponds investigated at the Northeast Greenland coast. Meltwater ponds on glacial ice bear the closest resemblance to the sea ice meltwater pond habitat. Potential sea ice meltwater pond inhabitants must therefore be able to cope with special requirements and limitations because most of the ponds investigated were freshwater "islands" in a marine environment. Thus, basic differences from the surrounding habitats (sea ice, sea-water), in addition to the extreme environmental conditions prevailing in the sea ice ponds, are a particular challenge to potential settlers. In the freshwater ponds on sea ice, the environmental conditions and assemblages are similar to what is found in the glacial environment of Arctic and alpine regions. It is therefore concluded that the habitats at the Arctic sea ice surface (snow layer and meltwater ponds) are an extension of the snow and glacial ecosystem found in polar regions and also in alpine environments of our latitudes, an ecosystem with characteristic assemblages of cryophilic organisms. In contrast, the assemblages found in brackish ponds at the sea ice surface bear similarities to the sea-water environment and the brine channel system in the sea ice interior.

## 1 Einleitung

Das Meereis des arktischen Ozeans hat eine Ausdehnung von etwa 7 Mio. km<sup>2</sup> im Sommer und 14 Mio. km<sup>2</sup> im Winter, seine Dicke beträgt meist zwischen 2 und 4 m (Maykut 1985). Im Sommer sind bis zu 60 % der Meereisoberfläche mit Schmelzwassertümpeln bedeckt, die sich aufgrund von Schmelzprozessen an der Grenzfläche zwischen Meereis und Atmosphäre bilden (Maykut 1985). Neue Erkenntnisse aus der Kanadischen Arktis belegen, daß die Meereisausdehnung seit 1978 um 15 % und die Eisdicke von 3,1 m auf 1,8 m abgenommen hat (Krajick 2001), wahrscheinlich infolge der langjährigen Klimaerwärmung, die auch zu einem Rückzug arktischer Gletscher, zum verstärkten Abschmelzen des Permafrostbodens und Meereises und zu Veränderungen der Lebensgemeinschaften arktischer Seen geführt hat (Overpeck et al. 1997). Auswirkungen der Klimaerwärmung auf das Vorkommen, die saisonale Entwicklung und die Lebensgemeinschaften der Schmelzwassertümpel sind daher möglich. Diese Tümpel, im folgenden als "Meereistümpel" bezeichnet, sind ein charakteristisches Merkmal des arktischen Meereises und in der Antarktis nur selten zu beobachten, da sich die sommerlichen Schmelzprozesse dort aufgrund der insgesamt niedrigeren Lufttemperaturen vor allem an der Grenzfläche Meereis/Pelagial abspielen (Andreas & Ackley 1982; Spindler 1994). Trotz ihres regelmäßigen und großflächigen Auftretens ist die Ökologie der arktischen Meereistümpel bislang nur wenig untersucht, da sich meereisbiologische Untersuchungen bisher auf die Eisunterseite und das Solekanalsystem im Eisinneren konzentrierten, während den Lebensräumen an der Eisoberseite wenig Aufmerksamkeit galt.

In den letzten Jahren sind die Meereistümpel jedoch in das Zentrum des Interesses eisphysikalischer Untersuchungen gerückt (u. a. Morassutti & LeDrew 1995, 1996; Eicken et al. 1996; Derksen et al. 1997; El Naggar et al. 1998, Fetterer & Untersteiner 1998; Perovich et al. 1998; Tucker et al. 1999; Barber & Yackel 1999). Meereistümpel haben eine geringere Albedo und absorbieren daher mehr Sonnenlicht als die tümpelfreie Meereisoberfläche. Dadurch tragen die Tümpel wesentlich zum sommerlichen Abschmelzen des Meereises bei und beeinflussen den Wärmeaustausch zwischen Meereis und Atmosphäre und die Massenbilanzen (Dicke der Meereisdecke, Süßwassertransport und -eintrag in den Ozean). Die Meereistümpel sind daher ein wichtiger Faktor in Klimamodellen (u. a. Ebert & Curry 1993). Zudem beeinträchtigen sie die Qualität von Eisvorhersagen mit Methoden der Fernerkundung. Daher werden Informationen über die physikalischen Eigenschaften der Tümpel wie z. B. Größe, Tiefe, Farbe, Häufigkeit des Vorkommens benötigt, um entsprechende Korrekturfaktoren berücksichtigen zu können (Untersteiner 1961; Andreas & Ackley 1982; Moritz et al. 1993; Ramseier et al. 1994; Ebert et al. 1995; Eicken et al. 1996; Jeffries et al. 1997; El Naggar et

al. 1998; Perovich et al. 1998; Barber & Yackel 1999). Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden eisphysikalische Erkenntnisse über das Vorkommen, die Größe und Tiefe, die Farbe und Albedo der Meereistümpel gewonnen. Zusätzlich wurden vereinzelt einige abiotische Merkmale wie Wassertemperatur, Salinität und pH-Wert untersucht.

### 1.1 Lebensräume im Ökosystem Meereis

Das Meereis ("Sympagial") stellt ein komplexes Ökosystem dar, in dem sich verschiedene Habitats unterscheiden lassen (vgl. Übersicht in Horner et al. 1992). An der Meereisoberfläche sind neben der Schneeauflage und den Meereistümpeln die Infiltrations- und Eisdeformationszonen zu nennen, die Lebensraum verschiedener Gemeinschaften darstellen und in der Arktis bislang wenig untersucht sind. Über das Vorkommen von Schneeealgen im Schnee auf arktischem Meereis berichten seit Parry (1828, in Kol & Eurola 1974) nur Melnikov (1980, 1997), Thiede (1988) und Gradinger & Nürnberg (1996). Die für antarktisches Meereis typischen Infiltrationsgemeinschaften an der Grenzfläche Meereis/Schneeauflage wurden für arktisches Meereis erstmalig von Buck et al. (1998) nachgewiesen. "Deformationstümpel" (Horner et al. 1992) sind Tümpel an der Meereisoberfläche, die beim Brechen und Übereinanderverschieben von Schollen aufgenommenes Meerwasser enthalten und daher insbesondere in der Umgebung von Preßeisrücken oder Bruchkanten zu finden sind. Als "crack pools" werden nach Gleitz & Thomas (1993) schmelzwasserhaltige Brackwasserlinsen bezeichnet, die zur Braunfärbung des Wassers zwischen zerbrechenden Eisschollen in antarktischen Treibeisfeldern beitragen. Spezielle Untersuchungen zu derartigen "Deformationstümpeln" oder "crack pools" liegen für arktisches Meereis nicht vor, wobei "crack pools" nicht als Tümpel im Sinne dieser Arbeit anzusehen sind (vgl. Kap. 1.4). Es ist davon auszugehen, daß Deformationstümpel in beiden Polargebieten vorkommen, in der Antarktis aufgrund des Fehlens der typischen Schmelzwassertümpel jedoch stärker auffallen und daher beschrieben wurden, während sie auf arktischem Meereis als Teil der Meereistümpel angesehen werden.

Trotz ihres längst bekannten und großräumigen Vorkommens ist über die Eigenschaften der Meereistümpel als Lebensraum und über ihre Besiedlung bislang nur wenig bekannt. Insbesondere fehlen ökologische Untersuchungen, die einen Zusammenhang zwischen den abiotischen Faktoren und den Organismen, die diesen Lebensraum besiedeln, herstellen. Aber auch über die Zusammensetzung der Tümpelgemeinschaften weiß man nur wenig. Besser untersucht als die Eisoberfläche sind dagegen die Lebensräume des Eisinneren



und der Eisunterseite. Da davon auszugehen ist, daß die verschiedenen Meereishabitate miteinander in Verbindung stehen, erscheint eine Beschreibung dieser Lebensräume notwendig.

Beim Gefrieren des Meerwassers werden Salze und andere gelöste Stoffe aus dem Kristallgitter ausgeschlossen, so daß ein Zweiphasensystem aus Süßwasser-Eiskristallen und hochkonzentrierter Salzlösung (Sole) gebildet wird (Maykut 1985; Weeks & Ackley 1986; Ackley 1996). Ein Teil der bei der Meereisbildung und seinem weiteren Wachstum entstehenden Sole wird in Poren und Kanälchen innerhalb des Eises konzentriert, während der übrige Teil aus der Eisschicht ausgeschlossen wird. Auf diese Weise entsteht im Inneren des Meereises ein vielfach vernetztes Hohlraumsystem aus Kanälen und Taschen (u. a. Weissenberger 1992). Ähnlich wie das Interstitial sandiger mariner Sedimente beherbergt auch das Solekanalsystem eine diverse Gemeinschaft aus Organismen der Meiofauna, z. B. Nematoda, Rotifera, Turbellaria, Crustacea und Ciliophora, sowie aus einzelligen Algen, verschiedenen Protozoen, Bakterien und Pilzen (u. a. Meguro et al. 1967; Carey & Montagna 1982; Cross 1982; Kern & Carey 1983; Grainger et al. 1985; Grainger & Mohammed 1990; Gradinger et al. 1991; Carey 1992; Okolodkov 1992, 1993; Agatha et al. 1993; Friedrich et al. 1996; Friedrich 1997; Gradinger & Zhang 1997; Ikävalko 1997; Ikävalko & Gradinger 1997; Melnikov 1997; Gradinger et al. 1999). Die Salinität der Sole und das Volumen der Solekanäle hängen von der Temperatur und dem Salzgehalt des Meereises ab. Eine Abnahme der Eistemperatur von -4 auf -10°C führt nach Assur (1958) zu einer Erhöhung der Solesalinität von 70 auf 144 bei gleichzeitiger Abnahme des Solevolumens (Gradinger et al. 1991). In Abhängigkeit von den Umgebungstemperaturen sind die Bewohner des Solekanalsystems daher extremen Schwankungen sowohl des Salzgehalts als auch des Lumens ihres Lebensraums ausgesetzt (Grainger & Mohammed 1990; Spindler 1996; Friedrich 1997, Krembs 1998; Gradinger et al. 1999). Die Durchmesser der Kanälchen betragen zum Teil nur wenige  $\mu\text{m}$  und im Mittel etwa 200  $\mu\text{m}$  (Weissenberger 1992), können in den untersten Eisschichten jedoch auch einige Millimeter bis Zentimeter betragen. Die dreidimensionale Struktur des Solekanalsystems hat starken Einfluß auf die Verteilung und Aktivität der Meereisorganismen (Krembs 1998). Die unteren Dezimeter des Meereises sind zumeist besonders stark besiedelt und weisen hohe Chlorophyll- und Biomassegehalte auf, die oft durch eine bräunliche Färbung angezeigt werden (die typische "bottom ice community" nach Horner 1985). Dieser Bereich des Meereises ist besonders gut untersucht (Horner et al. 1992; s. auch Meguro et al. 1967; Carey & Montagna 1982; Cross 1982; Kern & Carey 1983; Grainger et al. 1985; Grainger & Mohammed 1990; Cota et al. 1991; Cota & Smith 1991a,b; Carey 1992).

Die Eisunterseite kann glatt, aber auch durch Kavernen, Preßeisrücken und andere Deformationen stark strukturiert sein (Werner & Lindemann 1997) und ist Lebensraum für die sogenannte Untereisfauna, die eine Gemeinschaft von freischwimmenden, eisassoziiert lebenden Organismen darstellt. Dies sind vor allem Amphipoden und Copepoden, die die an der Eisunterseite lebenden oder aus dem Eis freigesetzten einzelligen Organismen abgrasen (Carey & Montagna 1982; Cross 1982; Grainger et al. 1985; Carey 1992; Conover et al. 1986, 1988; Melnikov 1989, 1997; Gradinger 1998b; Gulliksen & Lønne 1989, 1991; Weslawski et al. 1993; Fortier et al. 1995; Poltermann 1996; Werner 1997). Zur arktischen Untereisfauna gehört auch der Polardorsch *Boreogadus saida* (Lønne & Gulliksen 1989; Melnikov 1997). An der Eisunterseite können darüber hinaus fadenbildende Diatomeen wie z. B. *Melosira arctica* und andere Arten lange Matten bilden, die über einen Meter tief ins Pelagial hineinreichen (Sutherland 1852; Melnikov 1980; Cross 1982; Melnikov & Bondarchuk 1987; Syvertsen 1991; Gutt 1995; Melnikov 1997; Werner & Lindemann 1997). Eine weitere Besonderheit der Eisunterseite sind Untereis-Schmelzwassertümpel ("Untereistümpel"), zuerst beschrieben von Eicken (1994), nach dessen Schätzungen mindestens 5 % der Fläche unterhalb der arktischen Meereisdecke von Untereistümpeln eingenommen werden. Diese scheinen häufig mit darüberliegenden Meereistümpeln an der Eisoberseite verbunden zu sein (Eicken 1994) und stellen Brackwasserhabitate dar, in denen hohe Chlorophyll- und Biomassekonzentrationen auftreten können (Gradinger 1996).

## 1.2 Ökologie der Meereistümpel - Erkenntnisse anderer Autoren

Das Vorkommen von Meereistümpeln auf arktischem Meereis wurde bereits von den ersten Polarforschern beschrieben. So berichteten Koldewey & Petermann (1871) über die Oberfläche des Meereises im Europäischen Nordmeer: "... mit einer 2 bis 3 Fuss tiefen Schneeschicht bedeckt. Im Laufe des Sommers schmilzt der Schnee etwas und es bilden sich grosse Tümpel mit frischem Wasser auf dem Eise, die oft 5 bis 6 Fuss tief sind. Es giebt diess das schönste Trinkwasser ab." Wie bereits Sutherland (1852), der mit seinem Schiff im arktischen Eis überwinterte, hatte auch Nansen (1897; 1906) während der Drift der "FRAM" Gelegenheit, die Entstehung und Entwicklung der Meereistümpel zu beobachten. Ihre Beschreibungen gingen jedoch über rein qualitative Merkmale nicht hinaus ("z. T. mehr als knietief", Sutherland 1852; "kleine und große Tümpel", Nansen 1906). Auch Bursa (1963) sprach nur von einem "sehr großen System flacher Tümpel", die im Juli 1954 das Meereis in der Nähe von Barrow bedeckten.

Über die Lebensbedingungen in diesem Habitat an der Eisoberseite und über seine Besiedlung ist bislang nur wenig bekannt. Biologische Meereisuntersuchungen der ersten Polarexpeditionen konzentrierten sich auf Diatomeen (u. a. Dickie 1852; Ehrenberg 1853; Cleve & Grunow 1880; Vanhöffen 1893, 1897; Østrup 1895; Gran 1904; Meister 1930; vgl. historischen Überblick in Gran 1904 und Horner 1985). Proben von der Eisoberseite beschränkten sich auf Material aus auffälligen Zonen wie sedimenthaltigem oder anders gefärbtem Schnee und Eis ("dirty ice", "roter", "gelber" und "grüner Schnee") und auf aggregiertes Material, insbesondere Algenklumpen, in Löchern in der Eisoberfläche, im Boden von Meereistümpeln oder am Rande von Eisschollen (Gran 1904; Nansen 1906, Meunier 1910). Sutherland (1852), Nansen (1906) und Meunier (1910) richteten ihr Augenmerk darüber hinaus auch auf das Vorkommen anderer Protisten. Sutherland (1852) mikroskopierte unpräpariertes grünliches und bräunliches, schleimartiges Material, das in Löchern an der Unterseite des Eises und zwischen vergehenden Eisschollen schwimmend vorkam und fand darin heterotrophe Ciliaten und Flagellaten ("infusory animalcules") sowie phototrophe Protisten ("minute vegetable forms of exquisite beauty"). Nansen (1906) verdanken wir die ersten genaueren Beschreibungen und Zeichnungen von Ciliaten und anderen Protisten aus Meereistümpeln, gefunden im flokkulenten bräunlichen Material am Tümpelboden und in Algenflocken, die im ausgesüßten Oberflächenwasser zwischen Eisschollen trieben. Gran (1904) analysierte die Diatomeenflora dieses Materials und fand zahlreiche Sporen und Fragmente planktischer mariner Formen, u. a. der Gattungen *Chaetoceros*, *Coscinodiscus* und *Thalassiosira*, daneben aber auch in bedeutender Anzahl lebende Diatomeen, insbesondere die Arten *Navicula subinflata* und *Caloneis kryophila*. Das flokkulente bräunliche Material am Tümpelboden war Hauptgegenstand der Meereistümpeluntersuchungen von Nansen (1906), Untersuchungen des eigentlichen Tümpelwassers wurden nicht vorgenommen. Ähnliches gilt für die Untersuchungen von Meunier (1910), dessen Hauptaugenmerk den Protisten ("Mikroplankton") im Kara- und im Barentsmeer galt. Daneben untersuchte er aber auch gelben Schnee auf Eisschollen, Süßwasserkörper auf Meereis sowie die Zusammensetzung der Protisten in der durch Schmelzwasser ausgesüßten Oberflächenschicht dieser Meere. Überdies unternahm er Planktonnetzfänge in drei Meereistümpeln, die verschiedene große, gehäuselose Ciliophora (u. a. *Euplotes* spp., *Didinium* sp., *Lacrymaria* sp., *Gymnozoum* sp.), zutage förderten, Funde von Metazoa wurden nicht erwähnt. Die Präsenz dieser und anderer, nicht zu den Tintinnen gehörenden Ciliophora im marinen Milieu schrieb er dem Eintrag dieser Formen über Schmelzwasser zu. Weitere Untersuchungen der Besiedlung von Meereistümpeln nahm Meunier (1910) nicht vor. In gelbem Schnee auf der Meereisoberfläche fand er eine Reihe von Schneevalgen, darunter auch verschiedene Vertreter der Dinophyceae sowie Bacillariophyceae. Es dominierte jedoch eine geißellose kugelige

Alge von 12 - 15  $\mu\text{m}$  Durchmesser, von Meunier *Diamylon nivale* genannt, die mit dem Schmelzwasser von der Meereisoberfläche auch in das marine Milieu gelangte und dort neben marinen Arten zu finden war. Meunier beobachtete diese charakteristische Alge vielfach im Zellinneren von Tintinnen und anderen Ciliaten sowie in Kotballen von Copepoden, ein früher Hinweis auf eine Koppelung zwischen Meereis und Pelagial.

Usachev (1946, 1949) untersuchte während mehrerer Expeditionen in das Karameer, das Laptevmeer und die Region von Franz-Josef-Land Proben von der Meereisoberfläche, vorzugsweise von "dirty ice" sowie aus wassergefüllten Löchern an der Eisoberfläche und vom Boden von Meereistümpeln. Auf dem Boden der Tümpel und anderen Süßwasserkörper auf einjährigem Eis wurde immer Detritus gefunden. Neben mineralischem und teilweise organischem Bestandteilen traten Diatomeen auf, jedoch - im Gegensatz zu den Ergebnissen von Gran (1904) - selten in großen Mengen und zumeist tot. Daneben fand er Überreste von *Dinobryon pellucidum*. Die meisten der von Usachev (1946) in Meereistümpeln gefundenen Diatomeenarten gehörten zum marinen Plankton, es traten jedoch auch Süßwasserarten auf. Der mineralische Teil des Detritus bestand aus Partikeln von 2 - 40  $\mu\text{m}$  Größe, die zu Klumpen aggregiert waren. Im Inneren dieser Aggregate traten relativ große Sandpartikel und Pflanzenreste auf, letztere waren Holzreste von Nadelholzgewächsen. In allen fünf untersuchten Tümpeln wurden keine lebenden Organismen gefunden. Nach Melnikov (1997) waren 2 der von Usachev (1949) gefundenen Arten, *Melosira granulata* und *M. italica*, typisch für das Phytoplankton von Flüssen und Seen, die dritte Art, *Fragilaria constricta*, dagegen ein Vertreter des Mikrophytobenthos aus Süßwasserkörpern auf arktischem Festland und arktischen Inseln (Shirshov 1935). Das Auftreten von Süßwasserarten von Cyanophyceen (*Phormidium* sp.), Grünalgen (*Ulothrix* sp., *Zygnema* sp., *Closterium* sp.) und Diatomeen sowie von marinen Formen und Sporen auf dem Meereis führte Usachev (1946) wie auch bereits Gran (1904), Blessing (in Gran 1904) und Meunier (1910) auf Flußeinträge, Windverfrachtung und Gischt zurück.

Spätere biologische Beobachtungen zu Meereistümpeln sind erst wieder im Zusammenhang mit der Driftstation "Alpha" dokumentiert (English 1961). Dieser Autor fand nur sehr geringe Chlorophyllkonzentrationen in dem einzigen daraufhin untersuchten Meereistümpel und stellte fest, daß visuell niemals eine Spur von Farbe (durch biologische Vorgänge) in den Meereistümpeln beobachtet wurde. Zusammenfassend stufte er die Primärproduktion von Meereistümpeln und Leads als relativ unbedeutend ein. Lebende, d. h. pigmentierte Diatomeen wurden von ihm auf der Eisoberfläche oder in den Meereistümpeln nicht gefunden. Hiermit bestätigte er Ergebnisse von Palibin (1903-1906), der auf der Eisoberfläche von

Meereis im Kara- und im Laptevmeer ebenfalls nur leere Diatomeenschalen gefunden hatte, und von Usachev (1946), der in Meereistümpeln keine lebenden, in Teilung befindlichen Diatomeen oder andere Organismen feststellen konnte.

Bursa (1963) dagegen entdeckte in zwei brackigen Meereistümpeln nahe Barrow vor der Küste Alaskas im Juni/Juli mindestens 13 Süßwasserarten von Grünalgen sowie eine brackwassertypische Diatomeenart, ferner pennate Diatomeen, Chrysophyceen, farblose Flagellaten und einige Ciliaten. Grünalgen und Flagellaten waren die dominierenden Formen der Mikroflora. Nach seinen Angaben entwickelte sich die Meereistümpelflora aus braungrünen Flecken, die Mitte Juni an der Eisoberfläche zu beobachten waren und zunächst vor allem Bakterien und Pilze, im weiteren Verlauf der Schnee- und Eisschmelze zunehmend Phytoflagellaten und farblose Flagellaten enthielten. In manchen Tümpeln waren am Boden grüne Flecken zu finden, die aus den Grünalgen *Chlorella salina*, *Oocystis* sp. und *Ulothrix* sp. bestanden. Quantitative Untersuchungen führte Bursa (1963) ebenso wie detailliertere Untersuchungen der Organismenzusammensetzung nicht durch, stellte aber zusammenfassend fest, daß es sich um äußerst oligohaline, nur kurzzeitig existierende Lebensräume handelte, deren Produktivität im Vergleich zur generellen Planktonproduktion des Ozeans vermutlich gering sei.

Weitere Gelegenheit zu meereisbiologischen Untersuchungen bestand während der russischen Driftstationen "North Pole" zwischen 1975 und 1982 (vgl. Übersicht in Melnikov 1997), an denen der russische Wissenschaftler I. Melnikov teilnahm. Von diesen Expeditionen stammen die ersten und bislang einzigen umfassenderen Beobachtungen zur Ökologie von Meereistümpeln einschließlich erster quantitativer Ansätze, die Melnikov (1997) in Buchform noch einmal zusammenfassend veröffentlichte. Dabei berücksichtigte er auch die Oberflächengemeinschaften (Schnee, Eisoberfläche und Meereistümpel). Im Schnee und an durch ihre Färbung auffallenden Stellen auf der Eisoberfläche fand er insgesamt 15 Arten von Schneeealgen, mit Ausnahme einer Chrysophyceenart ausschließlich Grünalgen. Weiterhin waren 2 Pilzarten (*Chionaster bicornis* und *C. nivalis*) sowie Kolonien der Cyanophycee *Stigonema ocellatum* var. *panniforme* vertreten. Marine Diatomeen waren an der Meereisoberfläche nur in Form leerer Schalen oder von Algenflocken zu finden, es waren jedoch 20 Arten von Süß- und Brackwasserdiatomeen in geringer Zahl vertreten. Drei der Schneeealgen wies er auch im Wasser von Meereistümpeln nach. Die dominierende Art war *C. nivalis*, die zusammen mit *Ancylonema nordenskiöldii* in zwei im Laufe eines Sommers mehrfach beprobten Meereistümpeln maximale Abundanzen von  $3 \times 10^3$  Zellen/l bzw.  $10 \times 10^3$  Zellen/l erreichte.

Im Rahmen meereisbiologischer Untersuchungen im Barentsmeer stellte Syvertsen (1991) fest, daß die häufig auftretenden Schmelz- und Spritzwassertümpel erstaunlich selten besiedelt waren. Nur in zweien solcher Tümpel wurden Flagellaten im Wasser und ein dünner Film pennater Diatomeen auf dem Tümpelboden beobachtet. Quantitative Untersuchungen wurden nicht durchgeführt. Diese beiden auf 82°N gelegenen Meereistümpel wiesen eine Salinität von etwa 25 auf, waren also wie in den Untersuchungen von Bursa (1963) Brackwassertümpel. Nach anderen Angaben (Syvertsen 1990 in Horner et al. 1992) traten in Süßwassertümpeln auf dem Eis des Barentsmeeres Süßwasserarten von Grünalgen auf.

Hellum v. Quillfeldt (1997) führte taxonomische Untersuchungen der Diatomeenflora in der Nordostwasser-Polynja vor Nordostgrönland durch und berücksichtigte dabei auch die Meereistümpel, in denen sie 109 Arten fand, einige davon Süßwasserarten. Wie auch Gran (1904), Nansen (1906) und andere konzentrierte Hellum v. Quillfeldt sich vorwiegend auf bräunliches Material am Grunde von Löchern im Boden und an der Wasseroberfläche der Tümpel. Sie identifizierte außer *Melosira arctica* und dieser Art aufsitzenden Epiphyten vor allem pennate Formen, darunter auch einige neue Arten. Da sich ihre Untersuchungen auf die Bearbeitung präparierten Schalenmaterials stützten, konnte sie keine Aussagen darüber machen, ob die gefundene Diatomeenflora tatsächlich in den Tümpeln gelebt hatte. Okolodkov (1997a) fand in ähnlichem Material vom Tümpelboden außer leeren und vergehenden Diatomeen zahlreiche Grünalgenzellen, u. a. *Chlamydomonas* sp., sowie heterotrophe Flagellaten aus der Gruppe der Kinetoplastida sowie Amöben und bezeichnete die Lebensgemeinschaft der Meereistümpel als Thanatozönose, das heißt "Friedhofsgemeinschaft", die auf der Grundlage vergehender mariner Diatomeen existiert.

Außer den Ergebnissen von Melnikov (1997), die auf der Untersuchung von zwei Meereistümpeln basieren, liegen vereinzelt quantitative Daten zur Organismenabundanz in Meereistümpeln von Gradinger & Nürnberg (1996) und Okolodkov (1997a) vor. Gradinger & Nürnberg (1996) bestimmten im Rahmen von Schneealgenuntersuchungen die Zellzahl von *Chlamydomonas nivalis* in einem Meereistümpel mit  $3,1 \times 10^6$  Zellen/l. Okolodkov (1997a) fand in der bodennahen Wasserschicht und im Eis aus dem Boden von Meereistümpeln ( $n = 12$ ) zwischen  $1,0 \times 10^2$  und  $1,7 \times 10^5$  Algenzellen/l. *Chlamydomonas* cf. *nivalis* erreichte dabei Zellzahlen von bis zu  $9,9 \times 10^4$ /l, eine Dinoflagellatenzyste ("*Echinus minor*" nach Meunier 1910) trat in einem der Süßwassertümpel mit  $1,1 \times 10^4$  Zellen/l auf. Eine quantitative Analyse der gesamten Meereistümpelgemeinschaft wurde nicht vorgenommen.

### 1.3 Ziel der Untersuchungen

In dieser Arbeit wurde erstmalig eine sowohl die abiotischen als auch biotische Parameter und deren saisonale Entwicklung berücksichtigende Studie durchgeführt. Ziel der Untersuchungen waren im einzelnen:

- die Beschreibung des Lebensraums "Meereistümpel" auf arktischem Meereis und der in ihm vorherrschenden Lebensbedingungen;
- die Abschätzung der Besiedlung dieses Lebensraums anhand seiner Gehalte an Chlorophyll *a* und partikulärem organischem Kohlenstoff als Biomasse-Summenparameter;
- die qualitative und quantitative Beschreibung der Lebensgemeinschaft(en), die diesen Lebensraum im Ökosystem Meereis besiedeln und
- die Untersuchung der saisonalen Variabilität dieses Lebensraums.

Dabei lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung des Wasserkörpers der Meereistümpel. Die Analyse des in Kryokonitlöchern am Tümpelboden aggregierten Materials oder von Algenflocken wurde mit Absicht nicht vorgenommen, da diese Mikrohabitate innerhalb des Gewässers darstellen. Weitere Aspekte der vorliegenden Arbeit betrafen die folgenden Fragen:

- Worin unterscheiden sich die Meereistümpel von anderen aquatischen Lebensräumen der Polargebiete, und woher stammen die Organismen, die die Meereistümpel besiedeln?

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchungen und Antworten auf die aufgeworfenen Fragen wird die Bedeutung der Meereistümpel für das Ökosystem Meereis herausgearbeitet.

### 1.4 Terminologie

*Tümpel* sind nicht permanent Wasser führende, d. h. ephemere oder periodische Kleingewässer von meist nur wenigen Dezimetern Tiefe, die sich in unseren Breiten durch eine Besiedlung mit Organismen auszeichnen, die über charakteristische Anpassungen an ihren nur vorübergehend existierenden Lebensraum verfügen (Engelhard 1985). Nach anderen Definitionen sind Tümpel "Seen ohne Tiefe" (Forel 1892 in Horne & Goldman 1994), deren Durchmischung vorwiegend durch konvektive Prozesse erfolgt (Horne & Goldman 1994; Brönmark & Hansson 1998). *Seen* dagegen zeichnen sich durch größere Wassertiefen aus und verfügen daher

über ein lichtloses Profundal, auch erfolgt die Durchmischung vorwiegend windgetrieben (Horne & Goldman 1994; Brönmark & Hansson 1998). In der vorliegenden Arbeit wird die Unterscheidung zwischen Tümpeln und Seen nach Røen (1962) vorgenommen, der die besonderen arktischen Bedingungen berücksichtigt und das vollständige Durchfrieren im Winter als Kriterium für die Einordnung arktischer limnischer Gewässer als Tümpel (frieren durch) bzw. Seen (frieren nicht vollständig durch) heranzieht.

*Schmelzwassertümpel* entstehen durch Ansammlungen von Schmelzwasser in Vertiefungen auf dem jeweiligen Untergrund (Meereis, Gletschereis, Boden). Zur besseren Differenzierung werden die auf der Meereisoberfläche vorkommenden Tümpel in dieser Arbeit als *Meereistümpel* bezeichnet. Eine Differenzierung zwischen reinen Schmelzwassertümpeln auf Meereis und unter stärkerem Meerwasserereinfluß entstandenen Spritzwasser- oder Deformationstümpeln wird nicht vorgenommen. An der Eisunterseite in Vertiefungen vorkommende Schmelzwasserlinsen werden wie von Eicken (1994) und Gradinger (1996) als Untereistümpel bezeichnet, wobei die Meereisunterseite den Tümpelboden bildet. *Gletschereistümpel* sind Schmelzwassertümpel auf Gletschern oder Eisbergen, ihr Boden besteht somit aus meteorischem Eis. Auf antarktischem Schelfeis gelegene Gletschereistümpel werden in Anlehnung an James et al. (1995) und andere Autoren als *Schelfeistümpel* bezeichnet. Die untersuchten *Landtümpel und -seen* (Definition nach Røen 1962) liegen in Bodensenken auf terrigenem Untergrund und werden von Schmelzwasser aus der Umgebung (Schnee, Permafrostboden, Gletscher) gespeist.

Der Boden von Meereistümpeln kann über *Schmelzlöcher* (Durchmesser mehrere Zentimeter bis Dezimeter) mit dem darunterliegenden Meerwasser verbunden sein. Nimmt die durchgeschmolzene Fläche im Tümpelboden jedoch 60 % oder mehr der Bodenfläche ein, wird das Gewässer nicht mehr als Tümpel angesehen. Die in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen konzentrieren sich auf die Wassersäule und gegebenenfalls auf die Eisdecke des Tümpels; der Tümpelboden wurde dem Lebensraum Meereis zugeordnet und nur in ausgesuchten Fällen mit untersucht. Ebenso wurden *Kryokonitlöcher* dem Lebensraum Eis und nicht dem Lebensraum Schmelzwassertümpel zugesprochen und in den hier vorgestellten Untersuchungen nicht berücksichtigt. Bei Kryokonitlöchern handelt es sich um im Durchmesser millimeter- bis zentimetergroße und ebenso tiefe Schmelzlöcher im Eis (im Tümpelboden, auf der Meereis- oder Gletschereisoberfläche), die oft mit braunem bis schwarzem organischen und/oder anorganischen Material gefüllt sind und aus der Gletscherumwelt beschrieben sind (Kol 1968; Wharton et al. 1985).



Die Meereistümpel sind häufig über kanalartige Strukturen miteinander oder mit dem Schollenrand verbunden. Diese Kanäle werden in der vorliegenden Arbeit als *Schmelzwasserkanäle* bezeichnet.

*Meereis* entsteht aus gefrierendem Meerwasser. Im Gegensatz dazu bestehen Gletscher und Eisberge aus meteorischem, d. h. aus Niederschlägen gebildetem Süßwassereis. *Festeis* ist Meereis, das am Ort seiner Entstehung verbleibt (nach World Meteorological Organization (WMO) 1970; vor Nordost-Grönland i. a. mit der Küste verbundenes Eis, sogenanntes "land-fast ice"). *Treibeis* dagegen besteht aus einzelnen driftenden Schollen. Ab einer Eisbedeckung von 7/10 und mehr spricht man anstelle von Treibeis von *Packeis* (nach WMO 1970). Nach dem Eisalter lassen sich u. a. ein- und mehrjähriges Eis unterscheiden. *Einjähriges Eis* ist im Laufe des vergangenen Winters aus dem sich neu bildenden Meereis entstanden und unterliegt der sommerlichen Schnee- und Eisschmelze zum ersten Mal; seine Dicke beträgt zwischen 0,3 und 2 m. Im Anschluß an seine erste Sommerperiode wird es "zweijährig" genannt. *Mehrjähriges Eis* hat mindestens zwei sommerliche Schmelzperioden überstanden und kann eine Dicke von mehr als 3 m aufweisen (nach WMO 1970). in Übereinstimmung mit Barry et al. (1993) wird *zweijähriges Eis* in dieser Arbeit ebenfalls als mehrjähriges Eis betrachtet, sofern nicht ausdrücklich anders erwähnt.

Der *Eisbedeckungsgrad* ist der Bedeckungsgrad des Meeres mit Meereis und wird in dieser Arbeit in Prozent angegeben. Der *Tümpelbedeckungsgrad* gibt die mit Tümpeln bedeckte Meereisfläche an und wird ebenfalls in Prozent angegeben.

Eisfreie Wasserflächen in sonst eisbedeckten Gebieten werden nach ihrer Größe und Lebensdauer als Waken, Leads oder Polynjen bezeichnet. *Waken* entstehen zwischen den einzelnen driftenden Schollen, ihre Lage und Größe ändert sich durch Wind- und Strömungseinfluß kontinuierlich (Wadhams 1981). *Leads* sind durchgehende Streifen offenen Wassers, die schiffbar sind, mehrere Kilometer breit werden können und eine Lebensdauer von einigen Tagen haben. Eine *Polynja* ist nach der Definition der World Meteorological Organization (WMO, 1970) ein vollkommen oder teilweise eisfreies Gebiet, das zu Zeiten und unter Bedingungen existiert, in denen normalerweise Eisbedeckung zu erwarten ist. Zahlreiche Polynjen liegen gleich hinter der Festeiskante. Sie können für Tage und Wochen existieren und sich dabei auch wiederholt öffnen und schließen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden im Bereich des Ostgrönlandstroms im westlichen Teil der Framstraße und der Grönlandsee durchgeführt, wobei in den beiden Untersuchungsjahren 1993 und 1994 Stationen zwischen 81° N und 72° N beprobt wurden (siehe auch Kap. 3).

Die zwischen Nordostgrönland und Spitzbergen gelegene Framstraße verbindet den zentralen Arktischen Ozean mit dem Grönlandsee/Islandsee/Norwegensee-System des Europäischen Nordmeers (Carmack 1990). Sie ist von essentieller Bedeutung für den Austausch und die Zirkulation der Wassermassen im Arktischen Becken. An die Framstraße schließt sich im Süden die Grönlandsee an, die im Westen von der grönländischen Küste, im Süden von Jan Mayen (geographische Breite: 72° N) und im Osten von der geographischen Länge Spitzbergens (Gradinger 1990) bzw. weiter südlich vom Mohnsrücken begrenzt wird. An die Grönlandsee grenzen südlich von Jan Mayen die Islandsee und östlich des Mohnsrückens die Norwegensee.

Der Ostgrönlandstrom bildet den Hauptausstrom von kaltem, salzarmen Oberflächenwasser ("Polarwasser" nach Carmack (1990) mit Temperaturen unter 0°C und Salzgehalten unter 34,4) aus dem Arktischen Becken in die Grönlandsee (Aagaard et al. 1985; Carmack 1990). Er transportiert zusammen mit dem Polarwasser auch das Packeis aus dem Arktischen Becken durch die Framstraße an der ostgrönländischen Küste entlang südwärts bis in die Dänemarkstraße hinein (u. a. Wadhams 1981, 1986; Weeks 1986; Carmack 1990). Alljährlich werden dabei zwischen 4.000 und 5.000 km<sup>3</sup> Meereis aus dem Arktischen Becken exportiert (Wadhams 1983; Vinje & Finnekasa 1986 in Carmack 1990).

## 2.1 Hydrographie

Der westliche Teil der Framstraße und der Grönlandsee ist durch den Ostgrönlandstrom geprägt, der entlang der ostgrönländischen Küste südwärts fließt. Seine ostwärtige Grenze verläuft weitestgehend parallel zum ostgrönländischen Kontinentalabhang (Johannessen 1986); seine Wassermassen werden durch die Ostgrönland-Polarfront vom zentralen Grönlandseewirbel abgegrenzt (Johannessen 1986; Carmack 1990). Vom Hauptstrom zweigt auf etwa 73° N der Jan Mayen-Strom nach Osten ab und bildet die südliche Begrenzung des zentralen Grönlandwirbels (Carmack 1990). Die Hauptströmungen des Europäischen Nordmeers sind in Abb. 1 dargestellt.

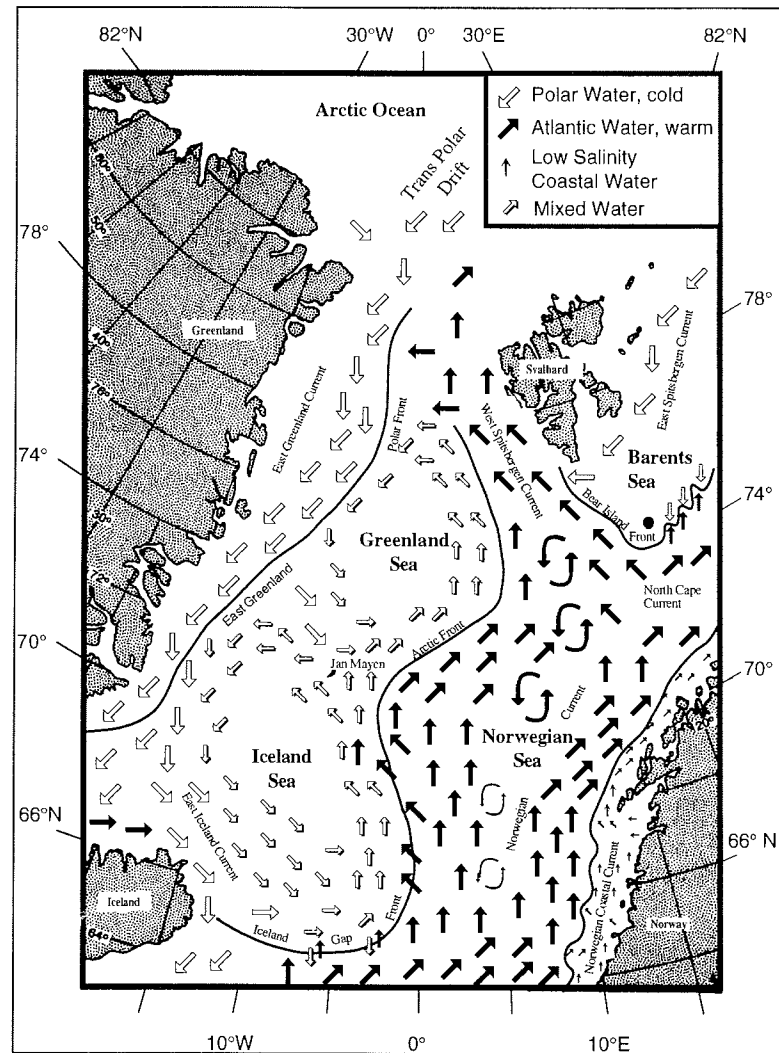


Abb. 1: Oberflächen-Strömungssysteme im Europäischen Nordmeer. Verändert nach Blaume (1992)

Die Oberflächenzirkulation in der Grönlandsee wird durch zwei gegenläufige, eng mit der Bodentopographie gekoppelte und von zyklonalen Winden über der Grönlandsee angetriebene Stromsysteme beeinflusst (Aagaard 1972; Quadfasel et al. 1987). Der westliche Teil der Grönlandsee wird durch den eisbedeckten Ostgrönlandstrom polaren Ursprungs geprägt. Im östlichen Teil der Grönlandsee fließt der Westspitzbergenstrom nordwärts und transportiert als Ausläufer des

Norwegenstroms warmes, salzreiches Atlantisches Wasser durch die Framstraße in das Arktische Becken hinein. Im Bereich der Polarfront in der Framstraße taucht das Wasser des Westspitzbergenstroms unter das kalte, salzarme Polare Wasser ab. Zuvor zweigen jedoch zwischen 75° und 80° N an topographischen Schwellen Ausläufer des Westspitzbergenstroms als Stromfilamente (Quadfasel et al. 1987) oder Wirbel (Gascard et al. 1988) nach Westen ab. Diese Ausläufer werden in ihrer Gesamtheit als Atlantischer Rückstrom bezeichnet (Aagaard & Coachman 1968, Paquette et al. 1985) und transportieren westlich der Polarfront in 50 - 300 m Tiefe Atlantisches Wasser sowie modifiziertes Atlantisches Wasser (sog. Atlantisches Zwischenwasser) südwärts über den Ostgrönlandschelf. Der Atlantische Rückstrom sowie der östliche Ausläufer des Ostgrönlandstroms, der Jan Mayen-Strom, treiben den zyklonalen Wirbel der zentralen Grönlandsee an. Die Wassermassen in den oberen Schichten der Grönlandsee entstehen aus der Vermischung von Polarem und Atlantischem sowie durch die Modifizierung (Abkühlen und Absinken) von Atlantischem Wasser in sogenanntes Atlantisches Zwischenwasser. Die tieferen Schichten werden vom kalten und dichten Grönlandsee-Tiefenwasser gebildet, das nach Carmack & Aagaard (1973) 85 % der Wassermassen der Grönlandsee ausmacht.

Auch der Ostgrönlandstrom ist vertikal geschichtet. Eine mittlere Schicht Atlantischen Zwischenwassers trennt das Polare Wasser an der Oberfläche (bis ca. 200 m Tiefe, Bourke et al. 1987) von der Tiefenschicht (>800 m). Sommerliche Erwärmung und Aussüßung des Polaren Wassers durch die Eisschmelze führt zur Ausbildung einer zusätzlichen Dichtesprungschicht in 20 bis 50 m Tiefe (Coachman & Aagaard 1974).

Die horizontale Trennung der beiden meridionalen Stromsysteme vom zentralen Grönlandseewirbel erfolgt im Westen durch die Polarfront, die den Ostgrönlandstrom vom Atlantischen Rückstrom und der zentralen Grönlandsee trennt und damit die "polare Domaine" begrenzt, sowie durch die Arktische Front im Osten, die den Westspitzbergenstrom und damit die "atlantische Domaine" abgrenzt (Swift 1986). Zwischen polarer und atlantischer Domaine liegt das "arktische Wasser" der zentralen Becken der Grönlandsee nach Helland-Hansen & Nansen (1909).

Im Schelfbereich nördlich von 77° N gibt es in Küstennähe eine lokale Besonderheit in der Oberflächenzirkulation mit entsprechenden Auswirkungen auf die Eisbedeckung. Wie in Abb. 2 dargestellt, zirkuliert das Oberflächenwasser (Polares Wasser) über dem Schelf in einem antizyklonalen Wirbel, wodurch der Netto-Südtransport modifiziert wird: Die nordwärts gerichtete küstennahe Strömung fließt mit einer mittleren Flußrate von 0,58 Sv (1 Sverdrup =  $10^6$  m<sup>3</sup>/s), während

## 2 Untersuchungsgebiet

die Flußrate südwärts im übrigen Schelfbereich im Mittel 1,47 Sv beträgt (Bourke et al. 1987). Das Polare Wasser wird dabei von Atlantischem Zwischenwasser unterlagert, das in das mehr als 400 m tiefe Grabensystem, das die z. T. weniger als 100 m tiefen Schelfbänke (z. B. Belgica Bank, Ob-Bank) umgibt, einströmt (Bourke et al. 1987). Das Zentrum des Wirbels befindet sich über der Belgica Bank. Durch diesen Wirbel verlängert sich die Aufenthaltszeit des Packeises in diesem Bereich.

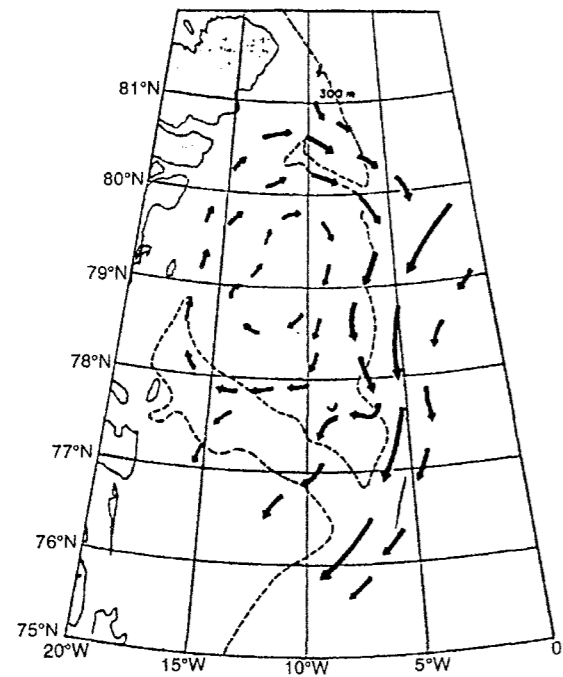


Abb. 2: Antizyklonaler Wirbel über dem Ostgrönländischen Schelf zwischen 77° N und 81° N; verändert nach Bourke et al. (1987); Pfeillängen geben die relative Strömungsgeschwindigkeit an

## 2.2 Eisbedeckung

Die Eisausdehnung in der Grönlandsee ist eng an den Verlauf der Polarfront gekoppelt. Der Verlauf der Polarfront ist ebenso wie die Lage der Eisrandzone (Marginal Ice Zone, MIZ) trotz saisonaler und interannueller Schwankungen relativ stabil. Das mit Wind und Strömung aus dem Arktischen Ozean herausdriftende

Packeis, das vor allem aus mehrjährigem Eis besteht (u. a. Wadhams 1981, 1986), wird westlich der Polarfront mit dem kalten Ostgrönlandstrom bis südlich der Dänemarkstraße transportiert. Bei Kontakt mit dem Atlantikwasser auf der Ostseite der Polarfront schmilzt es dagegen schnell ab (Untersteiner 1988), so daß die Framstraße ganzjährig etwa zur Hälfte eisbedeckt und zur Hälfte eisfrei ist. Im Bereich der zentralen Grönlandsee ist die Eisbedeckung saisonalen Schwankungen unterworfen und zeigt im Jahresverlauf, aber auch in verschiedenen Jahren eine hohe Variabilität (Vinje 1977a). In manchen Jahren ist die ostgrönländische Küste bis in den nördlichen Teil von Davy Sund (72° N) hinein eisfrei, in anderen Jahren bleibt das Treibeis die ganze Küste hinunter bis Kap Farvel an der Südspitze Grönlands vorhanden und stellt ein Hindernis für die Schifffahrt dar (Wadhams 1981). Generell nimmt die Breite des eisbedeckten Teils des Ostgrönlandstroms im arktischen Sommer von Norden nach Süden ab (Martin 1996; Martin & Wadhams 1996).

Die Länge der eisfreien Saison wird mit zunehmender geographischer Breite schnell kürzer, was sich auf die Temperaturunterschiede zurückführen läßt. So betragen z. B. die mittleren Januartemperaturen in Angmassalik (65,5° N) +4° C, in Nordostgrönland jedoch -18° C (Wadhams 1981). Im allgemeinen reicht das Meereis im September, dem Monat seines Ausdehnungsminimums, südlich bis etwa Scoresby Sund (Basis Jahre 1966-1975; Vinje 1977a; Wadhams 1981). Die geringste ostwärtige Ausdehnung der Eisgrenze ist im gleichen Monat zu beobachten. Im Herbst verlagert sich die Eiskante wieder nach Osten, und im Dezember ist häufig die gesamte zentrale Grönlandsee mit Eis bedeckt (Wadhams 1981). Von Januar bis April existiert häufig ein eisfreies Gebiet im zentralen Teil des Grönlandwirbels, die sogenannte "Nordbukta" der norwegischen Robbenjäger, in der im Frühjahr große Mengen von Robben angetroffen wurden. Um die Nordbukta herum bleibt dabei eine Eiszunge erhalten, der "Is Odden", mit dessen Abschmelzen die zentrale Grönlandsee schließlich eisfrei wird (Visbeck 1993). Der "Is Odden" wird durch eine nach Osten abbiegende Zunge des Ostgrönlandstroms, die sich nördlich von Jan Mayen als sogenannter Jan Mayen Polarstrom in den Grönlandseewirbel hineinzieht, gebildet (Wadhams 1981).

Die Eisrandzone ist im Bereich der Framstraße bzw. zwischen 79° und 80° N etwa auf dem Nullmeridian zu erwarten (Paquette et al. 1985). Sie wird durch ca. 10 - 40 % Eisbedeckung bei kleiner Schollengröße charakterisiert. Südlich von 80° N erstreckt sich die Eisrandzone etwa im Bereich von 0° bis 5°W (Gascard et al. 1988), wobei zwei Bereiche zu unterscheiden sind: die innere, westliche Eisrandzone stellt die Grenze zum Packeis der polaren Region dar, während die

äußere, östliche Eisrandzone den Übergang zum offenen Wasser der atlantischen Region markiert. Die Lage des Eisrandes wird großräumig von Windrichtung und -stärke beeinflusst (Diehl 1991).

Die Geschwindigkeit der meridionalen Eisdrift im Ostgrönlandstrom ist saisonal und in Abhängigkeit von der geographischen Breite sowie vom Abstand zur Küste unterschiedlich (Koch 1945; Wadhams 1981). Gow & Tucker (1990) geben für die in der Framstraße und Grönlandsee eine mittlere Eisdriftgeschwindigkeit von 15 km/Tag an. Im Eisrandbereich werden nach Wadhams (1981) 26 km/Tag, nach Berechnungen von Paquette et al. (1985) sogar Werte von bis zu 96 cm/s (= 82,9 km/Tag) erreicht. Eine Driftgeschwindigkeit von etwa 20 km/Tag kann als typisch für die Grönlandsee angesehen werden (Wadhams 1992).

Das Eis, das als Treibeis mit dem Ostgrönlandstrom südlich verlagert wird, unterscheidet sich vom Eis des Arktischen Beckens dadurch, daß es lockerer gepackt ist, durch Divergenzen und Wellenbewegung häufiger Freiwasserzonen entstehen und damit auch verstärkt Neueis in den Treibeisgürtel integriert wird (Wadhams 1981). Die Hauptanteile des Eises, das den Ostgrönlandstrom durch die Framstraße erreicht, stammen aus dem Eurasischen Becken (Wadhams 1981). Es handelt sich dabei vor allem um mehrjähriges Eis, das auf den sibirischen Schelfen entstanden ist und nach zwei- bis dreijähriger Passagezeit im Transpolaren Driftstrom das Arktische Becken über die Framstraße verläßt (Wadhams 1981, 1986; Weeks 1986). Der Anteil mehrjährigen Eises, das nahe der Framstraße, im nördlichen Bereich Spitzbergens oder angrenzender Gebiete oder im Bereich des Ostgrönlandstroms entstanden ist, ist vergleichsweise gering (Wadhams 1981, 1986; Weeks 1986). Außer dem mehrjährigen Eis ist im Packeis üblicherweise ein bedeutender Anteil einjährigen Meereises enthalten (Weeks 1986), das sich in Bereichen offenen Wassers (sogenannte Waken, Leads oder Polynjen, s. u.) oder in Landnähe (Festeis, Fjordeis) bildet. Das Vorkommen einjährigen Meereises im Ostgrönlandstrom zeigt an, daß dieses Eis nicht mit der Transpolaren Drift aus dem Arktischen Becken exportiert, sondern im Gebiet des Ostgrönlandstroms gebildet wurde.

Theorien, nach denen verschiedene Bereiche des Eises in der Grönlandsee vielleicht eindeutig verschiedenen Quellenregionen zugeordnet werden könnten, scheinen sich nicht zu bewahrheiten. Anhand von Satellitenaufnahmen und Driftstudien konnte festgestellt werden, daß der Eistransport innerhalb des Ostgrönlandstroms turbulent verläuft und es zu starker lateraler Durchmischung der verschiedenen Eisstypen aus der Transpolardrift und aus anderen Quellen kommt (Weeks 1986). Das Resultat ist, daß alle Eisarten durchmischt werden (Wadhams 1981) und auch das Eis einer Scholle mehrere Eisstypen sowohl nach Herkunft als

auch nach Alter enthalten kann. Daher läßt sich das Eis in den verschiedenen Regionen der Grönlandsee mit den herkömmlichen Methoden der Fernerkundung nicht bestimmten Entstehungsorten zuordnen (Weeks 1986). Eine Zuordnung der Herkunft ist nur dann möglich, wenn eindeutige Merkmale wie z. B. der Einschluß von Sedimenten sibirischer Herkunft (Nürnberg et al. 1995) oder das Vorkommen einjährigen Eises in der Dänemarkstraße für eine Entstehung in den sibirischen Schelfmeeren bzw. im Bereich des Ostgrönlandstroms sprechen.

Alljährlich im April/Mai bildet sich über dem Nordostgrönlandschelf südlich von Nordostrundingen von Nord nach Süd die Nordostwasser-Polynja ("NEW-Polynja"), in deren Gebiet die 1993 von mir durchgeführten Untersuchungen hauptsächlich stattfanden. Sie bleibt während der Sommermonate geöffnet und schließt sich im September wieder (Schneider & Budeus 1994). Die eisfreie Fläche kann eine Größe von 44.000 km<sup>2</sup> erreichen (u. a. Vinje 1977a; Wadhams 1981). Die NEW-Polynja wird im Westen von der nordostgrönländischen Küste und im Osten vom Packeis des Ostgrönlandstroms begrenzt. Im Norden wird die Polynja zumeist von einer Festeisbarriere im Bereich der Ob-Bank und von Packeis begrenzt, während sich im Süden, etwa auf 79° N, eine Festeisnase ("Norske Ø-Eisbarriere") von der Mündung des Nioghalvfjærdsbraen über die Norske Ø ostwärts erstreckt und den Norske Trough überbrückt (Schneider & Budeus 1995). Das Eis in der Polynjaregion ist vorwiegend lokalen Ursprungs, und der Anteil einjährigen Eises ist aufgrund der weitgehenden Eisfreiheit im Sommer deutlich höher als im übrigen Gebiet des Ostgrönlandstroms (Schneider & Budeus 1995).

Das für arktische Schelfgebiete (z. B. Laptevmeer, Beaufortmeer) typische Festeis mit Grundkontakt ist vor der ostgrönländischen Küste nur selten zu finden, da im allgemeinen kein sanft abfallender Schelf vorhanden ist, sondern der Meeresboden vor der gebirgigen Küste steil abfällt und sich kein Eisfuß bilden kann (Wadhams 1981). Typisch für die grönländische Küste sind jedoch Festeisgürtel, die sich im äußeren Bereich größerer Fjorde bilden und mehr oder weniger breite Gürtel entlang der Küste formen, wobei Inseln die stabilisierende Funktion der Eisfüße (Grundeis) übernehmen. Diese Festeisgürtel entstehen im Herbst, je nach Breitengrad im September oder Oktober. Die Neueisbildung findet vor Nordostgrönland i. a. unter ruhigen Wetterbedingungen statt, was sich auf die Eistopographie auswirkt. Derartige Festeiszonen wurden z. B. von Koch (1945) für den Bereich zwischen Scoresbysund und Keyser Franz Josephs-Fjord beschrieben. In der vorliegenden Arbeit wurden auch einige Meereistümpel aus dem Gebiet dieses Festeisgürtels untersucht (Stationen 75, 76 und 78).



Im Gebiet des Ostgrönlandstroms sind außer Meereis auch Eisberge anzutreffen, die von den Gletschern des grönländischen Inlandeises kalben. Die Regionen mit der höchsten Eisbergproduktion an der ostgrönländischen Küste sind der Scoresbysund und der Kong Oscar-Fjord. Die dort entstehenden Eisberge bewegen sich im Ostgrönlandstrom südwärts zum Kap Farvel, wo sie sich mit den zahlreicheren Eisbergen westgrönländischer Gewässer vereinigen (Wadhams 1981). Dagegen sind Eisberge im nördlichen Teil des Ostgrönlandstroms relativ selten anzutreffen. Die meisten der dort entstehenden Eisberge verbleiben in ihrem Ursprungsgebiet, entweder aufgrund von ungünstigen Wind- und Strömungsbedingungen oder weil sie auf Grund laufen.

### 2.3 Eisverhältnisse in den Untersuchungsjahren 1993 und 1994

Die allgemeinen Eisbedingungen während der "Polarstern"-Expedition ARK 9/3 in 1993 wurden von Ramseier et al. (1994, 1997) und von El Naggar et al. (1998) beschrieben. Hirche & Kattner (1994) zeigten eine Serie von Satellitenaufnahmen, die die Entwicklung der NEW-Polynja vom 18.5. - 31.7.93 dokumentieren. Im Zeitraum vom 1.6. - 30.7.93 betrug die mittlere Eisbedeckung im Polynja-Gebiet zwischen 77° - 82° N und 1° - 18° W  $77,4 \pm 9,1$  % (Ramseier et al. 1994). Die Abb. 3 zeigt beispielhaft die Eisbedeckung sowie die Ausdehnung der NEW-Polynja im Untersuchungsgebiet zwischen 82° N und 78° N am 5.7.1993.

Die Meereistümpelentwicklung im Untersuchungsgebiet begann 1993 Ende Mai/Anfang Juni (Ramseier et al. 1994, 1997). Zunächst waren durch tauenden Schnee hervorgerufene dunkle Flecken auf einjährigem Meereis zu erkennen. Am 13. Juni waren ca. 3 % der Oberfläche von einjährigem Eis mit länglichen Meereistümpeln bedeckt. Die Meereistümpelentwicklung auf mehrjährigem Eis setzte später ein (Ramseier et al. 1994). Weitere Beobachtungen konnten erst nach Rückkehr des Schiffes in das Untersuchungsgebiet erfolgen und liegen für den Zeitraum vom 29. Juni - 31. Juli 1993 vor (vgl. eigene Beobachtungen in Kap. 4.3.1). Am 4. Juli waren 40 % des einjährigen und 5 % des mehrjährigen Eises mit Meereistümpeln bedeckt (Ramseier et al. 1994). Nach Untersuchungen von El Naggar et al. (1998) mit der Line Scan Camera während ARK 9/3 variierte der Bedeckungsgrad des Meereises mit Tümpeln im Untersuchungsgebiet zwischen 3 % und 48 %.

Im Untersuchungsgebiet zwischen 75° N und 80° N betrug die Eisbedeckung entlang der Fahrtroute der Expedition ARK 10/1 (Juli/August 1994) zwischen >80 % und <20 %, was die vielfältigen Eisbedingungen zwischen dichtem Packeis und Eisrandgebiet widerspiegelt. Am häufigsten wurden Eisbedeckungsgrade

2.3 Eisverhältnisse in den Untersuchungsjahren 1993 und 1994

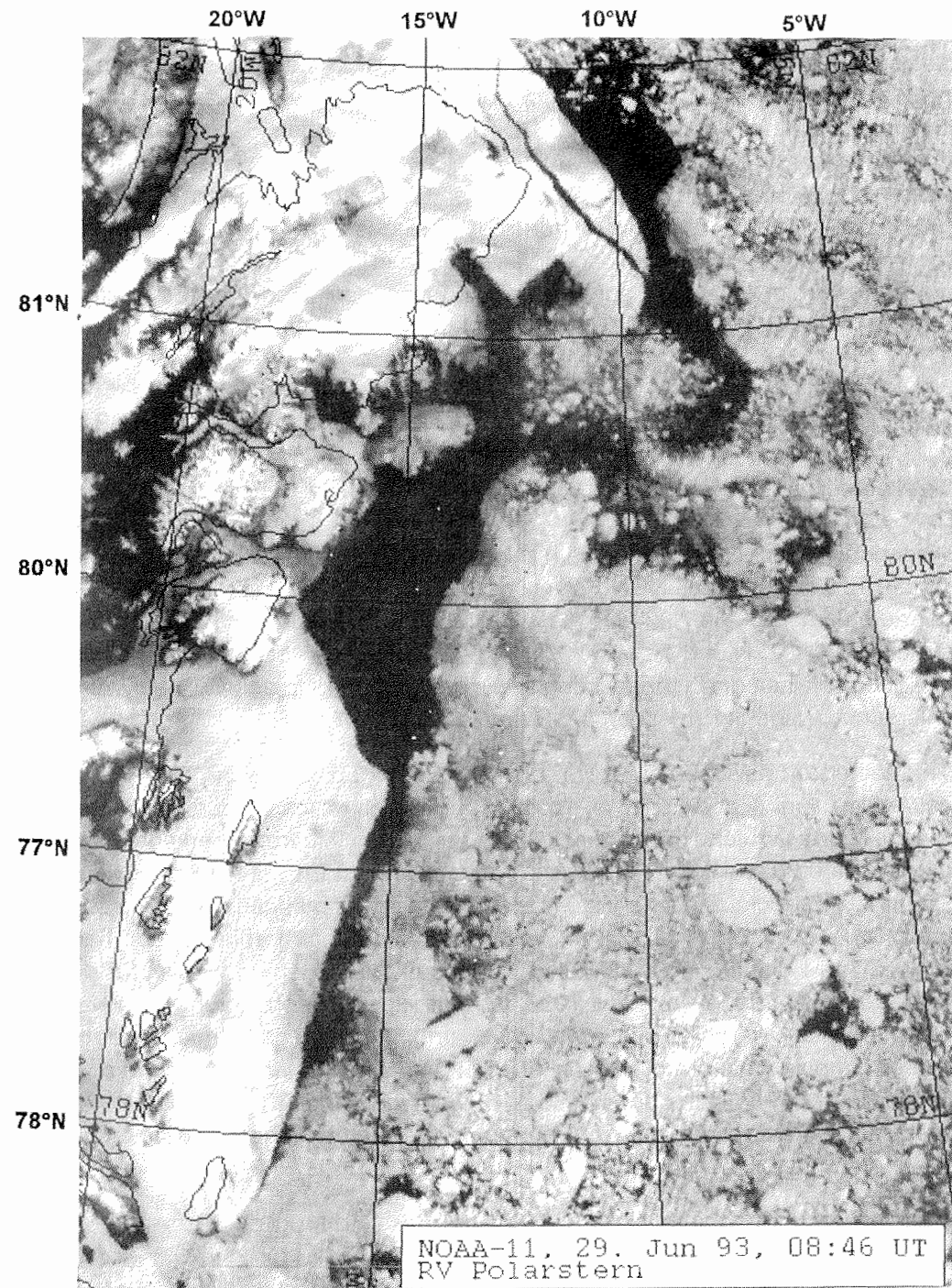


Abb. 3: Satellitenaufnahme der Eisbedeckung und Ausdehnung der NEW-Polynja im Gebiet zwischen 82° N und 78° N am 29.6.1993. Verändert nach Ramseier et al. (1994)

zwischen 40 und 60 % beobachtet (Werner 1997). Im Untersuchungsgebiet zwischen 75° N und 72° N betrug der Grad der Eisbedeckung in den während der Expedition ARK 10/2 (August/September) beprobten Treibeisfeldern nach eigenen Beobachtungen zwischen 10 und 70 %, meistens zwischen 10 und 30 % (vgl. Kap. 4.1.1), zeitweise durchfuhr das Schiff jedoch auch eisfreies Wasser, wodurch dort keine Meereistümpeluntersuchungen möglich waren. Die Meereistümpelentwicklung hatte im zweiten Untersuchungsjahr bereits eingesetzt, bevor das Untersuchungsgebiet erreicht wurde. Weitere Angaben zum Meereistümpel-Bedeckungsgrad und zur saisonalen Entwicklung der Meereistümpel sind Teil der vorliegenden Arbeit (Kap. 4.1, 4.3).

Die Ausdehnung des Meereises im Ostgrönlandstrom in den Jahren 1993 und 1994 war insgesamt weniger stark ausgeprägt als im langjährigen Mittel (Toudal & Valeur 1996). Die Abnahme der Breite des eisbedeckten Teils des Ostgrönlandstroms von Nord nach Süd erfolgte im Sommer beider Untersuchungsjahre nahezu linear mit der geographischen Breite (Martin & Wadhams 1996). Im Juli erstreckte sich das Meereis zwischen der Küste und der Eiskante (ca. 25 % Eisbedeckung) über eine Breite von ca. 300-450 km auf 79° N und von ca. 50-180 km auf 71° N, wobei im August 1994 südlich von 78° N besonders niedrige Eiskonzentrationen zu verzeichnen waren (Toudal & Valeur 1996). Dementsprechend wurden während der Expeditionen in den Untersuchungsjahren 1993 und 1994 insbesondere zwischen 82° N und 78° N (Expedition ARK 9/3, Juli 1993), aber auch zwischen 80° N und 75° N (Expedition ARK 10/1, Juli/August 1994) höhere Eiskonzentrationen angetroffen als im Spätsommer zwischen 75° N und 72° N (Expedition ARK 10/2, August/September 1994).

### 2.3 Eisverhältnisse in den Untersuchungsjahren 1993 und 1994

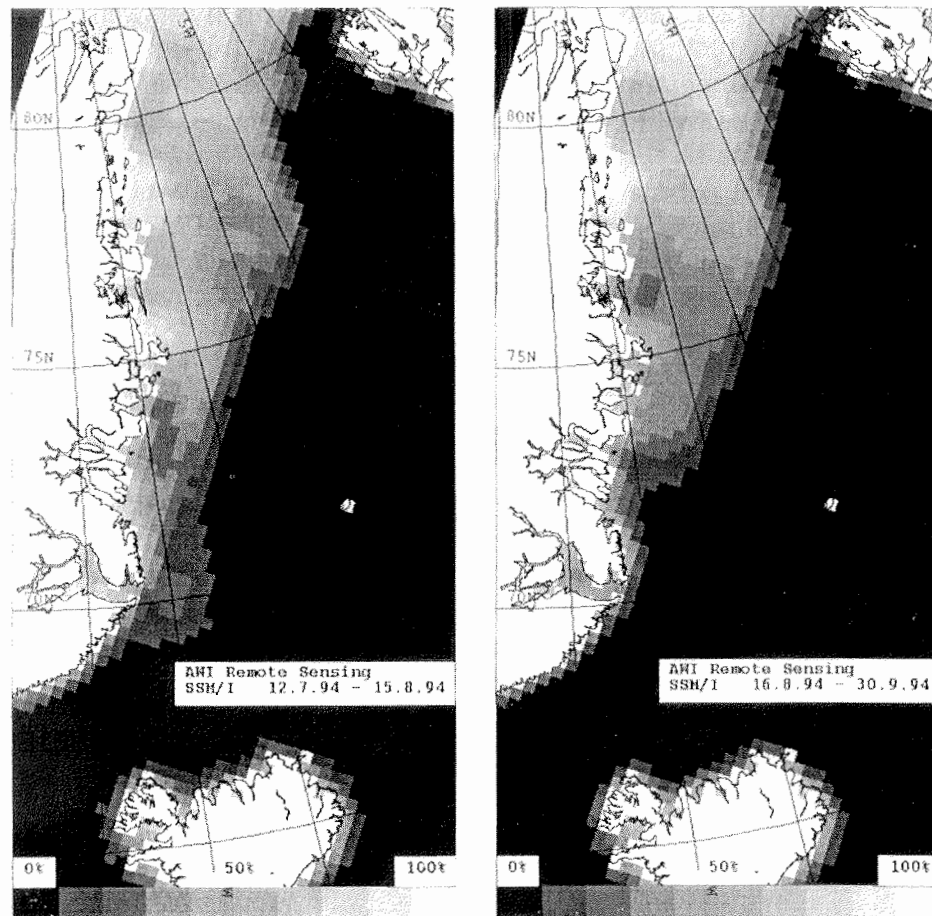


Abb. 4: Mittlere Eisbedeckung im Untersuchungsgebiet in 1994 während der Expeditionen ARK 10/1 (links) und ARK 10/2 (rechts). Die Graphiken wurden freundlicherweise von Dr. T. Martin zur Verfügung gestellt.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Untersuchungsmaterial

Das Probenmaterial wurde im Verlauf von drei Expeditionen mit F/S POLARSTERN im Bereich der Framstraße und der westlichen Grönlandsee zwischen 81°N und 72°N gesammelt (vgl. Tab. 1; detaillierte Stationsliste im Anhang). Dabei wurden 1993 insgesamt 48 Stationen und 1994 insgesamt 39 Stationen beprobt, wie in der Stationskarte (Abb. 5) dargestellt, unter ihnen 68 Stationen auf Meereis. Weiterhin wurden an insgesamt 12 der Meereisstationen zusätzlich Schnee- und Eisproben, zum Teil auch Eisproben aus dem Tümpelboden entnommen. An 5 Stationen wurden weiterhin Eiskerne aus der Umgebung der untersuchten Meereistümpel genommen, um den Vergleich mit den Lebensbedingungen im Meereis zu ermöglichen.

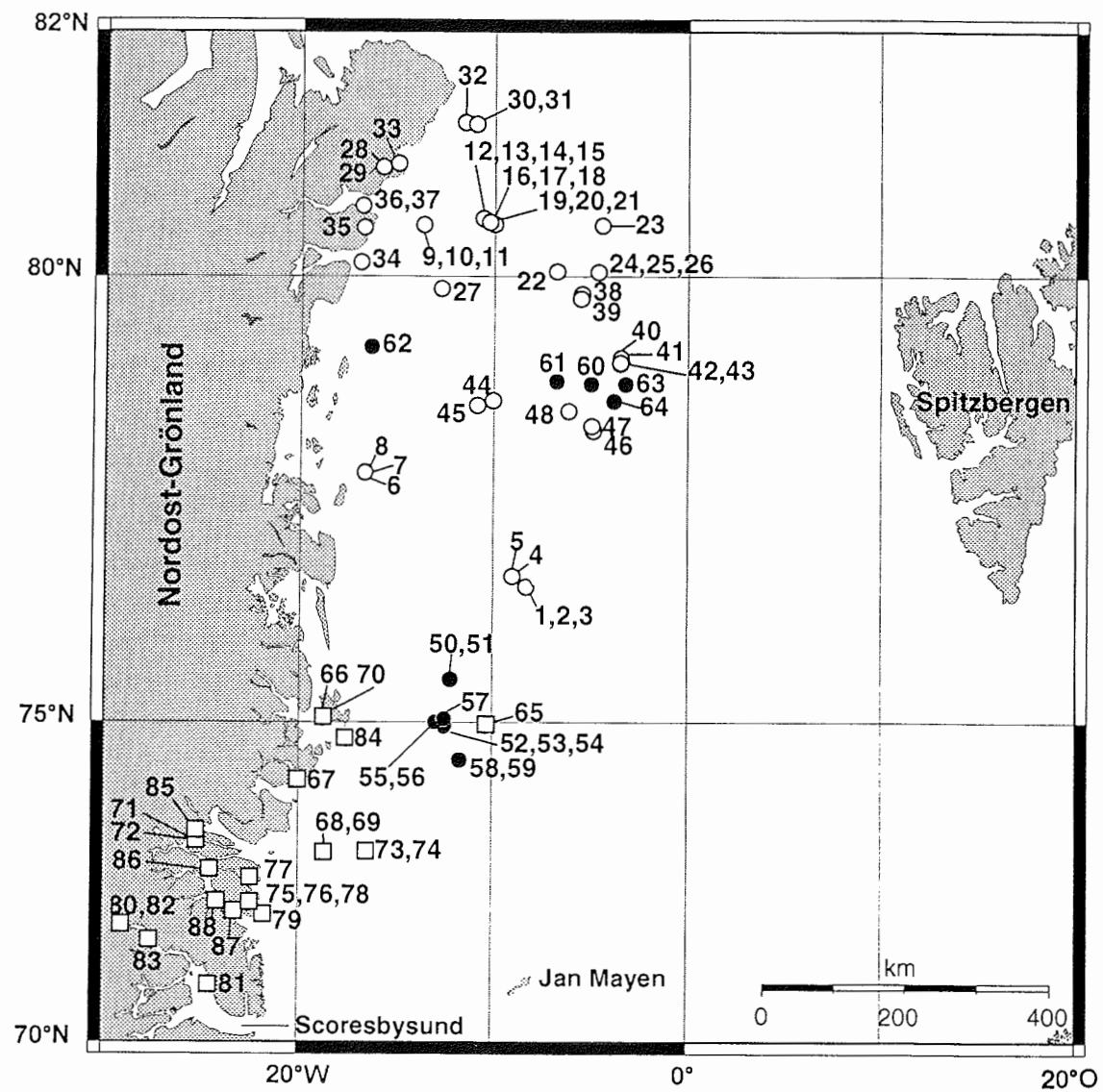
Zum Vergleich mit dem marinen Milieu wurden Proben zwischen Schollen (Station 43) und aus dem eisfreien Oberflächenwasser (Stationen 84 - 88, küstennahe bzw. Fjordstationen während ARK 10/2) entnommen. Proben aus 4 Schmelzwassertümpeln auf Gletschern sowie aus 2 Tümpeln auf Eisbergen dienten dem Vergleich mit den Verhältnissen in aquatischen Lebensräumen auf Süßwassereis. Darüber hinaus wurde Probenmaterial aus Landtümpeln und Seen an der nordostgrönländischen Küste gesammelt (6 Stationen).

Tab. 1: Expeditionen in das Untersuchungsgebiet

Expedition	Zeitraum	Haupt-Arbeitsgebiete
ARK 9/3	26.06. - 04.08.1993	Nordostwasser-Polynja (NEWP); Framstraße (79°N)
ARK 10/1	06.07. - 15.08.1994	ostgrönländischer Kontinentalabhang (75°N); Framstraße (79°N)
ARK 10/2	17.08. - 06.10.1994	ostgrönländische Fjorde zwischen 76°N und 70°N mit Schelf u. Kontinentalabhang

##### 3.1.1 Meereistümpel

Die 68 Meereis-Stationen umfaßten 65 verschiedene Meereistümpel an 44 Standorten auf ein- und mehrjährigem Treibeis sowie auf Festeis (vgl. Tab. A-1 im Anhang). Drei dieser Tümpel konnten nach 3 Wochen (Station 45 entspricht Station 15) bzw. nach 10 Tagen (Station 58 entspricht Station 50; Station 59 entspricht Station 51) ein zweites Mal beprobt werden.



- = Stationen 1 - 48 (Expedition ARK 9/3, 26.6. - 4.8.1993)
- = Stationen 50 - 64 (Expedition ARK 10/1, 6.7. - 15.8.1994)
- = Stationen 65 - 88 (Expedition ARK 10/2, 17.8. - 6.10.1994)

Abb. 5: Lage der Stationen im Untersuchungsgebiet

Die zweimal beprobten Meereistümpel werden in der Ergebnisdarstellung wie unterschiedliche Stationen behandelt, sofern ein zusammenfassender Überblick über die Verhältnisse im gesamten Untersuchungszeitraum gegeben wird, da sich die betreffenden Tümpel in der Zwischenzeit zum Teil stark verändert hatten.

Die Betrachtung aller über den gesamten Untersuchungszeitraum 1993 und 1994 beprobten Meereistümpel ermöglicht ebenfalls die Untersuchung saisonaler Tendenzen. Aus logistischen Gründen ist das Stationsnetz zeitlich und räumlich nicht gleichmäßig über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, sondern es sind Ort und Zeit der Probennahme miteinander verknüpft (Abb. 6).

Bei der Darstellung des jahreszeitlichen Verlaufs wurde für die Zeitachse anstelle einer Datumsangabe der Tag des Jahres angegeben. Diese Darstellungsweise ist in der englischsprachigen Literatur üblich, meist wird der "Tag des Jahres" dort als "Julian Day" bezeichnet. Tag 1 ist demnach der 1. Januar, Tag 365 der 31. Dezember. Die Probennahmen im Rahmen dieser Arbeit fanden zwischen dem 29.6. und dem 16.9. statt.

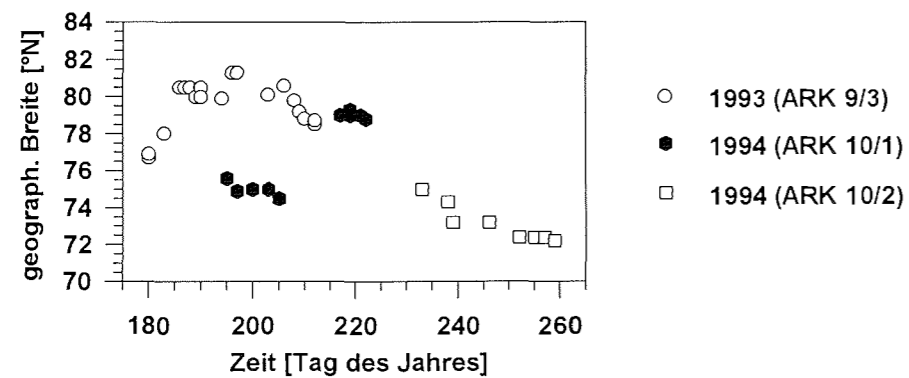


Abb. 6: Beziehung zwischen Zeit und Ort der Probennahme im Untersuchungszeitraum 1993/94. Zeitachse: Tag 180 = 1. Juli, Tag 259 = 16. September

### 3.1.2 Vergleichsstationen: Landtümpel und -seen, Tümpel auf Gletschern und Eisbergen, Proben aus dem marinen Milieu

An dieser Stelle soll eine Beschreibung der beprobten Vergleichsstationen erfolgen, da im Ergebnisteil nicht auf alle Details eingegangen werden kann und insbesondere bei den Seen die Angaben zu Dimensionen z. T. auf den Ergebnissen

anderer Autoren beruhen. Je ein Land- und ein Gletschereistümpel wurden nach wenigen Tagen erneut beprobt (Potsdam Pond: Stationen 66 und 70; Gletschereistümpel: Stationen 80 und 82). In die Ergebnisdarstellung gehen die Medianwerte und Spannweiten der Messungen beider Probennahmetage ein.

#### 3.1.2.1 Schmelzwassertümpel auf Gletschern und Eisbergen

**Stationen 28 und 29** - Beide Stationen lagen etwa 25 m voneinander entfernt auf einem schneebedeckten Gletscher auf  $80^{\circ}57' N/15^{\circ}47' W$ . Station 28 war ein isolierter Schmelzwassertümpel ohne Verbindung zu anderen Tümpeln, während es sich bei Station 29 um einen Schmelzwasserkanal handelte. Da er ebenfalls Schmelzwasser führte, wird er in der vorliegenden Arbeit zu den Tümpeln gerechnet, auch wenn das Gewässer kein Tümpel im eigentlichen Sinne war. In der Umgebung beider Stationen lagen weitere Schmelzwassertümpel. Der Untergrund in der Umgebung bestand aus grobkörnigem, in seiner Struktur an Kies erinnernden Schnee.

**Station 35** - Isoliert gelegener Schmelzwassertümpel auf einem schneebedeckten Gletscher auf  $80^{\circ}27' N/16^{\circ}45' W$ . Der Schnee war grobkörnig und bestand aus etwa 0,5 cm großen Kristallen.

**Stationen 80 und 82** - Dabei handelt es sich um einen Schmelzwassertümpel auf Gletschereis, der am 24.9.94 nur mit Minimalprogramm und am 26.9.94 ausführlicher untersucht werden konnte. Der Tümpel lag auf dem F. Graae-Gletscher ( $72^{\circ}03' N/29^{\circ}03' W$ ) in etwa 1,8 km Entfernung von der Abbruchkante der Gletscherzunge in den Nordvestfjord. Die Tümpelumgebung bestand aus glattem blauen Eis, das eine abwechslungsreiche Eislandschaft mit 2 - 3 m hohen Hügeln bildete.

**Station 81** - Dieser Tümpel lag auf einem Eisberg im Scoresby Sund (Position:  $71^{\circ}0' N/24^{\circ}32' W$ ) auf einem Absatz etwa 10 - 15 m über dem Meeresspiegel. Er war vollständig zugefroren, allerdings war seine Eisdecke weich und ohne Schwierigkeiten mit einem Eispickel aufzustoßen. Die Wassersäule unterhalb der Eisdecke war zu einem großen Teil mit grobkörnigen Schnee- oder Eiskristallen ("Schneegries") angefüllt. In seiner Umgebung lagen weitere Tümpel.

**Station 84** - Hierbei handelte es sich um einen eisbedeckten Tümpel auf einem etwa 200x200 m großen, durch Sedimentauflage schwarz wirkenden Tafelberg, der auf  $71^{\circ}47' N/27^{\circ}37' W$  im Nordvestfjord trieb. Herr Dr. Erik Born stellte mir freundlicherweise Material aus diesem Tümpel zur Verfügung. Das Wasser des



etwa 15 m über dem Meeresspiegel gelegenen Tümpels war aufgrund seiner Sedimentfracht dunkelgrau gefärbt. Die Größe des Tümpels betrug nach den Angaben von Dr. Born etwa 4 x 6 m, die Wassertiefe inkl. Eisdecke etwa 30 cm.

### 3.1.2.2 Landtümpel und -seen

**Station 33 - Landtümpel Nr. 1** (Abb. 7.a). Dieses Gewässer liegt auf dem nordostgrönländischen Festland im Gebiet von Amdrups Land auf einer Hochebene in etwa 1 - 2 km Entfernung von der Küste, die steil zum Meer abfällt. Es wird vermutlich von einem nahegelegenen Gletscher sowie von Schmelzwasser aus dem umliegenden Permafrostboden gespeist. Der Boden rings um den See wies Frostmuster sowie eine aus Gräsern, Moosen und Flechten bestehende Vegetation auf. Moosartige Pflanzenbüschel waren auch im Flachwasserbereich zu beobachten (vgl. Ikävalko et al. 1996).

**Station 66 und Station 70 - Potsdam Pond** (Abb. 7.b). Das auf Shannon Ø gelegene, in der vorliegenden Arbeit "Potsdam Pond" genannte Gewässer wurde am 23. August als Station 66 und am 29. August 1994 als Station 70 beprobt. Es liegt im südwestlichen Teil der Insel in jeweils etwa 4 km Entfernung vom Shannon Sund im Westen und der Hochstetterbugten im Süden. Der Potsdam Pond ist ein langgezogenes, ungefähr in Nord-Süd-Richtung verlaufendes Gewässer von etwa 1,3 km Länge und maximal 400 m Breite (Melles, pers. Mitt. 1994), dessen geringe Wassertiefe von 70 cm dem flachen Relief von Shannon Ø entspricht. Die mittlere Breite beträgt etwa 250 m (vgl. Abb. 7.b). Der Potsdam Pond wird nach Melles et al. (1995) hauptsächlich von einem permanenten Schneefeld an seinem Westufer gespeist und entwässert an seinem Süden über ein kleineres Gewässer in die Hochstetterbugten. Melles et al. (1995) gehen davon aus, daß das von ihnen als See ("Potsdam Sø") angesprochene Gewässer im Winter gänzlich durchfriert, zumal sie in Sedimentkernen aus dem Tümpelboden in etwa 50 cm Sedimenttiefe Permafrost nachweisen konnten. Daher ist der Potsdam Pond auch nach der Klassifikation von Røen (1962) als Tümpel einzuordnen. Zum Zeitpunkt der Probennahme war das Wasser des Potsdam Pond trübe, bedingt durch resuspendiertes Sediment terrigenen Ursprungs (Melles et al. 1995; Wickham & Carstens 1998). Am ersten Tag der Probennahme waren außerdem Schaumansammlungen am Ufer zu beobachten, die bei der zweiten Beprobung dieses Tümpels nach 6 Tagen nicht mehr vorhanden waren.

**Station 71 - Noa Sø** (Abb. 7.c). Der Noa Sø befindet sich auf Ymers Ø auf der schmalen Landverbindung, die die beiden großen Inselteile voneinander trennt. Der See hat eine maximale Länge von 4,3 km und eine maximale Breite von 2,2 km

(Melles, pers. Mitt. 1994) und bedeckt eine Fläche von ca. 6,5 km<sup>2</sup>. Nach bathymetrischen Untersuchungen von Melles et al. (1995) verläuft am Seeboden ein System tiefer Rinnen mit maximalen Wassertiefen zwischen 70 und 120 m. Die Rinnen werden voneinander durch Rücken getrennt, die teilweise als Inseln über die Wasseroberfläche hinausragen. Der Noa Sø wird hauptsächlich von einem Gletscher gespeist, der die an der Südflanke des Sees gelegenen Berge bedeckt und am Südostufer das sommerliche Schmelzwasser über ein großes Delta in den Noa Sø entläßt. Dabei werden große Mengen terrigenen Materials eingetragen und im Deltabereich sortiert. Grobkörniges Material verbleibt vermutlich im Deltabereich, Sand lagert sich vor dem Delta ab, während die Silt- und Tonpartikel im Seewasser suspendiert bleiben, da sie durch die sommerliche, durch Wellen und Schmelzwassereinträge induzierte Zirkulation in der Schwebe gehalten werden. Im Winter kommt es durch die vollständige Eisbedeckung zu einem Stillstand der Zirkulation und somit zu einer Sedimentation des suspendierten Materials (Melles et al. 1995). Dieses Modell erklärt die bei der Probennahme beobachtete starke Trübung des Wassers. Der Noa Sø entwässert an seinem östlichen Ende in einen kleineren See und über diesen in den Dusens-Fjord.

Aufgrund seiner Wassertiefe von maximal 120 m ist nicht zu erwarten, daß der Noa Sø im Winter durchfriert; daher ist der Noa Sø auch unter Berücksichtigung der Klassifikation von Røen (1962) als See zu betrachten.

**Station 72 - Muskox Pond** (Abb. 7.c). In etwa 500 m Entfernung vom Westende des Noa Sø liegt in einer dem See benachbarten Talsenke ein etwa 120 x 150 m großer Tümpel, der von uns als Arbeitsbezeichnung "Muskox Pond" genannt wurde. Das Tiefenprofil des eisfreien Tümpels konnte nur bis in ca. 10 m Entfernung vom Ufer des Muskox Pond bestimmt werden. In 5 m Entfernung vom Ufer betrug die Wassertiefe 56 cm, in 10 m Entfernung 70 cm. Die maximal erreichte Wassertiefe des Tümpels wird auf 1 m geschätzt.

Am Westufer wurde der Tümpel von einer Steilwand begrenzt. Das Ostufer, an dem die Probennahme stattfand, war dagegen flach und gut zugänglich. Es wurde auch von Tieren als Rast- oder Trinkplatz genutzt, wie an den zahlreich vorhandenen Kotresten zu erkennen war (u. a. Gänsekot). Im Flachwasserbereich in Ufernähe war der feinpartikuläre Untergrund mit zahlreichen Steinen bedeckt, die dichten pflanzlichen Bewuchs aufwiesen. Die gleichen, nicht näher identifizierten Pflanzen wuchsen auch auf geröllfreiem Untergrund in Ufernähe. Mit zunehmender Entfernung vom Ufer nahm die Menge an Geröll ab, und der Untergrund wurde etwas fester und sandiger, blieb jedoch feinkörnig. Das Wasser war klar. Es wurden einige kleine Fische (Körperlänge etwa 5 cm) beobachtet.

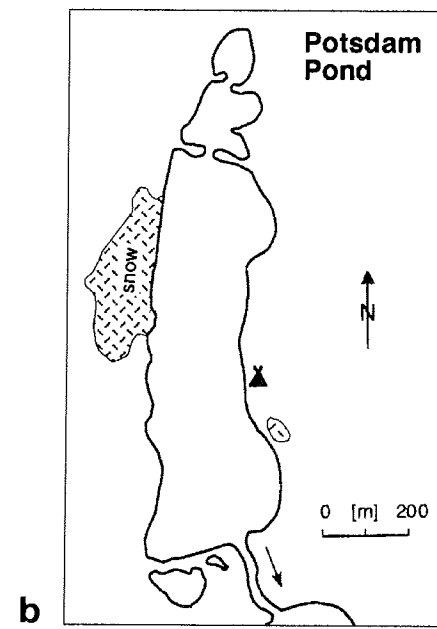
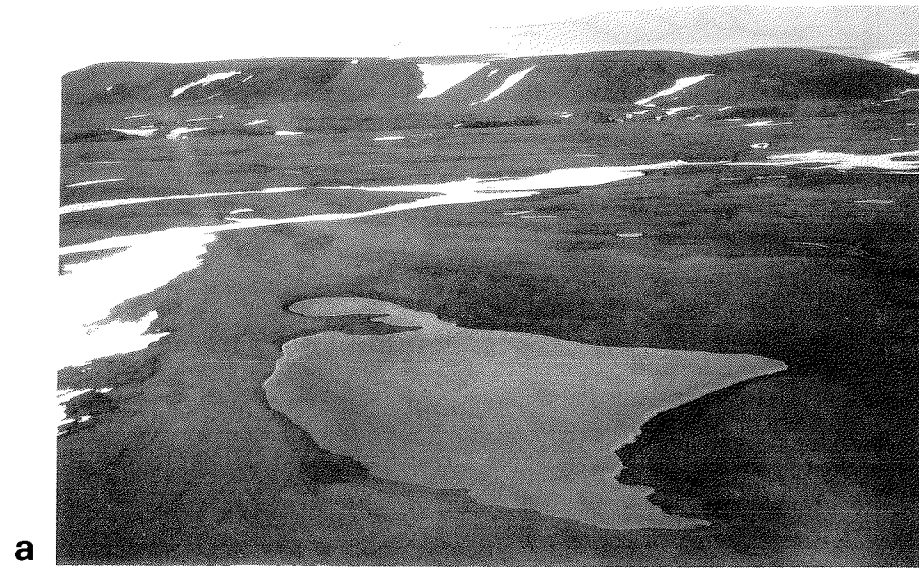


Abb. 7.a,b: Im Untersuchungszeitraum 1993/94 beprobte Landtümpel und Seen: a - Station 33 (Landtümpel Nr. 1); b - Stationen 66 und 70 (Potsdam Pond; verändert nach Melles et al. 1995)

### 3.1 Untersuchungsmaterial

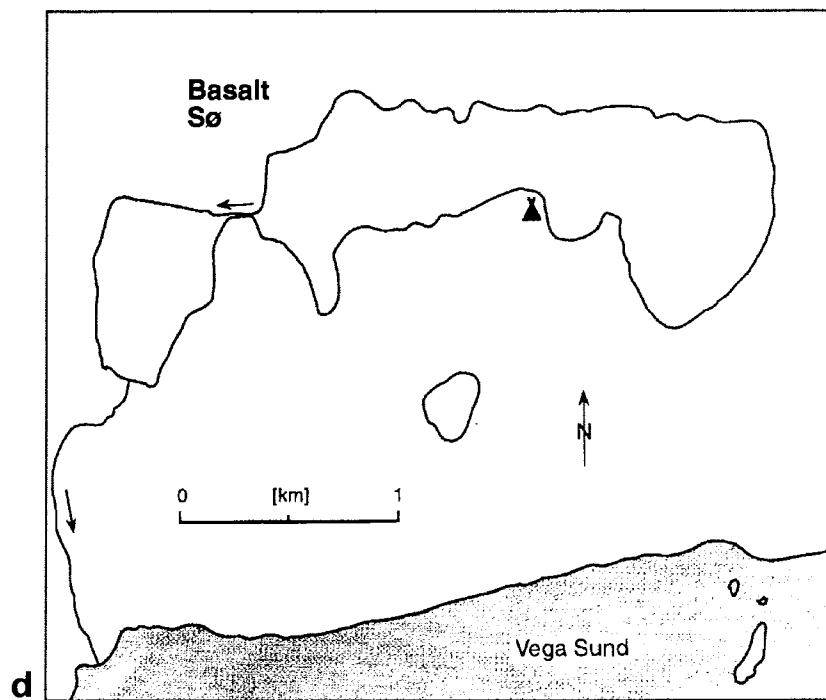
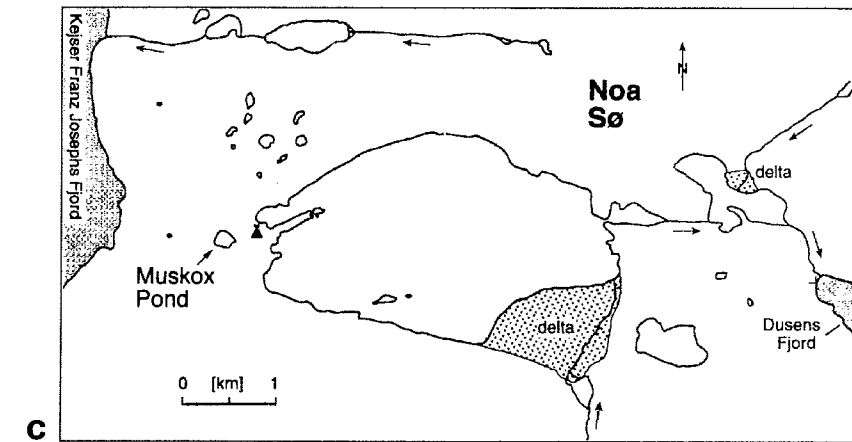


Abb. 7.c,d: Im Untersuchungszeitraum 1993/94 beprobte Landtümpel und Seen: c - Stationen 71 (Noa Sø) und 72 (Muskox Pond); d - Station 77 (Basalt Sø); verändert nach Melles et al. (1995)

Aufgrund seiner geringen Wassertiefe ist zu erwarten, daß der Muskox Pond im Winter bis zum Boden durchfriert. Damit ist er auch nach der Definition von Røen (1962) als Tümpel zu betrachten.

**Station 77 - Basalt Sø** (Abb. 7.d). Der Basalt Sø liegt an der Südküste der Geographical Society Ø auf einem Plateau etwa 100 m über dem Meeresspiegel. Der See ist unregelmäßig geformt mit einem Längsdurchmesser in Ost-West-Richtung von etwa 2,2 km (Røen 1962; Melles et al. 1995). Im Osten hat der See eine Breite von ca. 500 m; er verjüngt sich nach Westen. Seine Breite variiert insgesamt zwischen 300 und 900 m. Der Basalt Sø hat eine relativ einfache Bathymetrie mit asymmetrischen Nord- und Ostflanken und zeigt eine generelle Zunahme der Wassertiefe hin zu seinem östlichen Ende. Die maximale Wassertiefe beträgt 21 m (Melles, pers. Mitt. 1994). Der See ist auf basaltigem Boden gelegen, und an mehreren Stellen kommt es zu Einträgen von terrigenem Material von den umgebenden Steilhängen durch Solifluktion. Der Seeboden fällt vom Ufer her steil ab und besteht vorwiegend aus feinem Basaltsand (Røen 1962) mit einem relativ hohen Anteil an organischer Substanz (Melles et al. 1995). Nach Røen (1962) ist der Seeboden frei von Vegetation.

Am Nordende münden mehrere Bäche in den See (Melles et al. 1995). Røen (1962) berichtete von weiteren Zuflüssen am Ostende. An der Westküste des Sees existiert ein Abfluß, der über einen kleineren See in den Vega-Sund mündet (Melles et al. 1995).

Aufgrund seiner Wassertiefe von maximal 21 m ist nicht zu erwarten, daß der Basalt Sø im Winter durchfriert; daher ist dieses Gewässer unter Berücksichtigung der Klassifikation von Røen (1962) als See zu betrachten.

### 3.1.2.3 Proben aus dem marinen Milieu

**Station 43** - Wake zwischen Treibeis in der Framstraße auf 79°10'W und 3°30'W. Die Wassertiefe in diesem Gebiet betrug in etwa zwischen 1.000 und 2.000 m.

**Station 84** befand sich vor Shannon Ø auf 74°47'N/17°38'W in eisfreiem Wasser mit einer Tiefe von 329 m.

**Station 85** lag auf 73°26'N/25°11'W im Kejser Franz Joseph-Fjord. Zum Zeitpunkt der Probennahme war das Gebiet frei von Meereis. Die Wassertiefe betrug 475 m.

**Stationen 86, 87 und 88** lagen im Kong Oscar-Fjord zwischen 72°14'N/23°24'W und 72°52'N/24°35'W. Die Wassertiefen betragen 321 m (Station 86), 380 m (Station 87) bzw. 412 m (Station 88). Die Neueisbildung im Kong Oscar-Fjord hatte eingesetzt; nachts bildete sich dunkler Nilas auf der ruhigen Meeresoberfläche, Fingerraffing war zu beobachten. Eisfreie Gebiete wechselten sich mit Treibeisfeldern ab (Eiskonzentration 2/10 bis 5/10), die aus zerbrochenem Nilas-Eis und anderen Schollenbruchstücken vorwiegend der Größenklasse 10 - 50 m bestanden.

## 3.2 Untersuchungsmethoden

### 3.2.1 Probennahme und *in situ*-Messungen (Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, PAR, Dimensionen)

*Standard-Untersuchungsprogramm für Meereistümpel und vergleichend untersuchte Gewässer*

Die Probennahme erfolgte nach einem allgemeinen Schema (Abb. 8). Pro Station wurden mindestens zwei, meist drei bis fünf verschiedene Lokationen beprobt. Bei eisbedeckten Tümpeln wurden mit einem Eispickel oder einem Eiskern-Bohrer Löcher ins Eis geschlagen bzw. gebohrt, um Wasserproben entnehmen zu können.

An jeder Lokation wurden, um eine Kontamination zu vermeiden, als erstes Proben für die Nährstoffanalytik entnommen, gefolgt von Proben für die Salzgehaltsbestimmung. Im Anschluß wurden die *in situ* zu bestimmenden Parameter gemessen (Temperatur und pH-Wert, auf den Expeditionen ARK 10/1+2 zusätzlich Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Lichtverhältnisse, siehe unten). Für die Gewinnung von für die Chlorophyll- und Kohlenstoff-/Stickstoffanalytik bestimmten Schöpfproben wurden 5 bzw. 10 l fassende Polyethylen-Weithalsgefäße eingesetzt. Für mikroskopische Untersuchungen wurden Schöpfproben in 250 ml Braunglasflaschen abgefüllt und nach Rückkehr an Bord je nach weiterer Untersuchungsmethode unterschiedlich fixiert (Kap. 3.2.2). Nach Durchführung der Probennahmen und *in situ*-Messungen, die routinemäßig in der Mitte der Wassersäule der Tümpel erfolgten, wurde abschließend die Beschreibung und Vermessung der untersuchten Gewässer vorgenommen. Das gesamte Probenmaterial wurde bis zum Rücktransport an Bord kühl und soweit möglich dunkel (Kühlbox) gelagert.

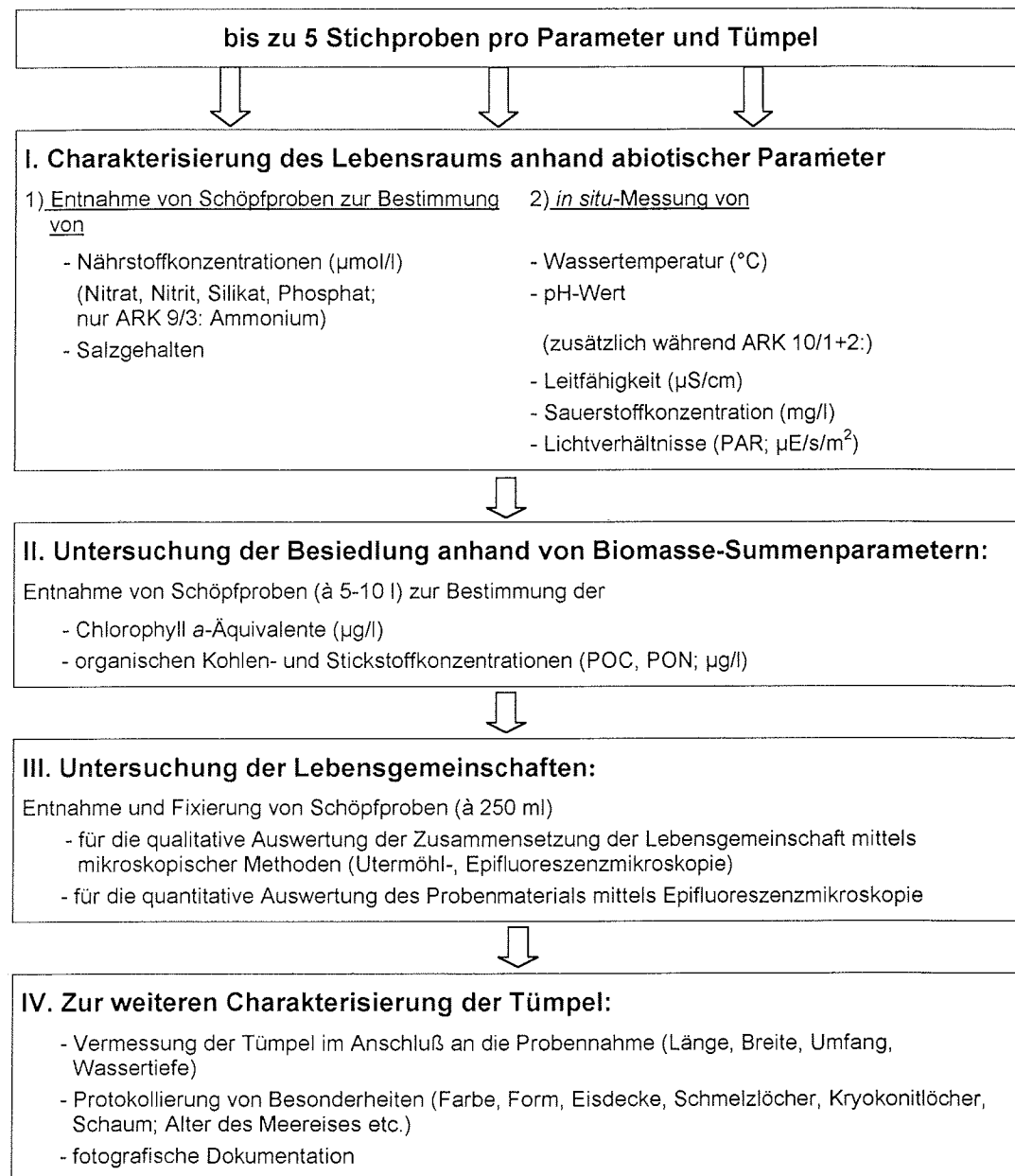


Abb. 8: Schematische Darstellung des Standard-Untersuchungsprogramms zur Verdeutlichung seines Ablaufs und der Untersuchungsziele

Die Untersuchung von Schmelzwassertümpeln auf Gletschereis und Eisbergen erfolgte wie oben beschrieben. Die Beprobung von Landtümpeln und -seen erfolgte in Ufernähe. Der Potsdam Pond auf Shannon Ø konnte von einem Arbeitsfloß der Arbeitsgruppe Melles, AWI Potsdam aus zusätzlich auch im zentralen Bereich untersucht werden. Die Beprobung der Meeresoberfläche erfolgte von Bord von "POLARSTERN" aus mit Hilfe eines Eimers, mit dem Wasserproben aus ca. 0 - 20 cm Tiefe geschöpft wurden. Nur im Falle der Station 43 (Wake zwischen zwei Eisschollen) wurde vom Rand der Scholle aus eine Wasserprobe mit einer Weithals-Probenflasche ebenfalls aus ca. 0 - 20 cm Wassertiefe entnommen.

Das vorgestellte Standard-Untersuchungsprogramm konnte aus logistischen Gründen nicht in allen Fällen komplett durchgeführt werden, so daß nicht zu allen untersuchten Stationen vollständige Datensätze bzw. Untersuchungsergebnisse vorliegen. Im Ergebnisteil wird auf die jeweils ausgewertete Probenzahl hingewiesen.

Die mikroskopische Analyse der Lebensgemeinschaften wurde anhand von Schöpfproben durchgeführt. Der Einsatz von Planktonnetzen (20 µm Maschenweite) in Meereistümpeln war nicht erfolgreich, da sich während der Fänge Eiskristalle bildeten und den Netzbecher verstopften. Während ARK 10/2 wurden von Dr. S. Wickham, Max-Planck-Institut f. Limnologie, gelegentlich Planktonnetzfüge (Maschenweite 355 µm) in den untersuchten Landtümpeln und -seen durchgeführt.

#### *Bestimmung abiotischer Parameter in situ*

Die Wassertemperatur und der pH-Wert wurden *in situ* mittels eines pH-Meters (WTW, Modell pH91, mit Temperaturfühler TFK 530) bestimmt. Während ARK 9/3 wurde für die pH-Messung die Gelektrode SenTix 96 eingesetzt, die sich als recht träge erwies. Während der folgenden Expeditionen (ARK 10/1 und ARK 10/2) wurde daher die Ingold-Einstabmeßkette Typ 405-60-88TE-57/120 für ionenarmes Wasser verwendet. Die Eichung des pH-Meters erfolgte in der Kälte (Kühlraum +2°C bzw. auf dem Eis). In den Fällen, in denen eine *in situ*-Messung des pH-Wertes nicht möglich war, wurde der pH-Wert umgehend nach Probennahme im Schöpfgefäß bzw. direkt nach Rückkehr an Bord bestimmt. In letzteren Fällen wurde die Temperaturkorrektur nach Grashoff (1983) angewendet, um die transportbedingte leichte Erwärmung der Proben auszugleichen (max. +4°C Temperaturunterschied).



Die Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentration wurde mit Elektroden und Meßgeräten der Firma WTW bestimmt (Leitfähigkeit: LF 96 mit Elektrode TetraCon 96; Referenztemperatur 25°C. Sauerstoffgehalt: Oxi 196 mit Elektrode EO 196-1,5). Die nur für die Expeditionen ARK 10/1+2 vorliegenden Messungen wurden mit Ausnahme der Festeisstationen 62, 75, 76 und 78 *in situ* durchgeführt. Das Probenmaterial der letztgenannten Stationen konnten erst nach Rückkehr an Bord bearbeitet werden (ca. 1 - 2 Stunden nach Probennahme; zwischenzeitliche Lagerung bei *in situ*-Temperaturen).

Zusätzlich wurden im Untersuchungsjahr 1994 die Lichtverhältnisse in Meereistümpeln und vergleichend betrachteten Gewässern untersucht. Die Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR, 400 - 700 nm) in den Gewässern und ihrer Umgebung erfolgte mit Hilfe des sphärischen Unterwassersensors LI-193SA und des Quantum-Sensors LI-190SA (als Referenzsensor 2 Pi für Messungen an der Luft). Als Anzeigeeinheit und für die Datenaufzeichnung über längere Zeiträume wurde der Datalogger LI-1000 eingesetzt (Sensoren und Datalogger: Fa. LI-COR, Lincoln, USA).

#### *Beschreibung und Vermessung der Meereistümpel und vergleichend untersuchten Gewässer*

Die Beschreibung der Stationen umfaßte Merkmale und Besonderheiten wie die Farbe, die Form, das Auftreten von Schmelzlöchern und Kryokonitlöchern, Schaum etc., die protokolliert und fotografisch dokumentiert wurden. Weiterhin wurden der Eistyp (Packedeis, Festeis) und das ungefähre Alter des Meereises bestimmt. Dabei wurden äußere Schollenmerkmale (Höhe des Freibords, Vorkommen und Alter von Preßeisrücken und andere Oberflächenmerkmale) als Grundlage für die Altersabschätzung des Eises herangezogen. Letztere erfolgte während der ersten Expedition (ARK 9/3) unter Anleitung von Dr. Caren Garrity, Ottawa Microwave Group, Ottawa, Kanada und wurde auf den beiden folgenden Expeditionen (ARK 10/1 und ARK 10/2) nach denselben Kriterien fortgesetzt. Die Zuordnung der Eistypen erfolgte entsprechend der Meereisnomenklatur der World Meteorological Organization (1970).

Die Vermessung der Meereistümpel sowie der vergleichend untersuchten Tümpel und Seen anderer Lebensräume umfaßte die maximale Länge und Breite sowie den Umfang und die Wassertiefe der Gewässer. Bei der Bestimmung des Umfangs wurden von den Tümpeln ausgehende Schmelzwasserkanäle nicht mit berücksichtigt. Die Wassertiefe wurde beginnend am Tümpelrand in 1 m-Abständen auf mindestens einem Längs- und einem Querschnitt (max. Länge und max. Breite) bestimmt. Aus diesen Einzelmessungen wurde die mittlere Wassertiefe berechnet, wobei Schmelzlöcher unberücksichtigt blieben. Schneeeinseln gingen mit der Tiefe

"0 cm" in die Berechnung ein. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums trugen die Tümpel eine Eisdecke, die nur mit einem Eispickel oder Eiskern-Bohrer geöffnet werden konnte. Daher beschränkte sich die Bestimmung der mittleren Wassertiefe auf 3 Messungen, zum Teil konnte auch nur eine Messung durchgeführt werden (siehe Anhang 2). In diesem Fall ( $n = 1$ ) wurde der Meßwert als mittlere Wassertiefe angenommen (Stationen 62, 67, 69, 74 - 78).

Die Größenvermessung des Landtümpels Nr. 1 (Station Nr. 33) während ARK 9/3 erfolgte aufgrund seiner Größe mit Hilfe des Helikopters. Für die Bestimmung der mittleren Wassertiefe der Stationen 33 und 72 wurde der Median aus je einem ufernahen, in Längs- und Querrichtung genommenen Tiefenprofil herangezogen, es handelt sich dabei um einen Minimalwert. Die Längen, Breiten und Tiefen der übrigen Seen wurden von Dr. Martin Melles und Mitarbeitern, AWI Potsdam ermittelt und mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt (vgl. auch Melles et al. 1995).

Die Häufigkeit der Meereistümpel, ausgedrückt als Flächenanteil an der gesamten Schollenfläche ("Tümpelbedeckungsgrad", vgl. Kap. 1.4), wurde visuell abgeschätzt, zumeist in Verbindung mit dem Anflug der Station per Helikopter, ansonsten vom Peildeck des FS "POLARSTERN" aus.

#### *Entnahme und Aufarbeitung von Schneeproben und Eiskernen*

An einigen Stationen wurden Schneeproben, Eisproben aus dem Tümpelboden und Eiskerne genommen. Schneeproben aus der Tümpelumgebung wurden in 300 ml Kautexflaschen gesammelt. Im ersten Untersuchungsjahr wurden einige Eisproben aus dem Tümpelboden herausgeschlagen. Im zweiten Untersuchungsjahr wurden Eiskerne aus dem Tümpelboden ("T-Kerne") und aus der Tümpelumgebung ("N-Kerne") mit einem Eiskern-Bohrer (Innendurchmesser 9 cm) entnommen, vor Ort in 10 cm starke Segmente zersägt und nach Tiefenhorizonten getrennt in Auftaugefäße (Polyethylen-Schraubdeckelgefäße) gegeben. Dabei wurden die Segmente von bis zu 4 Parallelkernen gepoolt, um genügend Material für die geplanten Analysen zu gewinnen. Die neben den Tümpeln entnommenen Eiskerne wurden etwa 1 bis 5 m vom Tümpelufer entfernt erbohrt. Das gewonnene Probenmaterial wurde bis zum Rücktransport an Bord kühl und nach Möglichkeit dunkel gelagert (Kühlbox).

Die Schneeproben und Eiskernsegmente wurden an Bord im Kühlcontainer bei Temperaturen von +2 bis +4°C langsam, d. h. mit Auftauzeiten zwischen 24 und 36 Stunden, aufgetaut. Da die Kerne aus den Oberflächenbereichen von mehrjährigen Eisschollen stammten, die im allgemeinen stark ausgesüßt sind, wurden die Kernsegmente ohne Zugabe von Seewasser aufgetaut. Nach dem Auftauen wurden für mikroskopische Untersuchungen bestimmte Unterproben entnommen

und fixiert (siehe unten). Das restliche Material wurde für Messungen des pH-Werts, der Leitfähigkeit, der Sauerstoff-, Salz- und Nährstoffgehalte sowie der Chlorophyllgehalte eingesetzt. Wegen der Materialknappheit konnte für die Chlorophyllbestimmungen nur ein Probenfilter pro Kernsegment hergestellt und analysiert werden. Sofern dann noch genügend Material vorhanden war, wurde es ebenfalls für die spätere Bestimmung des Kohlen- und Stickstoffgehalts, wie in Kap. 3.2.5 beschrieben, vorbereitet.

### 3.2.2 Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen

Die Bestimmung der Konzentrationen an Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ; nur ARK 9/3), Silikat (Silikat-Si) und Phosphat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) in den Nährstoffproben der Expeditionen ARK 9/3 und ARK 10/1 erfolgte an Bord, während die Proben von ARK 10/2 durch Zugabe von Quecksilberchloridlösung (Endkonzentration 0,1 %) fixiert und nach Rückkehr von See gemessen wurden. In allen Fällen erfolgte die Messung mit einem Autoanalyser (Technicon Autoanalyser System II) nach Standardmethoden (Kattner & Becker 1991) durch A. Michel, B. Hollmann, K.-U. Richter und andere Mitarbeiter der Nährstoffarbeitsgruppe von Dr. Gerhard Kattner, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven. Der Eichstandard wurde mit Süßwasser (Milli-Q) angesetzt, im Falle von Brackwassertümpeln und Meerwasserproben wurde gegen einen Salzstandard gemessen. Die Angabe der Nährstoffkonzentrationen bezieht sich auf das N-, Si- bzw. P-Atom. Die Nachweisgrenze der Methode beträgt 0,05  $\mu\text{mol/l}$  für  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  und Silikat-Si, für  $\text{NO}_2\text{-N}$  und  $\text{PO}_4\text{-P}$  jeweils 0,01  $\mu\text{mol/l}$  (Kattner, pers. Mitt. 1997).

### 3.2.3 Bestimmung der Salinität

Die Salzgehaltsbestimmung erfolgte handrefraktometrisch (ATAGO S/Mill Salinometer; 0-100 Einheiten) bei Raumtemperatur der Proben. Vor jeder Messung wurde das Salinometer mit A. dest. auf 0 geeicht. Bei der Ablesung wurde eine Genauigkeit von <0,5 Einheiten angestrebt (die Salinität wird in neuerer Zeit dimensionslos angegeben, eine "Einheit" des Salinometers entspricht 1 Promille bzw. 1 practical salinity unit). Die Einordnung in die verschiedenen Salinitätsstufen (Süß-, Brack-, Meerwasser) wurde nach Ott (1988) vorgenommen. Während der Expeditionen ARK 10/1 und 10/2 wurde zusätzlich die Leitfähigkeit bestimmt, die jedoch nicht zur Berechnung des Salzgehalts herangezogen wurde, sondern als Maß für den Ionengehalt des Wassers diente.

#### 3.2.4 Bestimmung der Chlorophyll a-Konzentrationen

Das Probenmaterial für die Chlorophyllanalytik wurde nach Rückkehr an Bord umgehend auf Glasfaserfilter (Whatman GF/F, Filterdurchmesser 25 mm) filtriert. Die Filtrationen wurden im Bordlabor bei Schwachlicht durchgeführt. Dabei wurden je nach Gehalt der Probe zwischen 1 und 5 l Probenwasser filtriert, im Falle der Landtümpel und -seen zwischen 0,3 und 1,0 l. Die Filtrationsdauer betrug i.a. weniger als 1/2 Stunde, bei einigen Proben betrug sie mehr als 3 Stunden pro Filter. Für die Herstellung von Filter-Blindwerten wurde jeweils 1 l Milli Q-Wasser durch ein GF/F Filter filtriert. Die Chlorophyllproben von ARK 9/3 wurden direkt weiterverarbeitet, d. h. extrahiert und gemessen, während die übrigen Chlorophyllproben nach der Filtration tiefgefroren bei -18°C gelagert wurden. Die Extraktion des Chlorophylls (siehe unten) erfolgte mit Aceton.

Die Messung der Chlorophyll a-Konzentrationen erfolgte bei beiden Varianten mit einem Fluorometer der Firma Turner Designs Inc., USA (ARK 9/3: Modell 112; ARK 10/1+2: Modell 10-005 R; Lampe F4T; Blaufilter 5-60; Rotfilter 2-64). Bei der Eichung des Turner-Fluorometers wurde nach Edler (1979) mit Chlorophyll a-Standard (SERVA, Best.-Nr. 16910) gegen ein Spektralphotometer kalibriert. Die Chlorophyll a-Konzentrationen wurden mit einem molaren Extinktionskoeffizienten für Chlorophyll a von 87,67 (Jeffrey & Humphrey 1975) berechnet. Als Nachweisgrenze der fluorometrischen Methode wird von Arar & Collins (1992) eine Chlorophyll a-Konzentration von 0,11 µg/l in 10 ml Acetonextrakt angegeben (Schätzwert), was einer absoluten Konzentration von 0,001 µg Chlorophyll a in 10 ml Acetonextrakt entspricht. Da diese fluorometrische Methode nicht Chlorophyll a-spezifisch ist, sondern auch andere Chlorophylle mit erfaßt werden, handelt es sich streng genommen um die Messung von Chlorophyll a-Äquivalentkonzentrationen. Der Einfachheit halber werden diese im Text, wie in der Literatur üblich, als Chlorophyll- bzw. Chlorophyll a-Konzentrationen bezeichnet.

Bei der Extraktion der Chlorophyllproben während der Expeditionen ARK 9/3 und ARK 10/1 sowie ARK 10/2 traten leichte methodische Unterschiede auf. Die Probenaufarbeitung während ARK 9/3 erfolgte nach Parsons et al. (1984) in modifizierter Form. Die Filter wurden ohne Zusatz von Magnesiumcarbonat und ohne den Einsatz einer Zelmühle 24 Stunden in 90 %igem Aceton (7 ml pro Filter, kräftiges Schütteln nach Zugabe des Acetons) extrahiert (Kühlschrank, +4°C). Im Anschluß an die Extraktion wurden die Proben in einem Turner-Fluorometer (Typ 112) gemessen, sobald sie Zimmertemperatur erreicht hatten. Diese Methode entsprach der Vorgehensweise einer kanadischen Arbeitsgruppe, die während derselben Reise tätig war (vgl. Bergeron et al. 1994).

Die während der Expeditionen ARK 10/1+2 hergestellten Probenfilter wurden tiefgefroren ins Heimatlabor transportiert und dort nach der Methode von Arar & Collins (1992) extrahiert und gemessen. Der wesentliche Unterschied gegenüber der zuvor beschriebenen Methode besteht darin, daß die Probenfilter nach Zugabe des Extraktionsmediums (90 % Aceton, 10 ml/Filter) in einer Zelmühle homogenisiert wurden. Nach Klärung der Extrakte in einer Kühlzentrifuge (0°C, 3.000 rpm, 10 Min.) wurden die Proben gemessen, nachdem sie wieder Zimmertemperatur erreicht hatten. Die Extraktionszeit, gemessen von der Zugabe des Mediums bis zum Abschluß der Messungen, betrug etwa 2 - 3 Stunden. Diese Methode entspricht der Vorgehensweise der Mitglieder des Sonderforschungsbereichs (SFB) 313, die auf diesen Expeditionen ebenfalls die Chlorophyllkonzentrationen in Meerwasser und Eiskernen bestimmten. Die Analyse dieser Chlorophyllproben erfolgte durch Herrn Dr. S. Reitmeier, SFB 313 der Universität Kiel.

Ein im Heimatlabor von mir an Wasserproben aus der Schwentine durchgeführter Vergleich der beiden Extraktionsmethoden ergab geringe, aber signifikante Unterschiede der ermittelten Chlorophyll a-Äquivalentkonzentrationen ( $p = 0,5$ ;  $n =$  je 12 Proben ohne/mit Zelmühlenbehandlung; t-Test für verbundene Proben). Der Mittelwert der ohne Zelmühle über 24 Stunden extrahierten Proben betrug  $2,64 \pm 0,05 \mu\text{g}$  Chlorophyll a-Äquivalente/l, im Falle der mit Zelmühle extrahierten und gleich im Anschluß an die Behandlung gemessenen Proben  $2,57 \pm 0,04 \mu\text{g}$  Chlorophyll a-Äquivalente/l. Damit liegen die 1994 gemessenen Chlorophyll a-Äquivalentkonzentrationen methodisch bedingt etwa 2,7 % niedriger als die 1993 gemessenen Werte.

#### **3.2.5 Bestimmung der Konzentration des partikulären organischen Materials (C/N-Analyse)**

Das für die C/N-Analytik bestimmte Probenmaterial wurde nach Rückkehr an Bord umgehend auf geglühte Glasfaserfilter (Whatman GF/F, Filterdurchmesser 25 mm, 12 Std. bei 500°C geglüht) filtriert und tiefgefroren bei -18°C gelagert. Die Bestimmung der partikulären organischen Kohlenstoff- (POC) und Stickstoffkonzentrationen (PON) erfolgte nach Standardmethoden (v. Bodungen et al. 1991) mit einem Heraeus Rapid CHN-Analyzer. In Abhängigkeit vom zu erwartenden POC-Gehalt (grob abschätzbar anhand der Färbung der Probenfilter) wurden Verbrennungszeiten zwischen 0,8 und 1,0 s gewählt. Als Filterblanks wurden geglühte Whatman GF/F-Filter eingesetzt (mindestens 4 Filterblanks pro 36 Probenfilter derselben Charge). Die Proben der Expedition ARK 9/3 wurden von mir selbst bearbeitet, während die übrigen Proben von Herrn Dr. S. Reitmeier, SFB 313 der Universität Kiel, analysiert wurden.

### **3.2.6 Fixierung und Probenaufbereitung für die mikroskopische Auswertung**

Unmittelbar nach Rückkehr an Bord erfolgte die Fixierung des Probenmaterials durch Zugabe von Borax-gepufferter Formaldehydlösung (Endkonzentration 1,5 %). In Einzelfällen wurden zusätzliche Proben durch Zugabe von Glutaraldehydlösung fixiert (Endkonzentration 2 %). Für die Bestimmung von Ciliaten vorgesehene Proben wurden in Bouinscher Lösung fixiert (ARK 10/1 und ARK 10/2; leicht modifiziert nach der Methode von Lee et al. 1985a).

Das fixierte Probenmaterial wurde bis zur Herstellung der Epifluoreszenzpräparate bzw. bis zur Untersuchung im Utermöhlmikroskop dunkel und kühl gelagert.

Als Fluoreszenzfarbstoff zur Zählung der Bakterien und Protisten wurde DAPI (4',6'-Diamidino-2-phenyl-indol, SERVA, Best.-Nr. 18860) benutzt. Die Durchführung der Färbung erfolgte in einer von Gradinger (1990) beschriebenen Modifikation der Methode von Porter & Feig (1980). Für die Zählung von Bakterien und Eukaryota <5 µm wurden Probenvolumina von 75 bis 100 ml auf Polycarbonatmembranen (25 mm Durchmesser, Porenweite 0,2 µm, mit Irgalan-schwarz gefärbt) filtriert, während für eukaryotische Einzeller >5 µm schwarze Polycarbonatmembranen mit einer Porenweite von 0,6 µm eingesetzt und in der Regel Probenvolumina zwischen 125 und 175 ml filtriert wurden. Nach erfolgter Färbung wurden die Qualität der Präparate mikroskopisch überprüft und protokolliert, wobei auch auf die Intensität der Chlorophyll-Autofluoreszenz geachtet wurde. Die fertigen Epifluoreszenzpräparate wurden bis zur Zählung tiefgefroren gelagert (-18°C).

### **3.2.7 Quantitative mikroskopische Auswertung**

Die Auszählung der Bakterien, photo- und heterotrophen Protisten erfolgte im Heimatlabor anhand der an Bord hergestellten Epifluoreszenzpräparate an einem Leitz Aristoplan Epifluoreszenzmikroskop mit Filtersätzen für UV-, Blau- und Grünanregung. Es wurden Periplan GW 8x/28 Okulare und Fluotar-Objektive verwendet. Bei der Zellzählung wurde nach Organismengruppen bzw. Zelltypen und mit Hilfe einer Okular-Strichplatte gleichzeitig nach Grössenklassen unterschieden. Durch den Wechsel zwischen UV-Anregung (DAPI-Fluoreszenz) und Blau-Anregung (Chlorophyll-Autofluoreszenz) wurde zwischen photo- und heterotrophen Zellen differenziert. Für die Untersuchung auf Cyanobakterien wurde Grünanregung eingesetzt. Bei manchen Proben blich die Autofluoreszenz des Chlorophylls sehr rasch aus.

Sofern nicht anders angegeben, wurde pro Tümpel eine Wasserprobe aus der Mitte der Wassersäule ausgezählt. Der Zählfehler unterschied sich von Größenklasse zu Größenklasse. Es wurden pro Filter mindestens 1.000 Bakterien gezählt, was einem mittleren Zählfehler (95 % Konfidenzintervall) von <10 % entspricht (HELCOM 1983). In den Größenklassen 2 - 5  $\mu\text{m}$ , 5 - 10  $\mu\text{m}$ , 10 - 20  $\mu\text{m}$  und 20 - 50  $\mu\text{m}$  wurde eine Anzahl von mindestens 50 gezählten Zellen pro Größenklasse angestrebt (Zählfehler 28 %, HELCOM 1983). In der Größenklasse >50  $\mu\text{m}$  wurden in der Regel drei Probenfilter ganz ausgezählt, so daß Probenvolumina zwischen 375 und 625 ml Tümpelwasser auf Organismen dieser Größenklasse untersucht wurden.

Die Vermessung der Zellen erfolgte während der Zählungen, wobei zunächst das Leitz Microvid-System, später das Leitz Quantimed-Bildanalysesystem eingesetzt wurde (interaktive Messung). Für die Dokumentation wurden Mikrovideo- und Mikrofotografie eingesetzt.

Die Biovolumina der Zellen errechneten sich aus den Längen- und Breitemessungen, indem die Zellform einfachen geometrischen Formen angenähert und die entsprechenden stereometrischen Formeln zur Berechnung der Volumina verwendet wurden (i. a. Kugel, Rotationsellipsoid, Zylinder). Für die Umrechnung der Biovolumina in Biomasseeinheiten wurde für Bakterien ein Faktor von 0,3 pg C/ $\mu\text{m}^3$  nach Børsheim et al. (1990) und für Protisten ein Faktor von 0,14 pg C/ $\mu\text{m}^3$  nach Putt & Stoecker (1989) benutzt. Für Bacillariophyceen ist die Umrechnungsformel nach Strathmann (1967) anzuwenden.

### **3.2.8 Mikroskopische Analyse, Identifizierung und systematische Einordnung der Organismen**

Die Epifluoreszenzmikroskopie ermöglicht neben Zellzählungen und Größmessungen auch die Unterscheidung zwischen photo- und heterotrophen Protisten. Da in manchen Proben die Chlorophyll-Autofluoreszenz sehr rasch ausbleicht, kann die Zahl der phototrophen Zellen in diesen Fällen unterschätzt worden sein. Eine genauere taxonomische Einordnung der Zellen ist mit Hilfe der Epifluoreszenzmikroskopie nicht möglich, sondern erfordert speziellere Techniken der Licht- und Elektronenmikroskopie.

Zur besseren Einordnung der Zellen in die zugehörigen taxonomischen Gruppen wurden ergänzend Utermöhlpräparate hergestellt (50 ml-Sedimentationskammern) und mit Phasenkontrast oder Differential-Interferenzkontrast im Durchlicht untersucht. An einigen Stationen wurden die Utermöhlproben zusätzlich

### 3.2 Untersuchungsmethoden

---

mit dem Fluoreszenzfarbstoff DAPI versetzt und bei UV-Anregung untersucht, um die Zuordnung der Zellen zu erleichtern, die mittels Epifluoreszenzmikroskopie auf Filtern gezählt worden waren.

Zur systematischen Einordnung und näheren Identifizierung der phototrophen Protisten einschließlich der heterotrophen Vertreter der Chlorophyta, Dinophyceae (= Dinoflagellida) und Euglenophyceae wurden im wesentlichen folgende Werke herangezogen:

- Chlorophyta: Ettl (1983) sowie Ettl & Gärtner (1988)
- Chrysophyceae: Starmach (1985)  
Anmerkung: Der in diesem Band verwendete Name *Dinobryon petiolatum* Willén ist ungültig (Okolodkov & Elbrächter, pers. Mitt. 1998). Daher wurde in der vorliegenden Arbeit der korrekte Name *Dinobryon faculiferum* (Willén) Willén 1992 verwendet.
- Dinophyceae: Popovsky & Pfiester (1990)
- Bacillariophyceae: Pankow (1990)

Die allgemeine systematische Einteilung der Protozoen wurde nach Lee et al. (1985b) vorgenommen. Die Einteilung der Ciliophora erfolgte nach Small & Lynn (1985). Dabei wurden die Gattungen *Lohmanniella* und *Leegaardiella* in Anlehnung an Maeda (1986) und Petz et al. (1995) zu den Strobilidiidae gestellt, welche nach Small & Lynn (1985) der Ordnung Choreotrichida zuzuordnen sind.

Die "Schneepilze" wurden in Übereinstimmung mit Kol (1968) zu den Pilzen unklarer taxonomischer Zugehörigkeit (Fungi incertae sedis) gestellt. Der Begriff "Protista incertae sedis" wurde im Sinne von Thomsen et al. (1990), Vørs (1992) und anderer Autoren verwendet.

Weiterhin wurden für die taxonomische Untersuchung der Chrysophyceenflora lichtmikroskopische Trockenpräparate und elektronenmikroskopische Präparate ("Whole Mounts") nach der Methode von Moestrup & Thomsen (1980) angefertigt (Präparation: Dr. H. A. Thomsen, Universität Kopenhagen). Die Auswertung dieser Präparate wurde von Dr. Thomsen und Frau Dr. J. Ikävalko, Universität Helsinki, vorgenommen; die Ergebnisse sind in Ikävalko et al. (1996) dargestellt (Stationen 32, 33, 36, 45). Nach derselben Methode wurden von Frau Dr. Ikävalko elektronenmikroskopische Präparate aus Material von Station 64 hergestellt, anhand derer sie meine Einordnung eines häufig vorkommenden Flagellaten als *Pyramimonas* sp. bestätigen konnte. Die taxonomische Zusammensetzung der Ciliatenfauna der Stationen 56, 57, 58, 64 und 79 wurde von Frau Dr. S. Agatha,



Institut für Frischwasser- und Abwasserbiologie, Hamburg anhand von Protargolpräparaten analysiert, die sie nach der Methode von Song & Wilbert (1995) aus dem Bouin-fixierten Material hergestellt hatte.

### 3.2.9 Statistische Auswertung und graphische Darstellung

Als Mittelwert wurde aufgrund seiner Robustheit und Unabhängigkeit von der Normalverteilung (Sachs 1993) stets der Median verwendet, sofern nicht ausdrücklich anders erwähnt.

#### *Statistische Tests*

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Statistikprogramms STATEASY (Version 3.5 Plus; Lozán 1995) durchgeführt. Dabei wurden die Daten zunächst mittels des Kolmogoroff-Smirnoff-Tests in der Modifikation nach Kuiper auf Normalverteilung überprüft. Da nicht alle Datensätze normalverteilt waren, wurden aus Gründen der Einheitlichkeit die Beziehungen zwischen den abiotischen und biotischen Faktoren und der Zeit bzw. der geographischen Breite der Probenahme mit Hilfe der Spearman-Rangkorrelation überprüft. Der Rangkorrelationskoeffizient wurde mit " $r_s$ " bezeichnet. Dabei führte das Statistikprogramm unterhalb einer Stichprobenzahl von  $n = 30$  den einseitigen Test durch. Da nach Sachs (1993) die zweiseitige Fragestellung zu bevorzugen ist, wurden in dieser Arbeit die Signifikanzschranken des zweiseitigen Tests zugrunde gelegt. Ab einer Stichprobenzahl von  $n = 30$  verwendete STATEASY den zweiseitigen t-Test zur Überprüfung der Korrelation; anstelle von  $r_s$  ist in diesen Fällen die Prüfgröße " $t$ " angegeben. Als statistisch signifikant wurden Ergebnisse beurteilt, für die eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  von  $\leq 0,05$  zutraf (Sachs 1993). Ausreißertests wurden mit STATEASY nach der Methode von Nalimov durchgeführt.

Zur Feststellung eines zeitlichen Trends ist nach Sachs (1993) der Mediantest geeignet, der daher für die Bewertung der festgestellten Unterschiede zwischen erster Probenahme und dem Wiederbesuch der Station 15 angewendet wurde.

#### *Clusteranalyse*

Zur Untersuchung der Ähnlichkeit zwischen den Stationen anhand ihrer abiotischen und biotischen Parameter wurde eine hierarchische agglomerative Clusteranalyse mit dem Statistikprogramm PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research), entwickelt im Plymouth Marine Laboratory (Carr 1994; Clarke & Warwick 1994), durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse folgender Parameter gingen in die Analyse ein: Wassertemperatur, pH-Wert, Salzgehalt, die Nitrat-, Nitrit-, Silikat- und Phosphatkonzentrationen sowie die Chlorophyll-, POC-

und PON-Konzentrationen. Dabei wurden nur die Stationen berücksichtigt, die für die untersuchten Parameter weitestgehend vollständige Datensätze aufwiesen, d. h. für mindestens 8 der 10 untersuchten Parameter. Die Daten wurden vor der Analyse standardisiert und Quadratwurzel-transformiert; bei der Clusterbildung auf Basis des Bray-Curtis Similaritäts-Index wurde das "Group Average Linkage"-Verfahren angewendet.

#### *Graphische Darstellung*

Die Graphiken wurden in der Regel mit dem Programm SIGMA-PLOT, Version 1.02 (Fa. Jandel Scientific) erstellt. Wurden Boxplots als graphische Darstellungsform gewählt, kennzeichnet die Box den Wertebereich zwischen dem 25. (untere Begrenzungslinie) und dem 75. Perzentil und beinhaltet somit 50 % der Werte. Die Querbalken innerhalb der Boxen markieren den Median. Die Balken unterhalb der Boxen markieren den Wertebereich zwischen dem 25. und dem 10. Perzentil, die Balken oberhalb der Boxen entsprechend den Wertebereich zwischen dem 75. und dem 90. Perzentil. Die offenen runden Symbole kennzeichnen Werte, die außerhalb des Interdezilbereichs  $I_{80}$  (Lozán 1992) und damit unterhalb des 10. und oberhalb des 90. Perzentsils liegen. Sind Zahlen neben diesen Symbolen angegeben, kennzeichnen sie zur besseren Übersicht die Stationsnummern. In der Regel wurden die drei am stärksten vom Median abweichenden oder für den Text relevante Werte derart markiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Generelle Beobachtungen

Allgemeine Beobachtungen zur Häufigkeit des Vorkommens der Meereistümpel ("Meereistümpel-Bedeckungsgrad"), zu ihrer Farbe und zur Ausprägung einer Eisdecke auf ihrer Oberfläche sind in Tab. 2.a dargestellt. Weiterhin enthält diese Tabelle Angaben zur Art des beprobten Meereises sowie zur Meereiskonzentration in der umliegenden Meeresregion zum Zeitpunkt der Probennahme. Angaben zur Farbe und Eisbedeckung der Schmelzwassertümpel auf Gletschern und Eisbergen und der Landtümpel und -seen sind in Tab. 2.b zusammengefaßt.

#### 4.1.1 Häufigkeit der Meereistümpel

Im Untersuchungszeitraum variierte der Meereistümpel-Bedeckungsgrad sowohl der beprobten Schollen als auch regional vorwiegend zwischen 10 und 40 % (Tab. 2.a). Nur vereinzelt wurden regional höhere Bedeckungsgrade von bis zu 70 % beobachtet, insbesondere beim Überfliegen von Festeisflächen (vgl. Abb. 9). Auch niedrige Bedeckungsgrade von <10 % wurden nur vereinzelt spät in der Saison beobachtet. Der Median des Meereistümpel-Bedeckungsgrades lag bei 20 % (individuelle Schollen) bzw. regional bei 25 %.

#### 4.1.2 Farbe und Besonderheiten der Meereistümpel

##### *Farbe der Meereistümpel*

Insgesamt 75 % der beprobten Meereistümpel wiesen eine charakteristische hellblaue oder ins Graue hineinspielende bläuliche Farbe auf (Tab. 3; vgl. auch Tab. 2.a und Abb. 9). Nur wenige wurden als eindeutig grau (14,7 %) oder grün (4,4 %; vgl. Abb. 10) eingestuft, während 2,9 % der Meereistümpel eine ins Grünliche gehende Mischfarbe zeigten. Ein in Strandnähe gelegener Tümpel auf Festeis (Station 37) hatte aufgrund seines Sedimentgehalts eine gelbbraune Farbe. Ein anderer Meereistümpel (Station 69) erschien weiß, da er mit einer 7 cm starken Schicht aus Schnee- bzw. Eiskristallen bedeckt war. Eine etwa 0,5 cm dicke Eisdecke trennte die Schneeauflage von der eigentlichen Wassersäule dieses Tümpels, in der eine Trennung zwischen flüssiger und kristalliner Phase stattgefunden hatte, so daß die "Wassersäule" dieses Tümpels vor allem mit grobkörnigen Eiskristallen ("Schneegries") gefüllt war.

Tab. 2.a: Untersuchungszeitraum 1993 und 1994: Meereisrümpel. Angegeben sind neben dem Eistyp und der Farbe der Meereisrümpel die Bedeckungsgrade der beprobten individuellen Eisschollen mit Tümpeln sowie die regionalen Meereisrümpel-Bedeckungsgrade im jeweiligen Probenahmegebiet zum Zeitpunkt der Beprobung aufgeführt. Weiterhin sind Angaben zur Ausprägung und Dicke einer Eisdecke auf den beprobten Meereisrümpeln enthalten. k. B. = keine Beobachtung

Station Nr.	Datum	Eistyp	Farbe der Meereisrümpel	Ausprägung [%] und Dicke [cm] einer Eisdecke auf den Meereisrümpeln	Tümpelbedeckungsgrad des Meereseises (%)		Meereiskonzentration (%) regional
					indiv. Scholle	regional	
1	29.06.93	mehrfährig	hellblau	100; 0,5	25	20 - 30	70
2	29.06.93	mehrfährig	hellblau	0	25	20 - 30	70
3	29.06.93	mehrfährig	hellblau	k. B.	25	20 - 30	70
4	29.06.93	mehrfährig	hellblau	0	40	30 - 40	70
5	29.06.93	mehrfährig	hellblau	k. B.	40	30 - 40	70
6	02.07.93	mehrfährig	hellgrau	0	20	k. B.	k. B.
7	02.07.93	mehrfährig	hellblau	0	20	k. B.	k. B.
8	02.07.93	mehrfährig	hellblau	40; dünn	20	k. B.	k. B.
9	05.07.93	mehrfährig	hellblau, kräftig	0	10	10 - 20	80
10	05.07.93	mehrfährig	hellblau	0	10	10 - 20	80
11	05.07.93	mehrfährig	hellblau	100; 0,3	10	10 - 20	80
12	06.07.93	mehrfährig	hellgrau	100; 0,4	30	k. B.	k. B.
13	06.07.93	mehrfährig	hellblau	<10 (nur am Rand, dünn)	30	k. B.	k. B.
14	06.07.93	mehrfährig	hellblau	k. B.	30	k. B.	k. B.
15	07.07.93	mehrfährig	hellblau	40; 0,3 - 0,4	30	30	70 - 80
16	07.07.93	mehrfährig	graublau	0	25	30	70 - 80
17	07.07.93	mehrfährig	hellblau	0	25	30	70 - 80
18	07.07.93	mehrfährig	hellblau	0	25	30	70 - 80
19	07.07.93	einjährig dick	hellblau	0	20	30	70 - 80
20	07.07.93	einjährig dick	graublau	0	20	30	70 - 80
21	07.07.93	mehrfährig	hellblau	0	10	30	70 - 80
22	08.07.93	zweijährig	hellblau	100; 0,5	10 - 20	k. B.	k. B.
23	09.07.93	zweijährig	hellblau	0	20	k. B.	k. B.
24	09.07.93	einjährig	grau	0	10 - 20	30 - 40	80
25	09.07.93	einjährig dick	hellblau	0	10 - 20	30 - 40	80
26	09.07.93	einjährig dick	hellblau	0	10 - 20	30 - 40	80
27	13.07.93	einjährig	grau	0	20	k. B.	k. B.
30	15.07.93	Festeis	hellblau	0	20	20 - 40	100
31	15.07.93	Festeis	grau	0	20	20 - 40	100
32	16.07.93	Festeis	hellblau	0	20	20 - 40	100
34	22.07.93	zweijährig	hellblau	0	20	20 - 60	70 - 80

36	25.07.93	Festeis	blau	0	30	30	100
37	25.07.93	Festeis	gelbbraun	0	30	30	100
38	27.07.93	zweijährig	hellblau	70; 0,5	k. B.	k. B.	k. B.
39	27.07.93	mehrfährig	blau	0	10 - 15	k. B.	k. B.
40	28.07.93	zweijährig	grünblaugrau	0	25	k. B.	k. B.
41	28.07.93	zweijährig	grün	0	10 - 20	10 - 30	80
42	28.07.93	zweijährig	stahlblau	100; 0,5	20	10 - 30	80
44	29.07.93	mehrfährig	hellblau	90; 2	10	k. B.	70
45	29.07.93	mehrfährig	hellblau	70; 0,5 - 3	10	k. B.	70
46	31.07.93	einjährig dick	hellblau	100; 1	20	10 - 20	60 - 70
47	31.07.93	einjährig mitteldick	hellblau	100; 0,6	10	10 - 20	60 - 70
48	31.07.93	einjährig dick	aquamarinblau	100; 0,5	10 - 20	10 - 20	60 - 70
50	14.07.94	mehrfährig	hellblau	0	30	20 - 30	50
51	14.07.94	mehrfährig	hellblau	5 (nur am Rand)	30	20 - 30	50
52	16.07.94	mehrfährig	hellblau	3 (nur am Rand)	10	10 - 20	80 - 100
53	16.07.94	mehrfährig	hellblau	3 (nur am Rand)	10	10 - 20	80 - 100
54	16.07.94	mehrfährig	hellblau	1 (nur am Rand)	10	10 - 20	80 - 100
55	19.07.94	einjährig dick	hellblau	75; 0,2 - 0,3	15	20 - 30	60 - 80
56	19.07.94	einjährig dick	grau	100; 1 - 2	15	20 - 30	60 - 80
57	22.07.94	einjährig dick	hellblau	0	20	20 - 30	60 - 80
58	24.07.94	mehrfährig	hellblau	100; 0,3	30	20 - 30	50 - 60
59	24.07.94	mehrfährig	hellblau	k. B.	30	20 - 30	50 - 60
60	05.08.94	einjährig dick	blaugrau	40; 0,5 - 1	20	10 - 30	70
61	07.08.94	einjährig dick	grünblaugrau	100; 1,1 - 1,2	20 - 30	20 - 30	70
62	07.08.94	Festeis, mehrjährig	grün	100; 0,3	20	k. B.	k. B.
63	09.08.94	mehrfährig	grau	100; 3 - 4	25	20	70 - 80
64	10.08.94	mehrfährig	grün	99; 3 - 4	25	20 - 30	80
65	21.08.94	mehrfährig	blau	95; 2,5	20	30 - 70	40 - 70
67	26.08.94	einjährig	grau	100; 3 - 5	30	10 - 30	20
68	27.08.94	zweijährig	hellblau	100; 5 - 8	35	10 - 30	20 - 30
69	27.08.94	zweijährig	weiß	100; 0,5	35	10 - 30	20 - 30
73	03.09.94	einjährig dick	hellblau	100; 10 - 12	10	<10	10 - 50
74	03.09.94	einjährig dick	hellblau	100; 8	10	<10	10 - 50
75	09.09.94	Festeis	graublau	100; 5	20	k. B.	100
76	12.09.94	Festeis	grau	100; 8	20	k. B.	100
78	14.09.94	Festeis	grau	100; 12	20	k. B.	100
79	16.09.94	mehrfährig	hellblau	100; 15	20	10 - 20	20 - 30
				<b>Median</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>70</b>
				<b>Spannweite</b>	<b>10 - 40</b>	<b>&lt;10 - 70</b>	<b>10 - 100</b>

Tab. 2.b: Untersuchungszeitraum 1993 und 1994: Vergleichsstationen (Gletschereis- und Eisbergtümpel, Landtümpel und -seen). Farbe der Gewässer, Ausprägung einer Eisdecke auf Ihrer Oberfläche zum Zeitpunkt der Probennahme und andere Besonderheiten

Station Nr.	Datum	Art/Name des Gewässers	Farbe des Gewässers	Ausprägung [%] und Dicke [cm] einer Eisdecke	Anmerkungen
<b>Tümpel auf Süßwassereis</b>					
28	15.07.93	Gletschertümpel	helles graublau	0	grobkörnige Eiskristalle im Wasser
29	15.07.93	Gletscherkanal	blau	0	mm-große Einschlüsse im Boden
35	25.07.93	Gletschertümpel	hellblau	100; 1	braunschwarze Schlieren
80	24.09.94	Gletschertümpel	blau	100; 26-29	große Kryokonitlöcher
81	25.09.94	Eisbergtümpel	blaugrau	100; 5	Eisdecke weich; grobkörnige Eiskristalle im Wasser
82	26.09.94	Gletschertümpel	blau	100; 26-29	identisch mit Station 80
83	26.09.94	Eisbergtümpel	grau, trüb	100; 15	sedimentbedeckter Eisberg
<b>Landtümpel u. -seen</b>					
33	21.07.93	Landtümpel Nr. 1	bräunlich	0	Tümpel; Schaumansammlungen am Ufer
66	23.08.94	Potsdam Pond	bräunlich	0	Tümpel, trüb, Schaumansammlungen am Ufer
70	29.08.94	Potsdam Pond	bräunlich	0	ident. mit Station 66, kein Schaum
71	01.09.94	Noa Sø	bräunlich, trüb	0	trüber See, Gletscherspeisung
72	01.09.94	Muskox Pond	bräunlich	0	Tümpel; Schaumansammlungen am Ufer
77	14.09.94	Basalt Sø	bräunlich	0	Klarwassersee



Abb. 9: Eisschollen mit blauen und grünen Tümpeln bei ca. 15 - 20 % Meereistümpel-Bedeckung (oben) und Festeisgebiet mit 50 - 60 % Meereistümpel-Bedeckung (unten). Die Aufnahmen entstanden am 28.7.1993 auf 79°42' N/ 3°30' W (oben) und am 25.7.1993 auf etwa 80°30' N/16°50' W (unten)

#### 4.1 Generelle Beobachtungen

Die charakterischen blauen Meereistümpel traten überwiegend auf mehrjährigem Eis auf (72 %; Tab. 3), 21 % wurden auf einjährigem Eis gefunden, wobei letztere fast ausschließlich auf dickem einjährigem Eis vorkamen. Von den insgesamt 4 blaugrauen und graublauen Meereistümpeln kamen 2 auf einjährigem Eis, die übrigen auf mehrjährigem und Festeis vor. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl muß das tendenziell häufigere Vorkommen dieser ins Grau spielenden Mischfarbe auf einjährigem Eis als nicht gesichert gelten. Blaue und blaugraue/graublaue Tümpel werden im folgenden als "blaue" Tümpel zusammengefaßt. Graue Meereistümpel traten auf allen drei Eistypen auf, jedoch mit 40 % geringfügig häufiger auf einjährigem Eis, insbesondere auf dünnem einjährigem Eis (3 der 4 grauen Tümpel auf einjährigem Eis, vgl. auch Tab. 2.a). Auch diese Tendenz ist aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den Eistypen nicht gesichert. Grüne und grünliche Meereistümpel wurden ebenfalls auf allen drei Eistypen beobachtet, jedoch überwiegend auf mehrjährigem Eis (einschl. mehrjähriges Festeis: Station 62). Sie werden im folgenden als "grüne" Tümpel zusammengefaßt.

Tab. 3: Farbvariationen von Meereistümpeln. Prozentualer Anteil der verschiedenen Tümpelfarben an der Gesamtzahl beprobter Meereistümpel (n = 68) und relative Häufigkeit ihres Vorkommens auf ein- und mehrjährigem Treibeis sowie auf Festeis

Farbe	Anteil in %	n	einjährig [%]	mehrjährig [%]	Festeis [%]	Summe [%]
blau	69,1	47	21,3	72,3	6,4	100,0
blaugrau/graublau	5,9	4	50,0	25,0	25,0	100,0
grau	14,7	10	40,0	30,0	30,0	100,0
grün	4,4	3	0,0	66,7	33,3	100,0
grünlich-blau oder -grau	2,9	2	50,0	50,0	0,0	100,0
bräunlich	1,5	1	0,0	0,0	100,0	100,0
weiß	1,5	1	0,0	100,0	0,0	100,0
Summe:	100,0	68				

Die Dominanz der blauen und grauen Meereistümpel wurde durch eigene Beobachtungen während der Helikopterflüge und Eisbeobachtungen von Bord aus bestätigt. Der Anteil der blauen Tümpel lag meistens zwischen 70 und 100 % (Tab. 2.a). 1993 wurden nur gegen Ende der Expedition ARK 9/3 beim Überfliegen eines Eisfeldes mit Sedimentfracht ("dirty ice") einige grüne Meereistümpel



#### 4 Ergebnisse

---

beobachtet. Auch 1994 traten grüne Meereistümpel im Untersuchungsgebiet nur fleckenhaft auf, dabei häufig, jedoch nicht ausschließlich in Verbindung mit sedimentbeladenem Eis. Wenn grüne Meereistümpel auftraten, betrug ihr Anteil an der Gesamtzahl der Meereistümpel bis zu 10 %, in zwei Eisfeldern wurden jedoch bis zu 50 % grüne Tümpel beobachtet.

##### *Vernetzung der Meereistümpel*

Die Meereistümpel waren in der Mehrzahl der Fälle über Schmelzwasserkanäle miteinander oder mit der Eiskante verbunden. Auf dünnem Festeis waren die Kanäle besonders stark ausgeprägt und bildeten mit den oft durchgeschmolzenen Meereistümpeln ein stark verzweigtes Netzwerk. Zu Beginn der Tauperiode waren die Schmelzwasserkanäle häufig schneebedeckt und ihr Verlauf nur schwer zu erkennen. Im September waren sie zugefroren.

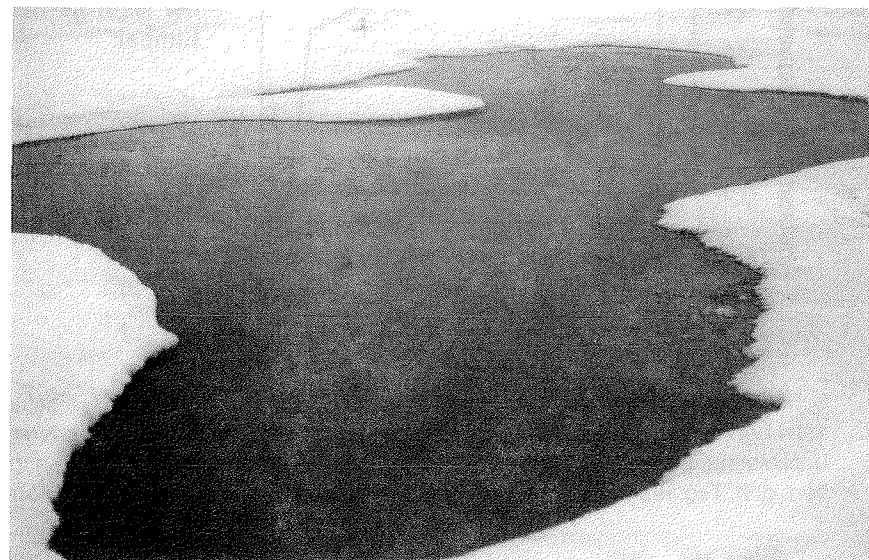


Abb. 10: Station 41

##### *Die Eisdecke der Meereistümpel*

Außer zur Zeit ihrer Entstehung waren die Meereistümpel teilweise (vom Rand ausgehend) oder später in der Saison auch vollständig mit einer Eisdecke aus klarem Süßwassereis bedeckt (Tab. 2.a). Die Stärken der Eisdecken betrugen während ARK 9/3 mit wenigen Ausnahmen nicht mehr als 5 mm. Während ARK

#### 4.1 Generelle Beobachtungen

10/1 wurden Eisdeckenstärken zwischen 2 und 40 mm gemessen. Zwischen Mitte August und Mitte September wiesen die Eisdecken Stärken zwischen 25 und 150 mm auf (ARK 10/2). Die Abb. 11 verdeutlicht die zeitliche Entwicklung der Eisdeckenstärke und Wassertiefen der Meereistümpel innerhalb des Untersuchungszeitraums 1994. Die mittlere Wassertemperatur der Tümpel variierte 1994 bei einem Medianwert von  $+0,1^{\circ}\text{C}$  zwischen  $-0,6^{\circ}\text{C}$  und  $+0,6^{\circ}\text{C}$  ( $n = 25$ ). Die Tümpel blieben als Habitat bis zum Ende des Beprobungszeitraums (16.9.94) erhalten, obwohl ihre Wassersäule allseits von Eis umschlossen war.

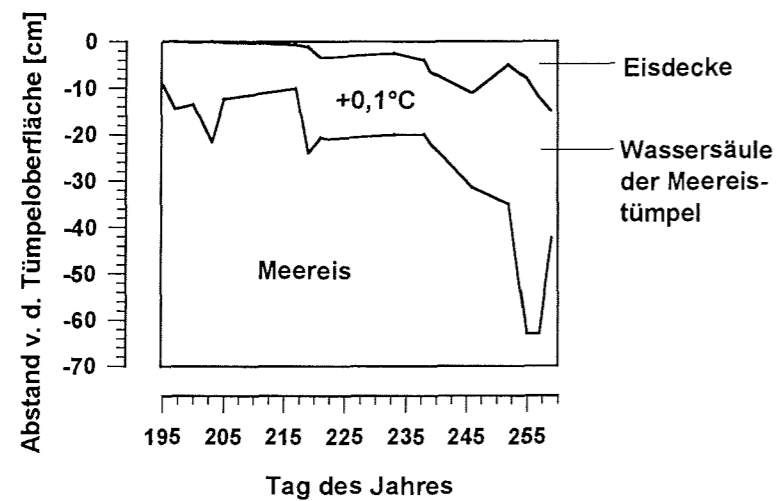


Abb. 11: Schematische Darstellung der Entwicklung der Eisbedeckung und Wassertiefen der 1994 beprobten Meereistümpel mit Angabe des Medians ihrer Wassertemperatur im Untersuchungszeitraum 1994; anstelle des Datums ist der Tag des Jahres angegeben, d. h. Tag 195 entspricht dem 14.7.94 (vgl. Kap. 3.1.1 und Tab. A-1 im Anhang)

#### *Besonderheiten des Meereistümpelbodens*

Kryokonitlöcher mit und ohne bräunlichen, flockigen Bodenbelag waren im Boden der Meereistümpel in beiden Untersuchungsjahren häufig, jedoch keinesfalls immer zu beobachten. Im Boden von Station 58 waren zahlreiche große Kryokonitlöcher von bis zu 6 cm Durchmesser zu finden, ihre mittlere Tiefe betrug 10 cm (Spannweite 5 - 14 cm;  $n = 15$ ). Im Juli 1993 fielen im Tümpelboden von 8 Stationen zahlreiche kleine dunkle Partikel von wenigen mm Durchmesser auf, die in das Eis eingeschmolzen waren. Sie schienen sich an den Rändern der Tümpel zu konzentrieren, was an den Stationen 32 und 34 besonders deutlich zu beobachten

war. In den 1994 beprobten Meereistümpeln trat dieses Phänomen nicht auf. Größere Mengen von Sediment marinen oder terrestrischen Ursprungs wurden nur an Station 37 beobachtet, die auf Festeis weniger als 100 m vom Strand entfernt beprobt wurde und aufgrund des Sedimentgehalts gelbbraun gefärbt war, sowie auf einem Eisberg (Station 83).

In manchen Meereistümpeln bestand der Boden teils aus weißem, teils aus blauem Eis. Der Boden konnte unabhängig von der seiner Farbe und dem Auftreten von Kryokonitlöchern hart und glatt oder aber auch weich ("mulchig") sein. An einigen Stationen (31, 36, 37) war der Boden sehr stark zerklüftet ("rotten ice"), an Station 41 zusätzlich noch bräunlich gefärbt. Im Boden waren häufig lange zugefrorene Risse von einigen mm bis >1 cm Breite zu beobachten. Zum Meer hin durchgeschmolzene Meereistümpel traten am häufigsten auf einjährigem und auf dünnem Festeis auf, waren jedoch auch auf älterem Eis zu beobachten. Etwa 10 % der beprobten Tümpel waren durchgeschmolzen. Der Durchmesser der individuellen Schmelzlöcher reichte von wenigen Zentimetern (Stationen 24, 34: je 1 Loch, Ø ca. 10 cm; Station 37: zahlreiche kleine Löcher <10 cm; Station 27: 2 Löcher, Ø je ca. 20 cm) bis zu 50 cm an Station 19. Der Boden von Station 57 verfügte über zahlreiche Schmelzlöcher, die zum Teil über 1 m Durchmesser erreichten. In den Schmelzlöchern der beiden letztgenannten Stationen waren gelbweiße Aggregate zu beobachten, die auf einer Dichteschicht zu schwimmen schienen. Ähnliches Material war u. a. in den Boden von Schmelzwassertümpel Nr. 40 eingeschmolzen und enthielt nach Høllum v. Quillfeldt (pers. Mitt. 1993) Reste penater Diatomeen.

#### 4.1.3 Farbe und Besonderheiten der vergleichend untersuchten Gewässer

##### *Schmelzwassertümpel auf meteorischem Eis (Gletscher, Eisberge)*

Die Gletschereistümpel sowie der Eisbergtümpel von Station 81 hatten die gleiche charakteristische blaue oder ins Blaugraue gehende Mischfarbe wie die Mehrzahl der Meereistümpel (Tab. 2.b). Die graue Farbe des zweiten untersuchten Eisbergtümpels ist auf seinen hohen Gehalt an grauem Sediment terrigenen Ursprungs zurückzuführen, der das Wasser stark trübte. Der blaugraue Gletschereistümpel (Station 28) enthielt ebenso wie der blaugraue Eisbergtümpel (Station 81) einen hohen Anteil an grobkörnigen Eiskristallen, während die übrigen Gletschereistümpel freies Wasser führten. Mit Ausnahme der beiden Mitte Juli beprobten Stationen waren Gletschereis- und Eisbergtümpel vollständig mit einer zwischen 1 cm (Station 35) und 29 cm starken Eisdecke (Station 80/82) bedeckt. Die Eisdecke des Eisbergtümpels der Station 81 war sehr weich, gleichzeitig enthielt er als einziger Tümpel auf einem Untergrund aus Süßwassereis salziges

Wasser (vgl. Kap. 4.2.1.2). Direkt unterhalb der Eisdecke von Station 35 waren an manchen Stellen braunschwarze, ölähnliche Schlieren zu beobachten. Der glatte Tümpelboden von Station 29 enthielt zahlreiche kleine, dunkle Einschlüsse, deren Durchmesser nur wenige mm betragen und die fest in den Untergrund hineingefroren waren. Kryokonitlöcher waren nur im Tümpelboden von Station 81/83 ausgeprägt, dort allerdings mit Durchmessern zwischen 5 und 30 cm und bis zu 60 cm tief in den Tümpelboden hineingeschmolzen. Im Gegensatz zu den Kryokonitlöchern in Meereistümpeln enthielten diese grobes Sediment und Steine.

##### *Landtümpel und -seen*

Im Gegensatz zu den Meereis- und Gletschereistümpeln, deren Untergrund aus Eis besteht, wirkten die auf terrigenem Untergrund gelegenen Landtümpel und -seen bräunlich (Tab. 2.b). Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren sie eisfrei. Der Untergrund am Ufer und in den ufernahen Flachwasserbereichen dieser Gewässer war sehr weich, d. h. aus feinen Sedimenten bestehend, und mit Geröll versehen. Der Landtümpel Nr. 1, der Muskox Pond und der Basalt Sø enthielten sehr klares Wasser, während das Wasser der anderen beiden Gewässer durch resuspendiertes Sediment (Potsdam Pond) bzw. durch Gletscherspeisung eingetragenes Sediment (Noa Sø) getrübt wurde (vgl. Kap. 3.1.2.2). Vereinzelte Netzfänge (Maschenweite 355  $\mu\text{m}$ ) belegten das Vorkommen von Cladoceren (Potsdam und Muskox Pond, Basalt Sø) und Copepoden (Basalt Sø). Das Vorkommen kleiner Fische wurde im Muskox Pond und Noa Sø beobachtet. Am Ufer der drei Landtümpel hatten sich Schaumansammlungen gebildet. Wie eigene mikroskopische Untersuchungen zeigten, enthielt der Schaum des Landtümpels Nr. 1 pennate Diatomeen, die eine deutliche Chlorophyll-Autofluoreszenz aufwiesen. Im Angespül dieses Tümpels waren ferner Vegetationsreste zu finden, die nicht aus Makroalgen, sondern aus anderem Pflanzenmaterial bestanden. Submerse Vegetation war weiterhin im Muskox Pond und im Basalt Sø ausgeprägt, deren Geröll im Flachwasserbereich mit nicht näher identifizierten Pflanzen bewachsen war. In direkter Ufernähe des Basalt Sø traten zudem fädige Grünalgen auf. Potsdam und Muskox Pond wurden von Gänsen und anderen Tieren als Trink- und Rastplatz genutzt, wie unter anderem an den zahlreichen Federn, Kotschnüren und Spuren am Ufer zu erkennen war.

##### *Meerwasser*

Die Farbe des eisfreien Meeres variierte je nach Wetterlage zwischen tiefblau und dunkelgrau, unterschied sich aber völlig von den blauen und grauen Farbtönen der Meereis-, Gletschereis- und Eisbergtümpel. Im übrigen blieben die charakteristischen Farben der Meereistümpel auch bei Nebel oder grauem Himmel erhalten.

## 4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

### 4.2.1 Abiotische Parameter

In diesem Kapitel sollen die abiotischen Parameter dargestellt werden, die die Meereistümpel als Lebensraum charakterisieren, und mit den abiotischen Umweltbedingungen anderer aquatischer Lebensräume in der Arktis (Schmelzwassertümpel auf Gletschern und Eisbergen, Landtümpel und -seen, Meerwasser) verglichen werden. Neben morphometrischen Daten zur Größe, ausgedrückt als Flächenausdehnung, und zur Wassertiefe wurden in der Wassersäule der Meereistümpel und der vergleichend untersuchten Gewässer die Parameter Wassertemperatur, pH-Wert, Salinität und Nährstoffkonzentration sowie im Untersuchungsjahr 1994 zusätzlich Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration und Lichtverhältnisse erfaßt. Entsprechende Untersuchungen an Eiskernen und Schneeproben aus der direkten Umgebung der Meereistümpel sollten einen Vergleich mit den Umweltbedingungen benachbarter Meereishabitate ermöglichen, wobei mit Ausnahme der *in situ*-Temperaturen, -Sauerstoffkonzentrationen sowie der Lichtverhältnisse Meßergebnisse derselben Parameter vorliegen.

Zusätzlich zur folgenden Ergebnisdarstellung sei auf den Anhang verwiesen, der eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse in tabellarischer Form enthält. Auch sei noch einmal ausdrücklich angemerkt, daß in die Darstellung alle Meereistümpel eingegangen und damit auch die zu einem späteren Zeitpunkt wiederbesuchten Stationen 15, 50 und 51 als separate Stationen 45, 58 und 59 enthalten sind. Dies erscheint gerechtfertigt, da die Spannweite aller untersuchten Tümpel über den gesamten Untersuchungszeitraum gezeigt werden soll und sich die zweimal besuchten Meereistümpel in der Zwischenzeit (Station 15/45: 22 Tage; Stationen 50/58 und 51/59: 10 Tage) verändert hatten. Im Falle des zweimal besuchten Land- und Gletschertümpels (Potsdam Pond: Stationen 66 und 70; Gletschertümpel: Stationen 80 und 82) dagegen gehen in die Ergebnisdarstellung die Medianwerte und Spannweiten beider Probennahmetage zusammengekommen ein.

#### 4.2.1.1 Flächenausdehnung und Wassertiefen

##### *Meereistümpel*

Die Flächenausdehnung individueller Meereistümpel variierte zwischen weniger als 1 m<sup>2</sup> (Station 26: 0,6 m<sup>2</sup>) und über 10.000 m<sup>2</sup> (Station 48: ca. 21.000 m<sup>2</sup>; Abb. 12.a). 76 % aller Meereistümpel wiesen eine Flächenausdehnung zwischen 10 m<sup>2</sup> und 1.000 m<sup>2</sup> auf. Der Medianwert lag bei 115 m<sup>2</sup> (Abb. 12.b).

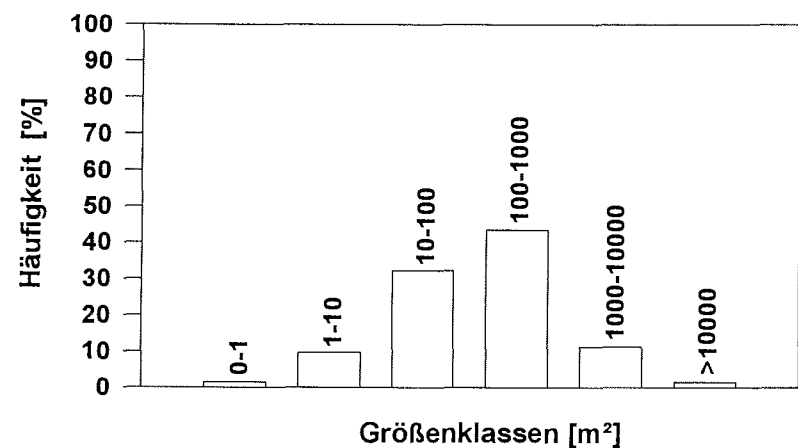


Abb. 12.a: Flächenausdehnung der 1993 und 1994 untersuchten Meereistümpel (n = 62): Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Größenklassen

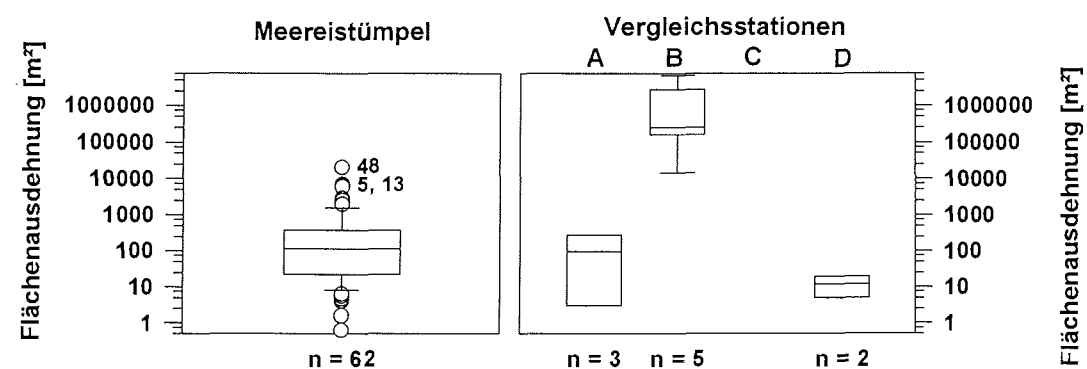


Abb. 12.b: Flächenausdehnung der 1993 und 1994 untersuchten Meereistümpel (links) und Vergleichsstationen (rechts; A = Gletschereistümpel, B = Landtümpel und -seen; C = Meeresoberfläche, hier ohne Angaben; D = Eisbergtümpel). Erklärung für diese und die folgenden Boxplots siehe Kap. 3.2.9

Im Gegensatz zur hohen Variabilität in der Flächenausdehnung bewegten sich die mittleren Wassertiefen aller untersuchten Meereistümpel lediglich zwischen 3 cm (Station 36) und maximal 63 cm (Stationen 76 und 78). Wie in Abb. 13.a dargestellt, lagen in 80 % der Meereistümpel die mittleren Wassertiefen zwischen 6 cm und 33 cm. Der Medianwert betrug 14,3 cm. An sechs Stationen (19, 24, 27, 34, 37

und 57) war der Tümpelboden stellenweise durchgeschmolzen und durch die so gebildeten Schmelzlöcher mit dem marinen Milieu verbunden. Bei diesen Stationen handelte es sich vorwiegend um einjähriges Eis (vgl. Stationsliste - Tab. 5).

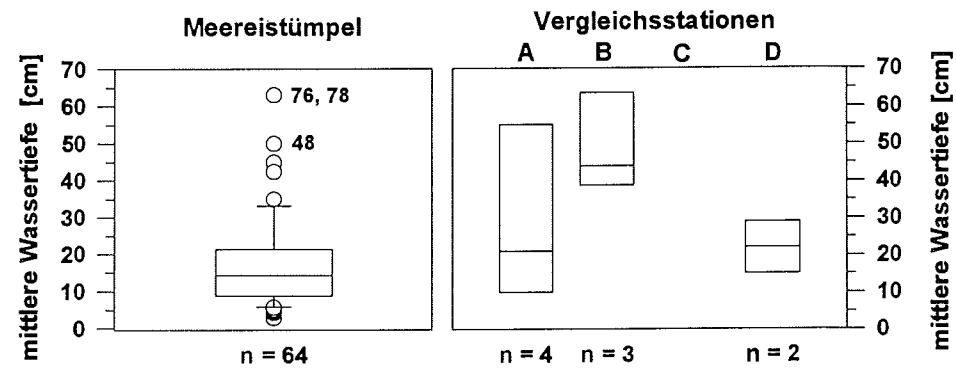


Abb. 13.a: Mittlere Wassertiefen der 1993 und 1994 untersuchten Meereistümpel (links) und Vergleichsstationen (rechts; A = Gletschereistümpel, B = Landtümpel; C = Meeresoberfläche, hier ohne Angaben; D = Eisbergtümpel).

Im Untersuchungszeitraum 1993 betrug die mittlere Wassertiefe der Tümpel auf einjährigem Meereis 7,8 cm, auf mehrjährigen Eisschollen 10,1 cm und auf Festeis (einjährig) 7,7 cm (Abb. 13.b). Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Wassertiefe von Meereistümpeln auf ein- und mehrjährigem Eis ließ sich jedoch weder für den Untersuchungszeitraum 1993 noch für den Gesamtdatensatz 1993/94 zeigen (Mann-Whitney-Test; Median-Test; zur Irrtumswahrscheinlichkeit vgl. Kap. 3.2.9), obwohl die Ergebnisse aus 1993 eine solche Tendenz zunächst vermuten ließen.

Unterschiede in den Wassertiefen zeigte auch der Vergleich "sauberer" mit "unsauberer" Meereistümpeln, d. h. solchen Tümpeln, die Kryokonitlöcher mit flokkulärem Material, mineralischen Sedimentpartikeln oder in den Tümpelboden eingeschmolzene dunkle Partikel aufwiesen (vgl. Kap. 4.1.2). "Saubere" Tümpel hatten eine mittlere Wassertiefe von 10,9 cm, "unsaubere" Tümpel dagegen von 18,1 cm (Abb. 13.c). Diese Unterschiede waren ebenfalls nicht statistisch signifikant (Median-Test).

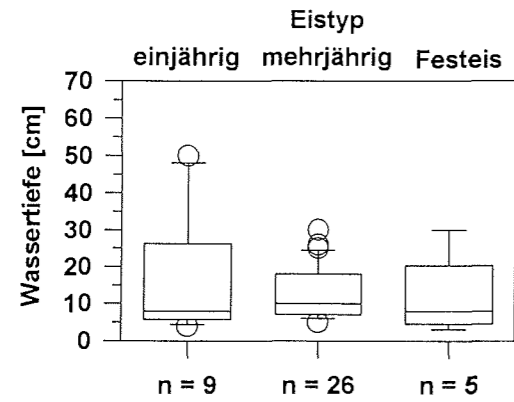


Abb. 13.b: Mittlere Wassertiefen der 1993 auf verschiedenen Eistypen (ein- und mehrjährige Eisschollen, Festeis) untersuchten Meereistümpel

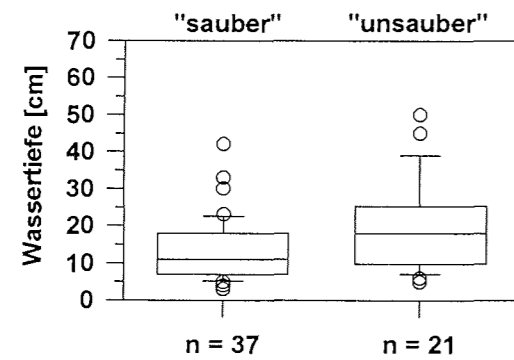


Abb. 13.c: Mittlere Wassertiefen der 1993/94 untersuchten "sauberen" und detritus-, sediment- oder partikelhaltigen "unsauberen" Meereistümpel

#### Aquatische Vergleichsstationen

Die auf Gletschern und Eisbergen untersuchten Schmelzwassertümpel wiesen mit Flächenausdehnungen zwischen 3 m<sup>2</sup> und 368 m<sup>2</sup> (Abb. 12.b) und mittleren Wassertiefen zwischen 8 cm und 80 cm (Abb. 13.a) ähnliche Werte wie die überwiegende Zahl der Meereistümpel auf. Die beprobten Landtümpel und -seen bedeckten Flächen zwischen etwa 14.000 m<sup>2</sup> und 6,5 Mio. m<sup>2</sup> (vgl. Kap. 3.1.2.2) und waren damit meist deutlich größer als die Meereistümpel, wenn auch vereinzelt Flächen von >10.000 m<sup>2</sup> erreicht wurden. Die mittlere Wassertiefe der Landtümpel (Stationen 33, 66/70 und 72) betrug am Ort der Probenentnahme zwischen 37 und 70 cm (vgl. Kap. 3.2.3), sie wurde gleichzeitig als Mindestwert für die mittlere



Wassertiefe dieser Tümpel angenommen (vgl. Kap. 3.2.1 und 2.4). Land- und Meereistümpel erwiesen sich im Gegensatz zu den Landseen als flache Gewässer mit Wassertiefen von in der Regel  $< 1$  m. Für die beiden Landseen (Stationen 71, Noa SØ und 77, Basalt SØ) können nur maximale Wassertiefen mit 21 m für den Noa SØ und 120 m für den Basalt SØ angegeben werden, sie sind in Abb. 13.a daher nicht berücksichtigt. Meerwasserproben (ca. aus den oberen 20 cm der Wassersäule) stammten aus Regionen mit Wassertiefen zwischen 320 und 475 m (vgl. Kap. 3.1.2.3).

#### 4.2.1.2 Temperatur, pH-Wert, Salinität, Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentration

##### Meereistümpel

Die mittleren Wassertemperaturen der einzelnen Meereistümpel betragen zwischen  $-0,6^{\circ}\text{C}$  und  $+1,6^{\circ}\text{C}$  (Abb. 14.a). 80 % der untersuchten Stationen wiesen Wassertemperaturen zwischen  $0,0^{\circ}\text{C}$  und  $0,7^{\circ}\text{C}$  auf. Der Medianwert über beide Untersuchungsjahre betrug  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Mittlere Wassertemperaturen von  $< 0,0^{\circ}\text{C}$  traten an 5 Stationen auf, von denen 4 eine Salinität zwischen 0,5 und 22 aufwiesen.

Die mittleren pH-Werte lagen zwischen 5,4 und 8,6 (Abb. 14.a). 80 % aller untersuchten Meereistümpel wiesen pH-Werte zwischen 5,6 und 7,6 auf; der Medianwert betrug 6,7. Mittlere pH-Werte von  $> 7,6$  waren in 6 Meereistümpeln zu messen; in 5 von ihnen betrug die Salinität zwischen 0,5 und 22.

Die refraktometrische Salzgehaltsbestimmung ergab mittlere Salinitäten zwischen 0 und 22 mit einem Medianwert von 0 (Abb. 14.a). Die Salinitäten verteilten sich wie folgt (Tab. 4):

Tab. 4: Salinität der Meereistümpel ( $n = 66$ )

Salinität	Anzahl Tümpel	Anteil in %
0	47	71,2
$> 0 - < 0,5$	5	7,6
0,5 - 2	10	15,2
$> 2 - 5$	0	0,0
$> 5 - 18$	1	1,5
$> 18 - 30$	3	4,5
$> 30$	0	0,0
<i>Summe</i>	<b>66</b>	<b>100,0</b>

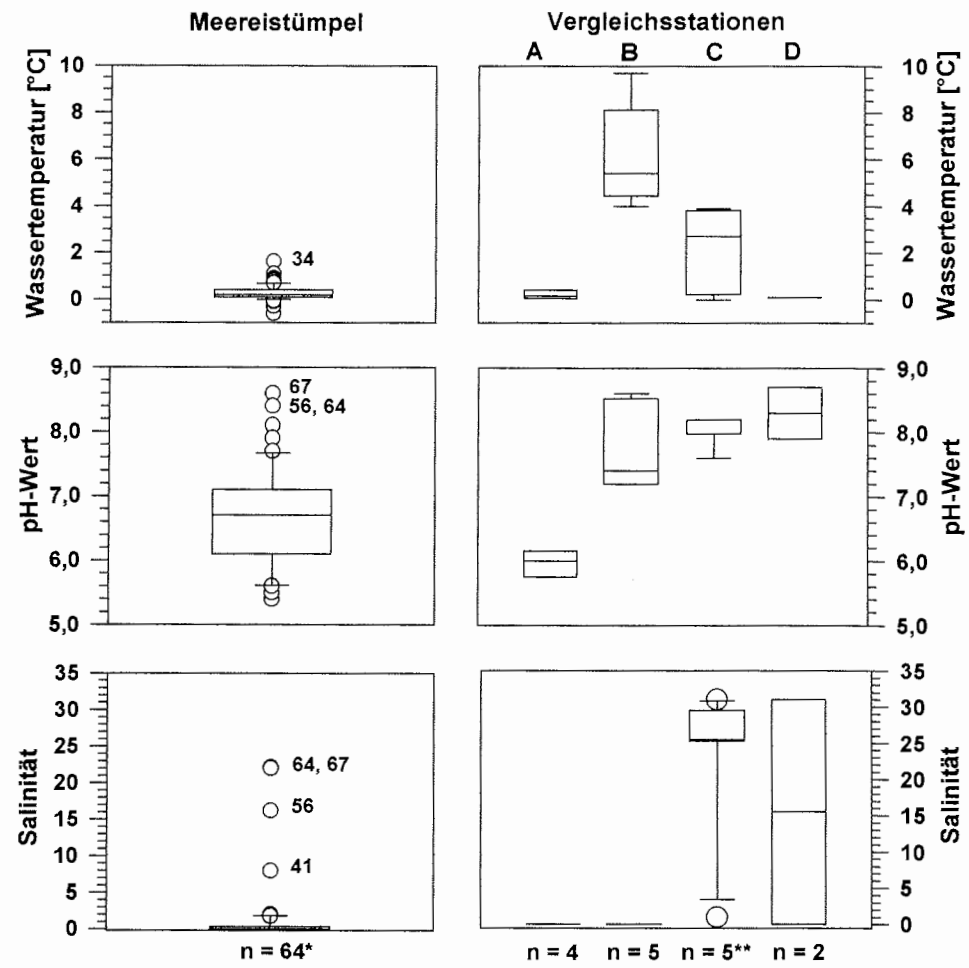


Abb. 14.a: Mittlere Wassertemperaturen, pH-Werte und Salinität der Meereisümpel (links) und Vergleichsstationen (rechts; A = Gletschereisümpel, B = Landtümpel und -seen, C = Meeresoberfläche, D = Eisbergtümpel); \*: im Falle des pH-Werts ist n = 64; \*\*: im Falle der Salinität ist n = 6

Die Leitfähigkeitsmessungen ergaben mittlere Werte im Bereich zwischen 34  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Station 53) und 33.700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Station 67) mit einem Medianwert von 628  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Abb. 14.b oben). 80 % der Stationen wiesen mittlere Leitfähigkeiten zwischen 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 23500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf; in 50 % der Meereisümpel engte sich der Wertebereich jedoch auf 113  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis 1.818  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ein. Mittlere Werte von

>1.000  $\mu\text{S/cm}$  spiegelten sich in Salinitäten von >0,0 wider. Leitfähigkeiten >10.000  $\mu\text{S/cm}$  wurden an den Stationen 56, 64 und 67 gemessen, deren Salinität zwischen 16 und 22 betrug.

Die mittleren Sauerstoffkonzentrationen bewegten sich zwischen 11,7 (Station 73) und 14,3 mg/l (Stationen 58 und 76) mit einem Medianwert von 13,2 mg/l (Abb. 14.b unten). 80 % der Werte lagen zwischen 12,2 und 13,8 mg Sauerstoff/l.

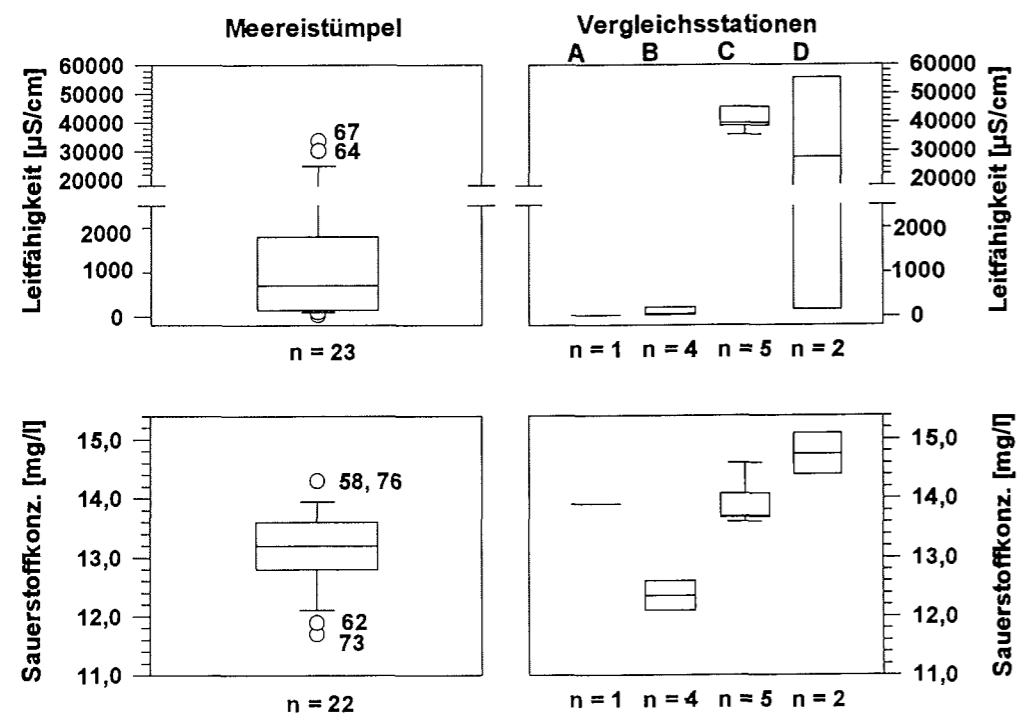


Abb. 14.b: Mittlere Leitfähigkeiten (oben) und Sauerstoffkonzentrationen (unten) der 1994 untersuchten Meereistümpel und Vergleichsstationen (rechts; A = Gletschertümpel, B = Landseen, C = Meeresoberfläche, D = Eisbergtümpel)

#### Aquatische Vergleichsstationen

Die Ergebnisse entsprechender Messungen an Vergleichsstationen sind in Abb. 14.a und b dargestellt. Die mittleren Wassertemperaturen der Gletschertümpel lagen zwischen  $0,0^\circ\text{C}$  und maximal  $0,6^\circ\text{C}$  (Median:  $0,2^\circ\text{C}$ ). Sie wiesen mittlere pH-Werte zwischen 5,6 und 6,2 bei einem Median von 6,0 und in allen Fällen eine Salinität von 0 auf. Die beiden auf Eisbergen beprobten Tümpel hatten mittlere Wassertemperaturen von  $0,1^\circ\text{C}$  und mittlere pH-Werte zwischen 7,9 und 8,7. An

Station 81 betrug die Salinität 31, während an Station 83 eine Salinität von 0 gemessen wurde. Die Landtümpel und -seen wiesen mittlere Wassertemperaturen zwischen 4,0°C und 9,7°C, pH-Werte zwischen 7,2 und 8,6 und Salinitäten von 0 auf. Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu hatten Temperaturen zwischen 0,0°C und 3,9°C. Die mittleren pH-Werte lagen zwischen 7,6 und 8,2. Es wurden mittlere Salzgehalte zwischen 1 (Station 43, in einer schmalen Wake zwischen Eisschollen) und 31 (Station 84) gemessen.

Damit stimmten die Wassertemperaturen in Gletschereis- und Eisbergtümpeln gut mit den Meereistümpeln überein, während die Landtümpel und -seen signifikant wärmer waren (Mediantest). Die Oberflächenwassertemperaturen des marinen Milieus nahmen eine Zwischenstellung ein; statistisch signifikante Unterschiede zur mittleren Wassertemperatur der Meereistümpel bestanden nicht (Mediantest). Die pH-Werte der Gletschereistümpel lagen ebenso wie in vielen Meereistümpeln im schwach sauren Bereich, während die Landtümpel und -seen ein neutrales bis schwach alkalisches Milieu aufwiesen, das insbesondere in brackigen Meereistümpeln ebenfalls beobachtet werden konnte. Auch die Eisbergtümpel und das marine Oberflächenwasser wiesen schwach alkalische pH-Werte auf. Insgesamt deckten sich die Spannweiten der pH-Werte in den Meereistümpeln und den vergleichend untersuchten Gewässern, während die statistische Überprüfung signifikante Unterschiede zutage brachte: die pH-Werte der Meereistümpel waren signifikant höher als in den Gletschereistümpeln und signifikant niedriger als in den Landtümpeln und -seen und in den marinen Oberflächenwasserproben. Die Spannweiten der Salinität von Meereistümpeln und der vergleichend untersuchten Gewässer deckten sich ebenfalls weitestgehend, wobei die im marinen Milieu und im salzigen Eisbergtümpel maximal gefundene Salinität von 31 in Meereistümpeln nicht erreicht wurde. Die Unterschiede in der Salinität von Meereistümpeln und marinen Oberflächenwasserproben waren statistisch signifikant.

Die Leitfähigkeit und die Sauerstoffkonzentration des Wassers von Gletschereistümpeln konnte nur am Beispiel eines an zwei verschiedenen Tagen untersuchten Tümpels bestimmt werden (Station 80 bzw. 82; vgl. Kap. 3.1.2 und Tabellenanhang). Die mittlere Leitfähigkeit betrug 16  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , die mittlere Sauerstoffkonzentration 13,9 mg/l (Abb. 14.b). Die beiden auf Eisbergen beprobten Stationen wiesen Leitfähigkeiten von 161  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Station 83) und 55,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Station 81) sowie Sauerstoffkonzentrationen von 14,4 und 15,1 mg/l auf. Die mittlere Leitfähigkeit der 1994 auf Grönland untersuchten Landtümpel und -seen lag zwischen 28 und 338  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; die mittleren Sauerstoffkonzentrationen bewegten sich zwischen 12,0 und 12,7 mg/l. In Oberflächenwasserproben aus dem marinen

Milieu (Stationen 84 bis 88) wurden mittlere Leitfähigkeiten zwischen 35,8 und 45,5 mS/cm und Sauerstoffkonzentrationen zwischen 13,6 und 14,6 mg/l gemessen.

Die vergleichend zu den Meereistümpeln untersuchten Süßwasserhabitats wiesen niedrige Leitfähigkeiten von  $< 340 \mu\text{S/cm}$  auf, die im unteren Bereich der Spannweite der in Meereistümpeln gefundenen Werte lagen. Im marinen Oberflächenwasser und im salzigen Eisbergtümpel wurden hohe Leitfähigkeiten von  $> 35 \text{ mS/cm}$  gemessen, die die ebenfalls hohen Salinitäten widerspiegelten. Die statistische Überprüfung ergab im Vergleich mit den Meereistümpeln signifikant niedrigere Leitfähigkeiten in den Landtümpeln und -seen und signifikant höhere Leitfähigkeiten im marinen Milieu (Mediantest). Die Sauerstoffkonzentrationen im Wasser der Vergleichsstationen entsprachen in etwa der Spannweite der in den Meereistümpeln gefundenen Werte, wobei die beiden Eisbergtümpel die höchsten Sauerstoffkonzentrationen zeigten und den höchsten Wert der Meereistümpel überstiegen. Dabei lagen die Werte im Gletschereistümpel und im marinen Milieu im oberen Bereich, die Werte in den Landtümpeln und -seen dagegen im unteren Bereich der Sauerstoffkonzentrationen der Meereistümpel. Die statistische Überprüfung zeigte im Vergleich zu den Meereistümpeln signifikant niedrigere Sauerstoffkonzentrationen in Landtümpeln und -seen und signifikant höhere Sauerstoffkonzentrationen in den Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu.

#### *Schnee und Eiskerne aus der Umgebung der Meereistümpel*

Die Schneeproben waren durch schwach saure pH-Werte zwischen 5,3 und 6,6 (Medianwert 6,0) und sehr niedrige Leitfähigkeiten zwischen 5 und  $15 \mu\text{S/cm}$  (Medianwert  $9,3 \mu\text{S/cm}$ ) gekennzeichnet (Abb. 15). Die Salinität dieser Proben betrug 0 (vgl. Anhang). Damit wiesen die Schneeproben ähnliche Werte wie die Gletschereistümpel auf und lagen im unteren Bereich der Spannweite der in Meereistümpeln gefundenen Werte. Während sich die pH-Werte im Schnee aus der Umgebung und im Wasser der an diesen Stationen untersuchten Meereistümpel nicht signifikant unterschieden, wiesen das Wasser dieser Meereistümpel sehr viel höhere Leitfähigkeiten als der Schnee aus der Umgebung dieser Tümpel auf. Diese Unterschiede waren höchstsignifikant ( $p = 0,001$ ; Mediantest). *In situ*-Schneetemperaturen wurden nicht gemessen. Dies gilt ebenfalls für die *in situ*-Temperatur der Eiskerne, die wenige Meter neben ausgewählten Meereistümpeln ("N-Kern") und aus dem Boden dieser Tümpel ("T-Kern") entnommen wurden.

#### 4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

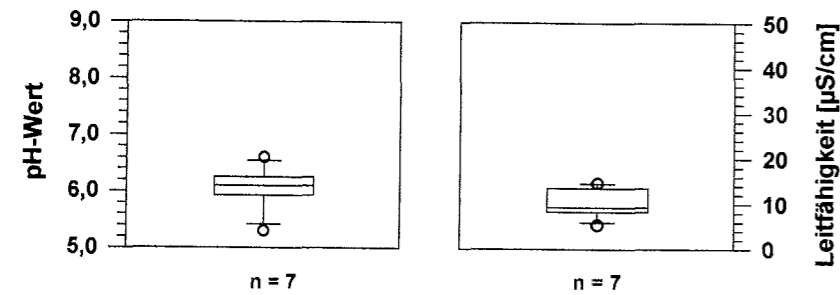


Abb. 15: pH-Wert (links) und Leitfähigkeit (rechts) von Schneeproben aus der Umgebung von Meereistümpeln

In den Eiskernen (Tab. 5) variierten die pH-Werte in den N-Kernen (siehe oben) insgesamt zwischen 4,9 und 7,3 und in den T-Kernen zwischen 5,5 und 7,8. Die Salinität in den N-Kernen bewegte sich zwischen 0 und 2,0 und in den T-Kernen zwischen 0 und 1,5. Die N-Kerne wiesen Leitfähigkeiten zwischen  $43 \mu\text{S/cm}$  und  $3,59 \text{ mS/cm}$  auf, die T-Kerne zwischen  $118 \mu\text{S/cm}$  und  $2,58 \text{ mS/cm}$ . Die Vertikalprofile des pH-Werts, der Salinität und Leitfähigkeit der einzelnen Eiskerne sind in den Abb. 16.a und b dargestellt. Die beiden gestrichelten Linien markieren dabei das Niveau der Wassersäule des jeweiligen Meereistümpels, bezogen auf die Eisoberfläche am Ort der Eiskernbohrungen und basierend auf der mittleren Wassertiefe des Tümpels. Das dreieckige Symbol zeigt den jeweiligen Medianwert der Wassersäule des Tümpels an.

Im Vertikalprofil zeigten die Parameter pH-Wert, Salinität und Leitfähigkeit sowohl im N-Kern als auch im T-Kern im allgemeinen eine Zunahme der Werte mit dem Abstand von der Meereisoberfläche, nur der N-Kern von Station 68 zeigte ein uneinheitliches Vertikalprofil (Abb. 16.b). Die pH-Werte der N-Kerne stiegen im Mittel von 5,9 an der Oberfläche auf Werte von 7,0 bis 7,1 in 50 bis 70 cm Tiefe an (Medianwerte s. Tabellenanhang). Der mittlere pH-Wert der fünf zugehörigen Meereistümpel lag bei 6,8. In den T-Kernen unterhalb der Tümpel stiegen die pH-Werte im Mittel von 6,3 auf 6,7 an. Die Salinität in den N-Kernen stieg im Mittel von 0 an der Oberfläche auf 1,5 in 60 - 70 cm Tiefe an. In der Wassersäule der betreffenden Meereistümpel wurde eine mittlere Salinität zwischen 0 und 0,5 (daher mit 0,3 angenommen) festgestellt. In den T-Kernen unterhalb der Tümpel stieg die Salinität im Mittel von 0,3 auf 1,0 in 70 bis 80 cm Tiefe an, an der Station 61 (Abb. 16.b) wurde eine Zunahme der Salinität bis auf 2,8 in 90 bis 100 cm Tiefe festgestellt. Die Leitfähigkeiten stiegen entsprechend in den N-Kernen im Mittel von  $248 \mu\text{S/cm}$  auf  $2,31 \text{ mS/cm}$  in 70 bis 80 cm Tiefe an, in den T-Kernen unterhalb der Meer-

Tab. 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der pH-, Salinitäts- und Leitfähigkeitsmessungen an Eiskernen aus der Umgebung von Meereistümpeln (N-Kerne) und aus dem Tümpelboden (T-Kerne) im Vertikalprofil. Die Anzahl n der untersuchten Kernhorizonte ist mit angegeben; weiterhin sind die Medianwerte dieser Parameter im Wasser der zugehörigen Meereistümpel dargestellt (n = 5)

Tiefe ab Eisober- fläche	N-Kerne: pH-Wert			N-Kerne: Salinität			N-Kerne: Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]			n
	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	
0-10cm	<b>5,9</b>	5,4	6,4	<b>0,0</b>	0,0	0,0	<b>248</b>	75	421	5
10-20cm	<b>6,2</b>	4,9	6,4	<b>0,0</b>	0,0	0,0	<b>365</b>	43	558	5
20-30cm	<b>6,4</b>	5,3	6,6	<b>0,5</b>	0,0	0,8	<b>823</b>	84	1272	5
30-40cm	<b>6,6</b>	6,1	6,7	<b>0,5</b>	0,3	1,0	<b>1417</b>	401	2080	5
40-50cm	<b>6,8</b>	5,4	7,0	<b>1,0</b>	0,3	1,8	<b>2080</b>	556	2940	5
50-60cm	<b>7,1</b>	7,0	7,1	<b>1,5</b>	1,5	1,5	<b>2310</b>	2310	2870	3
60-70cm	<b>7,0</b>	7,0	7,3	<b>1,5</b>	1,5	2,0	<b>2310</b>	2310	3590	3
<b>Median im Tümpel</b>	<b>6,8</b>	6,3	6,9	<b>0,3</b>	0,0	1,8	<b>1057</b>	448	3350	5
Tiefe ab Eisober- fläche	T-Kerne: pH-Wert			T-Kerne: Salinität			T-Kerne: Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]			n
	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	
0-10cm										
10-20cm										
30-40cm	<b>6,3</b>	5,7	6,8	<b>0,3</b>	0,0	0,8	<b>613</b>	118	1453	3
40-50cm	<b>6,7</b>	6,0	6,9	<b>1,0</b>	0,0	1,0	<b>1566</b>	181	2010	3
50-60cm	<b>6,6</b>	5,5	7,8	<b>0,6</b>	0,0	1,0	<b>969</b>	291	1860	4
60-70cm	<b>6,5</b>	5,9	6,9	<b>0,6</b>	0,0	1,0	<b>1161</b>	319	1813	4
70-80cm	<b>6,7</b>	6,3	7,2	<b>1,0</b>	0,0	1,5	<b>1776</b>	413	2580	4

4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

eistümpel (mittlere Leitfähigkeit: 1,06 mS/cm) von 257  $\mu\text{S/cm}$  auf 1,78 mS/cm in 70 bis 80 cm Tiefe. An Station 61 stieg die Leitfähigkeit bis auf 4,70 mS/cm in 90 bis 100 cm Tiefe an (Abb. 16.b).

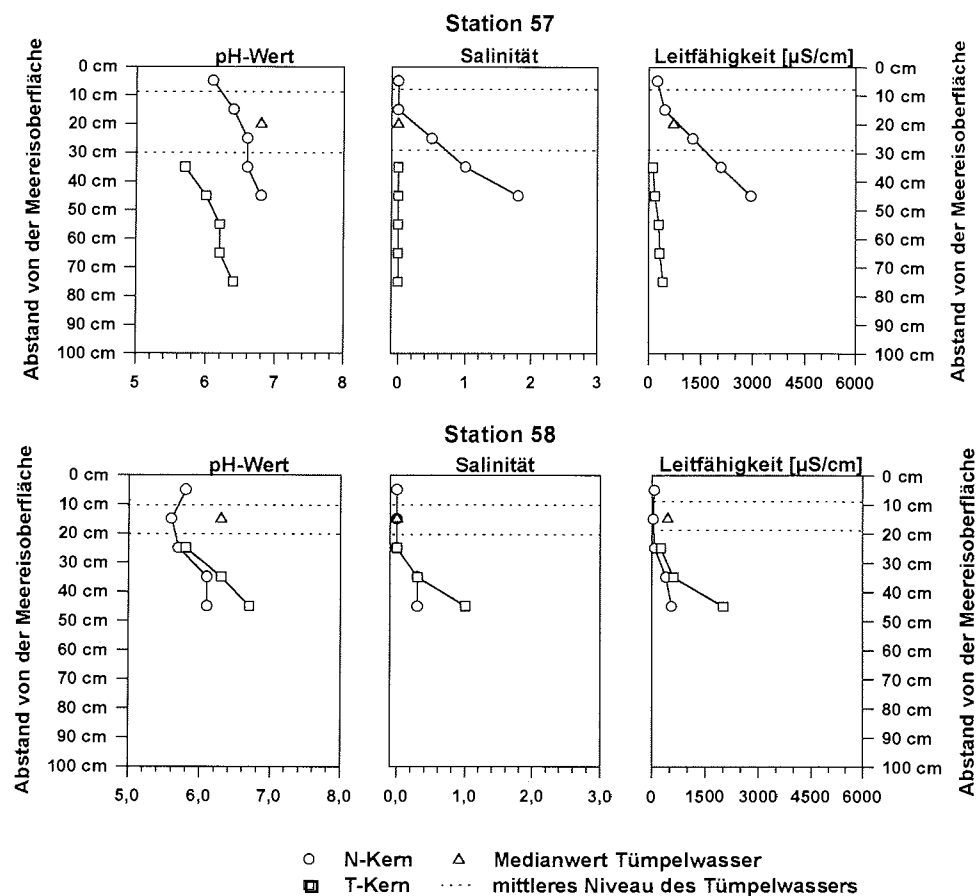


Abb. 16.a: PH-Wert, Salinität und Leitfähigkeit in Eiskernen der Stationen 57 und 58 im Vertikalprofil. Dargestellt sind die Ergebnisse je eines Eiskerns aus der Tümpelumgebung (\*N-Kern\*) und aus dem Tümpelboden (\*T-Kern\*) sowie der Medianwert (dreieckiges Symbol) des Tümpelwassers (gestrichelt)



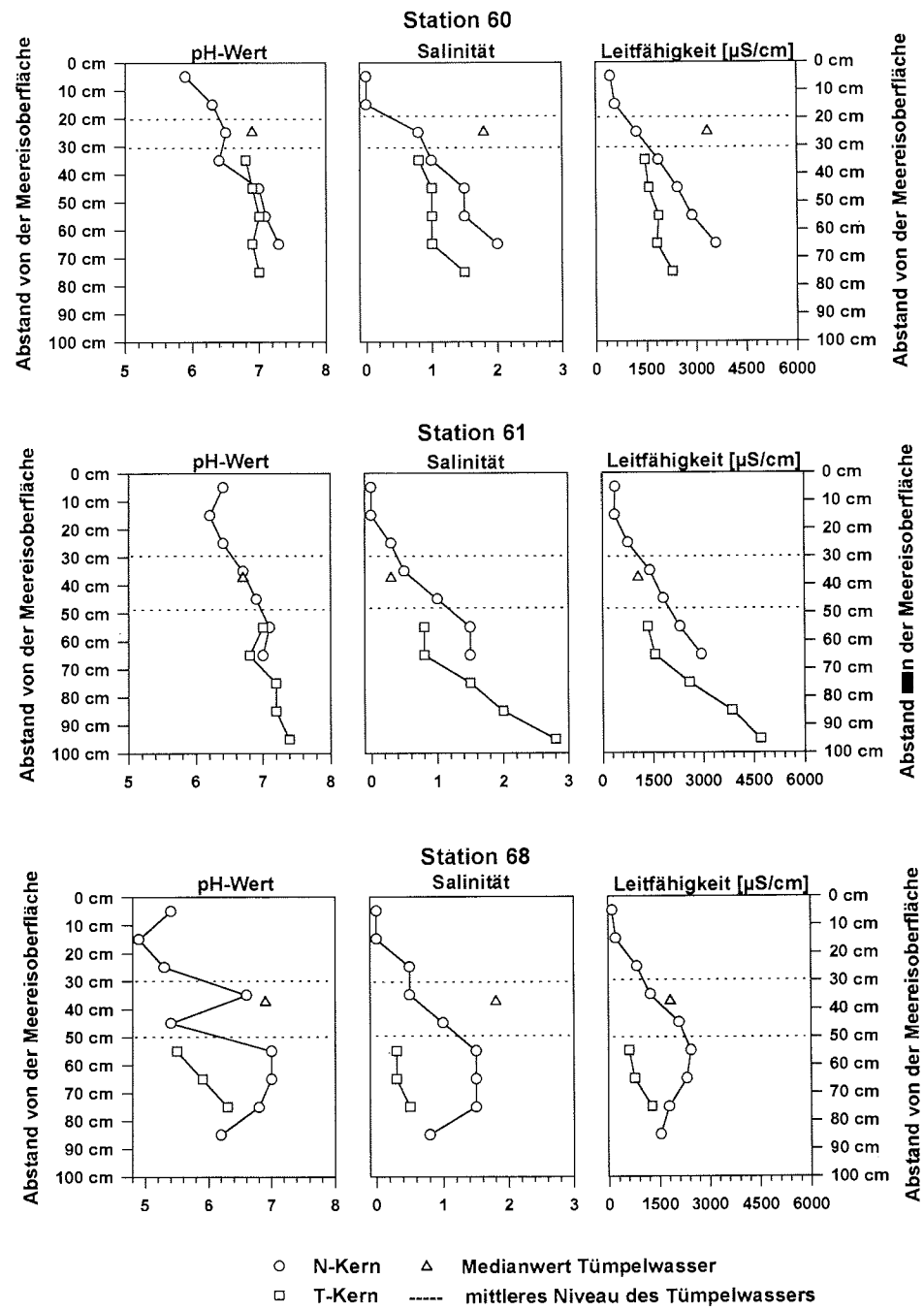


Abb. 16.b: PH-Wert, Salinität und Leitfähigkeit in Eiskernen der Stationen 60, 61 und 68 im Vertikalprofil; Darstellung wie in Abb. 16.a

Ein Vergleich mit den im Tümpelwasser festgestellten Werten (Abb. 16.a und b) zeigt, daß in allen N-Kernen in den Tiefenhorizonten oberhalb des Tümpelniveaus durchgehend niedrigere Werte (pH und Leitfähigkeit) oder maximal gleich hohe Werte (Salinität), keinesfalls jedoch höhere Werte als im Tümpelwasser gemessen wurden. Auf gleicher Höhe mit dem Tümpelniveau waren die pH-Werte in den N-Kernen mit Ausnahme der Station 61 niedriger als im Tümpelwasser. Für Salinität und Leitfähigkeit ließ sich dabei keine Tendenz ableiten. Unterhalb des Tümpelniveaus zeigten die Vertikalprofile der N-Kerne für keinen der hier vorgestellten Parameter ein einheitliches Muster in Bezug auf die Verhältnisse im Tümpelwasser. Gleiches gilt für die Vertikalprofile der T-Kerne.

##### 4.2.1.3 Nährstoffkonzentrationen

###### *Meereistümpel*

Die Nährstoffkonzentrationen in den Meereistümpeln sind in der Abb. 17 (links) dargestellt. Die mittleren Nitratkonzentrationen bewegten sich in 80 % der Meereistümpel zwischen Werten unterhalb der Nachweisgrenze von  $0,05 \mu\text{mol/l}$  und  $0,9 \mu\text{mol/l}$ , der Medianwert betrug  $0,3 \mu\text{mol/l}$ . Der Höchstwert von  $2,4 \mu\text{mol/l}$  wurde an Station 11 gefunden. Mit Ausnahme des einzigen sedimenthaltigen Tümpels (Station 37:  $0,11 \mu\text{mol Nitrit/l}$ ) bewegten sich die mittleren Nitritkonzentrationen aller untersuchten Stationen bei einem Medianwert von  $0,03 \mu\text{mol/l}$  zwischen  $0,01 \mu\text{mol/l}$  und  $0,05 \mu\text{mol/l}$  und damit in der Nähe der Nachweisgrenze von  $0,01 \mu\text{mol/l}$ . Die Messungen der mittleren Ammoniumkonzentrationen ergaben 1993 (keine Daten für 1994) Werte zwischen  $0,1$  und  $1,0 \mu\text{mol/l}$ , der Medianwert betrug  $0,3 \mu\text{mol/l}$ . Die mittleren Silikatkonzentrationen bewegten sich insgesamt zwischen Werten unterhalb der Nachweisgrenze von  $0,05 \mu\text{mol/l}$  und  $6,5 \mu\text{mol/l}$ , wobei über 80 % der Meereistümpel Werte  $< 1,4 \mu\text{mol/l}$  aufwiesen. Der Medianwert lag bei  $0,2 \mu\text{mol/l}$ . Mit wenigen Ausnahmen wiesen alle untersuchten Meereistümpel geringe Phosphatkonzentrationen mit Werten  $< 0,15 \mu\text{mol/l}$  auf, der Medianwert lag mit  $0,05 \mu\text{mol/l}$  nahe der Nachweisgrenze von  $0,01 \mu\text{mol/l}$ .

Das Verhältnis der Nährstoffkonzentrationen (Tab. 6) betrug über beide Untersuchungsjahre gemittelt 12 (N) : 1 (P) : 4 (Si), wobei für Ammonium nur Werte aus 1993 vorlagen. Es fällt auf, daß die Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen etwa gleich hoch waren.

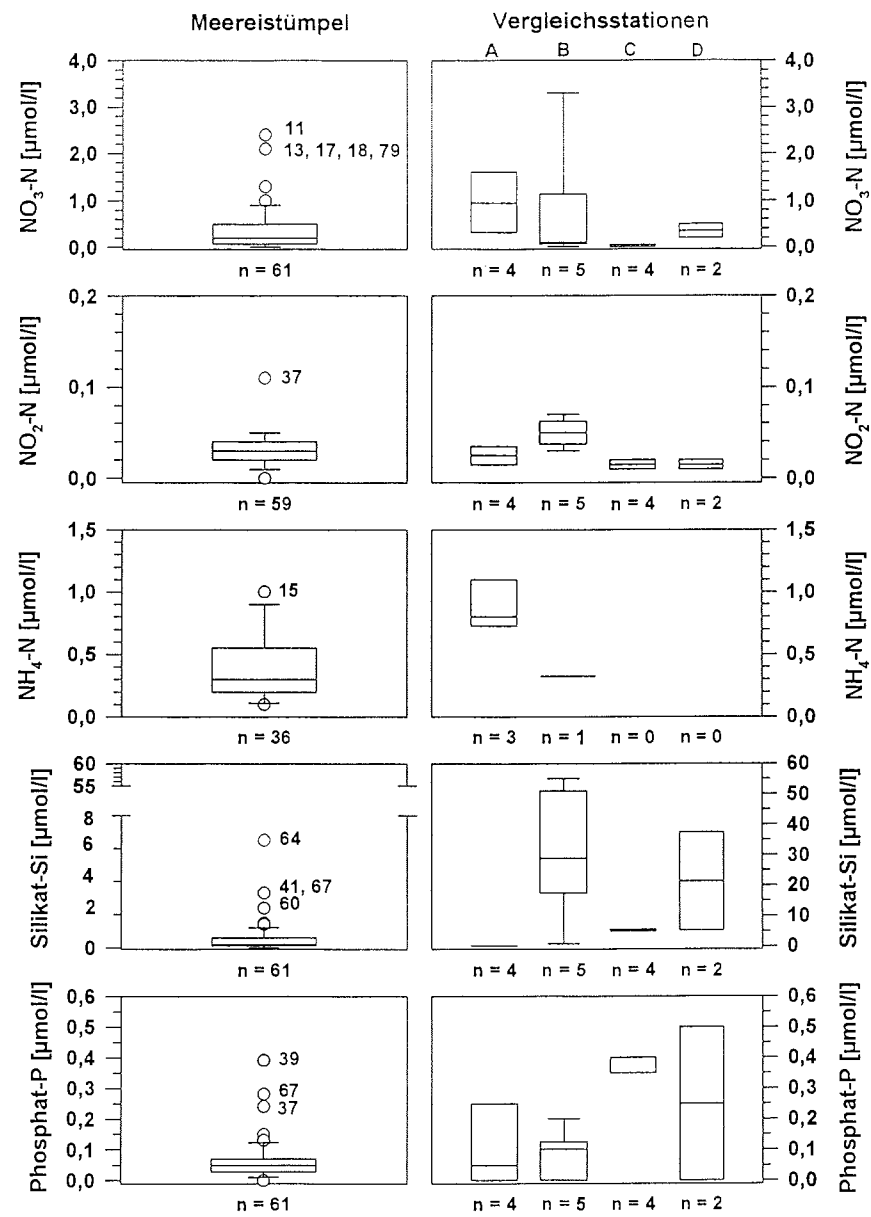


Abb. 17: Mittlere Nährstoffkonzentrationen der Meereistümpel (links) und Vergleichsstationen (rechts; A = Gletschereistümpel, B = Landtümpel und -seen, C = Meeresoberfläche, D = Eisbergtümpel): Nitrat-, Nitrit-, Ammonium-, Silikat- und Phosphatkonzentrationen; Ammoniumkonzentrationen liegen nur für 1993 vor; bei Silikat unterschiedliche Skalen beachten

#### 4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 6: Verhältnis zwischen den stickstoffhaltigen Nährstoffen ("N Gesamt"), Phosphat und Silikat. Datenbasis: Medianwerte der Nährstoffkonzentrationen im Tümpelwasser in  $\mu\text{mol/l}$  (n = 61; für Nitrit n = 59, für Ammonium n = 36)

	Nitrat-N $\mu\text{mol/l}$	Nitrit-N $\mu\text{mol/l}$	NH <sub>4</sub> -N $\mu\text{mol/l}$	N Gesamt $\mu\text{mol/l}$	Phosphat-P $\mu\text{mol/l}$	Silikat $\mu\text{mol/l}$
<b>Median</b>	0,28	0,03	0,31	<b>0,62</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>
<b>Verhältnis:</b>				<b>12</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

#### *Aquatische Vergleichsstationen*

Die Nährstoffkonzentrationen der Vergleichsstationen sind in der Abb. 17 (rechts) dargestellt. In den Gletschereistümpeln lagen die mittleren Nitratkonzentrationen zwischen 0,0 und 1,9  $\mu\text{mol/l}$  und umfaßten damit einen ähnlichen Wertebereich wie die Meereistümpel, in denen maximal 2,4  $\mu\text{mol/l}$  gemessen wurden. Allerdings lagen die Werte nur an Station 80/82 unterhalb der Nachweisgrenze, während in den übrigen 3 Gletschereistümpeln Nitratkonzentrationen gefunden wurden, die im oberen Bereich der Spannweite der Meereistümpel lagen. Mit einem Median von 1,0  $\mu\text{mol/l}$  waren die Nitratkonzentrationen in den Gletschereistümpeln gegenüber den Meereistümpeln (Median 0,3  $\mu\text{mol/l}$ ) um den Faktor 3 höher. Die Spannweite der Nitratkonzentrationen in den Landtümpeln und -seen überstieg mit Werten zwischen 0,0 und 3,3  $\mu\text{mol/l}$  die Höchstwerte der Meereistümpel, jedoch lag der Median von 0,1  $\mu\text{mol/l}$  unterhalb des Meereistümpel-Medians. In den Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu war Nitrat meist nicht nachweisbar (Median 0,0  $\mu\text{mol/l}$ ), während in den beiden auf Eisbergen beprobten Tümpeln zwischen 0,2 und 0,5  $\mu\text{mol}$  Nitrat/l und damit ähnliche Werte wie in vielen Meereistümpeln gemessen wurden. Die statistische Überprüfung ergab signifikante Unterschiede zwischen den Nitratkonzentrationen in Meereistümpeln und im marinen Milieu (Mediantest;  $p = 0,03$ ), während die Unterschiede zwischen Meereistümpeln und den übrigen Gewässertypen nicht signifikant waren.

Die mittleren Nitritkonzentrationen bewegten sich in den vergleichend untersuchten Gewässern ebenso wie in der Mehrzahl der Meereistümpel zwischen Werten an der Nachweisgrenze und 0,1  $\mu\text{mol/l}$ . Dabei wiesen die Landtümpel und -seen mit einem Median von 0,05  $\mu\text{mol/l}$  (Spannweite 0,03 - 0,07  $\mu\text{mol/l}$ ) signifikant höhere Werte als die Meereistümpel (Mediantest,  $p = 0,01$ ) und ebenfalls signifikant höhere Werte als die Gletschereistümpel ( $p = 0,05$ ) und das Oberflächenwasser aus dem marinen Milieu auf ( $p = 0,01$ ; Mediantest).

Die mittleren Ammoniumkonzentrationen in Gletschereistümpeln lagen zwischen 0,7 und 1,2  $\mu\text{mol/l}$  und damit im oberen Bereich der in Meereistümpeln gefundenen Werte. Der Median von 0,8  $\mu\text{mol/l}$  war etwa um den Faktor 3, jedoch nicht signifikant höher als in den Meereistümpeln (Mediantest). Der einzige Landtümpel, für den Daten vorliegen (Station 33), enthielt 0,3  $\mu\text{mol}$  Ammonium/l. Dieser Wert deckt sich mit dem Medianwert der Meereistümpel für Ammonium.

Die Silikatkonzentrationen der Gletschereistümpel waren mit Werten zwischen 0,0  $\mu\text{mol/l}$  und 0,2  $\mu\text{mol/l}$  (Median 0,1  $\mu\text{mol/l}$ ) gering und bewegten sich im unteren Bereich der Spannweite der Meereistümpel, die von 0,0 bis 6,5  $\mu\text{mol/l}$  reichte. Signifikante Unterschiede zwischen den Silikatkonzentrationen in Meereis- und Gletschereistümpeln bestanden nicht (Mediantest). Unter den Landtümpeln bzw. -seen wies der Potsdam Pond niedrige Silikatkonzentrationen von unter 1  $\mu\text{mol/l}$  auf; an den übrigen Stationen wurden zwischen 22,9 und 55,1  $\mu\text{mol/l}$  gemessen. Mit einem Medianwert von 25,8  $\mu\text{mol/l}$  waren die Silikatkonzentrationen in den Landtümpeln und -seen signifikant höher als in den Meereistümpeln (Mediantest;  $p = 0,03$ ). Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu enthielten zwischen 4,7 und 5,1  $\mu\text{mol}$  Silikat/l (Median 5,1  $\mu\text{mol/l}$ ) und damit ebenfalls signifikant höhere Silikatkonzentrationen als die Meereistümpel (Mediantest). Gleichzeitig ähnelten die Silikatwerte aus dem marinen Milieu den Ergebnissen aus brackigen Meereistümpeln (Stationen 64, 67, 41), jedoch nicht in allen Fällen: Station 56 wies trotz einer Salinität von 16 nur eine mittlere Silikatkonzentration von 0,7  $\mu\text{mol/l}$  auf. Beide Eisbergtümpel enthielten mit 5,2  $\mu\text{mol/l}$  und 37,5  $\mu\text{mol/l}$  relativ viel und vor allem deutlich mehr Silikat, als im Mittel in den Meereistümpeln gefunden wurden (Median der Meereistümpel: 0,2  $\mu\text{mol/l}$ ). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant (Mediantest).

Die mittleren Phosphatkonzentrationen in Gletschereistümpeln bewegten sich ebenso wie in den Meereistümpeln zwischen Werten an der Nachweisgrenze (0,01  $\mu\text{mol/l}$ ) und 0,4  $\mu\text{mol/l}$  (Median 0,04  $\mu\text{mol/l}$ ) und lagen in den untersuchten Landtümpeln und -seen mit Werten zwischen 0,04 und 0,19  $\mu\text{mol/l}$  (Medianwert 0,07  $\mu\text{mol/l}$ ) ebenfalls auf einem niedrigen Niveau. Marine Oberflächenwasserproben enthielten dagegen vergleichsweise hohe Phosphatkonzentrationen zwischen 0,34 und 0,36  $\mu\text{mol/l}$  (Median 0,36  $\mu\text{mol/l}$ ). Die beiden Eisbergtümpel wiesen zwischen 0,01 und 0,49  $\mu\text{mol}$  Phosphat/l auf. Diese Werte deckten sich insgesamt mit der Spannweite der Phosphatkonzentrationen in den Meereistümpeln, wobei die Medianwerte sowohl der Gletschereistümpel als auch der Landtümpel und -seen etwas, jedoch nicht signifikant höher als in den Meereistümpeln waren. Im marinen Milieu wie auch im salzigen Eisbergtümpel (Station 81) wurden dagegen signifikant höhere Phosphatkonzentrationen als in den Meereistümpeln gefunden (Mediantest).

#### 4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 7: Verhältnis zwischen den stickstoffhaltigen Nährstoffen ("N Gesamt"), Phosphat und Silikat in den vergleichend untersuchten Gewässern; Datenbasis: Medianwerte der Nährstoffkonzentrationen in  $\mu\text{mol/l}$ , vgl. Tabellenanhang

##### Landtümpel und -seen

	Nitrat-N $\mu\text{mol/l}$	Nitrit-N $\mu\text{mol/l}$	NH <sub>4</sub> -N $\mu\text{mol/l}$	N Gesamt $\mu\text{mol/l}$	Phosphat-P $\mu\text{mol/l}$	Silikat $\mu\text{mol/l}$
<b>Median</b>	0,08	0,05	0,31	<b>0,44</b>	<b>0,07</b>	<b>28,80</b>
<b>Verhältnis:</b>				<b>6,3</b>	<b>1</b>	<b>411</b>

##### Gletschereistümpel

	Nitrat-N $\mu\text{mol/l}$	Nitrit-N $\mu\text{mol/l}$	NH <sub>4</sub> -N $\mu\text{mol/l}$	N Gesamt $\mu\text{mol/l}$	Phosphat-P $\mu\text{mol/l}$	Silikat $\mu\text{mol/l}$
<b>Median</b>	0,97	0,03	0,83	<b>1,83</b>	<b>0,04</b>	<b>0,14</b>
<b>Verhältnis:</b>				<b>46</b>	<b>1</b>	<b>3,5</b>

##### Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu

	Nitrat-N $\mu\text{mol/l}$	Nitrit-N $\mu\text{mol/l}$	NH <sub>4</sub> -N $\mu\text{mol/l}$	N Gesamt $\mu\text{mol/l}$	Phosphat-P $\mu\text{mol/l}$	Silikat $\mu\text{mol/l}$
<b>Median</b>	0,01	0,01	k. D.	k. D.	<b>0,36</b>	<b>5,08</b>
<b>Verhältnis:</b>				k. D.	<b>1</b>	<b>14,1</b>

Das Verhältnis zwischen den stickstoffhaltigen Nährstoffen, Phosphat und Silikat (Tab. 7) betrug in den Landtümpeln und -seen 6 : 1 : 411 und zeigte damit deutlich den Silikatüberschuß dieser Gewässer, während die stickstoffhaltigen Nährstoffe im Vergleich mit den Meereistümpeln stärker aufgezehrt waren. In den Gletschereistümpeln war das N Gesamt- zu Phosphat P-Verhältnis fast viermal so hoch wie in den Meereistümpeln, das Phosphat-P zu Silikat-Verhältnis dagegen vergleichbar. In den marinen Oberflächenwasserproben betrug das Phosphat-P zu Silikat-Verhältnis 1 : 14.

*Schnee und Eiskerne aus der Umgebung der Meereistümpel*

In Abb. 18 sind die Nährstoffkonzentrationen in Schneeproben aus der Umgebung von Meereistümpeln dargestellt. Mit einer Spannweite von  $<0,05 \mu\text{mol/l}$  bis  $1,3 \mu\text{mol/l}$  und einem Medianwert von  $0,3 \mu\text{mol/l}$  wiesen die Nitratkonzentrationen im Schnee eine große Ähnlichkeit mit den Meereistümpeln auf, deren Median über alle Stationen ebenfalls  $0,3 \mu\text{mol/l}$  betrug. Die Nitritkonzentrationen im Schnee bewegten sich mit Werten zwischen  $0,02$  und  $0,14 \mu\text{mol/l}$  ebenfalls im Bereich dessen, was in den Meereistümpeln gemessen wurde. Der höhere Medianwert von  $0,05 \mu\text{mol/l}$  stellte jedoch einen signifikanten Unterschied zu den Meereistümpeln dar (Mediantest,  $p = 0,01$ ). Die Silikatkonzentrationen im Schnee lagen zwischen  $<0,05 \mu\text{mol/l}$  und  $2,2 \mu\text{mol/l}$  und wiesen einen Medianwert unterhalb der Nachweisgrenze von  $<0,05 \mu\text{mol/l}$  auf, während der Medianwert der Meereistümpel mit  $0,2 \mu\text{mol/l}$  deutlich höher war. Die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant (Mediantest). Die Phosphatkonzentrationen im Schnee bewegten sich bei einem Medianwert von  $0,06 \mu\text{mol/l}$  zwischen  $0,01 \mu\text{mol/l}$  (Nachweisgrenze) und  $0,37 \mu\text{mol/l}$  und damit in einem ähnlichen Bereich wie in den Meereistümpeln. Statistisch signifikante Unterschiede ließen sich trotz des gegenüber den Meereistümpeln leicht erhöhten Medianwerts für die Phosphatkonzentrationen nicht feststellen (Mediantest).

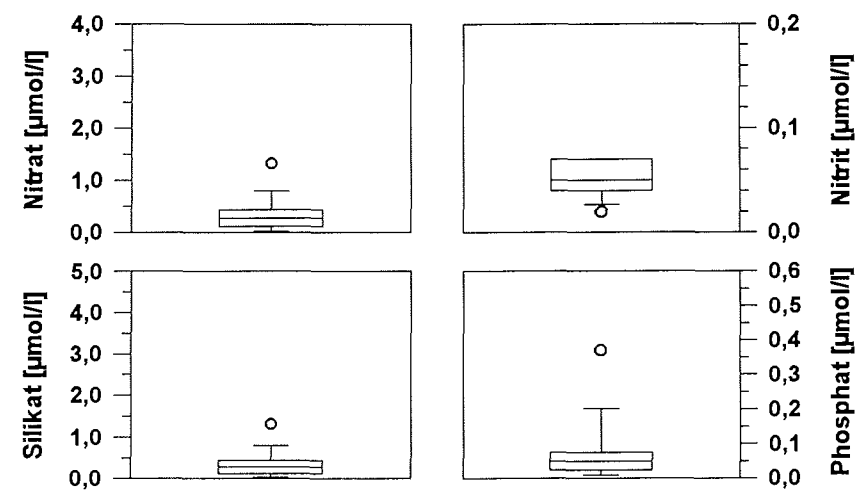


Abb. 18: Nährstoffkonzentrationen in Schneeproben ( $n = 12$ ) aus der Umgebung von Meereistümpeln.

Tab. 8: Nährstoffkonzentrationen in Eiskernen aus der Umgebung von Meereisümpeln (N-Kerne) und aus dem Tümpelboden (T-Kerne) im Vertikalprofil. Weiterhin sind die mittleren Nährstoffkonzentrationen im Wasser der zugehörigen Meereisümpel aufgeführt (n = 5).

Tiefe ab Eisoberfläche	N-Kerne: Nitrat [µmol/l]		N-Kerne: Nitrit [µmol/l]		N-Kerne: Silikat [µmol/l]		N-Kerne: Phosphat [µmol/l]		n
	Median	Max.	Median	Max.	Median	Max.	Median	Max.	
0-10cm	0,11	0,05	0,04	0,07	0,06	0,41	0,02	0,21	5
10-20cm	0,14	0,02	0,04	0,08	0,10	0,24	0,04	0,11	5
20-30cm	0,11	0,08	0,04	0,08	0,27	0,75	0,06	0,20	5
30-40cm	0,07	0,02	0,03	0,08	0,33	1,13	0,06	0,11	5
40-50cm	0,08	0,03	0,04	0,07	0,51	1,29	0,04	0,18	5
50-60cm	0,07	0,07	0,03	0,08	1,16	1,21	0,03	0,11	3
60-70cm	0,10	0,06	0,03	0,08	1,21	1,25	0,04	0,21	3
<b>Medianwert im Wasser der Tümpel</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,20</b>	<b>2,40</b>	<b>0,05</b>	<b>0,08</b>	<b>5</b>
Tiefe ab Eisoberfläche	T-Kerne: Nitrat [µmol/l]		T-Kerne: Nitrit [µmol/l]		T-Kerne: Silikat [µmol/l]		T-Kerne: Phosphat [µmol/l]		n
	Median	Max.	Median	Max.	Median	Max.	Median	Max.	
0-10cm	0,11	0,10	0,05	0,06	0,63	0,96	0,13	0,17	3
10-20cm	0,05	0,03	0,03	0,04	0,68	1,92	0,08	0,10	3
30-40cm	0,18	0,11	0,04	0,07	0,24	0,73	0,12	0,19	4
40-50cm	0,17	0,06	0,05	0,08	0,36	0,79	0,08	0,11	4
50-60cm	0,19	0,07	0,06	0,07	0,50	0,78	0,09	0,12	4
60-70cm									
70-80cm									



Zusätzlich zur zusammenfassenden Darstellung der Ergebnisse der Nährstoffanalysen an Eiskernen in Tab. 8, in der wie schon im vorigen Kapitel nur die Tiefenhorizonte berücksichtigt wurden, für die Daten von mindestens 3 Kernen vorlagen, sind die Vertikalprofile der Nährstoffkonzentrationen in den individuellen Eiskernen in den Abb. 19.a und b wiedergegeben. Weiterhin sind in diesen Graphiken die Ergebnisse der Messungen an Schneeproben von diesen Stationen, soweit durchgeführt, durch ein Sternchen gekennzeichnet. Die zugehörigen Wertetabellen sind im Tabellenanhang zusammengestellt.

In Eiskernen aus der Umgebung von Meereistümpeln ("N-Kerne") variierten die in den einzelnen Tiefenhorizonten gemessenen Nitratkonzentrationen zwischen 0,0 und 0,8  $\mu\text{mol/l}$ . Im Vertikalprofil ergab die Zusammenfassung der Ergebnisse aus fünf N-Kernen einen Medianwert von einheitlich 0,1  $\mu\text{mol/l}$  über alle Tiefenhorizonte (Tab. 8). In den aus dem Tümpelboden entnommenen Eiskernen ("T-Kerne") lagen die gemessenen Nitratkonzentrationen insgesamt zwischen 0,0 und 4,0  $\mu\text{mol/l}$ . Im Vertikalprofil stieg der Medianwert von 0,1  $\mu\text{mol/l}$  in 30 bis 50 cm Tiefe auf 0,2  $\mu\text{mol/l}$  in 50 bis 80 cm Tiefe an. Damit glichen die Nitratkonzentrationen in den N-Kernen über das gesamte Vertikalprofil der mittleren Nitratkonzentration der fünf zugehörigen Meereistümpel, die ebenfalls 0,1  $\mu\text{mol/l}$  betrug. Auch in den Tiefenhorizonten direkt unterhalb der Meereistümpel wurden im Mittel gleich hohe Nitratkonzentrationen wie in der Wassersäule der zugehörigen Meereistümpel gefunden. Die Nitritkonzentrationen bewegten sich sowohl in den N-Kernen als auch in den T-Kernen insgesamt zwischen 0,03 und 0,08  $\mu\text{mol/l}$  und damit oberhalb der in den zugehörigen Meereistümpeln gefundenen mittleren Nitritkonzentration von 0,02  $\mu\text{mol/l}$ . Im Vertikalprofil war weder in den N- noch in den T-Kernen eine insgesamt zunehmende oder abnehmende Tendenz der Nitritkonzentrationen zu beobachten.

Die in den N-Kernen gemessenen Silikatkonzentrationen variierten insgesamt zwischen 0,0 und 1,3  $\mu\text{mol/l}$ , in den T-Kernen ebenfalls zwischen 0,0 und 1,9  $\mu\text{mol/l}$ . Im Vertikalprofil stiegen die Medianwerte für die N-Kerne von 0,1  $\mu\text{mol}$  Silikat/l in den Oberflächenhorizonten bis auf 1,2  $\mu\text{mol/l}$  in 50 bis 70 cm Tiefe an und überschritten damit ab 20 cm Entfernung von der Eisoberfläche den Median der Silikatkonzentration im Wasser der zugehörigen Meereistümpel (0,2  $\mu\text{mol/l}$ ) zum Teil erheblich. In den T-Kernen dagegen zeigten die Silikatkonzentrationen kein eindeutiges Vertikalprofil, sondern schwankten zwischen 0,2 und 0,7  $\mu\text{mol/l}$  und lagen mit Ausnahme eines Tiefenhorizonts ebenfalls oberhalb der mittleren Silikatkonzentration im Wasser der zugehörigen Meereistümpel. Die hohen Silikatkonzentrationen von 1,2  $\mu\text{mol/l}$  in den unteren Tiefenhorizonten des N-Kerns wurden im T-Kern nicht erreicht.

4.2 Meerestümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

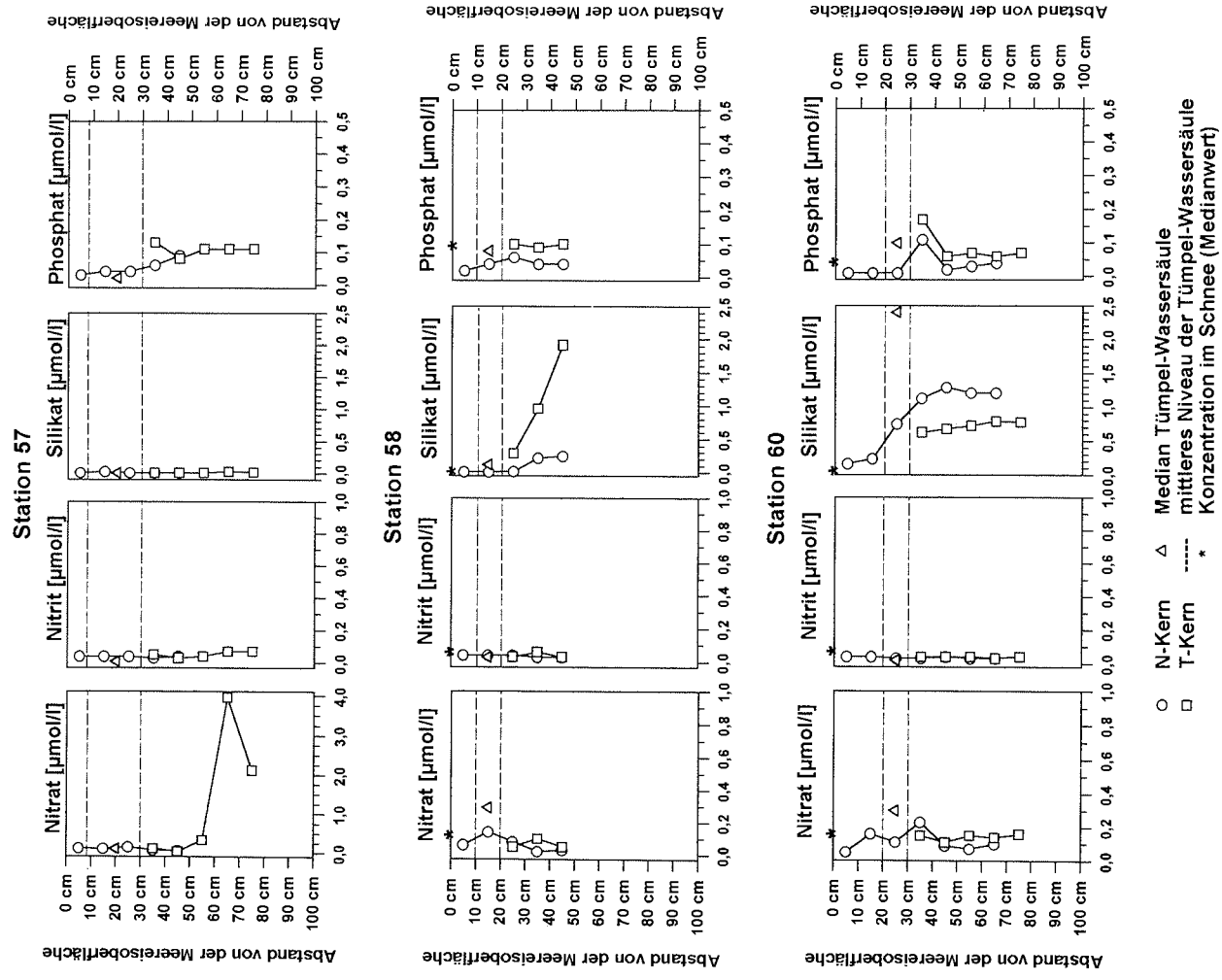


Abb. 19.a: Nährstoffkonzentrationen in Eiskernen der Stationen 57, 58 und 60 im Vertikalprofil. Dargestellt sind die Ergebnisse je eines Eiskerns aus der Tümpelumgebung ("N-Kern") und aus dem Tümpelboden ("T-Kern") sowie der Medianwert (dreieckiges Symbol) in der Wassersäule des Tümpels (gestrichelt), weiterhin die Konzentration im Schnee dieser Stationen (Sternchen)

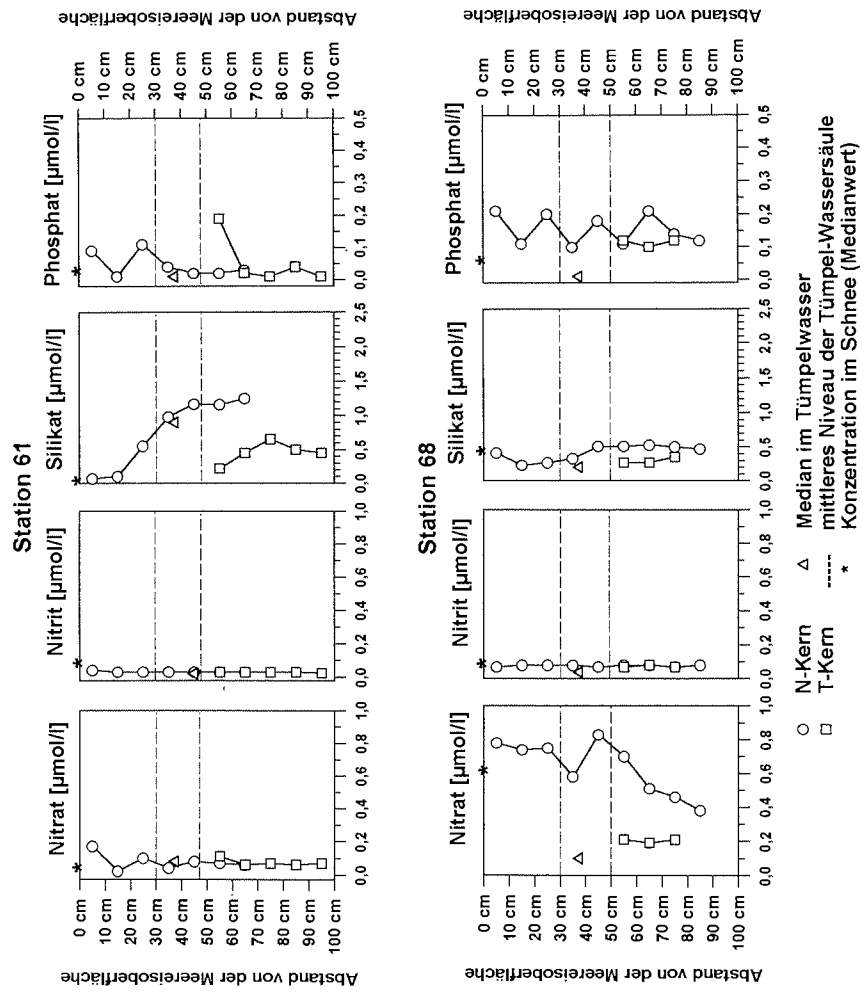


Abb. 19.b: Nährstoffkonzentrationen in Eiskernen der Stationen 61 und 68 im Vertikalprofil; Darstellung wie Abb. 19.a

Die Phosphatkonzentrationen bewegten sich in den N-Kernen ebenso wie in den T-Kernen insgesamt zwischen 0,01 und 0,21  $\mu\text{mol/l}$ . Im Vertikalprofil schwankten die Medianwerte der jeweiligen Tiefenhorizonte der N-Kerne zwischen 0,02 und 0,06  $\mu\text{mol/l}$  und bewegten sich damit im Bereich des Medians der Phosphatkonzentration im Wasser der zugehörigen Tümpel (0,05  $\mu\text{mol/l}$ ). In den T-Kernen dagegen wurden im Vertikalprofil mit Medianwerten der jeweiligen Tiefenhorizonte zwischen 0,08 und 0,13  $\mu\text{mol/l}$  durchgehend höhere Phosphatkonzentrationen als im Wasser der zugehörigen Meereistümpel gefunden.

Wie aus den Vertikalprofilen der einzelnen Eiskerne hervorgeht (Abb. 19), zeigten die Nährstoffkonzentrationen in den Eiskernen keine einheitliche vertikale Tendenz, sondern unterschieden sich je nach Parameter und Station. Bei den Nitrat- und Phosphatkonzentrationen war meist keine eindeutig zu- oder abnehmende Tendenz mit dem Abstand von der Meereisoberfläche festzustellen (Ausnahme: Nitrat im T-Kern von Station 57, s. u.), während die Silikatkonzentrationen zumindest an den Stationen 58, 60 und 61 mit der Tiefe deutlich zunahmten. Die Nitratkonzentrationen lagen mit Ausnahme der Eiskerne von Station 57 und 68 zwischen 0,0 und 0,2  $\mu\text{mol/l}$ . Der Eiskern von Station 57 stimmte hiermit bis in eine Tiefe von 50 cm überein. In den tieferen Horizonten stiegen die Nitratkonzentrationen jedoch bis auf 4,0  $\mu\text{mol/l}$  an. An Station 68 lagen die Nitratkonzentrationen im Tümpelkern bei 0,2  $\mu\text{mol/l}$ , im Eiskern aus der Tümpelumgebung jedoch zwischen 0,8  $\mu\text{mol/l}$  an der Oberfläche und 0,4  $\mu\text{mol/l}$  im Tiefenhorizont 80 - 90 cm. Ein Vergleich der Nitratkonzentrationen im Tümpelwasser (dreieckiges Symbol in Abb. 19.a und b) und denen in Eiskernen aus dem Tümpelboden (T-Kerne) sowie aus der Tümpelumgebung (N-Kern) läßt kein einheitliches Muster erkennen. Gleiches gilt für die Nitratkonzentrationen im Schnee (Sternsymbol in Abb. 19.a und b) und denen im Tiefenhorizont 0 - 10 cm neben dem Tümpel und im Tümpelwasser. Die Nitritkonzentrationen bewegten sich von der Oberfläche bis in den jeweils untersten beprobten Tiefenhorizont hinein nur zwischen 0,0 und 0,1  $\mu\text{mol/l}$ . Das Tümpelwasser enthielt an allen fünf Stationen  $<0,05 \mu\text{mol Nitrit/l}$ , der Schnee ( $n = 4$ ) zwischen 0,04 und 0,14  $\mu\text{mol Nitrit/l}$ . Ammoniumkonzentrationen wurden nicht bestimmt.

Die Silikatkonzentrationen in den Eiskernen der Stationen 57 und 68 zeigten im Vertikalprofil einen relativ einheitlichen Verlauf mit Werten von 0,0  $\mu\text{mol/l}$  (Station 57) bzw. zwischen 0,2 und 0,5  $\mu\text{mol}$  (Station 68). An den übrigen drei Stationen war eine Zunahme von 0,0 - 0,4  $\mu\text{mol Silikat/l}$  in den obersten 0 - 20 cm auf Maximalwerte zwischen 1,3 und 1,9  $\mu\text{mol Silikat/l}$  unterhalb des Tümpelniveaus zu beobachten. Die Silikatkonzentrationen im Schnee ähnelten denen, die im obersten Tiefenhorizont (0 - 10 cm) des Eiskerns aus der Tümpelumgebung gefunden wurden (Ausnahme: Station 60 mit nur 0,0  $\mu\text{mol/l}$  im Schnee gegenüber 0,2  $\mu\text{mol/l}$  im obersten Tiefenhorizont). Ein Vergleich der Silikatkonzentrationen im Tümpelwasser mit den in den T- und N-Kernen gefundenen Werten läßt kein einheitliches Muster erkennen. Station 60 zeichnete sich jedoch durch deutlich niedrigere Silikatkonzentrationen in den beiden Eiskernen (max. 1,3  $\mu\text{mol/l}$  im N-Kern und 0,8  $\mu\text{mol/l}$  im T-Kern) als im Tümpelwasser aus, in dem im Mittel 2,4  $\mu\text{mol Silikat/l}$  gemessen wurden. An den anderen 4 Stationen bewegten sich die Konzentrationen im Tümpelwasser dagegen im Bereich der Spannweite der in den zugehörigen Eiskernen gemessenen Werte. Die Phosphatkonzentrationen in den Eiskernen bewegten sich an allen Stationen zwischen 0,01 und 0,21  $\mu\text{mol/l}$ ,

wobei die Werte an Station 68 gegenüber den übrigen Stationen leicht erhöht waren (Spannweite an Station 68: 0,10 - 0,21  $\mu\text{mol/l}$ ). Ein Muster zwischen den Phosphatkonzentrationen im Tümpelwasser und den Meßwerten im Tümpelboden oder neben dem Tümpel ließ sich nicht erkennen. Gleiches gilt für die Phosphatkonzentrationen im Schnee und im Tiefenhorizont 0 - 10 cm.

#### 4.2.1.4 Lichtverhältnisse (PAR)

Die Ergebnisse der Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) sind in den Tab. 9.a und b zusammengefaßt.

##### *Meereistümpel*

Am Ufer der Meereistümpel wurden je nach Datum und Tageszeit der Messung einfallende Strahlungsmengen zwischen 34  $\mu\text{mol/s/m}^2$  und 966  $\mu\text{mol/s/m}^2$  gemessen (Medianwerte der jeweiligen Meßreihe, 2  $\pi$ -Sensor; Tab. 9.a). In der Wassersäule der Tümpel wurden mit einem 4  $\pi$ -Sensor in Bodennähe zwischen 102  $\mu\text{mol/s/m}^2$  und 2805  $\mu\text{mol/s/m}^2$  gemessen (Medianwerte der jeweiligen Meßreihen). Das Verhältnis zwischen Ergebnissen der 4  $\pi$ - und 2  $\pi$ -Messungen bewegte sich in den Meereistümpeln zwischen 1,9 und 3,3 (Median: 2,5).

Im Vertikalprofil zeigte sich an Station 58 eine Abnahme der Strahlungsmenge von 1880  $\mu\text{mol/s/m}^2$  an der Oberfläche (1 cm unterhalb der Wasseroberfläche) auf 1413  $\mu\text{mol/s/m}^2$  am Tümpelboden (Abb. 20; Einzelmessungen). Hieraus ergibt sich ein Attenuationskoeffizient des Tümpelwassers von 0,98  $\text{m}^{-1}$  für den Tiefenbereich 1 - 30 cm. Die gleichzeitig am Ufer bei strahlendem Sonnenschein gemessene einfallende Strahlung betrug 570  $\mu\text{mol/s/m}^2$  (2  $\pi$ -Sensor).

An Station 50 wurden am frühen Morgen bei Nebel 190  $\mu\text{mol/s/m}^2$  einfallende Strahlung gemessen, mittags ebenfalls bei Nebel 420  $\mu\text{mol/s/m}^2$  (Abb. 20). Lichtmessungen in 15 und 30 cm Wassertiefe (4  $\pi$ -Sensor) zeigten ebenfalls eine leichte Abnahme der Strahlungsmenge mit der Tiefe von 467 auf 438  $\mu\text{mol/s/m}^2$  am Morgen und von 957 auf 892  $\mu\text{mol/s/m}^2$  am Mittag (Abb. 20). Die Attenuationskoeffizienten für diesen Tiefenbereich (15 - 30 cm Wassertiefe) betrugen 0,43  $\text{m}^{-1}$  (morgens) bzw. 0,47  $\text{m}^{-1}$  (mittags). 10 Tage später wurde die Attenuation im gleichen Tiefenbereich dieses Meereistümpels morgens bei Sonnenschein mit 0,52  $\text{m}^{-1}$  bestimmt.

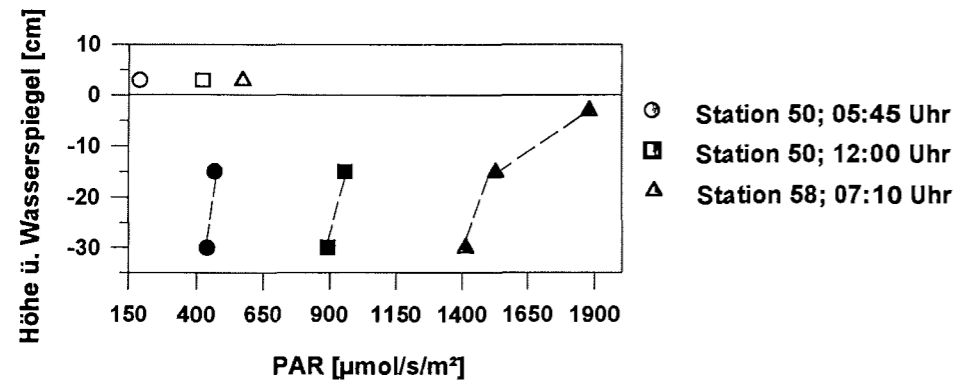


Abb. 20: Lichtmessungen (PAR) an der Oberfläche (offene Symbole; 2 $\pi$ -Sensor) und parallel dazu in der Wassersäule der Stationen 50 und 58 (geschlossene Symbole; 4 $\pi$ -Sensor)

#### *Aquatische Vergleichsstationen*

Lichtmessungen in den Landtümpeln und -seen (Tab. 9.b) ergaben bei einfallenden Lichtmengen zwischen  $567 \mu\text{mol/s/m}^2$  und  $922 \mu\text{mol/s/m}^2$  (Medianwerte, 2  $\pi$ -Sensor) in der Wassersäule in 25 bis 30 cm Wassertiefe Werte zwischen  $586 \mu\text{mol/s/m}^2$  und  $1046 \mu\text{mol/s/m}^2$  (Medianwerte, 4  $\pi$ -Sensor). Das Verhältnis zwischen Ergebnissen der 4  $\pi$ - und 2  $\pi$ -Messungen bewegte sich in den Landtümpeln und -seen zwischen 1,0 und 1,3. Der Attenuationskoeffizient ließ sich nicht ermitteln, da Lichtmessungen in unterschiedlichen Wassertiefen an den Vergleichsstationen nicht vorgenommen wurden.

Die Ergebnisse zeigen, daß in Landtümpeln und -seen bei vergleichbaren Wassertiefen eine deutlich geringere Lichtmenge als in Meereistümpeln zu messen ist und die Meereistümpel somit ein Starklichthabitat darstellen.

#### **4.2.2 Biomasse-Summenparameter**

Nachdem im vorigen Kapitel die Meereistümpel und vergleichend untersuchte Lebensräume anhand ihrer abiotischen Parameter charakterisiert wurden, soll nun die Besiedlung dieser Lebensräume anhand der Konzentrationen der biologischen Summenparameter Chlorophyll *a* (vgl. Kap. 3.2.4), partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) sowie partikulärer organischer Stickstoff (PON) dargestellt werden.

Tab. 9.a: Ergebnisse der 1994 durchgeführten Lichtmessungen (PAR) an Meereistümpeln. Angegeben sind die einfallende Strahlung, gemessen mit einem 2 Pi-Sensor am Tümpelufer, sowie die am Tümpelboden mit einem 4 Pi-Sensor gemessene Lichtstrahlung. Weiterhin ist das Verhältnis zwischen den 4 Pi- und 2 Pi-Meßergebnissen aufgeführt, d. h. das Verhältnis zwischen im Tümpel zu messender und einfallender Strahlung. n = Anzahl der Einzelmessungen; k. M. = keine Messung

Station	Tageszeit (MEZ)	PAR [ $\mu\text{mol/s/m}^2$ ]							Verhältnis 4 Pi- zu 2 Pi-Messung
		einfallend (2 Pi)			am Tümpelboden (4 Pi)				
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Meßtiefe	
50	05:45	190	186 - 193	3	438	k. M.	1	ca. 30 cm	2,3
50	12:00	284		1	679	655 - 703	2	ca. 30 cm	2,4
52	19:00 - 19:10	615	550 - 880	3	1352	1278 - 1426	2	ca. 20 cm	2,2
54	19:40 - 20:15	361	357 - 364	3	1083	949 - 1216	3	ca. 20 cm	3,0
55	23:00	119	116 - 121	2	398	k. M.	1	ca. 20 cm	3,3
55	23:15 - 01:40	78	72 - 83	30	247	233 - 260	30	ca. 20 cm	3,2
57	21:25 - 22:20	193	175 - 213	12	476	423 - 514	12	ca. 20 cm	2,5
58	07:35 - 10:00	812	715 - 824	30	2091	1982 - 2206	30	ca. 30 cm	2,6
60	18:00 - 19:45	308	271 - 348	22	832	732 - 955	22	ca. 10 cm	2,7
61	11:20 - 13:50	966	680 - 997	31	2805	2645 - 2850	31	ca. 15 cm	2,9
63	11:55 - 14:05	634	472 - 842	27	1502	1290 - 1792	27	ca. 20 cm	2,4
64	14:10 - 15:15	450	390 - 464	14	991	967 - 1010	14	ca. 25 cm	2,2
65	19:59 - 20:04	34	31 - 35	2	102	77 - 105	2	ca. 30 cm	3,0
68	14:03 - 15:47	779	645 - 827	11	2264	2125 - 2382	11	ca. 25 cm	2,9
73	16:07 - 16:17	514	364 - 589	3	988	913 - 1096	3	ca. 30 cm	1,9
79	09:50 - 10:50	369	327 - 398	13	928	886 - 978	13	ca. 40 cm	2,5

81

Tab. 9.b: Ergebnisse der 1994 durchgeführten Lichtmessungen (PAR) in Landtümpeln und -seen. Angegeben sind die einfallende Strahlung, gemessen mit einem 2 Pi-Sensor am Gewässerufer, sowie die am Gewässerboden in Ufernähe mit einem 4 Pi-Sensor gemessene Lichtstrahlung. Darstellung wie in Tab. 9.a; n = Anzahl der Einzelmessungen

Station	Tageszeit (MEZ)	PAR [ $\mu\text{mol/s/m}^2$ ]							Verhältnis 4 Pi- zu 2 Pi-Messung
		einfallend (2 Pi)			am Gewässerboden				
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Meßtiefe	
66	10:45 - 11:25	804	723 - 816	8	914	675 - 1415	8	ca. 25 cm	1,1
70	11:45 - 13:00	911	850 - 921	16	1046	840 - 1292	16	ca. 25 cm	1,1
71	11:25 - 14:05	683	557 - 742	33	855	727 - 964	33	ca. 30 cm	1,3
72	15:10 - 17:25	567	468 - 656	28	586	429 - 890	28	ca. 30 cm	1,0
77	10:00 - 15:25	637	616 - 659	66	659	560 - 792	66	ca. 30 cm	1,0

#### 4.2.2.1 Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentrationen

##### *Meereistümpel*

Die mittleren Chlorophyllkonzentrationen der einzelnen Meereistümpel lagen zwischen 0,01 und maximal 0,40  $\mu\text{g/l}$  (Abb. 21). 50 % der Stationen wiesen Chlorophyllkonzentrationen zwischen 0,02 und 0,08  $\mu\text{g/l}$  auf; der Median über alle Stationen betrug 0,04  $\mu\text{g/l}$ .

Die mittleren POC-Konzentrationen variierten in den einzelnen Meereistümpeln zwischen 17,7 und 312,8  $\mu\text{g/l}$  (Abb. 21). 50 % der Meereistümpel wiesen Werte zwischen 48,1 und 124,4  $\mu\text{g/l}$  auf; der Median lag bei 85,1  $\mu\text{g/l}$ .

Die mittleren PON-Konzentrationen bewegten sich zwischen 2,6 und maximal 49,1  $\mu\text{g/l}$  (Abb. 21). 50 % der Meereistümpel wiesen Werte zwischen 6,5 und 18,6  $\mu\text{g/l}$  auf; der Median betrug 10,9  $\mu\text{g/l}$ .

Das molare POC:PON-Verhältnis der Meereistümpel lag zwischen 3,7 und maximal 14,4 (ohne Abb.; vgl. Anhangstabelle) mit einem Median von 7,8. In 50 % der Fälle betrug das C:N-Verhältnis zwischen 7,6 und 9,8.

##### *Aquatische Vergleichsstationen*

Die mittleren Chlorophyllkonzentrationen der Gletschereistümpel lagen zwischen 0,03 und 0,05  $\mu\text{g/l}$  mit einem Medianwert von ebenfalls 0,04  $\mu\text{g/l}$  (Abb. 21). Meereis- und Gletschereistümpel wiesen damit eine starke Ähnlichkeit auf, wobei die Spannweite der Chlorophyllkonzentrationen in den Gletschereistümpeln geringer war. Landtümpel und -seen dagegen enthielten zwischen 0,23 und 1,10  $\mu\text{g}$  Chlorophyll/l (Medianwert: 0,50  $\mu\text{g/l}$ ), während Oberflächenproben aus dem marinen Milieu Chlorophyllkonzentrationen zwischen 0,06 und 0,33  $\mu\text{g/l}$  aufwiesen (Medianwert: 0,11). Die statistische Überprüfung dieser Unterschiede zeigte, daß Meereistümpel signifikant geringere Chlorophyllkonzentrationen als Landtümpel und -seen und als Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu aufwiesen (Mediantest). In den beiden Eisbergtümpeln wurden sehr geringe Chlorophyllkonzentrationen zwischen 0,00 und 0,01  $\mu\text{g/l}$  gemessen (Medianwert: 0,01  $\mu\text{g/l}$ ), signifikante Unterschiede zu Meereistümpeln bestanden jedoch ebenso wie im Falle der Gletschereistümpel nicht (Mediantest).

Die mittleren POC-Konzentrationen der Gletschereistümpel (Abb. 21) betragen zwischen 83,9 und 171,6  $\mu\text{g/l}$  mit einem Medianwert von 121,3  $\mu\text{g/l}$ , die PON-Konzentrationen zwischen 14,8 und 22,1  $\mu\text{g/l}$  (Medianwert: 16,0  $\mu\text{g/l}$ ). Das molare POC:PON-Verhältnis lag zwischen 6,1 und 9,6 (o. Abb.; vgl. Anhangstabelle A-7.b). In den Landtümpeln und -seen wurden mittlere POC-Konzentrationen zwischen 76,2 und 426,8  $\mu\text{g/l}$  gemessen (Medianwert: 253,8  $\mu\text{g/l}$ ); die



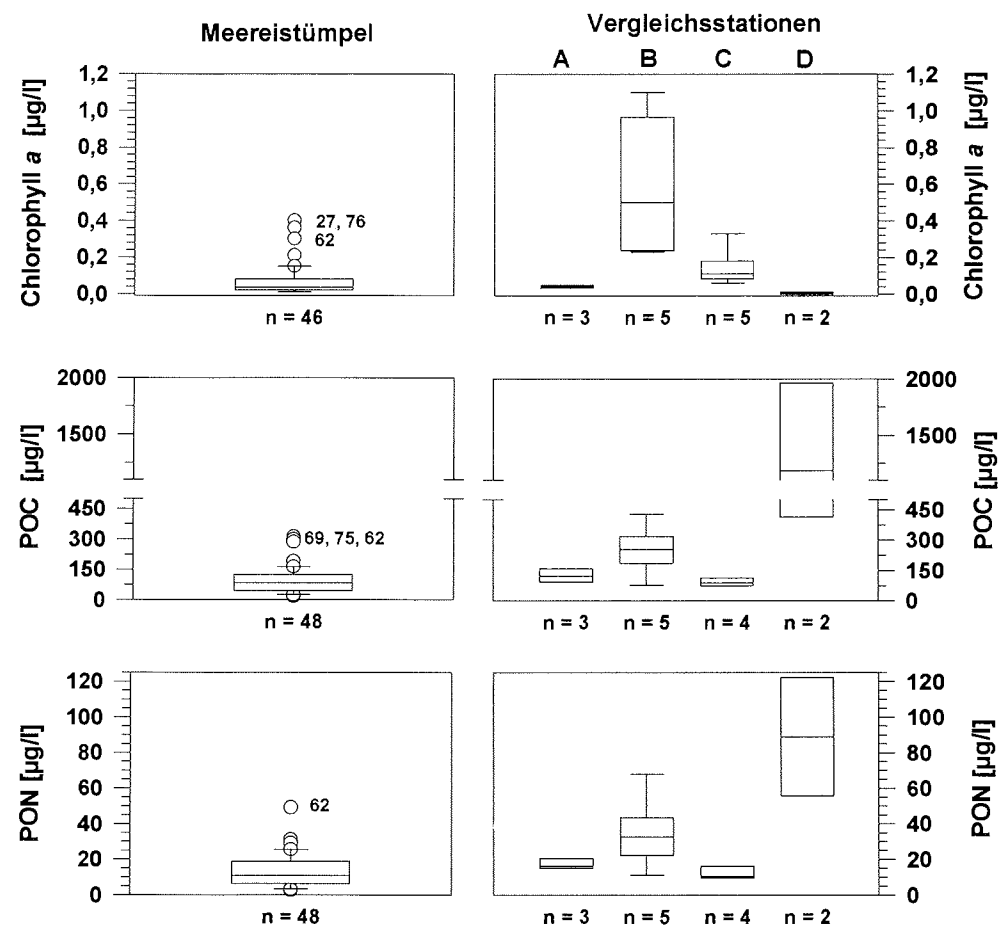


Abb. 21: Mittlere Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentrationen der Meereistümpel (links) und Vergleichsstationen (rechts; A = Gletschereistümpel, B = Landtümpel und -seen, C = Meeresoberfläche, D = Eisbergtümpel)

PON-Konzentrationen bewegten sich zwischen 11,1 und 67,9  $\mu\text{g/l}$  (Medianwert: 32,5  $\mu\text{g/l}$ ). Das molare POC:PON-Verhältnis betrug zwischen 7,7 und 9,9. Die marinen Oberflächenwasserproben ergaben POC-Konzentrationen zwischen 69,0 und 132,9  $\mu\text{g/l}$  (Medianwert: 86,8  $\mu\text{g/l}$ ) und PON-Konzentrationen zwischen 9,4 und 20,9  $\mu\text{g/l}$  (Medianwert: 10,5  $\mu\text{g/l}$ ). Das molare POC:PON-Verhältnis lag zwischen 7,4 und 9,9. In den beiden Eisbergtümpeln wurden mittlere POC-

Konzentrationen zwischen 414 und 1961  $\mu\text{g/l}$  und PON-Konzentrationen zwischen 56 und 122  $\mu\text{g/l}$  gemessen; das POC:PON-Verhältnis betrug 8,6 (Station 81) bzw. 18,7 (Station 83). Obwohl die Medianwerte der POC- und PON-Konzentrationen von Meereistümpeln (85,1  $\mu\text{g POC/l}$ , 10,8  $\mu\text{g PON/l}$ ) zum Teil deutlich unterhalb der in den vergleichend untersuchten Gewässern festgestellten Medianwerte lagen, ergab die statistische Überprüfung (Mediantest) keine signifikanten Unterschiede.

##### *Eiskerne aus der Umgebung der Meereistümpel*

Die Verteilung der Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentrationen in Eiskernen aus der direkten Umgebung der Stationen 60, 61 und 68 ist in Abb. 22 dargestellt. Eine zusammenfassende Übersicht gibt Tab. 10.

Die Chlorophyllkonzentrationen bewegten sich in den Eiskernen aus der Tümpelumgebung (N-Kerne) zwischen 0,00 und 0,18  $\mu\text{g/l}$ , in den Eiskernen aus dem Tümpelboden (T-Kerne) zwischen 0,01 und 0,12  $\mu\text{g/l}$  (Tab. 10). Die Maximalwerte im Vertikalprofil der N-Kerne wurden oberhalb des Höhenniveaus der zugehörigen Meereistümpel gefunden, besonders deutlich an den Stationen 60 und 61 zu erkennen (Abb. 22). Die im Wasser der zugehörigen Meereistümpel gemessenen Medianwerte (dreieckige Symbole in Abb. 22) lagen knapp unterhalb der in den zugehörigen N-Kernen gefundenen Maximalkonzentrationen und oberhalb (Stationen 60 und 61) oder auf gleichem Niveau der Werte in den T-Kernen. Auf dem Höhenniveau der Meereistümpel waren in den N-Kernen geringere Chlorophyllkonzentrationen als in den Tümpeln selbst festzustellen. Unterhalb des Tümpelniveaus wurden in Kernen aus dem Tümpelboden zum Teil deutlich niedrigere Chlorophyllkonzentrationen als in der Wassersäule der Tümpel gemessen (Stationen 60 und 61). Wie die zusammenfassende Betrachtung der drei N- und der drei T-Kerne (Tab. 10) über die gesamte Kernlänge zeigte, waren die Chlorophyllkonzentrationen in den N-Kernen gegenüber den T-Kernen leicht, aber signifikant erhöht ( $p = 0,1$ ; U-Test, Median-Test). Weiterhin nahmen die Chlorophyllkonzentrationen in den N-Kernen im Mittel von der Meereisoberfläche in die Tiefe signifikant ab (Spearman-Rangkorrelation;  $r_s = -0,7818$ ;  $p = 0,05$ ).

In den N-Kernen wurden zwischen 228 und 1771  $\mu\text{g POC/l}$  und zwischen 18 und 295  $\mu\text{g PON/l}$  gemessen. In den T-Kernen lagen die Konzentrationen zwischen 111 und 760  $\mu\text{g POC/l}$  und zwischen 11 und 110  $\mu\text{g PON/l}$  (Tab. 10, Abb. 22).

Tab. 10: Chlorophyll a-, POC- und PON-Konzentrationen in Eiskernen aus der Umgebung von Meereistümpeln (N-Kerne) und aus dem Tümpelboden (T-Kerne) im Vertikalprofil. Weiterhin sind die Medianwerte dieser Parameter im Wasser der zugehörigen Meereistümpel aufgeführt (n = 3). k. M. = keine Messung

Tiefe ab Eisoberfläche	N-Kerne: Chlorophyll a [ $\mu\text{g/l}$ ]				N-Kerne: POC [ $\mu\text{g/l}$ ]				N-Kerne: PON [ $\mu\text{g/l}$ ]			
	Median	Min.	Max.	n	Median	Min.	Max.	n	Median	Min.	Max.	n
0 - 10 cm	<b>0,06</b>	0,03	0,11	3	<b>805,4</b>	803,6	807,2	2	<b>90,7</b>	70,4	111,0	2
10 - 20 cm	<b>0,07</b>	0,01	0,18	3	<b>561,3</b>	269,1	626,2	3	<b>57,9</b>	22,6	67,5	3
20 - 30 cm	<b>0,05</b>	0,00	0,07	3	<b>459,4</b>	269,1	744,8	3	<b>38,3</b>	19,2	104,3	3
30 - 40 cm	<b>0,03</b>	0,01	0,04	3	<b>438,2</b>	228,3	522,1	3	<b>47,6</b>	17,6	70,1	3
40 - 50 cm	<b>0,05</b>	0,00	0,06	3	<b>388,1</b>	285,3	845,6	3	<b>32,4</b>	19,9	90,6	3
50 - 60 cm	<b>0,04</b>	0,01	0,04	3	<b>369,2</b>	313,9	1771,0	3	<b>28,2</b>	20,5	295,1	3
60 - 70 cm	<b>0,03</b>	0,02	0,06	3	<b>306,2</b>	254,9	871,8	3	<b>20,4</b>	19,9	124,9	3
<b>Medianwert im Wasser der Tümpel</b>	<b>0,10</b>	<b>0,02</b>	<b>0,15</b>	3	<b>109,8</b>	<b>86,1</b>	<b>113,2</b>	3	<b>13,4</b>	<b>10,9</b>	<b>13,6</b>	3
Tiefe ab Eisoberfläche	T-Kerne: Chlorophyll a [ $\mu\text{g/l}$ ]				T-Kerne: POC [ $\mu\text{g/l}$ ]				T-Kerne: PON [ $\mu\text{g/l}$ ]			
	Median	Min.	Max.	n	Median	Min.	Max.	n	Median	Min.	Max.	n
0 - 10 cm												
10 - 20 cm												
30 - 40 cm	<b>0,02</b>			1	k. M.			0	k. M.			0
40 - 50 cm	<b>0,01</b>			1	k. M.			0	k. M.			0
50 - 60 cm	<b>0,01</b>	0,01	0,12	3	<b>469,2</b>	275,2	663,1	2	<b>67,0</b>	23,7	110,2	2
60 - 70 cm	<b>0,01</b>	0,01	0,05	3	<b>260,6</b>	141,2	556,1	3	<b>23,3</b>	18,5	82,0	3
70 - 80 cm	<b>0,01</b>	0,01	0,06	3	<b>630,5</b>	111,0	760,0	3	<b>65,7</b>	13,4	100,5	3

4.2 Meereisümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

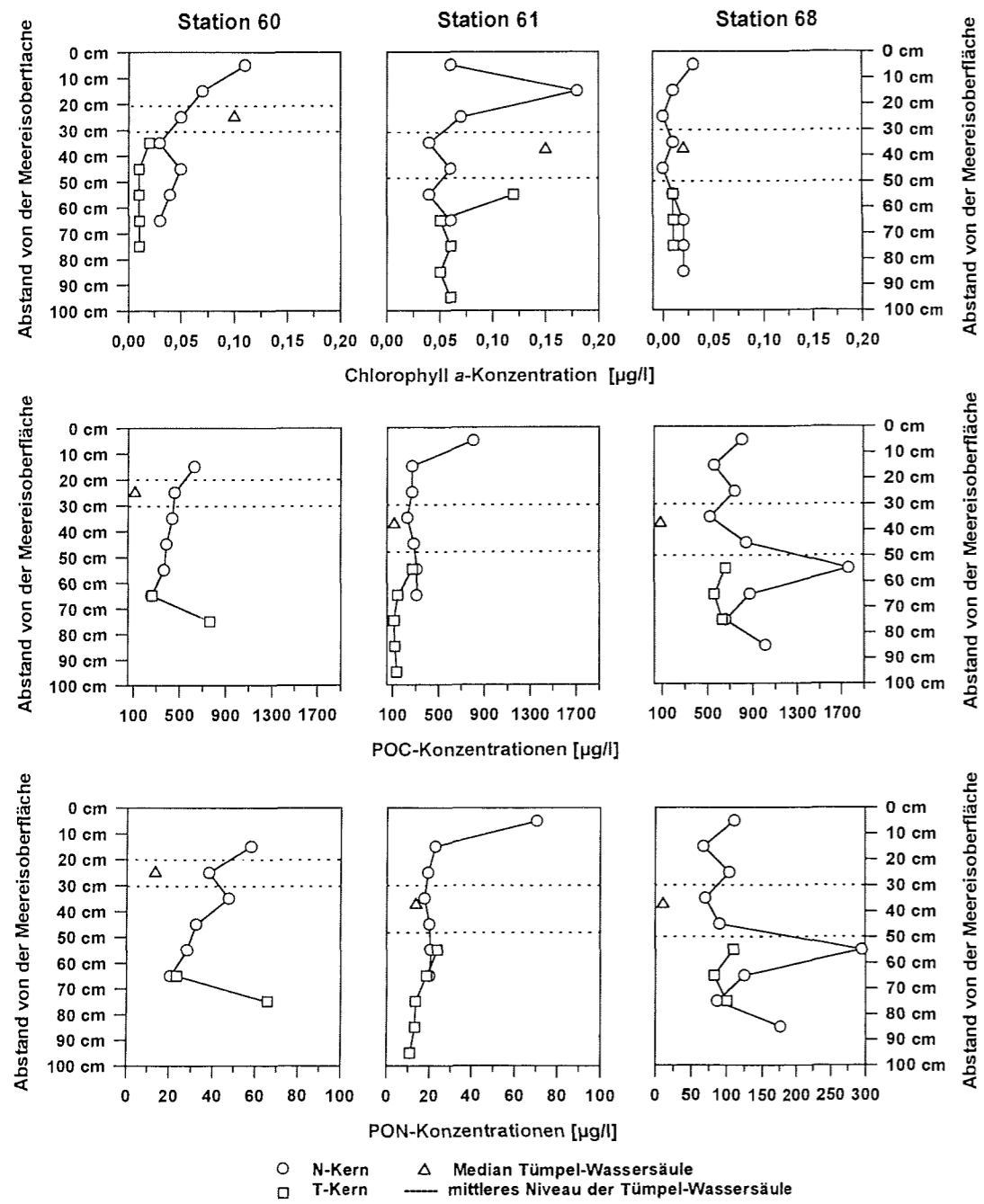


Abb. 22: Chlorophyll a-, POC- und PON-Konzentrationen in Eiskernen aus der Tümpelumgebung (N-Kern) und aus dem Tümpelboden (T-Kern) der Stationen 60, 61 und 68. Zum Vergleich sind Lage und Stärke der Wassersäule (gestrichelte Linien) sowie der zugehörige Medianwert des Tümpelwassers ebenfalls dargestellt (dreieckiges Symbol)

Damit lagen die in den zugehörigen Meereistümpeln gemessenen Werte nahe dem Minimalbereich (Stationen 60 und 61) oder deutlich unterhalb (Station 68) der in den Eiskernen gefundenen Konzentrationen und zeigten eine andere Tendenz als die Chlorophyllkonzentrationen, die im Wasser der Meereistümpel tendenziell höher waren als die ab dem Höhengiveau der Tümpel in den Eiskernen gemessenen Werte. Die POC- und PON-Konzentrationen in Kernen aus dem Tümpelboden unterschieden sich mit Ausnahme der Station 68 (Maximalwert im Horizont 50 - 60 cm des N-Kerns) nicht wesentlich von denen des Vertikalprofils der neben den Tümpeln entnommenen Eiskerne. Die zusammenfassende Betrachtung der drei N- und der drei T-Kerne (Tab. 10) über die gesamte Kernlänge ergab bei statistischer Überprüfung keine signifikanten Unterschiede in den POC- und PON-Konzentrationen der N- und T-Kerne (t-Test; Median-Test). Die POC- und PON-Konzentrationen in den N-Kernen nahmen von der Meereisoberfläche in die Tiefe hochsignifikant ab (Spearman-Rangkorrelation; POC:  $r_s = -1,000$ ,  $p = 0,002$ ; PON:  $r_s = -0,9643$ ,  $p = 0,02$ ).

#### 4.2.2.2 Beziehungen zwischen den Biomasseparametern Chlorophyll, POC und PON

##### *Meereistümpel*

Mit zunehmender Chlorophyll *a*-Konzentration stiegen auch die POC- und PON-Konzentrationen in den Meereistümpeln hochsignifikant an ( $p = 0,001$ ; Abb. 23.a). Im Vergleich zu den POC- und PON-Konzentrationen, die in den Meereistümpeln gemessen wurden, waren die Chlorophyll *a*-Konzentrationen ausgesprochen niedrig: das Verhältnis von POC zu Chlorophyll *a* betrug im Mittel 2128 : 1, von PON zu Chlorophyll *a* 270 : 1 (Berechnungsbasis: Medianwerte; vgl. Tab. A-7 im Anhang).

##### *Aquatische Vergleichsstationen*

In den Gletschereistümpeln (Abb. 23.b; runde Symbole) waren im Verhältnis zu den gemessenen POC- und PON-Konzentrationen ebenfalls geringe Chlorophyllkonzentrationen zu verzeichnen (POC : Chlorophyll *a* = 3033 : 1; PON : Chlorophyll *a* = 400 : 1; Berechnungsbasis: Medianwerte; vgl. Tab. A-7 im Anhang). Diese Werte ähnelten den in Meereistümpeln gefundenen Verhältnissen (s. o.). Ganz besonders niedrige Chlorophyllkonzentrationen zeigten die beiden Eisbergtümpel (Abb. 23.b; umgedrehte Dreiecksymbole). In den Landtümpeln und -seen (quadratische Symbole) dagegen traten im Verhältnis zu den POC- und PON-Konzentrationen höhere Chlorophyll *a*-Konzentrationen als in den Meereistümpeln auf. Im Mittel lagen das POC zu Chlorophyll *a*-Verhältnis bei 508 : 1 und

4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

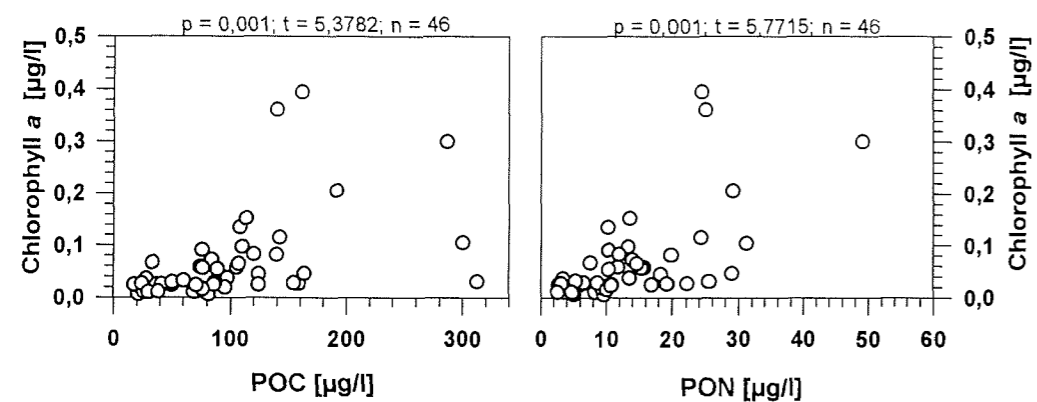


Abb. 23.a: Beziehungen zwischen den mittleren Chlorophyll a- und POC-Konzentrationen (links) bzw. PON-Konzentrationen (rechts) der Meereistümpel

das PON zu Chlorophyll a-Verhältnis bei 65 : 1. Auch in den marinen Oberflächenwasserproben (aufrechtes Dreiecksymbol) zeigten die Verhältnisse von POC : Chlorophyll a mit 789 : 1 und von PON zu Chlorophyll a mit 95 : 1 ebenfalls vergleichsweise hohe Chlorophyllkonzentrationen an.

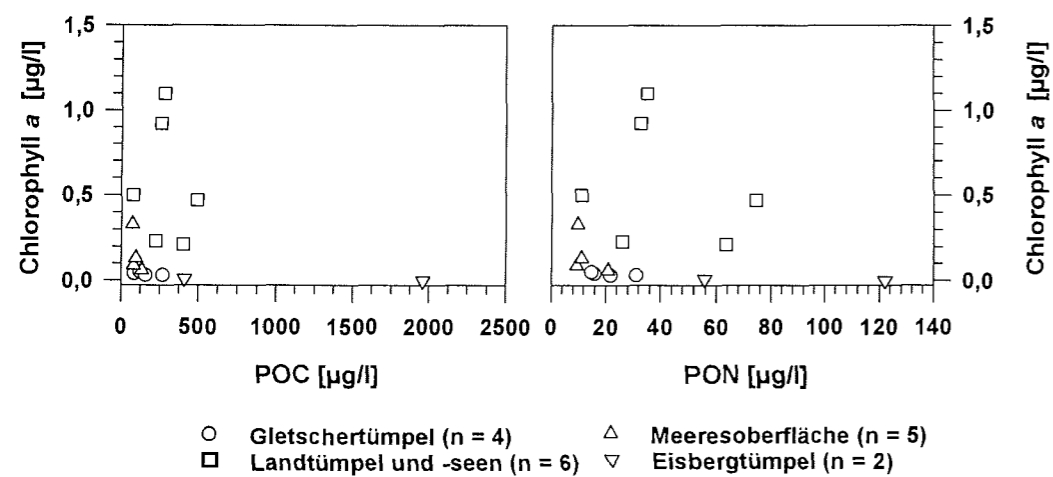


Abb. 23.b: Beziehungen zwischen den mittleren Chlorophyll a- und POC-Konzentrationen (links) bzw. PON-Konzentrationen (rechts) der Vergleichsstationen

#### *Eiskerne aus der Umgebung der Meereistümpel*

In den untersuchten Eiskernen (vgl. Tab. 10 u. Abb. 22) waren sowohl das POC zu Chlorophyll *a*- als auch das PON zu Chlorophyll *a*-Verhältnis im Mittel höher als in den Meereistümpeln. Über alle Tiefenhorizonte gemittelt ergab sich für die N-Kerne ein Verhältnis von 8764 : 1 (POC : Chlorophyll *a*) bzw. 766 : 1 (PON : Chlorophyll *a*). Im Falle der T-Kerne betrug das Verhältnis im Mittel 46920 : 1 (POC : Chlorophyll *a*) bzw. 6570 : 1 (PON : Chlorophyll *a*). In den drei zugehörigen Tümpeln dagegen lag das mittlere POC : Chlorophyll *a*-Verhältnis bei 1098 : 1, das PON : Chl *a*-Verhältnis bei 134 : 1. Zwar steigen diese Werte an, wenn alle Tümpel berücksichtigt werden (s. o.), jedoch ist in den Eiskernen im Vergleich zu den POC- und PON-Konzentrationen vergleichsweise wenig Chlorophyll *a* enthalten.

### **4.2.3 Statistische Analysen**

#### **4.2.3.1 Korrelationen zwischen abiotischen Parametern und Biomasse-Summenparametern**

Für die Meereistümpel wurde eine Prüfung auf Korrelationen zwischen abiotischen Parametern (vgl. Kap. 4.2.1) und den Biomasse-Summenparametern vorgenommen. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Chlorophyllkonzentration und den einzelnen abiotischen Meßparametern ließ sich nicht herstellen (Tab. 11.a).

Die POC-Konzentrationen korrelierten signifikant mit der Salinität, den Nitrat-, Silikat- und Phosphatkonzentrationen (Abb. 24.a; Tab. 11.b), die PON-Konzentrationen dagegen nur mit dem Silikat- und Phosphatgehalt (Abb. 24.b; Tab. 11.b). POC und PON waren ebenfalls mit der mittleren Wassertiefe und der Flächenausdehnung der Meereistümpel korreliert. Mit Ausnahme der Korrelationen zwischen POC und Nitrat und zwischen POC sowie PON und der Flächenausdehnung handelte es sich um positive Korrelationen, d. h. mit einem Anstieg der Salinität, der Silikat- und Phosphatkonzentrationen sowie der mittleren Wassertiefe stieg auch die POC-Konzentration an, während niedrige Nitratkonzentrationen ebenso wie Tümpel mit geringer Flächenausdehnung mit hohen POC-Konzentrationen korreliert waren. Die PON-Konzentrationen stiegen mit zunehmender Silikat- und Phosphatkonzentration und mit zunehmender Wassertiefe an, während sie mit zunehmender Größe bzw. Flächenausdehnung der Tümpel abnahmen.

#### 4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 11.a: Spearman-Rangkorrelation zwischen den in den Meereistümpeln gemessenen Chlorophyll a-Konzentrationen und den abiotischen Parametern.  $r_s$  = Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman; ns = nicht signifikant. Für  $n > 29$  wurde statt  $r_s$  t berechnet und die Beurteilung nach der Student-Verteilung vorgenommen (Lozán 1992)

abiotischer Parameter	n	Wert für $r_s$ bzw. für t	Signifikanzschränke für p = 0,05 (2-seitig)	Signifikanz der Korrelation
Temperatur	45	t = 0,119	2,017	ns
pH-Wert	43	t = 0,521	2,017	ns
Salinität	45	t = 0,252	2,017	ns
Leitfähigkeit	23	$r_s = -0,010$	0,406	ns
Sauerstoff	22	$r_s = 0,010$	0,415	ns
Nitrat	44	t = 0,721	2,018	ns
Nitrit	44	t = 0,789	2,018	ns
Ammonium	20	$r_s = -0,254$	0,447	ns
Silikat	44	t = 1,689	2,018	ns
Phosphat	44	t = 1,156	2,018	ns
mittlere Wassertiefe	46	t = 1,865	2,015	ns
Flächenausdehnung	45	t = 0,212	2,017	ns



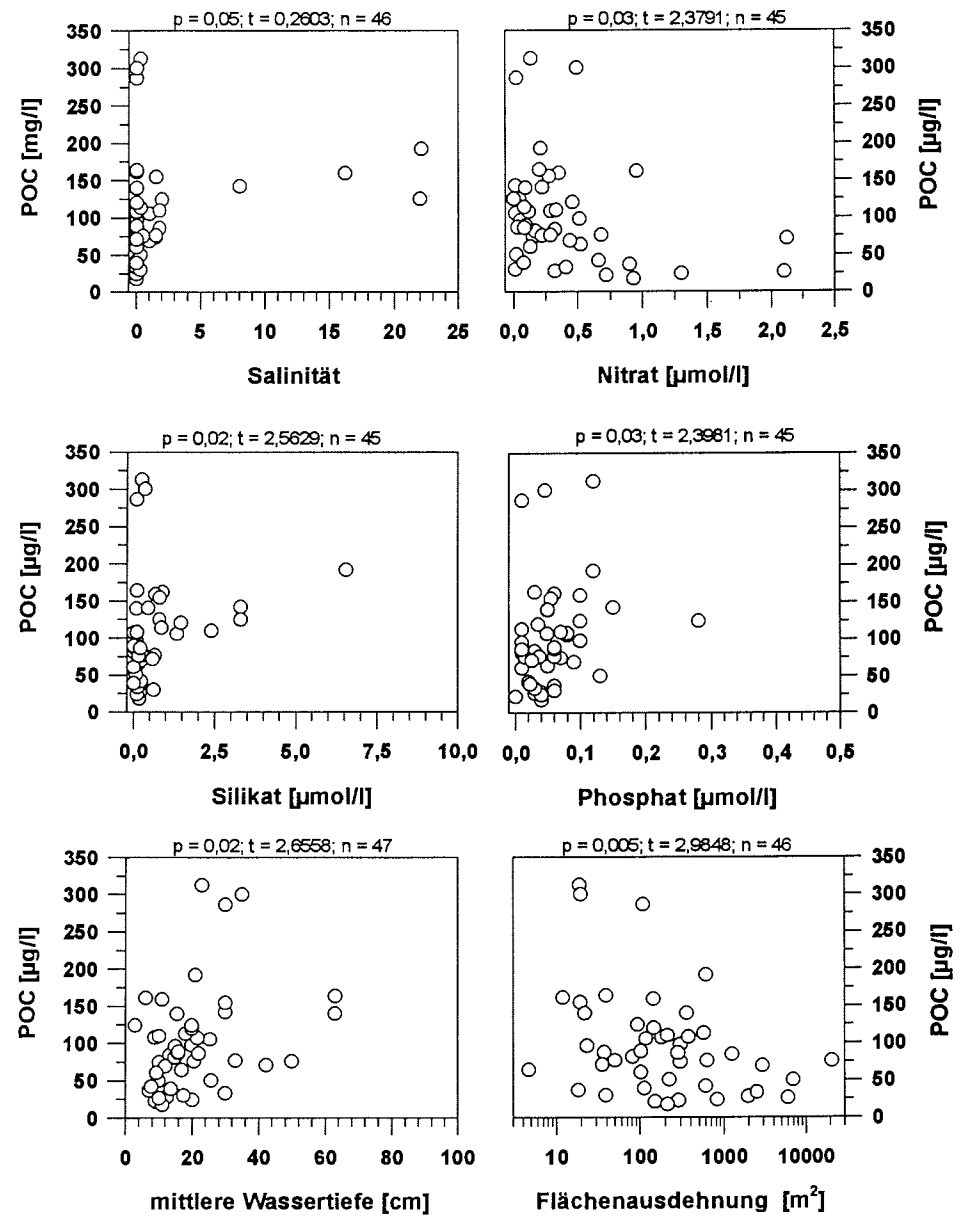


Abb. 24.a: Signifikante Beziehungen zwischen den POC-Konzentrationen in den Meereis-tümpeln und den abiotischen Parametern Salinität, Nitrat-, Silikat-, Phosphatkonzentration, Wassertiefe und Flächenausdehnung (hier logarithmische Skalierung der X-Achse beachten)

4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 11.b: Korrelationen zwischen abiotischen Parametern und den POC- sowie PON-Konzentrationen in den Meereistümpeln, bestimmt durch die Spearman-Rangkorrelation; Darstellung wie in Tab. 11.a

<b>POC und Parameter:</b>	<b>n</b>	<b>Wert für <math>r_s</math> bzw. für t</b>	<b>Signifikanzschranke für <math>p = 0,05</math> (2-seitig)</b>	<b>Signifikanz der Korrelation</b>
Temperatur	46	t = 0,973	2,015	ns
pH-Wert	44	t = 1,199	2,015	ns
Salinität	46	t = 2,260	2,015	p = 0,05
Leitfähigk.	23	$r_s = 0,139$	0,406	ns
Sauerstoff	22	$r_s = -0,182$	0,415	ns
Nitrat	45	t = 2,379	2,017	p = 0,03
Nitrit	45	t = 0,476	2,017	ns
Ammonium	21	$r_s = -0,131$	0,435	ns
Silikat	45	t = 2,563	2,017	p = 0,02
Phosphat	45	t = 2,398	2,017	p = 0,03
mittlere Wassertiefe	47	t = 2,656	2,014	p = 0,02
Flächenausdehnung	46	t = 2,985	2,015	p = 0,005
<b>PON und Parameter:</b>	<b>n</b>	<b>Wert für <math>r_s</math> bzw. für t</b>	<b>Signifikanzschranke für <math>p = 0,05</math> (2-seitig)</b>	<b>Signifikanz der Korrelation</b>
Temperatur	46	t = 0,922	2,015	ns
pH-Wert	44	t = 1,241	2,015	ns
Salinität	46	t = 1,828	2,015	ns
Leitfähigk.	23	$r_s = 0,208$	0,406	ns
Sauerstoff	22	$r_s = -0,195$	0,415	ns
Nitrat	45	t = 1,258	2,017	ns
Nitrit	45	t = 0,623	2,017	ns
Ammonium	21	$r_s = -0,009$	0,435	ns
Silikat	45	t = 2,731	2,017	p = 0,01
Phosphat	45	t = 2,686	2,017	p = 0,02
mittlere Wassertiefe	47	t = 3,281	2,014	p = 0,005
Flächenausdehnung	46	t = 3,105	2,015	p = 0,005

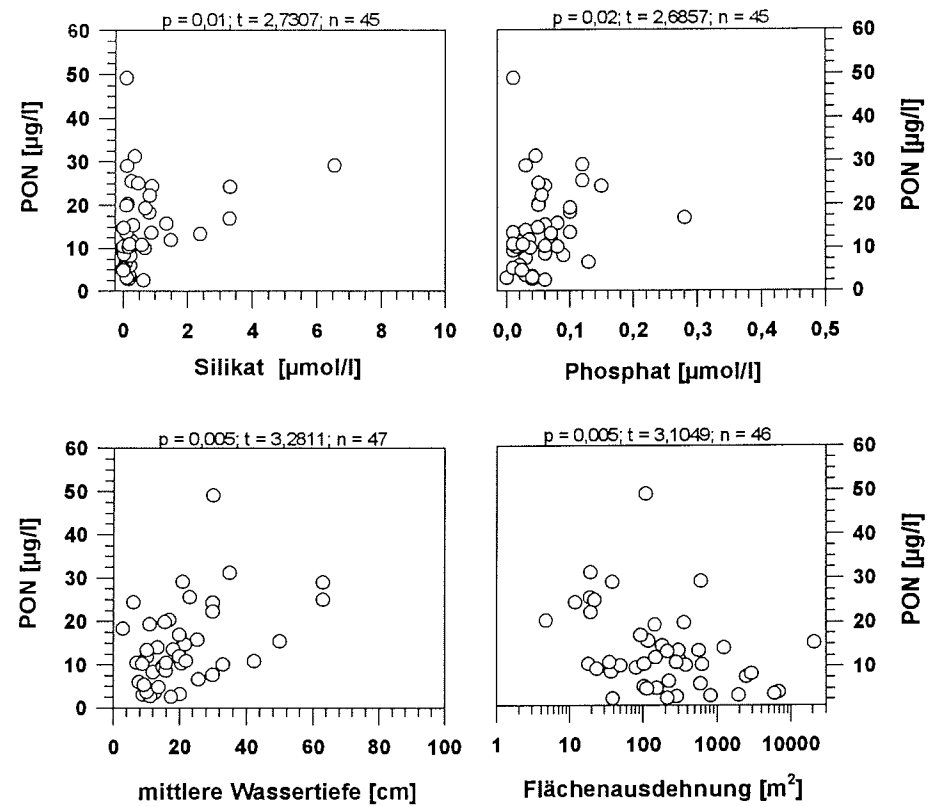


Abb. 24.b: Signifikante Beziehungen zwischen den PON-Konzentrationen in den Meereistümpeln und den abiotischen Parametern Silikat-, Phosphatkonzentration, Wassertiefe und Flächenausdehnung (hier logarithmische Skalierung der X-Achse beachten)

#### 4.2.3.2 Zusammenhang zwischen Farbe und Eigenschaften der Meereistümpel

Farbliche Unterschiede zwischen den Meereistümpeln spiegeln sich auch in anderen Eigenschaften der Tümpel wider. So zeigten graue Meereistümpel mit einem Medianwert von  $20 \text{ m}^2$  eine signifikant geringere Flächenausdehnung als blaue (Median  $186 \text{ m}^2$ ) oder grüne Meereistümpel ( $344 \text{ m}^2$ ; Mediantest,  $p = 0,05$ ; Abb. 25 oben). Mit einem Medianwert von  $25 \text{ cm}$  waren grüne Meereistümpel weiterhin signifikant tiefer als blaue Meereistümpel, deren Median  $13 \text{ cm}$  betrug. Die mittlere Wassertiefe grauer Meereistümpel unterschied sich mit  $14 \text{ cm}$  nicht signifikant von blauen oder grünen Tümpeln (Mediantest; Abb. 25 unten). Blaue

und graue Meereistümpel waren sowohl in der Fraktion der "sauberen" als auch der "unsauberen" Tümpel vertreten, grüne Meereistümpel dagegen ausschließlich in der Fraktion der "unsauberen" Tümpel zu finden, die eine größere Wassertiefe als "saubere" Tümpel aufwiesen (vgl. Kap. 4.2.1.1).

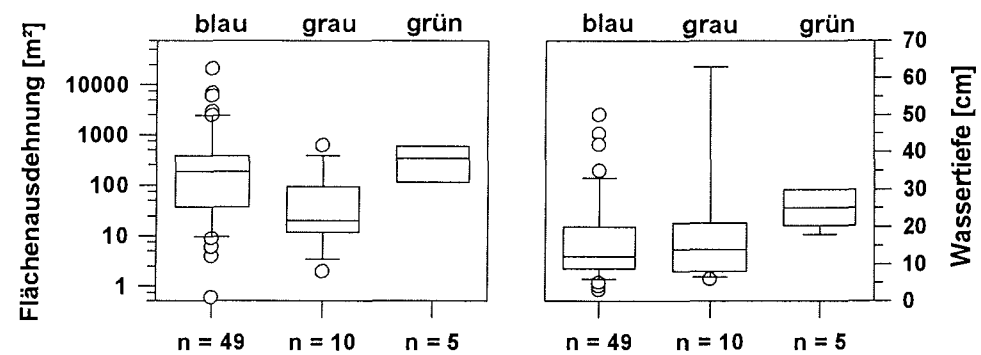


Abb. 25: Mittlere Flächenausdehnung und Wassertiefe blauer, grauer und grüner Meereistümpel

Statistisch signifikante Unterschiede zwischen blauen, grauen und grünen Meereistümpeln ließen sich ebenfalls für die Wassertemperatur und die Sauerstoffkonzentration, nicht jedoch für den pH-Wert, die Salinität und die Leitfähigkeit zeigen (Abb. 26.a, b). Mit einem Median von  $0,2^{\circ}\text{C}$  und einer Spannweite der Werte von  $-0,1^{\circ}\text{C}$  bis  $1,6^{\circ}\text{C}$  war die Wassertemperatur blauer Meereistümpel geringfügig, aber signifikant höher als in grünen Meereistümpeln (Median  $0,0^{\circ}\text{C}$ ; Spannweite  $-0,6^{\circ}\text{C}$  bis  $0,5^{\circ}\text{C}$ ; Mediantest). Die Wassertemperatur grauer Meereistümpel unterschied sich mit einem Median von  $0,1^{\circ}\text{C}$  bei einer Spannweite von  $-0,1^{\circ}\text{C}$  bis  $0,7^{\circ}\text{C}$  nicht signifikant von der Temperatur blauer oder grüner Meereistümpel (Abb. 26.a). Die Sauerstoffkonzentrationen in grünen Meereistümpeln waren mit einem Median von  $12,6\text{ mg/l}$  (Spannweite  $11,9$  bis  $12,9\text{ mg/l}$ ; Abb. 26.b) dagegen signifikant niedriger als in grauen Meereistümpeln (Median  $13,8\text{ mg/l}$ ; Spannweite  $12,8$  bis  $14,3\text{ mg/l}$ ; Mediantest), unterschieden sich jedoch nicht signifikant von den Sauerstoffkonzentrationen in blauen Meereistümpeln (Median  $13,2\text{ mg/l}$ ; Spannweite  $11,7$  bis  $14,3\text{ mg/l}$ ).

Ein Vergleich der Nährstoffkonzentrationen in blauen und grünen Tümpeln (Abb. 27) ergab signifikant höhere Nitratwerte in blauen Tümpeln (Mediantest), in denen der Median  $0,3\text{ }\mu\text{mol/l}$  und die Spannweite  $0,0 - 2,4\text{ }\mu\text{mol/l}$  betrug. Auch graue Meereistümpel ( $n = 10$ ; o. Abb.) enthielten bei einem Medianwert von  $0,3\text{ }\mu\text{mol/l}$

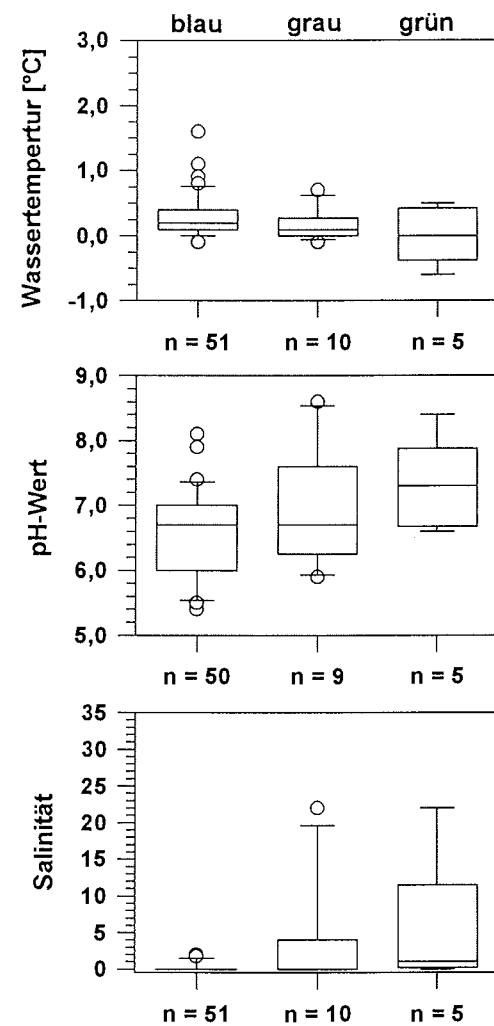


Abb. 26.a: Mittlere Wassertemperaturen, pH-Werte und Salinitäten blauer, grauer und grüner Meereisümpel

und einer Spannweite von 0,0 - 1,0  $\mu\text{mol/l}$  signifikant höhere Nitratkonzentrationen als grüne Tümpel ( $p = 0,01$ ; Mediantest), die einen Median von 0,0  $\mu\text{mol/l}$  und eine Spannweite von 0,0 - 0,2  $\mu\text{mol/l}$  aufwiesen. Die mittleren Nitritkonzentrationen in blauen wie auch in grauen und grünen Meereisümpeln betragen zwischen 0,00 und 0,05  $\mu\text{mol/l}$ . Die Medianwerte von 0,03  $\mu\text{mol Nitrit/l}$  in blauen und grauen und von 0,02  $\mu\text{mol Nitrit/l}$  in grünen Meereisümpeln unterschieden sich nicht signifikant. Die Ammoniumkonzentrationen in grünen Meereisümpeln ( $n = 2$ ) waren mit einem Medianwert von 0,6  $\mu\text{mol/l}$  zwar höher als in blauen (Median 0,2  $\mu\text{mol/l}$ ) und

grauen Meereistümpeln (Median  $0,3 \mu\text{mol/l}$ ), aber diese Unterschiede waren statistisch nicht signifikant (Mediantest). Grüne Meereistümpel wiesen einen höheren Medianwert ( $1,4 \mu\text{mol Silikat/l}$ ) und auch eine größere Spannweite der Silikatkonzentrationen als blaue und graue Meereistümpel auf, deren Medianwerte  $0,2 \mu\text{mol/l}$  (blau) bzw.  $0,5 \mu\text{mol/l}$  (grau) erreichten. Auch die Phosphatkonzentrationen waren in grünen Meereistümpeln mit einem Median von  $0,08 \mu\text{mol/l}$  höher als in blauen ( $0,05 \mu\text{mol/l}$ ) und grauen Meereistümpeln ( $0,06 \mu\text{mol/l}$ ). Ein statistisch signifikanter Unterschied war jedoch in beiden Fällen nicht nachweisbar (Mediantest).

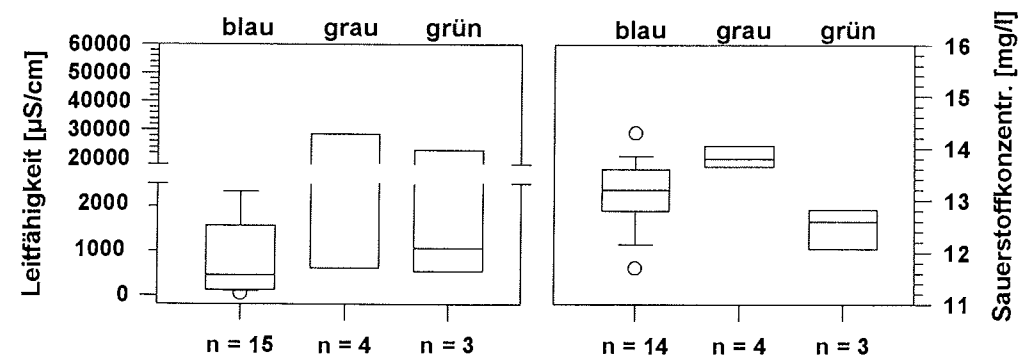


Abb. 26.b: Mittlere Leitfähigkeiten und Sauerstoffkonzentrationen blauer, grauer und grüner Meereistümpel

Dennoch fällt eine Besonderheit der grünen Meereistümpel auf: während in blauen und grauen Meereistümpeln die mittleren Nitratkonzentrationen mit  $0,3 \mu\text{mol/l}$  gleich hoch waren (Tab. 12), lagen die Nitratkonzentrationen in grünen Tümpeln mit einem Median von  $0,02 \mu\text{mol/l}$  nahe der Nachweisgrenze von  $0,01 \mu\text{mol/l}$ . Die Ammoniumkonzentrationen in grünen Meereistümpeln waren dagegen zwei- bis dreimal so hoch wie in blauen oder grauen Meereistümpeln, d. h. der gelöste anorganische Stickstoffpool bestand in grünen Meereistümpeln fast ausschließlich aus Ammonium. Das Verhältnis der stickstoffhaltigen Nährstoffe zu gelöstem Phosphat und Silikat betrug in blauen und grauen Meereistümpeln 11:1:4 bzw. 11:1:8 (Tab. 12). In grünen Meereistümpeln dagegen war das Verhältnis mit 8:1:17 zugunsten des Silikats verschoben. Dies zeigt noch einmal, daß sich die grünen Meereistümpel von den blauen und grauen Meereistümpeln unterscheiden, auch wenn der anorganische Stickstoffpool mit Werten zwischen  $0,5$  (blau) und  $0,7 \mu\text{mol/l}$  (grau, grün) keine großen Unterschiede aufweist.

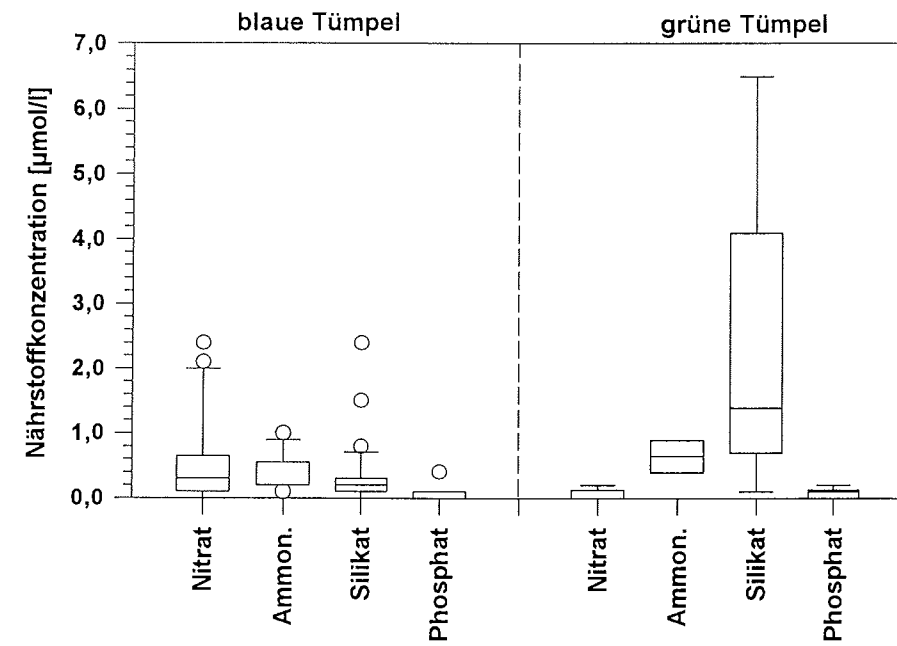


Abb. 27: Nährstoffkonzentrationen in blauen (n = 44; inkl. blauer Mischttöne; vgl. Kap. 4.1.2) und grünen Meereistümpeln (n = 5; inkl. grüner Mischttöne; für NH<sub>4</sub> n = 2). Graue Meereistümpel nicht mit dargestellt, statistisch signifikante Unterschiede zu den Nährstoffkonzentrationen andersfarbiger Meereistümpel bestanden nur für Nitrat (s. Text)

Tab. 12: Verhältnis zwischen den stickstoffhaltigen Nährstoffen ("N Gesamt"), Phosphat und Silikat in blauen, grauen und grünen Meereistümpeln. Datenbasis: Medianwerte der Nährstoffkonzentrationen im Wasser blauer (n = 44), grauer (n = 10) und grüner Meereistümpel (n = 5)

Tümpel-farbe	Nitrat-N µmol/l	Nitrit-N µmol/l	NH <sub>4</sub> -N µmol/l	N Gesamt µmol/l	Phosphat-P µmol/l	Silikat µmol/l
blau	0,30	0,03	0,20	0,53	0,05	0,20
grau	0,33	0,03	0,32	0,68	0,06	0,46
grün	0,02	0,02	0,63	0,67	0,08	1,35
Verhältnis: blau				11	1	4
grau				11	1	8
grün				8	1	17

Ein Vergleich der Chlorophyllkonzentrationen in blauen, grauen und grünen Tümpeln ergab signifikante Unterschiede zwischen blauen und grünen Meereistümpeln ( $p = 0,05$ ; Median-Test; Abb. 28 oben): grüne Meereistümpel wiesen höhere Chlorophyllkonzentrationen als blaue Meereistümpel auf.

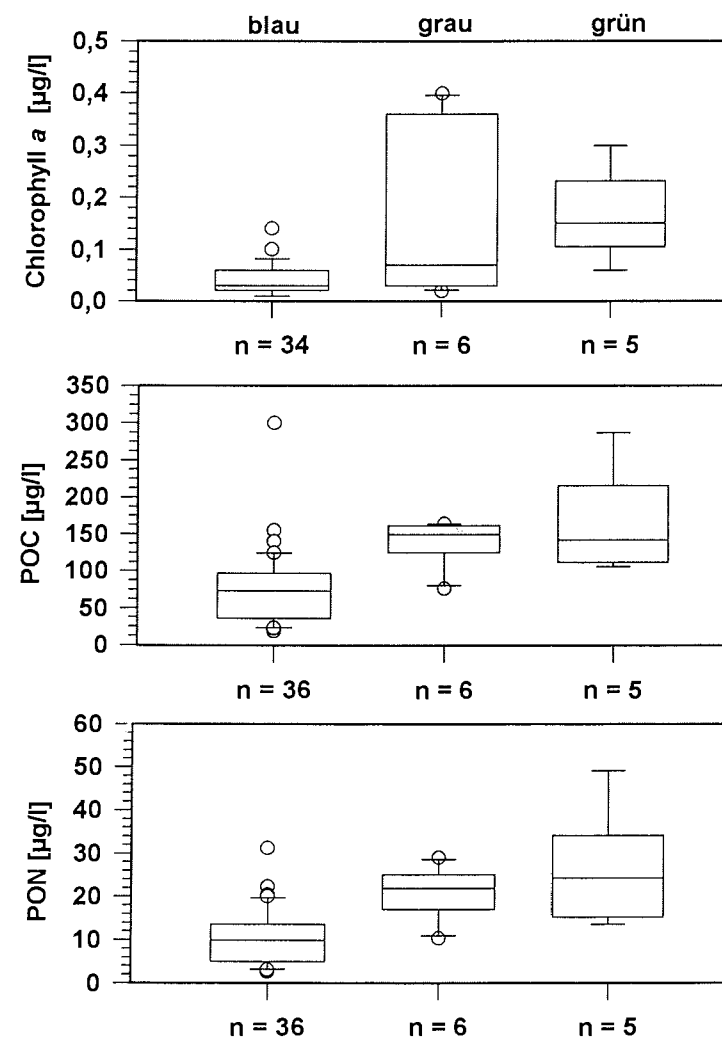


Abb. 28: Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentrationen in blauen, grauen und grünen Meereistümpeln



Weiterhin bestand ein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,5$ ; Median-Test) zwischen der Tümpelfarbe und den POC- und PON-Konzentrationen, die in grünen Meereistümpeln höher als in blauen waren (Abb. 28). Wie auch bei den Chlorophyllkonzentrationen waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den POC- und PON-Konzentrationen in grauen und blauen oder in grauen und grünen Meereistümpeln festzustellen.

#### **4.2.3.3 Vergleich des Lebensraums Meereistümpel mit anderen aquatischen Habitaten: Clusteranalyse**

Auf Basis der in Kap. 4.2.1 und 4.2.2 dargestellten abiotischen und biotischen Parameter der verschiedenen untersuchten aquatischen Lebensräume mit Ausnahme des Schnees und der Eiskerne wurde eine Clusteranalyse durchgeführt. Folgende Parameter gingen in die Analyse ein: Wassertemperatur, pH-Wert, Salinität, Nitrat-, Nitrit-, Silikat-, Phosphatkonzentration, Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentration. Das Ergebnis zeigte deutlich die Aufgliederung in drei große Cluster (Abb. 29):

- Cluster I enthielt ausschließlich Stationen, deren mittlere Salinität zwischen 8 und 31 betrug (Stationen 41, 56, 64, 67: meso- und polymixohaline Meereistümpel, Salinität zwischen 8 und 22; Stationen 84 - 88: Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu, Salinität zwischen 25 und 31; Station 81: euhaliner Eisbergtümpel, Salinität von 31). Die Stationen des Clusters I unterschieden sich darin von allen anderen Stationen und setzten sich in Abb. 29 deutlich von den übrigen Stationen ab.
- Cluster II bestand aus verschiedenen kleineren Clustern und enthielt alle Süßwasser- und oligomixohalinen Tümpel (Salinität zwischen 0 und 2) auf Meer- und Gletschereis. Die meisten Stationen innerhalb des Clusters II wiesen eine starke Ähnlichkeit miteinander auf, wobei sich die Gletschereistümpel (Stationen 28, 29, 35, 80, 82) mit den Süßwasser-Meereistümpeln vermischten. In dieser großen Gruppe von Stationen konnte mit einer Ausnahme zwischen den Süßwassertümpeln auf Meer- und Gletschereis (Cluster IIa) und den 10 oligomixohalinen Meereistümpeln unterschieden werden, die ein separates Cluster IIb bildeten. Cluster IIb enthielt zusätzlich die Station 1, deren Salinität 0 betrug. Die übrigen Stationen des Clusters II wiesen eine große Ähnlichkeit miteinander auf und wurden als Cluster II b zusammengefaßt.

4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

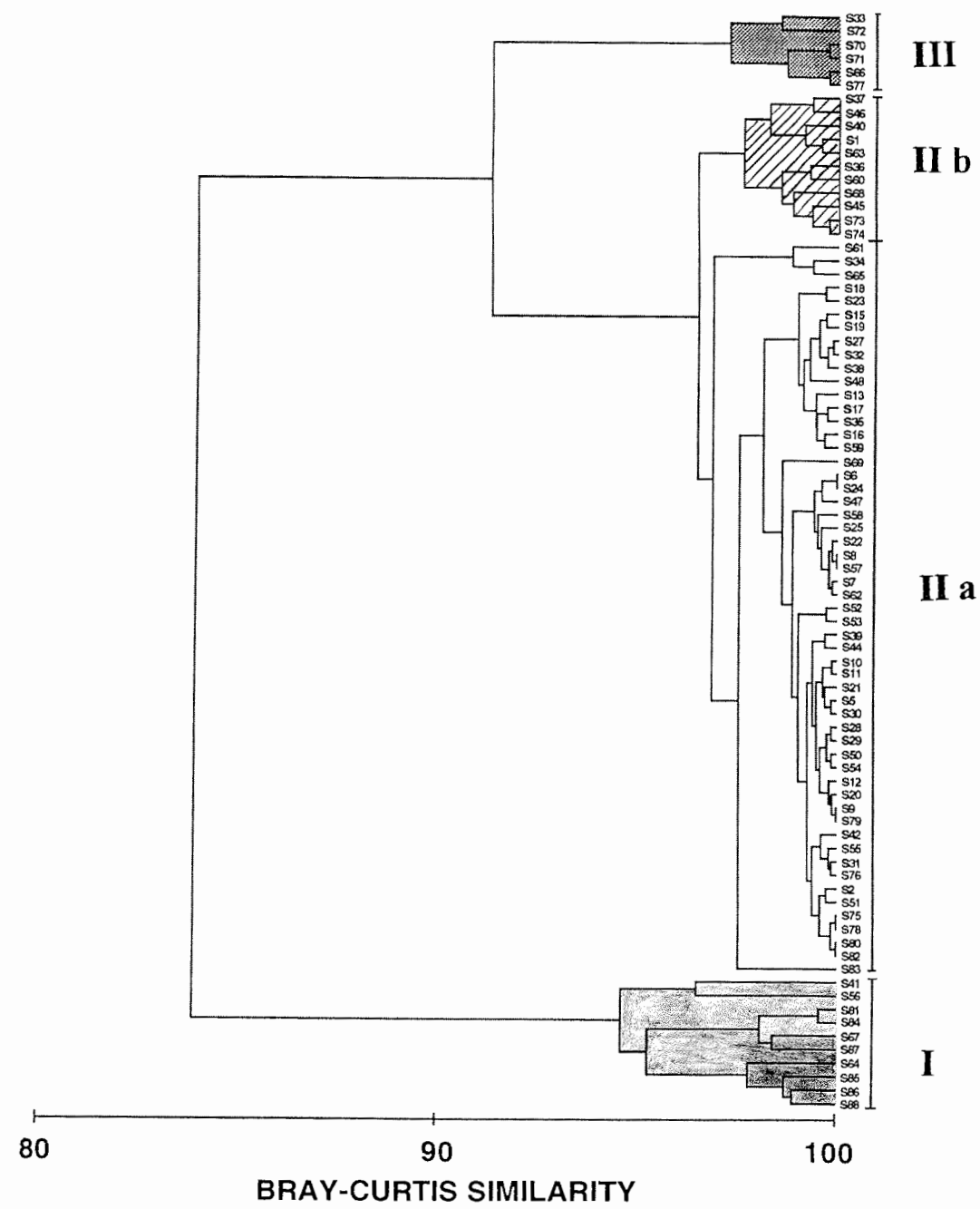


Abb. 29: Clusteranalyse: Vergleich der verschiedenen aquatischen Lebensräume (Meereis-, Gletschereis-, Eisbergtümpel, Landtümpel und -seen, marines Oberflächenwasser) anhand von insgesamt 10 abiotischen und biotischen Parametern (vgl. Text); der Stationsnummer ist ein "S" vorangestellt (z. B. S33 = Station 33)

- Cluster III enthielt sämtliche Landtümpel und -seen (Stationen 33, 66, 70-72, 77). Diese Habitate unterschieden sich vergleichsweise stark von den Stationen des Clusters I, die das marine Milieu und die stärker salinen Habitate auf Meereis und Eisbergen (Station 83) repräsentieren, setzten sich aber aufgrund ihrer höheren Wassertemperaturen, pH-Werte und Nährstoffkonzentrationen (Kap. 4.2.1) gleichzeitig von den Süßwasser- und oligomixohalinen Habitaten auf Meer- und Gletschereis ab.

Das Ergebnis der Clusteranalyse ließ keine Gruppierung der Stationen anhand der Farbe der Meereistümpel erkennen: grüne, graue und blaue Meereistümpel waren sowohl in Cluster I als auch in Cluster IIa und IIb vertreten (o. Abb.). Eine Gruppierung der Stationen anhand des Zeitpunkts oder Ortes der Probennahme, d. h. aufgrund saisonaler oder regionaler Unterschiede (vgl. Kap. 4.3), lag ebenfalls nicht vor.

Bei der Überprüfung der Verteilung der Eistypen (ein-, mehrjähriges Treibeis oder Festeis) auf die Cluster zeigten sich jedoch tendenzielle Unterschiede zwischen der Stationsgruppe im Cluster IIb und den übrigen Meereisstationen. Im Cluster IIb waren nur 36,4 % der Stationen Meereistümpel auf mehrjährigem Eis, d. h. die oligomixohalinen Meereistümpel waren häufiger auf einjährigem (45,5 %) Treibeis und auf Festeis (18,2 %) als auf mehrjährigem Eis vertreten. Reine Süßwasser-Meereistümpel (Cluster IIa) traten vorwiegend, aber nicht ausschließlich auf mehrjährigem Eis auf: der Anteil der auf mehrjährigem Eis gelegenen Meereistümpel betrug im Cluster IIa 63,3 %, während nur 22,5 % auf einjährigem Eis bzw. 14,3 % auf Festeis gefunden wurden. Die im Cluster I gruppierten meso- und polymixohalinen Meereistümpel traten zu gleichen Teilen auf ein- und mehrjährigem Eis auf.

#### 4.2.4 Zusammensetzung der mikrobiellen Planktongemeinschaften

Im folgenden werden die Ergebnisse zur Untersuchung der Meereistümpel-Lebensgemeinschaften exemplarisch am Beispiel von 10 ausgewählten Meereistümpeln dargestellt und mit der Besiedlung eines Landtümpels (Station 33) und eines Tümpels auf Gletschereis (Station 35) verglichen.

##### 4.2.4.1 Qualitative Zusammensetzung

###### *Meereistümpel*

Das Plankton der Meereistümpel setzte sich im wesentlichen aus Bakterien und Protisten und damit aus Vertretern der mikrobiellen Lebensgemeinschaft zusammen (Tab. 13). Protista sind mit 12 Klassen vertreten, von denen jede eine oder zwei Ordnungen umfaßt. Metazoa wurden nur sehr vereinzelt gefunden, und ihre Zugehörigkeit zur Meereistümpelgemeinschaft ist nicht gesichert.

###### **Prokaryota**

Die prokaryotische Planktongemeinschaft umfaßte vorwiegend Kokken und Stäbchen (Tab. 13). Fädige Bakterien traten an zwei von zehn Stationen auf. Vibrionen, gestielte Bakterien und Cyanobakterien wurden nicht gefunden.

###### **Eukaryota: Phototrophe Protista**

Zu den in den Meereistümpeln gefundenen Algenklassen gehörten Chlamydo-phyceen und Prasinophyceen sowie eine Conjugatophyceae als Vertreter der Grünalgen (Chlorophyta); weiterhin Chrysophyceen und Cryptophyceen, Bacillariophyceen und Dinophyceen (photo- und heterotrophe Formen; Tab. 13). Daneben wurden verschiedene phototrophe Zellen beobachtet, die keiner der eben genannten Klassen eindeutig zugeordnet werden konnten und in der Kategorie "indet. phototrophe Zellen" geführt wurden. Hierzu gehörten coccale phototrophe Zellen  $< 5 \mu\text{m}$ , coccale phototrophe Zellen von  $5 - 20 \mu\text{m}$  Durchmesser, phototrophe Nanoflagellaten (PNAN: Zelllänge  $2-20 \mu\text{m}$ ) und Mikroflagellaten (PMIK: Zelllänge  $> 20 \mu\text{m}$ ) sowie sonstige phototrophe Zelltypen. Farblose Vertreter der Grünalgen wurden an Station 64 gefunden (siehe unter heterotrophen Protisten).

Innerhalb der Chlamydo-phyceen dominierten Vertreter der Ordnung der Chlamydomonadales mit den Gattungen *Chlamydomonas* und *Carteria* aus der Familie der Chlamydomonadaceae. An einzelnen Stationen und dort in wenigen Exemplaren wurden mit *Chloromonas* sp. (Station 9) und *Sphaerellopsis* cf. *alpina* (Station 63) weitere Vertreter dieser Familie beobachtet.

4 Ergebnisse

Tab. 13: Qualitative Zusammensetzung der mikrobiellen Planktongemeinschaften in Meer-eistümpeln und vergleichend untersuchten Gewässern. M = Meereistümpel; G = Gletschereistümpel; L = Landtümpel/-see; PNAN, HNAN = photo- bzw. heterotrophe Nanoflagellaten (<20 µm); PMIK, HMIK = photo- bzw. heterotrophe Mikroflagellaten (>20 µm). \*: Zoomastigophorea ohne heterotrophe Dino- und Euglenophyceae; \*\*: Metazoa in Meereistümpeln nur je 1 Individuum beobachtet

FUND-ORT	TAXON	Namenszusatz
M, G, L	<b>PROKARYOTA</b>	
M, G, L	<b>SCHIZOMYCETES</b>	
M, G, L	Kokken	
M, G, L	Stäbchen	
M, L	fädige Bakt. >> 3µm Länge	
L	gestielte Bakterien	
L	<i>Caulobacter</i> sp.	
L	Cyanophyceae	
M, G, L	<b>EUKARYOTA: PROTISTA</b>	
M, G	<b>CHLAMYDOPHYCEAE</b>	ETTL 1981
M, G	<b>Chlamydomonadales</b>	FRITSCH IN G. S. WEST 1927
M, G	<b>Chlamydomonadaceae</b>	G. M. SMITH 1920
M, G	<i>Chlamydomonas</i> sp.	EHRENBERG 1833
M	<i>Chloromonas</i> sp.	GOBI 1899/1900 EMEND. WILLE 1903
M	<i>Carteria</i> spp.	DIESING 1866 EM. FRANCÉ 1893
M	<i>Sphaerellopsis</i> cf. <i>alpina</i>	PASCHER ET JAHODA 1928
M	<b>andere Chlamydomonadales</b>	
M	cf. <i>Carteria/Foriella</i>	G. M. SMITH 1920/PASCHER 1927
M	runde Akineten (cf. <i>Carteria</i> )	
M, G	sonstige Akineten	
L	<b>Volvocales</b>	OLTMANN 1904
L	<b>Volvocaceae</b>	COHN 1856
L	<i>Pandorina</i> sp.	BORY 1824
L	<i>Eudorina</i> sp.	EHRENBERG 1831
M, L	<b>CONJUGATOPHYCEAE</b>	EHRENBERG 1831
M	<i>Ancylonema nordenskiöldii</i>	BERGGREN 1871
L	<i>Closterium</i> sp.	NITZSCH 1817 ex RALFS 1848
M, L	<b>PRASINOPHYCEAE</b>	CHAEFAUD 1950
M	<b>Polyblepharidales</b>	KORSCHIKOFF 1938
M	<b>Polyblepharidaceae</b>	(BLACKMAN ET TANSLEY) OLTMANN 1904
M	<i>Pyramimonas</i> sp.	SCHMARD 1850
L	<b>Tetraselmiales</b>	ETTL 1983
L	<b>Tetraselmidaceae</b>	CHRISTENSEN 1967
L	<i>Tetraselmis</i> sp.	STEIN 1878
M	<b>sonstige Prasinophyceae</b>	
M, L	<b>CHRYSOPHYCEAE</b>	STARMACH 1985
M, L	<b>Ochromonadales</b>	BOURRELLY 1957
M, L	<b>Dinobryonaceae</b>	EHRENBERG 1838
M	<i>Dinobryon faculiferum</i>	(WILLÉN) WILLÉN 1992
M	<i>Dinobryon stokesii</i>	LEMMERMANN IN STARMACH 1985
M	<i>Chrysolykos angulatus</i>	(WILLÉN) NAUWERCK 1979
L	<i>Dinobryon sociale</i>	EHRENBERG IN STARMACH 1985
L	<i>Epipyxis utriculus</i>	EHRENBERG 1838
L	<i>Epipyxis alaskana</i>	HILLIARD & ASMUND 1963
L	<i>Epipyxis</i> cf. <i>kawaiensis</i>	HILLIARD & ASMUND 1963
L	<i>Epipyxis thamnoides</i> sp. nov.	IKÄVALKO, THOMSEN & CARSTENS 1998
L	<i>Pseudokephyron peculiariforme</i> sp. nov.	IKÄVALKO; THOMSEN & CARSTENS 1998

4.2 Meereisümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 13 ff.

FUND-ORT	TAXON	Namenszusatz
L	<b>Synuraceae</b>	LEMMERMANN 1899
L	<i>Polylepidomonas vacuolata</i>	(THOMSEN) PREISIG & HIBBERD 1983
L	<i>Spiniferomonas abei</i>	TAKAHASHI 1973
L	<i>Mallomonas alpina</i>	RUTTNER IN PASCHER 1913
L	<i>Mallomonas striata</i>	ASMUND 1968
L	<i>Paraphysomonas vestita</i>	(STOKES) DE SAEDELEER 1929
L	<i>Paraphysomonas imperforata</i>	LUCAS 1967
M	<b>Chromulinales</b>	PASCHER 1913
M	<b>Bicosoecaceae</b>	CLARK 1868
M, L	<i>Bicosoeca</i> spp.	J. CLARK 1868
L	<b>EUGLENOPHYCEAE/EUGLENIDA</b>	PASCHER 1931/BÜTSCHLI 1884
L	heterotroph, diverse	
M, L	<b>CRYPTOPHYCEAE</b>	CHRISTENSEN 1962
M, L	diverse	
M, G, L	<b>Indet. phototrophe Zellen</b>	
M, G, L	coccale Zellen <5 µm	
M, L	coccale Zellen 5-20 µm	
M, G, L	PNAN, diverse	
M, G	PNAN, Typ A	
M	PMIK, diverse	
M, G	sonstige phototrophe Zellen	
M	<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>	DANGEARD 1933
M, L	<b>Pennales</b>	KARSTEN 1928
M	<b>Bacillariaceae</b>	EHRENBERG 1840
M	<i>Nitzschia frigida</i>	GRUNOW IN CLEVE ET GRUNOW 1880
M	<i>Nitzschia</i> spp.	HASS. 1845 NOM. CONS.
L	<b>Naviculaceae</b>	KÜTZ. 1844
L	cf. <i>Navicula</i> spp.	BORY DE ST. VINCENT 1824
L	<b>Diatomaceae</b>	DUMORTIER 1823
L	cf. <i>Fragilaria</i> spp.	LYNGB. 1819
M	<b>Centrales</b>	KARSTEN 1928
M	<b>Biddulphiaceae</b>	KÜTZ. 1844 ORTH. MUT. DE TONI 1891
M	<i>Attheya septentrionale</i>	(OESTRUP) CRAWFORD
M	<b>Melosiraceae</b>	KÜTZ. 1844
M	<i>Melosira arctica</i>	(EHRENBERG 1854) DICKIE IN PRITCHARD 1861
M	<b>nadelförmige Bacillariophyceae</b>	
M, L	<b>DINOPHYCEAE/DINOFLLAGELLIDA</b>	FRITSCH 1929/BÜTSCHLI 1885
M, L	<b>Peridinales</b>	SCHÜTT 1896
M	<i>Gymnodinium</i> sp.	STEIN 1878
L	<i>Peridinium</i> sp.	EHRENBERG 1832
M, L	<b>div. phototrophe Dinophyceae</b>	
M	Dinoflagellat Typ A, phototroph	
M, L	<b>div. heterotrophe Dinoflagellida</b>	
M	Dinoflagellat Typ B, heterotroph (cf. <i>Cochlodinium</i> sp.)	
M, L	<b>CILIOPHORA</b>	DOFLEIN 1901
M, L	<b>SPIROTRICHEA</b>	BÜTSCHLI 1889
M	<b>Oligotrichida</b>	BÜTSCHLI 1887
M	<b>Strombidiidae</b>	FAURÉ-FREMIET 1970
M	<i>Strombidium</i> spp.	CLAPARÈDE & LACHMANN 1859
M	<b>andere Oligotrichida</b>	

Tab. 13 ff.

FUND-ORT	TAXON	Namenszusatz
M	Choreotrichida	SMALL & LYNN 1985
M	Strobilidiidae	KAHL IN DOFLEIN & REICHENOW 1929
M	<i>Rimostrombidium</i> sp.	JANKOWSKI 1978
M	Metacyclidae	KOFOID & CAMPBELL 1929
M	<i>Cymatocylis</i> sp.	LAACKMANN 1910
M, L	div. Oligo- o. Choreotrichida	
M	cf. <i>Lohmanniella/Leegaardiella</i>	LEEGAARD 1915/LYNN & MONTAGNES 1988
M	LITOSTOMATEA	SMALL & LYNN 1981
M	Haptorida	CORLISS 1974
M	Didiniidae	POCHE 1913
M	<i>Didinium</i> sp.	STEIN 1859
M	Lacrymariidae	DE FROMENTEL 1876
M	<i>Lacrymaria</i> sp.	BORY DE ST. VINCENT 1826
M	Mesodiniidae	JANKOWSKI IN SMALL & LYNN 1985
M	<i>Myrionecta rubra</i>	(LOHMANN 1908) JANKOWSKI 1976
M	Sonstige Ciliophora	
L	SARCOMASTIGOPHORA	HONIGBERG & BALAMUTH 1963
L	LOBOSEA	CARPENTER 1861
L	Gymnamoebia	HAECKEL 1862
L	Testacealobosia	DE SAEDELEER 1934
L	HELIOZOEAE	HAECKEL 1866
L	diverse	
M, G, L	ZOOMASTIGOPHOREA*	CALKINS IN LEADBEATER 1985
M, G, L	HNAN	
M, G	HMIK	
L	Choanoflagellida	KENT 1880
M	Protista incertae sedis	sensu VOERS 1992
M	<i>Cryothecomonas</i> sp.	THOMSEN, BUCK, BOLT & GARRISON 1990
M, L	Andere heterotrophe Eukaryota	
M	zylindrische Zellen ("Propagules")	
M, G	runde Zellen	
M	ovale Zellen	
M, G	spindelförmige Zellen	
M	Ruhestadien	
M, G, L	sonstige Zellen	
M	FUNGI	HUDSON 1986
M	Fungi incertae sedis	
M	Schneepilze	sensu KOL 1968
M	<i>Chionaster bicornis</i>	KOL 1942
M**, L	EUKARYOTA: METAZOA	
M**, L	CRUSTACEA	
M**	COPEPODA	
L	Nauplii	
M**	CHELICERATA	
M**	ACARI	

Zellen der Gattung *Chlamydomonas* wurden an vier Stationen gefunden. An den Stationen 9, 12 und 13 traten vorwiegend geißellose, ovale Zellen mit topfförmigem Chloroplasten, basalem Pyrenoid und einer kräftigen glatten, dem Protoplasten eng anliegenden Zellwand auf (Tafel 1). Diese Zellen sind wahrscheinlich der Art *Chlamydomonas nivalis* zuzuordnen. An Station 63 trat ein anderer Zelltyp dieser Gattung auf, der sich durch eine rundere Zellform und die Ausstattung mit zwei mehr als körperlangen Geißeln vom eben beschriebenen Typus unterschied. Eine Papille wurde bei keinem dieser beiden Zelltypen beobachtet.

Die typischen runden, viergeißeligen Zellen der Gattung *Carteria* traten an vier anderen Stationen (Stationen 8, 13, 27, 45) sowie ebenfalls an Station 63 auf. Der häufig vorkommende Zelltypus dieser Gattung (*Carteria* sp. A) war durch einen topfförmigen Chloroplasten mit basalem Pyrenoid, einen unauffälligen Zellkern und eine dem Protoplasten eng anliegende Zellwand charakterisiert; die apikal inserierenden Geißeln waren etwas mehr als körperlang; eine Papille war nicht zu erkennen. An Station 45 traten daneben zwei weitere Zelltypen auf. Der eine unterschied sich vom eben beschriebenen Typus nur durch die abstehende Zellwand und das Vorhandensein einer winzigen, knopfartigen Papille (*Carteria* sp. B). Der andere Typus unterschied sich vom ersten durch den im oberen Zelldrittel gelegenen, relativ großen Zellkern (*Carteria* sp. C). Diese drei Zelltypen wurden als *Carteria* spp. zusammengefaßt (Tafel 1).

An Station 27 trat ein weiterer Zelltyp auf, der sowohl Merkmale der Gattung *Carteria* (vier etwas mehr als körperlange Geißeln, topfförmiger Chloroplast mit basalem Pyrenoid) als auch der Gattung *Fortiella* aus der Familie der Phacotaceae innerhalb der Chlamydomonadales trug (insbesondere die unregelmäßige, warzige oder mit Auflagerungen versehene Zellwandoberfläche sowie der relativ große, im oberen Zelldrittel gelegene Zellkern). Er konnte nicht näher eingeordnet werden. Dieser Zelltyp wurde ebenfalls zu den Chlamydomonadales gestellt und wird im folgenden als cf. *Carteria/Fortiella* bezeichnet (Tafeln 1, 3). Es wurden Zellen dieses Typs mit 2x4 Geißeln beobachtet, vermutlich handelte es sich dabei um Teilungsstadien.

An den Stationen 63 und 79 waren runde, geißellose Zellen vertreten, die morphologisch *Carteria* sp. A ähnelten (topfförmiger Chloroplast mit basalem Pyrenoid, unauffälliger Zellkern, nicht abgehobene Zellwand). Da aufgrund der fehlenden Begeißelung keine nähere Einordnung möglich war, wurden sie zu den Chlamydomonadales gestellt. Ebenfalls zu dieser Ordnung wurden die an Station 64 auftretenden viergeißeligen, eiförmigen Zellen mit einem auffälligen, großen Kern und Nucleolus gestellt. Der Kern lag unter den Geißelbasen (Tafel 3, Nr. 5), die isokonten Geißeln waren mehr als körperlang. Dieser Zelltyp war teils ohne, teils



mit einer Hülle zu beobachten, die mit Ausnahme der Geißelregion weit vom übrigen Zellkörper abstand. Eine kleine Papille sowie ein basales Pyrenoid im topfförmigen Chloroplasten waren vorhanden.

Vertreter der Volvocales sensu Oltmanns (1904) wurden in den Meereistümpeln im Gegensatz zu den Landtümpeln nicht beobachtet.

Prasinophyceen traten an zwei Stationen auf. Ein Vertreter der Gattung *Pyramimonas* wurde an den Stationen 45 und 64 gefunden (Tafeln 1, 3). Die Zellen waren verkehrt pyramidal geformt mit stumpfem Hinterende. Die vier etwa körperlangen Geißeln inserierten in einer apikalen Vertiefung. Das Wandstück des Chloroplasten bildete vier Lappen; der Zellkern lag seitlich. Eine Artbestimmung war auch elektronenmikroskopisch nicht möglich (J. Ikävälko, pers. Mitt.). An Station 64 wurde daneben vereinzelt auch ein anderer umgekehrt pyramidal geformter Zelltyp mit vier kürzeren Geißeln gefunden (o. Abb.), der sich weder der Gattung *Pyramimonas* noch *Tetraselmis* eindeutig zuordnen ließ und daher in der Kategorie "sonstige Prasinophyceae" geführt wurde.

Die zu den Conjugatophyceae gehörende Schneeealge *Ancylonema nordenskiöldii* trat sehr vereinzelt an Station 9 auf.

Chrysophyceae wurden an fünf Stationen gefunden, an einer weiteren Station wurden leere Gehäuse beobachtet. In allen Fällen handelte es sich um solitäre, Gehäuse tragende Formen aus der Unterklasse der Heterochrysophycidae (Tafel 3). Es dominierten Vertreter der Dinobryonaceae aus der Ordnung der Ochromonadales. Die häufigste Art war *Chrysolykos angulatus*, die an den Stationen 27, 45, 63, 64 und 79 gefunden wurde. Die Abmessungen der Lorica betragen zwischen 19 und 34  $\mu\text{m}$  Länge (Halsmündung bis Scheitel) und zwischen 4,2 und 7  $\mu\text{m}$  Breite (Hals). Gelegentlich wurden der Gehäusemündung aufsitzende, kugelige Parthenosporen beobachtet. Daneben trat *Dinobryon faculiferum* häufiger auf (Stationen 63 und 64). An Station 9 wurden darüber hinaus leere Gehäuse beider Arten gefunden. *Dinobryon* cf. *stokesii* wurde vereinzelt an Station 64 beobachtet. Daneben war mit *Bicosoeca* sp. an Station 63 ein Vertreter der Bicosoecaceae aus der Ordnung der Chromulinales vertreten.

Haptophyceen und Euglenophyceen wurden in den zehn näher untersuchten Meereistümpeln im Gegensatz zu den Landtümpeln nicht beobachtet. Cryptophyceen wurden an den Stationen 63 und 64 gefunden, eine nähere Bestimmung erfolgte nicht.

Weiterhin traten in den Meereistümpeln als "coccale phototrophe Zellen  $< 5 \mu\text{m}$ " zusammengefaßte kugelige Zellen mit einem mittleren Durchmesser von  $2,5 \mu\text{m}$  (Spannweite  $1,3 - 4,8 \mu\text{m}$ ) auf. Die kleineren Zellen wiesen eine sehr schwache Chlorophyllfluoreszenz auf; in den ca.  $4 \mu\text{m}$  großen Zellen waren im epifluoreszenzmikroskopischen Bild außer dem Kern auch der Chloroplast und eine als deckelähnlich wahrgenommene Struktur zu erkennen (Tafel 2). Die Zellen erinnerten an Chrysophyceenzysten (cf. Chrysostomaceae, vgl. Starmach 1985, S. 476), die auch als Archäomonaden bezeichnet werden (Stoecker et al. 1992). Sie konnten ohne zusätzliche elektronenmikroskopische Untersuchungen jedoch nicht eindeutig dort eingeordnet werden.

An den Stationen 9, 12 und 13 trat ein als phototropher Nanoflagellat (PNAN) Typ A bezeichneter Zelltyp der Größenklasse  $5-20 \mu\text{m}$  auf. Er zeichnete sich durch eine spindelähnliche Form mit abgerundeten Enden, einen apikal gelegenen Zellkern und eine schwache Chlorophyll-Autofluoreszenz in der Zellmitte aus (Tafel 2). Die Körperoberfläche erschien im epifluoreszenzmikroskopischen Bild leicht schuppig. Gelegentlich waren 2 etwa körperlange Geißeln zu beobachten, die meisten Zellen waren jedoch geißellos. Die PNAN des Typs A hatten eine mittlere Größe von  $17,1 \times 8,2 \mu\text{m}$ . In verschiedenen Merkmalen (Zellform; Anzahl, Länge und Vorkommen der Geißeln, Lage des Zellkerns), jedoch nicht in allen (Größe, evtl. leicht schuppige Körperoberfläche) bestehen Ähnlichkeiten zur Beschreibung von *Chlamydomonas yellowstonensis* in Kol (1968). Neben diesem Zelltyp traten in den Meereistümpeln andere phototrophe Nanoflagellaten (PNAN,  $2-20 \mu\text{m}$ ), phototrophe Mikroflagellaten (PMF,  $>20 \mu\text{m}$ ) und geißellose runde Zellen  $>5 \mu\text{m}$  sowie ovale oder sonstige phototrophe Zellen auf, die nicht näher eingeordnet werden konnten.

Leere Schalen von Bacillariophyceen sowie seneszente Zellen ohne Chlorophyll-Autofluoreszenz wurden mit Ausnahme der Station 13 in allen Meereistümpeln gefunden (Beispiel s. Tafel 3). Es überwogen pennate Formen. Daneben wurden einige kurze, aus maximal 10 Einzelzellen bestehende Ketten zentrischer Diatomeen (*Melosira arctica*) beobachtet (Stationen 8, 9, 12, 15). An Station 27 traten leere und vergehende Zellen der zentrischen Diatomee *Attheya septentrionale* auf; im Bereich einer zum marinen Milieu hin durchgeschmolzenen Stelle (Schmelzloch) dieses Tümpels wurden auch lebende Zellen dieser Art mit Chlorophyll-Autofluoreszenz gefunden. Lebende Bacillariophyceen waren weiterhin an den Stationen 41, 63 und 64 vertreten, dabei dominierten pennate Diatomeen (u.a. *Nitzschia frigida*, *Nitzschia* spp.). An Station 64 wurden ebenfalls lebende Zellen von *Attheya septentrionale* beobachtet.

Phototrophe Dinophyceen und heterotrophe Dinoflagellida wurden außer an den Stationen 12, 13 und 15 regelmäßig gefunden, darunter unter anderem ein phototropher Vertreter der Gattung *Gymnodinium* (Tafel 4). Ein rundlicher phototropher Zelltyp (Dinoflagellat Typ A), der an Station 9 auftrat, steckte in einer häutigen, leicht warzigen Hülle (Tafeln 2, 4). Der Zelldurchmesser dieses möglicherweise encystierten Dinoflagellaten lag zwischen 35 und 118  $\mu\text{m}$ , das Abundanzmaximum befand sich jedoch in der Größenklasse 50 - 75  $\mu\text{m}$ . Die mittlere Zellgröße betrug 65,0 x 59,7  $\mu\text{m}$ . Nur wenige intakte Zellen wurden beobachtet; meistens lag dagegen die mit einer runden Öffnung versehene leere Hülle in unmittelbarer Nähe der Zellen, die dann einen unregelmäßigen, wie ausgefranst wirkenden Umriß aufwiesen. Der sehr große, randständige Zellkern nahm etwa ein Viertel bis zu einem Drittel des Zellvolumens ein und hatte eine manchmal bohnenförmige, häufiger aber unregelmäßige, zipflige, wie zusammengefaltet wirkende Form mit kondensierten Chromosomen (Dinokaryon). Der unterhalb des Kerns liegende Zellteil wies im Epifluoreszenzmikroskop bei Blauanregung eine diffuse Chlorophyll-Autofluoreszenz auf. Im Durchlicht waren keine weiteren Strukturen zu erkennen, die eine nähere taxonomische Einordnung ermöglicht hätten.

#### **Eukaryota: heterotrophe Protista**

Die in den Meereistümpeln gefundenen heterotrophen Zellen umfaßten neben den Dinoflagellida verschiedene Vertreter der Ciliophora und der Sarcostigophora (vorwiegend heterotrophe Nanoflagellaten HNAN), einen Vertreter der Protista incertae sedis (*Cryothecomonas* sp.), verschiedene nicht näher einzuordnende zylindrische, runde, ovale, spindelförmige und sonstige heterotrophe Zellen sowie einen Vertreter der Fungi.

Bei den Dinoflagellida fiel insbesondere in den Epifluoreszenzpräparaten der Stationen 27, 45, 63 und 79 ein ovaler Zelltyp mit einem langgezogenen, knorrig wirkenden Dinokaryon in der Zellmitte auf, der im folgenden als Dinoflagellat Typ B bezeichnet wird. Die mittlere Größe dieses Zelltyps, ermittelt an Station 45, betrug 36,5 x 26,2  $\mu\text{m}$ . Die Länge der Zellen variierte zwischen 21,3 und 52,7  $\mu\text{m}$ . Im durchlichtmikroskopischen Bild war seitlich gelegentlich eine blasenähnliche Ausstülpung zu erkennen (Tafel 4). Es handelte sich um einen Vertreter der Gattung *Cochlodinium* (Okolodkov, pers. Mitt.). Daneben traten weitere Dinoflagellaten auf. Gelegentlich wurden Hypnozygoten beobachtet.

*Strombidium* spp., Oligotrichida war die am häufigsten auftretende Ciliatengattung. Charakteristische Vertreter waren ein konischer (*Strombidium* sp. 1; Tafel 5) und ein kugeliges Zelltyp (*Strombidium* sp. 2; Tafel 5). Beide Zelltypen fielen in die Größenklasse 20 - 50  $\mu\text{m}$ ; der konische Typ erreichte darüber hinaus Zellängen

zwischen 60 und 75  $\mu\text{m}$ . Aus der Ordnung der Choreotrichida war *Rimostrombidium* spp. (Größenklasse 50-100  $\mu\text{m}$ ) sowie in der Größenklasse 20-50  $\mu\text{m}$  ein weiterer Zelltyp cf. *Rimostrombidium* sp. vertreten. Daneben traten andere Ciliaten mit offenem oder geschlossenem Wimpernkranz auf, die als Oligo-/Choreotrichida zusammengefaßt wurden, unter ihnen ein Typ, der zur Gattung *Lohmanniella* oder *Leegaardiella* gehören könnte (Tafel 3; Agatha, pers. Mitt.) und im folgenden als cf. *Lohmanniella/Leegaardiella* bezeichnet wird. Die Tintinnidae waren nur mit einem einzigen Vertreter, cf. *Cymatocylis* sp., in einem brackigen Meereistümpel (Station 56) zu finden. Daneben wurden Vertreter der Haptorida beobachtet, nämlich *Lacrymaria* sp. (Tafel 5), *Didinium* sp. sowie *Myrionecta rubra*, letztere ausschließlich in brackigen Meereistümpeln mit einer Salinität von 16 bzw. 22 (Stationen 56, 64). *Lacrymaria* sp. und *Didinium* sp. fielen vorwiegend in die Größenklasse 50 - 100  $\mu\text{m}$ , waren aber mit Zellängen bis zu 120  $\mu\text{m}$  die größten Protisten, die in den Meereistümpeln gefunden wurden. Vertreter anderer Ciliatengruppen waren sehr selten.

Sarcomastigophora: Vertreter der Gruppe der heterotrophen Nanoflagellaten (HNAN, 2-20  $\mu\text{m}$ ) waren in den Meereistümpeln regelmäßig anzutreffen, gelegentlich auch heterotrophe Mikroflagellaten (HMF, >20  $\mu\text{m}$ ). Unter den HNAN waren auch Leukoformen von Vertretern der Chlorophyta (Station 64, s. u.). Lobosea, Heliozoa und Choanoflagellida wurden im Gegensatz zum Landtümpel in den Meereistümpeln nicht beobachtet.

Unter den HNAN waren an Station 64 folgende auffällige zwei- und viergeißlige Zelltypen vertreten: (1) Ein zweigeißliger Flagellat mit isokonten, mehr als körperlangen Geißeln, die seitlich aus einer deutlich ausgeprägten Papille entspringen, mit "blasig" wirkendem Cytoplasma und einem großen, unterhalb der Geißelbasen gelegenen Zellkern mit großem Nucleolus (Tafel 2, Nr. 7; Tafel 3, Nr. 9). Aufgrund der Art der Geißelinsertion, der Lage und Größe des Zellkerns und der blasenförmigen Plasmaeinschlüsse wurde dieser Flagellat als *Cryothecomonas* sp., Protista *incertae sedis* bestimmt. (2) Ein zweigeißliger Flagellat mit isokonten, mehr als körperlangen Geißeln und "blasig" wirkendem Cytoplasma, jedoch ohne offensichtliche Papille und mit unauffälligem Zellkern (o. Abb.). Der "blasige" optische Eindruck könnte durch Stärkekörner hervorgerufen worden sein. Bei diesem Zelltyp könnte es sich um die farblose *Hyalidella* sp., Dunaliellales, Chlorophyceae handeln. *Polytoma* sp., Chlamydomonadales, Chlamydomonadales hat Arten mit und ohne Papille und käme daher auch in Betracht. Eine eindeutige Zuordnung zu einer dieser beiden Gattungen war nicht möglich. (3) Unter den viergeißligen Vertretern der HNAN fiel ein eiförmiger Zelltyp mit vier gleich langen, mehr als körperlangen Geißeln, einem nur leicht "blasig" wirkendem Cytoplasma und einem zentral gelegenen oder leicht nach hinten verschobenen, unauffälligen

Zellkern auf (Tafel 2, Nr. 8). Eine Papille konnte nicht eindeutig identifiziert werden. Bei diesem Zelltyp könnte es sich um *Polytomella* sp., Dunaliellales, Chlorophyceae (bei vorhandener Papille) oder aber um *Tetrateblepharis* sp., Chlamydomonadales, Chlamydomonadales, Chlamydomonadales, Chlamydomonadales handeln. Eine eindeutige Zuordnung war nicht möglich.

An den Stationen 12 und 13 wurde der "Schneepilz" (Kol 1968) *Chionaster bicornis* gefunden (Größenklasse 15-50  $\mu\text{m}$ ; mittlere Größe 30,4 x 2,7  $\mu\text{m}$ , ermittelt an Station 12; Tafel 2).

Zylindrische eukaryotische Zellen der Größenklasse 2-20  $\mu\text{m}$  wurden an den Stationen 12 und 13 beobachtet (Tafel 2). Ihre an Station 12 ermittelte mittlere Größe betrug 8,1 x 2,8  $\mu\text{m}$ . Diese Zellen hatten insbesondere wegen der optisch leeren Bereiche an beiden Zellpolen eine leichte Ähnlichkeit mit noch nicht ausgekeimten *Chionaster*-ähnlichen Zellen, daher die Arbeitsbezeichnung "Propagules". Charakteristische spindelförmige Zellen (Größenklasse 2 - 10  $\mu\text{m}$ , Tafel 2) traten an den Stationen 9, 12 und 13 auf. Ihre mittlere Größe betrug 4,7 x 2,2  $\mu\text{m}$  (ermittelt an Station 12).

Außer den eben beschriebenen Zelltypen wurden in den Meereistümpeln nicht näher bestimmbare geißellose runde, ovale oder sonstige heterotrophe Zellen gefunden. Bei ihnen handelte es sich teils um Ruhestadien (Hypnozygoten von Dinoflagellaten; stachelige, Morgenstern-artige Zysten), teils um Zellen, die in keine der bislang aufgeführten Gruppen einzuordnen waren.

Darüber hinaus traten im Probenmaterial der Stationen 9, 12, 13 und 15 zahlreiche amorphe Aggregate auf, in die zum Teil Zellen eingebettet waren. Häufig ragten aus den Aggregaten auch fädige oder stangenartige Strukturen heraus, die nur im Lichtmikroskop zu beobachten waren (s. Tafel 5); mit dem Fluoreszenzfarbstoff DAPI ließen sich diese Strukturen nicht anfärben. Sie wurden als Detritus angesehen. An Station 64 wurden zahlreiche Aggregate aus lebenden und toten pennaten Diatomeen gefunden.

#### **Eukaryota: Metazoa**

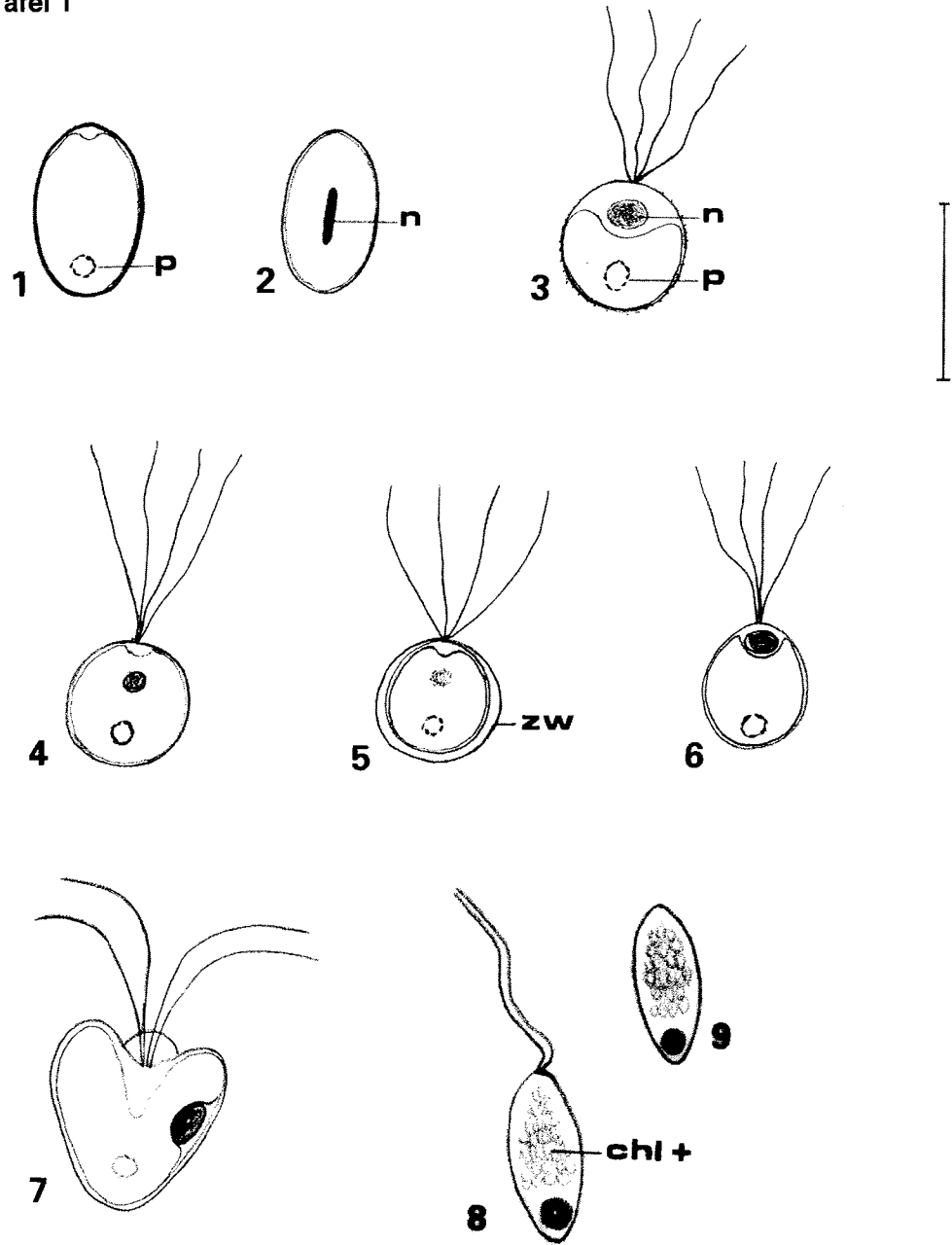
Bei der mikroskopischen Bearbeitung des Materials von Station 12 wurde als Einzelfund ein Vertreter der Acari beobachtet, während an Station 27, die über ein Schmelzloch mit dem marinen Milieu verbunden war, die Exuvie einer Crustaceenlarve gefunden wurde. Bei der Herstellung der Filter für die Chlorophyll- und POC-Bestimmung wurde an Station 56, die eine Salinität von 16 aufwies, ein Copepode gefunden (filtriertes Probenvolumen: 23 l).

### Tafel 1

**Der einmal abgebildete Maßstab gilt für alle Abbildungen, aber mit unterschiedlichen Vergrößerungen (siehe dazu die zugehörige Angabe).**

- 1: *Chlamydomonas* sp., lichtmikroskopischer Eindruck, Zellkern nicht zu erkennen, basales Pyrenoid (p); Zellen zwischen 15,2 und 44,5  $\mu\text{m}$  lang und 6,5 bis 36,6  $\mu\text{m}$  breit. Stationen 9, 12, 13. Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 2: *Chlamydomonas* sp., epifluoreszenzmikroskopischer Eindruck, Zellkern (n) länglich, Pyrenoid nicht zu erkennen; Zellgröße wie 1. Stationen 9, 12, 13. Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 3: cf. *Carteria/fortiella*, lichtmikroskopischer Eindruck, Zellwand mit warzenförmigen Aufsätzen, großer Zellkern im vorderen Zelldrittel, basales Pyrenoid; Zelldurchmesser zwischen 11,2 und 19,6  $\mu\text{m}$ . Station 27. Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 4: *Carteria* sp. A, lichtmikroskopischer Eindruck, Zellkern unauffällig, basales Pyrenoid; Zelldurchmesser zwischen 8,4 und 44,5  $\mu\text{m}$ . Stationen 8, 27, 45, 63. Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 5: *Carteria* sp. B, lichtmikroskopischer Eindruck, Zellkern unauffällig, basales Pyrenoid, vom Protoplasten abgehobene Zellwand (zw), knopfartige Papille; Zelldurchmesser zwischen 11,2 und 16,8  $\mu\text{m}$ . Station 45. Maßstab: Balken = 10  $\mu\text{m}$
- 6: *Carteria* sp. C, lichtmikroskopischer Eindruck, großer Zellkern im vorderen Zelldrittel unterhalb der Geißelbasen; Zelldurchmesser wie 5. Station 45. Maßstab: Balken = 10  $\mu\text{m}$
- 7: *Pyramimonas* sp., lichtmikroskopischer Eindruck, Zellkern seitlich, basales Pyrenoid; Zelldurchmesser zwischen 7,2 und 8,4  $\mu\text{m}$ . Station 64. Maßstab: Balken = 10  $\mu\text{m}$
- 8, 9: Phototropher Nanoflagellat (PNAN) Typ A, epifluoreszenzmikroskopischer Eindruck, Zellkern apikal bzw. bei Vorhandensein von Geißeln (vgl. 8) basal, kein Pyrenoid, im Zellinneren diffuse Chlorophyll-Autofluoreszenz (chl+) bei Blauanregung; Zellen zwischen 16,3 und 27,1  $\mu\text{m}$  lang und zwischen 5,8 und 12,6  $\mu\text{m}$  breit. Stationen 9, 12, 13 sowie 35 (Gletschereistümpel). Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$

Tafel 1



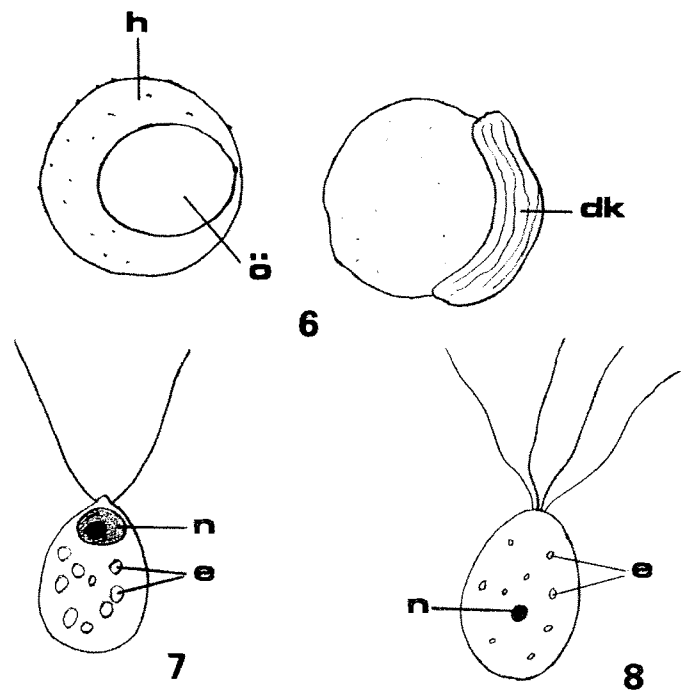
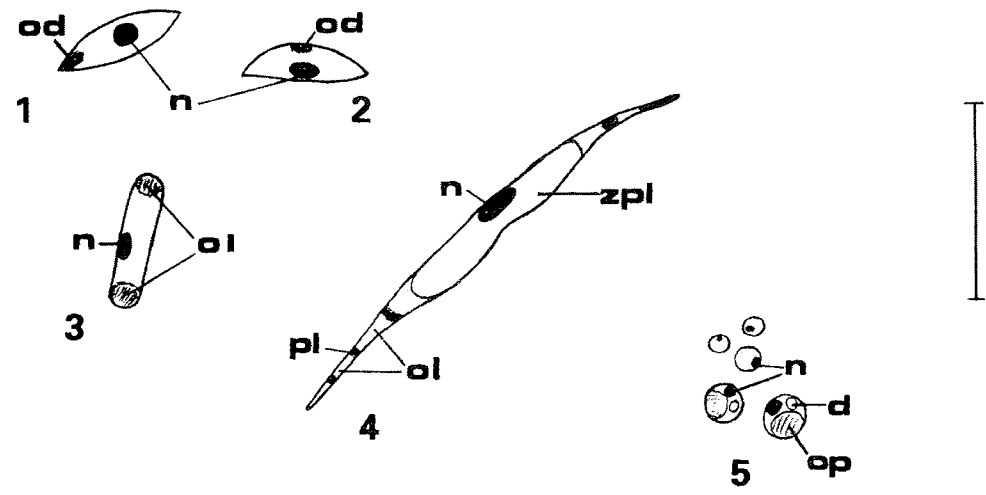
## Tafel 2

**Der einmal abgebildete Maßstab gilt für alle Abbildungen, aber mit unterschiedlichen Vergrößerungen (siehe dazu die zugehörige Angabe).**

- 1, 2: Spindelförmige Zellen, epifluoreszenzmikroskopischer Eindruck, unauffälliger Zellkern (n) in Zellmitte, optisch dichte Bereiche (od) in den Zellen, keine Chlorophyll-Autofluoreszenz; Zelllänge zwischen 2,2 und 8,6  $\mu\text{m}$ , Zellbreite zwischen 1,3 und 6,0  $\mu\text{m}$ . Stationen 9, 12, 13 sowie 35 (Gletschereistümpel). Maßstab: Balken = 7,5  $\mu\text{m}$
- 3: Zylindrische Zellen Typ "Propagules", epifluoreszenzmikroskopischer Eindruck, Zellkern (n) unauffällig, an den Zellpolen optisch leere Bereiche (ol), keine Chlorophyll-Autofluoreszenz; Zellen zwischen 2,9 und 21,6  $\mu\text{m}$  lang und zwischen 1,2 und 4,2  $\mu\text{m}$  breit. Stationen 12 und 13. Maßstab: Balken = 15  $\mu\text{m}$
- 4: "Schneepilz" *Chionaster bicornis*, epifluoreszenzmikroskopischer Eindruck, in den spitz zulaufenden Zellenden wechseln sich optisch leere (ol) Bereiche mit Plasmasträngen (pl) ab, Hauptmasse des Plasmas (zpl) in Zellmitte konzentriert (Aplanosporenbildung?); Zellen zwischen 17,6 und 46,7  $\mu\text{m}$  lang und zwischen 2,1 und 3,7  $\mu\text{m}$  breit. Stationen 12 und 13. Maßstab: Balken = 70  $\mu\text{m}$
- 5: Gruppe coccaler phototropher Zellen <5  $\mu\text{m}$ , epifluoreszenzmikroskopischer Eindruck, Zelldurchmesser 1,3 bis 4,8  $\mu\text{m}$  (Median 2,5  $\mu\text{m}$ ), größere Zellen mit Chloroplast (cp) und einer deckelähnlichen Struktur (d). Alle Stationen. Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 6: Dinoflagellat Typ A, lichtmikroskopischer Eindruck, Protoplast mit großem randständigen Dinokaryon (dk) liegt neben zugehöriger Hülle (h) mit warziger Oberfläche und großer Austrittsöffnung (ö), im Zellinneren schwache und diffuse Chlorophyll-Autofluoreszenz; Zellen zwischen 34,9 und 118,4  $\mu\text{m}$  lang und zwischen 28,1 und 88,1  $\mu\text{m}$  breit. Station 9. Maßstab: Balken = 50  $\mu\text{m}$
- 7: *Cryothecomonas* sp., lichtmikroskopischer Eindruck, Geißeln entspringen seitlich aus Papille, Zellkern (n) mit Nucleolus groß und unterhalb der Geißelbasen gelegen, Plasmaeinschlüsse (e) geben dem Cytoplasma "blasig" wirkendes Aussehen; Zelldurchmesser zwischen 7,0 und 9,8  $\mu\text{m}$ . Station 64. Maßstab: Balken = 10  $\mu\text{m}$
- 8: Indet. heterotropher Nanoflagellat (HNAN), lichtmikroskopischer Eindruck, 4 Geißeln, unauffälliger Zellkern (n) in Zellmitte oder etwas nach hinten verschoben, Cytoplasma durch Einschlüsse (e) leicht "blasig" wirkend, evtl. Leukoformen von Grünalgen (cf. *Polytomella/Tetrablepharis*); Zelldurchmesser zwischen 9 und 11  $\mu\text{m}$ . Station 64. Maßstab: Balken = 12  $\mu\text{m}$



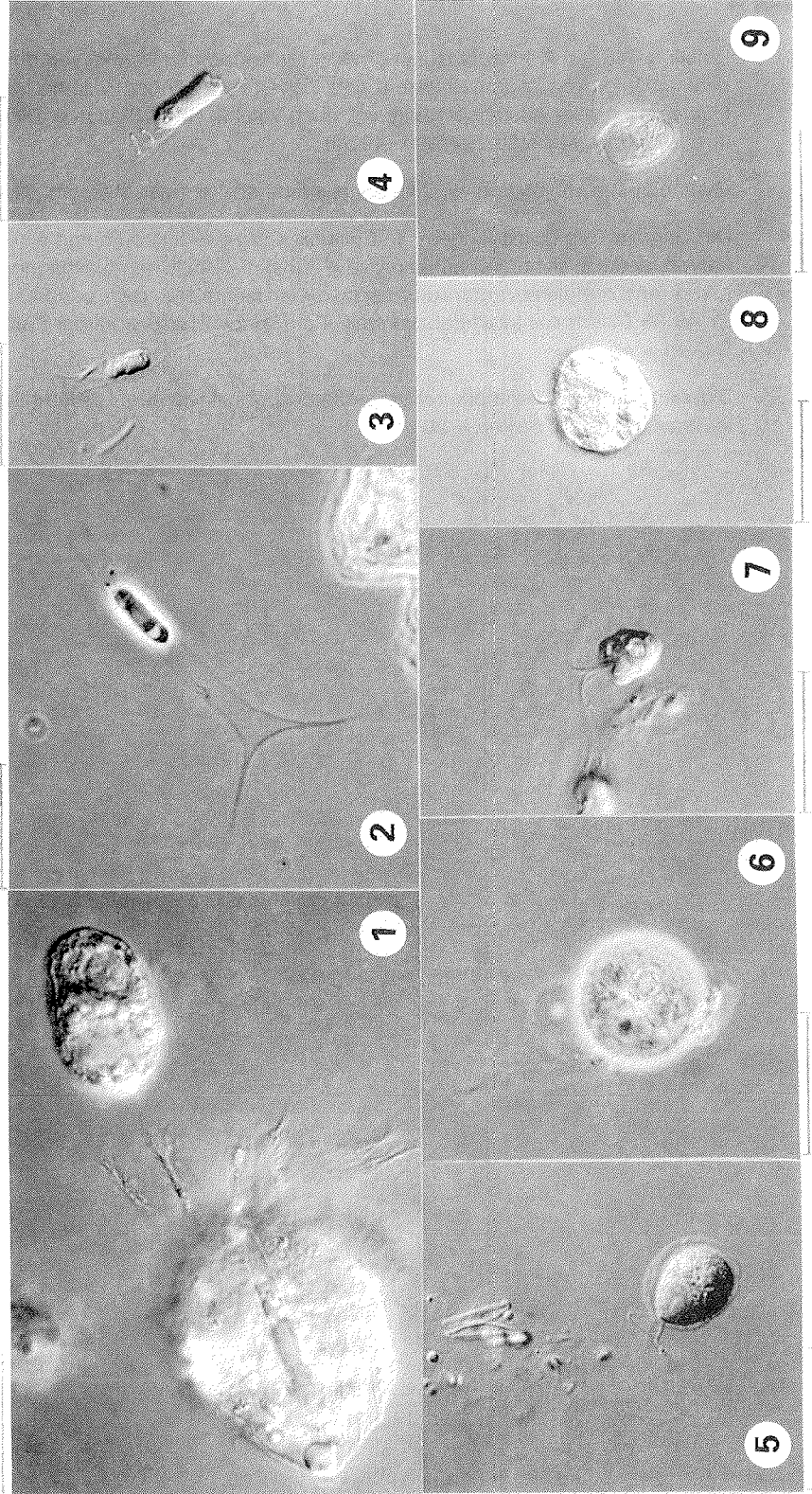
Tafel 2



**Tafel 3**

- 1: Ciliat (cf. *Lohmanniella/Leegaardiella*) mit ingestierter pennater Diatomee. Oben links im Bild indet. Dinoflagellat. Station 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 2: *Chrysolykos angulatus*. Stationen 27, 45, 63, 64, 79. Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 3: *Dinobryon faculiferum*. Stationen 63, 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 4: *Dinobryon stokesii*. Station 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 5: Indet. Vertreter der Chlamydrophyceae mit 4 Geißeln, abstehender Zellwand und basalem Pyrenoid. Zellkern und Nucleolus groß, unterhalb der Geißelbasen gelegen. In Bildmitte oben zwei leere Diatomeenschalen sowie drei coccale Zellen <5  $\mu\text{m}$ . Station 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 6: cf. *Carteria/Fortiella*, Zellwand mit warzenförmigen Aufsätzen, großer Zellkern im vorderen Zelldrittel, basales Pyrenoid; vgl. auch Tafel 1, Nr. 3. Station 27. Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 7: *Pyramimonas* sp.; vgl. auch Tafel 1, Nr. 7. Station 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 8: Indet. Dinoflagellat. Station 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 9: *Cryothecomonas* sp., zwei Geißeln entspringen seitlich aus Papille, Zellkern und Nucleolus groß, unterhalb der Geißelbasen gelegen, Cytoplasma durch Einschlüsse "blasig"; vgl. auch Tafel 2, Nr. 7. Station 64. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$

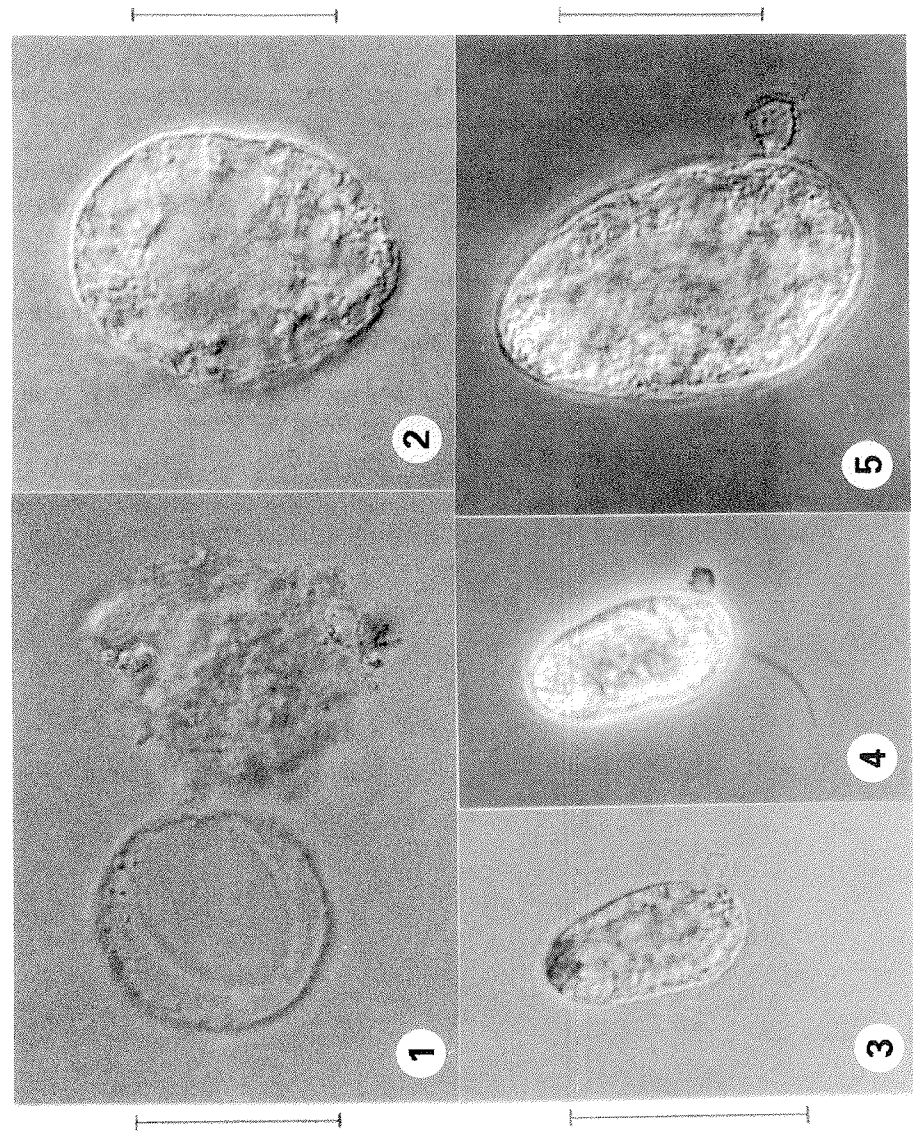
Tafel 3



**Tafel 4**

- 1: Dinoflagellat Typ A, Protoplast mit großem randständigen Dinokaryon und schwacher, diffuser Chlorophyll-Autofluoreszenz liegt neben zugehöriger Hülle mit warziger Oberfläche und großer Austrittsöffnung, vgl. auch Tafel 2, Nr. 6. Station 9. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 40  $\mu\text{m}$
- 2: Gymnodinium sp., Station 45. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$
- 3, 4: Dinoflagellat Typ B, mit langem, im Epifluoreszenzmikroskop knorrig wirkendem Dinokaryon, deutlich sichtbarer Längsgeißel (Foto 4) und seitlicher Ausstülpung, letztere bei mehreren Exemplaren, auch aus verschiedenen Meereistümpeln, beobachtet. Stationen 27, 45, 63. Differential-Interferenzkontrast (Foto 3) bzw. Phasenkontrast (Foto 4), Maßstab: Balken = 40  $\mu\text{m}$
- 5: Dinoflagellat Typ B bei stärkerer Vergrößerung, sonst wie oben. Differential-Interferenzkontrast, Maßstab: Balken = 20  $\mu\text{m}$

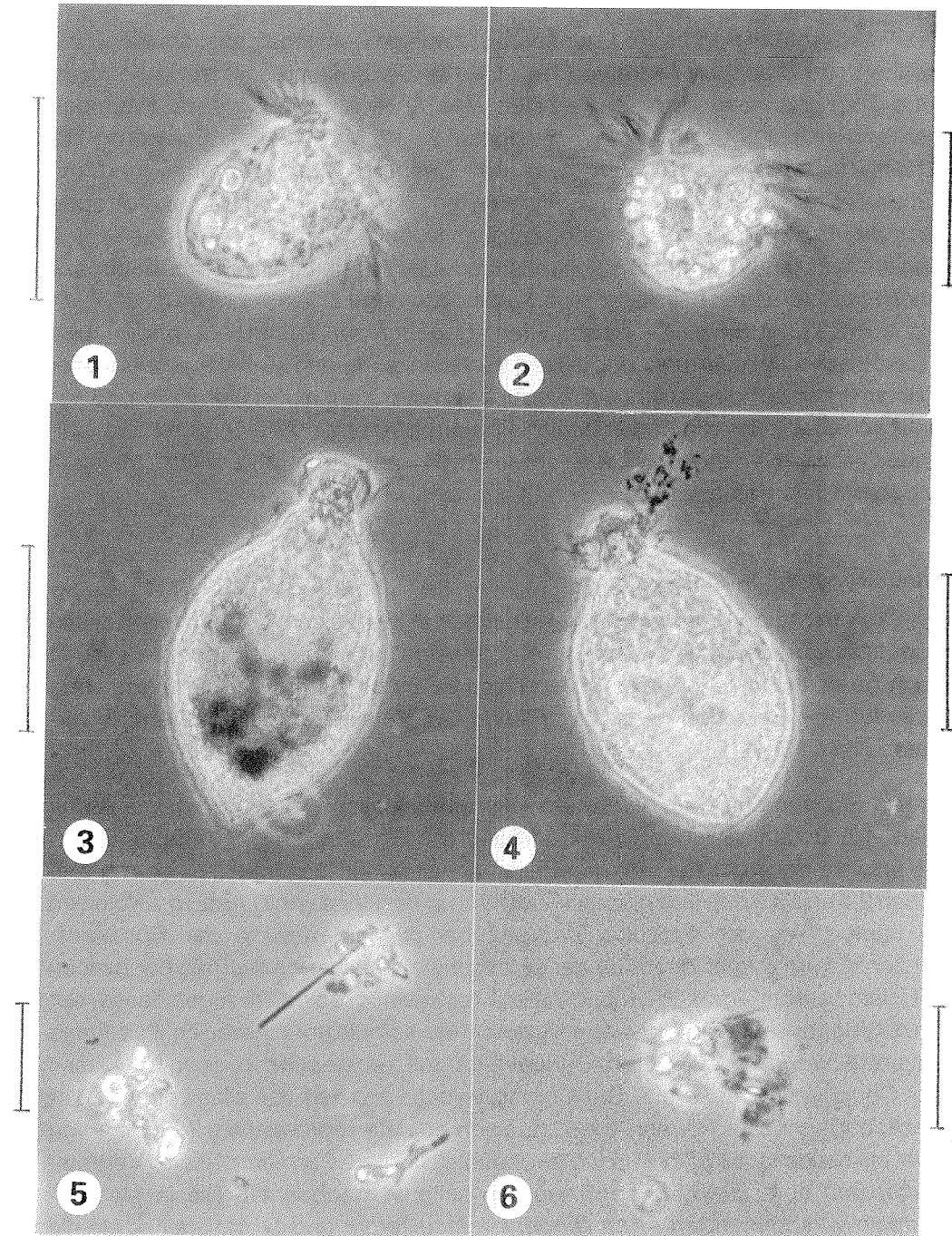
Tafel 4



**Tafel 5**

- 1: *Strombidium* sp. 1; Station 79 sowie ggf. an weiteren Stationen (bei der Zählung wurden alle Strombidien zu *Strombidium* spp. zusammengefaßt). Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 40 µm
- 2: *Strombidium* sp. 2; Makronukleus gut zu erkennen. Station 79 sowie ggf. an weiteren Stationen (bei der Zählung wurden alle Strombidien zu *Strombidium* spp. zusammengefaßt). Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 40 µm
- 3: *Lacrymaria* sp., im Zellkörper zahlreichen dunklen, Stercomata-ähnlichen Einschlüssen, evtl. Nahrungsvakuolen. Stationen 8, 27, 45, 64, 79. Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 40 µm
- 4: *Lacrymaria* sp., anderes Exemplar mit gut zu erkennendem Makronukleus. Dunkle Anhänge am rechten Vorderende der Zelle sind vermutlich ein Artefakt. Stationen 8, 27, 45, 64, 79. Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 40 µm
- 5: Amorphe Aggregate, rechts oben mit stangenähnlicher Struktur. Rechts unten im Bild nicht näher identifizierbares Objekt. Stationen 9, 12, 13, 15. Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 20 µm
- 6: Amorphes Aggregat, mit dünner, fadenartiger Struktur (Geißel?), evtl. Überreste einer Algenzelle. Stationen 9, 12, 13, 15. Phasenkontrast, Maßstab: Balken = 20 µm

Tafel 5



#### Vergleichsstationen

##### Gletschereisümpel (Station 35)

Die Prokaryota waren in der Gletschereisümpelgemeinschaft ausschließlich mit Kokken und Stäbchen vertreten (Tab. 13, 14). Die Zusammensetzung der phototrophen und heterotrophen Protisten wies Ähnlichkeiten zur Meereisümpelgemeinschaft insbesondere der Stationen 9, 12 und 13 auf. So waren die Chlamydomonadales mit Vertretern der Gattung *Chlamydomonas* und mit zahlreichen, vorwiegend tiefroten Akineten die dominierende phototrophe Gruppe. Auch zahlreiche dem phototrophen Nanoflagellaten (PNAN) des Typs A ähnelnde Zellen waren im Gletschereisümpel vertreten. Innerhalb der heterotrophen Protisten waren charakteristische spindelförmige Zellen von etwa  $3,3 \times 1,7 \mu\text{m}$  bis  $6,7 \times 3,3 \mu\text{m}$  Größe zu beobachten. Daneben waren andere photo- und heterotrophe coccale und begeißelte Protisten zu finden; Dinoflagellaten oder Ciliaten traten allerdings nicht auf. Die zahlreich vertretenen coccalen Zellen  $< 5 \mu\text{m}$  unterschieden sich von den coccalen Phototrophen (vgl. Tafel 2) durch die fehlende Chlorophyll-Autofluoreszenz sowie durch einen größeren Zellkern. Metazoa waren nicht vertreten.

##### Landtümpel Nr. 1 (Station 33)

Die Prokaryota der Landtümpelgemeinschaft setzten sich nicht nur aus Kokken und Stäbchen zusammen wie in den meisten Meereisümpeln, sondern es wurden auch gestielte Bakterien (*Caulobacter* sp.) sowie bis zu mehreren  $10 \mu\text{m}$  lange fadenförmige Bakterien gefunden. Fädige Cyanobakterien waren ebenfalls vertreten (Tab. 13, 14).

Unter den phototrophen Vertretern des eukaryotischen Landtümpelplanktons (Tab. 13) dominierten wie in den Meereisümpeln coccale phototrophe Zellen  $< 5 \mu\text{m}$ , die den dort gefundenen Zellen ähnelten. Ihr Durchmesser betrug zwischen  $2,8$  und  $3,3 \mu\text{m}$ . Ihre Anzahl schien sich in der Nähe von *Dinobryon*-Kolonien zu häufen, wie der optische Eindruck bei der Auswertung der Epifluoreszenzpräparate zeigte. Innerhalb der Chlorophyta dominierten die Prasinophyceen mit dem viergeißeligen Phytoflagellaten *Tetraselmis* sp.. Die Algenklasse der Chlamydomphyceae war vorwiegend durch die kolonialen Volvocales *Pandorina* sp. und *Eudorina* sp. vertreten. Daneben trat mit *Closterium* sp. auch die Klasse der Conjugatophyceae auf. Die Chrysophyceae wurden vor allem durch koloniebildende loricate Formen wie *Dinobryon sociale* repräsentiert. Kolonien von zwei bis sechs Individuen wurden beobachtet. Solitäre Formen loricate Vertreter (*Dinobryon* spp., *Epipyxis* spp.) wurden seltener beobachtet. Die in Meereisümpeln vorkommenden Arten *Dinobryon faculiferum* und *D. stokesii* sowie die



Gattung *Chrysolykos* waren im Plankton des Landtümpels nicht vertreten, stattdessen wurden noch verschiedene andere loricate sowie schuppentragende Arten der Chrysophyceen gefunden, darunter mit *Epipyxis thamnoides* und *Pseudokephyrion poculiforme* zwei neue loricate Arten (vgl. Ikävalko et al. 1996). Haptophyceen wurden wie auch in den Meereistümpeln nicht beobachtet, aber heterotrophe Euglenophyceen waren im Landtümpelplankton vertreten.

Die Diatomeenflora wurde von den Pennales dominiert; zentrale Formen wurden nicht beobachtet. In der kleineren Fraktion (ca.  $<50\ \mu\text{m}$ ) traten vorwiegend *Fragilaria*-artige Zellen auf, während Zellen des *Navicula*-Typs in der Fraktion  $>50\ \mu\text{m}$  häufig vorkamen. Die Zellen wirkten vital, was im Gegensatz zu den oft leeren Schalen in den Meereis-Süßwassertümpeln stand. Innerhalb der Dinophyceae dominierten *Peridinium*-ähnliche Formen; heterotrophe Dinoflagellida waren ebenfalls vertreten.

Unter den heterotrophen Nanoflagellaten war *Paraphysomonas* spp. sehr häufig, daneben traten auch andere Flagellaten auf, wie z. B. Choanoflagellida. Heliozoa waren relativ häufig vertreten, *Raphidiophrys* sp. und *Heterophrys* sp. waren abundante Vertreter. Daneben traten weitere Arten auf. Ciliophora waren mit oligo- oder choreotrichen Arten vertreten. Der in Meereistümpeln gefundene haptoride Ciliat *Lacrymaria* sp. wurde nicht beobachtet. Im Gegensatz zu den Meereistümpeln wurden im Landtümpel Testaceen sowie Schwimmformen von Gymnamoeben beobachtet. Andere Metazoa als Nauplien wurden in den Schöpfproben nicht gefunden. Daneben waren Kotballen  $<100\ \mu\text{m}$  vertreten.

#### *Schneeprobe und Eis aus dem Tümpelboden von Station 9*

Bei der Untersuchung einer Schneeprobe von Station 9 auf ihren Gehalt an Organismen  $>5\ \mu\text{m}$  wurden ausschließlich ovale Akineten  $>20\ \mu\text{m}$ , vermutlich *Chlamydomonas nivalis*, gefunden.

Die Organismenzusammensetzung einer Eisprobe aus dem Tümpelboden von Station 9 unterschied sich insbesondere durch das Auftreten zahlreicher Dauerstadien deutlich vom Meereistümpelwasser dieser und anderer Stationen. Auffällige Vertreter waren die ovalen, dickwandigen und mit Stacheln besetzten Hypnozygoten von Dinophyceen sowie die ebenfalls dickwandigen Ruhestadien von Grünalgen, die zum Teil wie in Palmellen in Gruppen zusammenlagen oder auch im Zweierverband auftraten. Ein charakteristischer Vertreter der Ruhestadien heterotropher Zellen war durch einen großen, unregelmäßig umgrenzten Zellkern gekennzeichnet. Der im Tümpelwasser von Station 9 beobachtete phototrophe Dinoflagellat des Typs A wurde ebenfalls im Eis aus dem Tümpelboden nachgewiesen, ebenso die charakteristischen coccalen phototrophen Zellen  $<5\ \mu\text{m}$  und  $<2\ \mu\text{m}$ .

#### 4.2.4.2 Gesamtabundanz und dominierende Taxa

##### Prokaryota

##### Meereistümpel

Bakterien waren in den Meereistümpeln mit Abundanz zwischen  $1,0 \times 10^7$  Zellen/l und  $16,5 \times 10^7$  Zellen/l vertreten (Median  $4,3 \times 10^7$  Zellen/l; Tab. 14; Abb. 30). Der Anteil der Kokken und Stäbchen an der Gesamtabundanz der Bakterien zeigte eine starke Variabilität: der Anteil der Kokken lag zwischen 98,1 % und 4,8 %, der Stäbchen entsprechend zwischen 1,9 % und 95,2 % (Tab. 15). Im Mittel waren 32,7 % der Bakterien stäbchenförmig. Fädige Bakterien wurden nur an den Stationen 45 und 64 beobachtet; ihre Anteile an der Gesamtabundanz der Bakterien lagen jeweils unter 1 %.

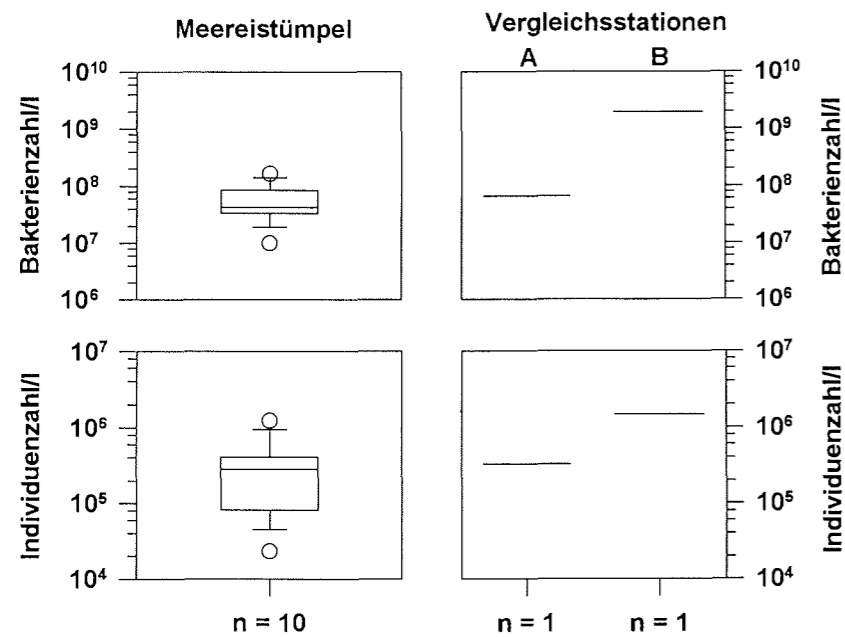


Abb. 30: Abundanz des prokaryotischen (oben) und des eukaryotischen (unten) Tümpelplanktons der Meereistümpel (Median aus 10 Stationen) und der Vergleichsstationen 35 (Gletschereistümpel, A) und 33 (Landtümpel, B); logarithmische Skalierung der Y-Achse

#### *Gletschereistümpel*

Im Gletschereistümpel (Station 35) betrug die Abundanz der Bakterien  $6,7 \times 10^7$  Zellen/l (Abb. 30). Die Abundanz und Zusammensetzung der Bakterien ähnelten den Meereistümpeln, wenn auch das Verhältnis von Kokken zu Stäbchen im Gletschereistümpel mit einem Anteil der Stäbchen von 5,9 % stark zugunsten der Kokken verschoben war (Tab. 15).

#### *Landtümpel*

Der Landtümpel zeigte mit  $196,0 \times 10^7$  Zellen/l eine deutlich höhere Bakterienabundanz als die Meereis- und der Gletschereistümpel (Abb. 30) und wies gleichzeitig deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Bakterien auf (Tab. 15). Im Landtümpel traten neben Kokken (80 %) und kurzen Stäbchen (14,5 %) auch Stäbchen  $>3 \mu\text{m}$  - hierunter das gestielte Bakterium *Caulobacter* sp. - und fädige Bakterien auf. Coccale Cyanobakterien wie z. B. *Synechococcus* sp. wurden im Gletschereis- wie auch im Landtümpel nicht beobachtet; im Landtümpel waren jedoch fädige Blaualgen in Abundanzen von  $1,7 \times 10^3$  Fäden/l (entsprechend  $<0,01$  %) vertreten.

### **Eukaryota**

#### *Meereistümpel*

Die Abundanzen der Protisten des Meereistümpelplanktons bewegten sich zwischen  $0,2 \times 10^5$  und  $12,2 \times 10^5$  Zellen/l mit einem Medianwert von  $2,8 \times 10^5$  Zellen/l (Abb. 30). Im Gegensatz zu den Prokaryota war keines der gefundenen Taxa der Eukaryota in allen untersuchten Meereistümpeln vertreten (Tab. 14). Für die eukaryotischen Meereistümpelbewohner läßt sich nach der Regelmäßigkeit ihres Vorkommens folgende Rangfolge beschreiben (ohne die Kategorie "sonstige Zellen"; Tab. 16.a; vgl. auch Tabellenanhang):

1. In 9 von 10 Meereistümpeln wurden coccale phototrophe Zellen  $<5 \mu\text{m}$  und Chlamydothyceen beobachtet. Die Coccalen  $<5 \mu\text{m}$  stellten dabei an drei Stationen (9, 13, 15) mit Anteilen zwischen 86,8 % und 92,4 % die dominierende eukaryotische Organismengruppe. An den übrigen sechs Stationen bildeten sie zwischen 32,9 % und 2,0 % der eukaryotischen Gemeinschaft. An Station 79 waren sie nicht vertreten. Die Chlamydothyceen erreichten maximale Anteile an der eukaryotischen Gemeinschaft von 37,8 % (Station 63) bzw. 15,7 % (Station 27). Ihr Anteil lag an den übrigen sechs Stationen zwischen 8,0 % und 0,4 %, an Station 15 wurden sie nicht beobachtet.

Tab. 14: Vorkommen der verschiedenen Taxa und Organismengruppen im Tümpelplankton von 10 Meereistümpeln, einem Gletschereistümpel (Station 3) einem Landtümpel (Station 33) sowie in einer Schneeprobe; Angabe der Abundanzen in exponentieller Schreibweise (E+07 entspricht "x10 hoch Anteile an der Population der Pro- bzw. Eukaryota wie folgt angegeben: +++++ Anteil von 50 % und mehr; +++: Anteil von 25 bis 50 %; ++: Anteil v 10 bis 25 %; +: Anteil von weniger als 10 %; -: nicht beobachtet; k. D. = keine Daten

TAXON	STATION (MEEREISTÜMPEL)										VERGLEICHSTATION		
	8	9	12	13	15	27	45	63	64	79	35	33	9 Schnee*
<b>BAKTERIEN</b>													
Kokken	++++	++++	++++	++++	++++	++++	+++	++	++++	+	++++	++++	k. D.
Stäbchen	+	++	+++	+++	+	++	++++	++++	+++	++++	+	++	k. D.
Cyanobakterien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	k. D.
Fäden >>3 µm Länge	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	k. D.
<b>SUMME PROKARYOTA [n/l]</b>	<b>4,59E+07</b>	<b>2,77E+07</b>	<b>4,39E+07</b>	<b>1,00E+07</b>	<b>3,36E+07</b>	<b>11,83E+07</b>	<b>5,54E+07</b>	<b>3,45E+07</b>	<b>8,39E+07</b>	<b>16,49E+07</b>	<b>6,71E+07</b>	<b>196,0E+07</b>	k. D.
<b>EUKARYOTA</b>													
Chlamydothyceae	+	+	+	+	-	++	+	+++	+	+	++	+	++++
Prasinophyceae	-	-	-	-	-	-	+	-	++	-	-	+	-
Chrysophyceae	-	(+)	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-
Haptophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euglenophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Cryptophyceae	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-
<b>Indet. phototrophe Zellen</b>													
coccale Zellen <5 µm	+++	++++	+	++++	++++	++	+	+	++	-	-	++++	k. D.
PNAN Typ A	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
div. runde o. ovale Z. >5 µm	+	-	+	+	+	+++	+	-	+	+	+	-	-
div. PNAN*	+++	+	-	-	-	++	+	++	++	+	+	+	-
div. PMF	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<b>Bacillariophyceae</b>	(+)	(+)	(+)	-	(+)	(+)	(+)	+	++	(+)	-	+	-

Forts. auf der nächsten Seite

Tab. 14. ff.

TAXON	STATION (MEEREISTUMPPEL)								VERGLEICHSTATION				
	8	9	12	13	15	27	45	63	64	79	35	33	9 Schnee*
<b>Dinophyceae/flagellida</b>													
div. phototrophe Dinophyceae	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-
div. heterotrophe Dinoflagellida	+	-	-	-	-	+	++	+	+	+	-	+	-
<b>Andere Algentypen</b>													
<b>Ciliophora</b>													
Oligotrichida: Strombidium spp.	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
div. Oligo-/Choreotrichida	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-
Haptorida	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-
Sonstige	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
<b>Sarcocystophora</b>													
Lobosea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Heliozoa: diverse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	+	-
Zoomastigophorea*: HNAN	++	-	+	-	++	+	++++	+	++	++++	+	+	-
Zoomastigophorea*: HMF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Zoomastigoph.: Choanoflagellida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>Protista incertae sedis</b>													
cf. Cryothecomonas sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<b>Andere heterotrophe Euk.</b>													
zylindrische Zellen ("Propagules")	-	-	++++	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
runde o. ovale Zellen	++	+	+	+	-	-	-	+	-	+	++	-	-
spindelförmige Zellen	-	+	++	+	-	-	-	-	-	-	+++	-	-
sonstige Zellen	+	+	-	+	+	+	+	++	+	+	+	+	-
<b>FUNGI</b>													
Chionaster cf. bicornis	-	-	++	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SUMME EUKARYOTA [n/l]</b>	0,72E+05	2,90E+05	7,70E+05	12,20E+05	0,83E+05	4,09E+05	2,73E+05	1,70E+05	3,31E+05	2,33E+04	3,30E+05	14,98E+05	0,05E+05
<b>SONSTIGE OBJEKTE</b>													
Aggregate	-	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	+	-	-	-	-
Fäden und "Stangen"	-	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-

(+): vorhanden, aber nicht lebend (insbes. Diatomeen, sonstige Objekte); Zoomastigophorea\*: ohne die heterotrophen Dinoflagellida und Euglenida  
 9 Schnee\*: für Zellen <5 µm und Bakterien keine Daten

#### 4.2 Meereisümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 15: Prozentuale Zusammensetzung des prokaryotischen Tümpelplanktons in Meereisümpeln (Medianwert aus 10 Stationen), einem Gletschereisümpel (Station 35) und einem Landtümpel (Station 33). \*: Fadenförmige Bakterien an Station 33 inkl. Cyanophyceae

Zelltyp	Anteil verschiedener Bakterientypen [%]				
	Meereisümpel			Gletschertümpel	Landtümpel
	Median (n=10)	Min.	Max.	Stat. 35 (n=1)	Stat. 33 (n=1)
Kokken	67,3	4,8	98,1	94,1	80,0
Stäbchen	32,7	1,9	95,2	5,9	14,5
Stäbchen >3 µm inkl. <i>Caulobacter sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
Bakt.fäden inkl. Cyanophyceae*	0,0	0,0	0,7	0,0	<0,01 0,5
<b>Summe [%]</b>	100,0			100,0	100,0
<b>Anzahl [n/l]</b>	4,3E+07			6,7E+07	196,4E+07

- Heterotrophe Nanoflagellaten (HNAN) kamen in 8 von 10 Meereisümpeln vor. Die HNAN bildeten an den Stationen 45 und 79 mit Anteilen von 70,8 % bzw. 64,5 % die dominierende Organismengruppe. An den übrigen sechs Stationen trugen sie zwischen 12,8 % und 0,5 % zur eukaryotischen Tümpelgemeinschaft bei. Ebenfalls in 8 Meereisümpeln vertreten waren runde bis ovale, nicht näher bestimmbare phototrophe Zellen >5 µm, die möglicherweise auch zu den Flagellaten gehören, aufgrund fehlender Geißeln diesen jedoch nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. Sie bildeten zwischen 35,4 % und 0,1 % der eukaryotischen Gemeinschaft.
- In 7 der 10 Meereisümpel traten phototrophe Nanoflagellaten (PNAN) auf. Sie bildeten zwischen 26,4 % und 0,2 % der eukaryotischen Gemeinschaft.
- Photo- und heterotrophe Dinoflagellaten (PDINO und HDINO), Ciliophora der Gattung *Strombidium* und die Gruppe der nicht näher bestimmbaren runden oder ovalen heterotrophen Zellen traten jeweils an 6 Stationen auf. Der Anteil der PDINO an der eukaryotischen Gemeinschaft lag zwischen 7,4 % und 0,3 %; HDINOs trugen zwischen 15,4 % und 0,3 % bei. Der Anteil der Strombidien lag zwischen 8,3 % und <0,1 %. Die runden/ovalen heterotrophen Zellen trugen Anteile zwischen 12,3 % und <0,1 % bei.
- Chrysophyceen, haptoride und andere Ciliophora (Oligo-/Choreotrichida) wurden in jeweils 5 von 10 Meereisümpeln gefunden. Der Anteil der Chrysophyceen (vorwiegend *Chrysolynos angulatus*) an der eukaryotischen Gemeinschaft betrug zwischen 4,4 % und 0,2 %. Der Anteil der neben

*Strombidium* spp. vorkommenden oligo-/choreotrichen Ciliophora lag zwischen 1,5 % und <0,1 %. Haptoride Ciliophora bildeten zwischen 0,4 % und <0,1 % der eukaryotischen Gemeinschaft.

Die übrigen in Tab. 14 aufgeführten Taxa traten mit Ausnahme des Taxons "sonstige heterotrophe Zellen" nur in 1 bis 3 Meereistümpeln auf. Von diesen Taxa sind aufgrund ihrer teilweise hohen Anteile von >10 % an der eukaryotischen Meereistümpelgemeinschaft hervorzuheben:

- Prasinophyceen, fast ausschließlich *Pyramimonas* sp., gefunden an den Stationen 45 und 64 mit einem Anteil an der jeweiligen eukaryotischen Gemeinschaft von 0,2 % bzw. 25,5 %;
- lebende Bacillariophyceen, vor allem pennate Formen, gefunden an den Stationen 63 und 64 mit Anteilen von 1,2 % bzw. 22,5 % an der eukaryotischen Gemeinschaft;
- zylindrische heterotrophe Zellen (Typ "Propagules", vgl. Tafel 2) waren mit einem Anteil von 61,6 % die dominierende Organismengruppe an Station 12, während sie an Station 13 noch 3,6 % ausmachten und an den übrigen Stationen nicht beobachtet wurden;
- nicht näher bestimmbare spindelförmige Zellen (vgl. Tafel 2) wurden an den Stationen 9, 12 und 13 gefunden und stellten zwischen 17,9 % und 2,9 % der eukaryotischen Gemeinschaft;
- Vertreter der Fungi repräsentierten an den Stationen 12 und 13 mit dem "Schneepilz" *Chionaster bicornis* 15,7 % bzw. 0,3 % der eukaryotischen Gemeinschaft.

Die übrigen Taxa (z. B. Cryptophyceen und nicht näher bestimmbare phototrophe Zellen, darunter der PNAN Typ A) machten zwischen 3,2 und <0,1 % des eukaryotischen Tümpelplanktons aus. "Sonstige heterotrophe Zellen" wurden an 9 der 10 Stationen beobachtet. Ihr Anteil an der eukaryotischen Gemeinschaft betrug zwischen 12,2 und 0,1 %.

Die Rangfolge verschiebt sich, wenn anstelle der Regelmäßigkeit ihres Vorkommens die mittleren Abundanzen der eukaryotischen Taxa als Kriterium für die Erstellung der Rangliste herangezogen werden (Tab. 16.b). Zwar besetzen auch bei dieser Betrachtungsweise coccale phototrophe Zellen <5  $\mu\text{m}$ , heterotrophe Nanoflagellaten und phototrophen Nanoflagellaten (Größenklasse 2 - 20  $\mu\text{m}$ ) die vorderen drei Ränge. Die Chlamydophyceen allerdings verlieren an Bedeutung und nehmen nach dieser Reihung Rang 4 ein, gefolgt von den runden bis ovalen

#### 4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Tab. 16: Rangliste des eukaryotischen Meereistümpelplanktons (a) nach der Regelmäßigkeit seines Vorkommens in 10 Meereistümpeln und (b) nach seiner mittleren Abundanz (Median aus n = 10 Stationen); die heterogene Gruppe "sonstige Zellen" wurde nicht mit berücksichtigt. Bei einer Abundanz von 0 wurde das Taxon in mindestens einem Tümpel nicht beobachtet. "E+04" steht für "x10<sup>4</sup>".

(a) Kriterium: Regelmäßigkeit des Vorkommens

Rang Nr.	Taxon	gefunden an x von 10 Stationen:	Max. Anteil an Gemeinschaft [%]	Anteil von mind. 50 % an x von 10 Stationen:	Anteil von mind. 25 % an x von 10 Stationen:
1	Coccale Phototrophe <5 µm	9	92,4	3	1
1	Chlamydothryx	9	37,8	-	1
2	HNAN, diverse	8	70,8	2	-
2	runde/ovale Phototrophe >5 µm	8	35,4	-	1
3	PNAN, diverse	7	26,4	-	1
4	HDINO, diverse	6	15,4	-	-
4	runde/ovale Heterotrophe	6	12,3	-	-
4	<i>Strombidium</i> spp.	6	8,3	-	-
4	PDino, diverse	6	7,4	-	-
5	Chrysophyceae	5	4,4	-	-
5	div. oligo-/choreotriche Ciliophora	5	1,5	-	-
5	haptoride Ciliophora	5	0,4	-	-

(b) Kriterium: Mittlere Abundanz (Median aus n = 10 Stationen)

Rang Nr.	Taxon	Abundanz [n x 10 <sup>3</sup> /l]		
		Median	Min.	Max.
1	Coccale Phototrophe <5 µm	34,2	0	1130,0
2	HNAN, diverse	9,49	0	193,0
3	PNAN, diverse	8,87	0	85,4
4	Chlamydothryx	4,49	0	64,2
5	runde/ovale Phototrophe >5 µm	2,15	0	144,0
6	HDINOs	0,64	0	41,9
7	PDINOs	0,53	0	23,5
8	runde/ovale Heterotrophe	0,18	0	8,5
9	<i>Strombidium</i> spp.	0,10	0	1,9
10	div. Oligo-/Choreotrichida	0,02	0	0,3

phototrophen Zellen >5 µm auf Rang 5. Aufgrund ihrer relativ geringen Abundanz sind Chrysophyceen und Haptorida, trotz ihres Vorkommens in 50 % der untersuchten Meereistümpel, im Gegensatz zu den photo- und heterotrophen Dinoflagellaten nicht mehr unter den 10 häufigsten Taxa zu finden.



Insgesamt bilden phototrophe Zellen einen mittleren Anteil von 80,1 % (Medianwert) an der Abundanz der Protisten, wobei der relative Anteil an den einzelnen Stationen zwischen 4,1 % und 93,1 % schwankt. Legt man anstelle des Medians den arithmetischen Mittelwert zugrunde, ergibt sich ein Anteil der Phototrophen an den Meereisümpel-Protisten von 65,3 %, wie in Abb. 31.a (oben) dargestellt. Dabei stellen die coccalen phototrophen Zellen  $<5\ \mu\text{m}$  einen Anteil von im Mittel 44,3 %. Die Verteilung der einzelnen Taxa auf die verbleibenden phototrophen und heterotrophen Protisten zeigen die Abb. 31.b und c. Aufgrund der hohen Abundanzen der Prasinophyceen und Bacillariophyceen an Station 64 ( $8,5 \times 10^4$  bzw.  $7,6 \times 10^3$  Zellen/l) erreichen diese Taxa trotz ihres Vorkommens an maximal zwei Stationen einen mittleren Anteil von 11,1 % (Prasinophyceen) bzw. 10 % (Bacillariophyceen) an der Summe der verbleibenden phototrophen Taxa (Abb. 31.b). Durch die Art der Darstellung ist auch der hohe mittlere Anteil der zylindrischen Zellen ("Propagules") von 58,1 % an der Gesamtabundanz der heterotrophen Protisten zu erklären (Abb. 31.c). Diese nicht näher bestimmbareren Zellen traten an nur zwei Stationen auf, dort jedoch mit Abundanzen von  $4,4 \times 10^4$  bzw.  $4,7 \times 10^5$  Zellen/l.

#### *Gletschereisümpel*

Die Abundanz des eukaryotischen Gletschereisümpelplanktons von Station 35 lag mit  $3,3 \times 10^5$  Zellen/l nahe dem Medianwert der Meereisümpelabundanzen (Abb. 30). Es dominierten spindelförmige heterotrophe Zellen (Anteil  $>25\%$ ), gefolgt von runden bis ovalen heterotrophen Zellen (darunter vorwiegend Zellen  $<5\ \mu\text{m}$ ) und Chlamydophyceen (Anteile je  $>10\%$ ; Tab. 14). Weitere Komponenten mit Anteilen von jeweils  $<10\%$  an der Gemeinschaft waren phototrophe Nano-flagellaten (PNAN) des Typs A, die auch in Meereisümpeln beobachtet wurden, runde phototrophe Zellen  $>5\ \mu\text{m}$  sowie heterotrophe Nano- und Mikroflagellaten (HNAN/HMF).

Anders als in den Meereisümpeln wurden beinahe 75 % der Eukaryota von heterotrophen Zellen gebildet, während coccale phototrophe Zellen  $<5\ \mu\text{m}$  fehlten (Abb. 31.a). Mehr als die Hälfte der "anderen phototrophen Zellen" bestand aus Chlamydophyceen (ovale Akineten), während PNAN des Typs A etwa ein Fünftel dieser Gruppe stellten (Abb. 31.b). Die verbleibenden 23,4 % der Phototrophen wurden von PNAN und sonstigen phototrophen Zellen gebildet. Innerhalb der heterotrophen Protisten dominierten spindelförmige Zellen mit einem Anteil von 57 % (Abb. 31.c). Die Kategorie "runde/ovale heterotrophe Zellen" bestand an dieser Station ausschließlich aus coccalen Zellen  $<5\ \mu\text{m}$  und stellte 32,2 % der heterotrophen Protisten. Daneben waren noch HNAN/HMF mit einem Anteil von 10,6 % sowie sonstige heterotrophe Zellen (0,1 %) vertreten.

4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Abb. 31.a: Zusammensetzung der Protista im Plankton der Meereistümpel (n = 10; berechnet auf Basis der arithmetische Mittelwerte), eines Gletschereistümpels (Station 35) und eines Landtümpels (Station 33)

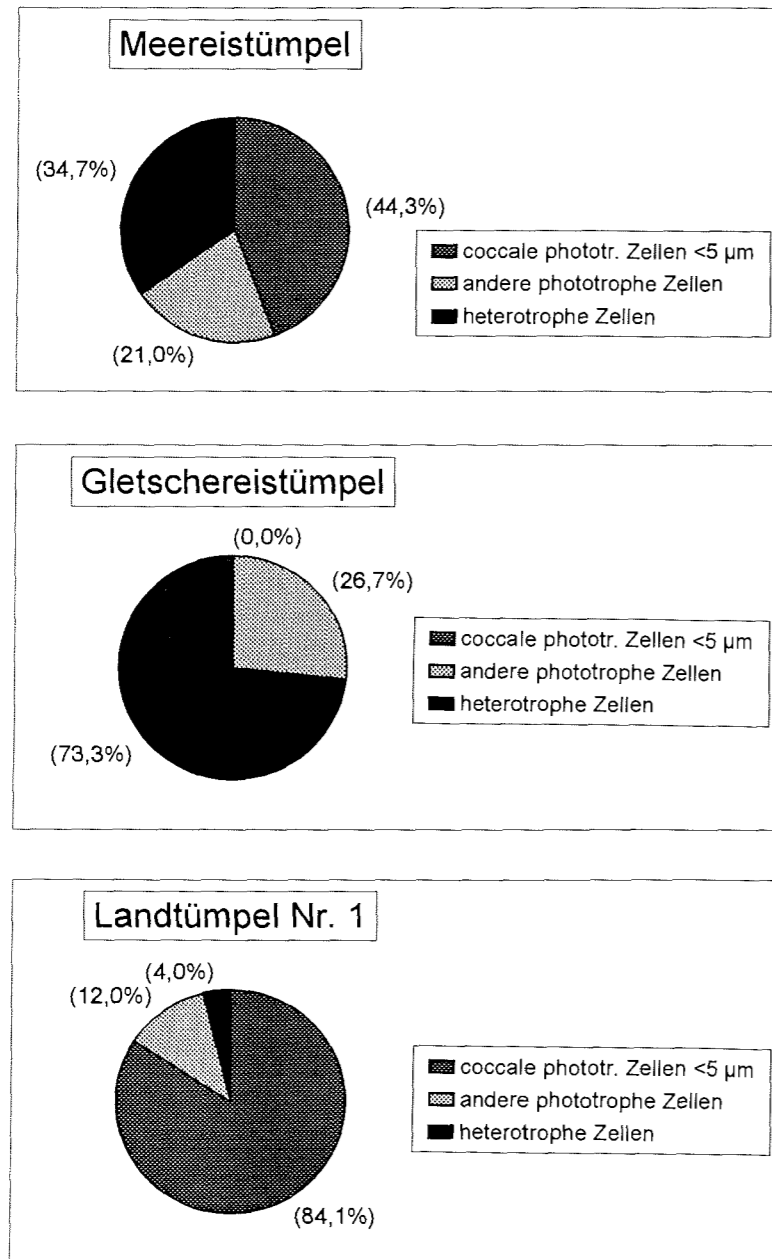
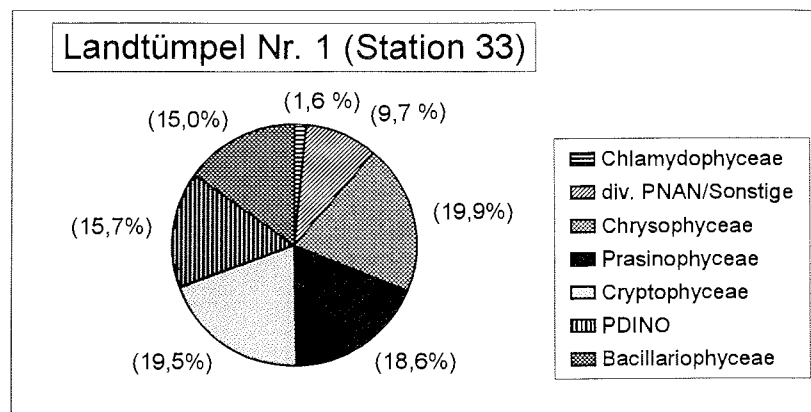
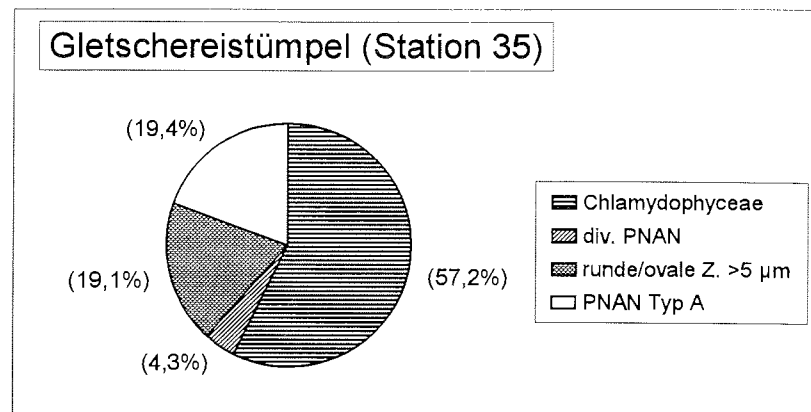
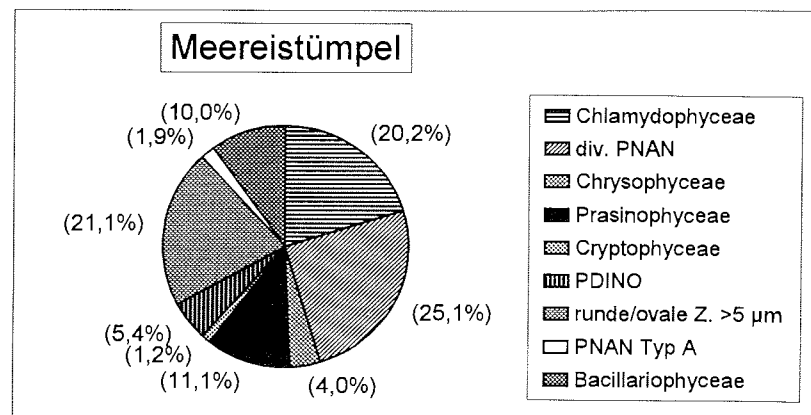
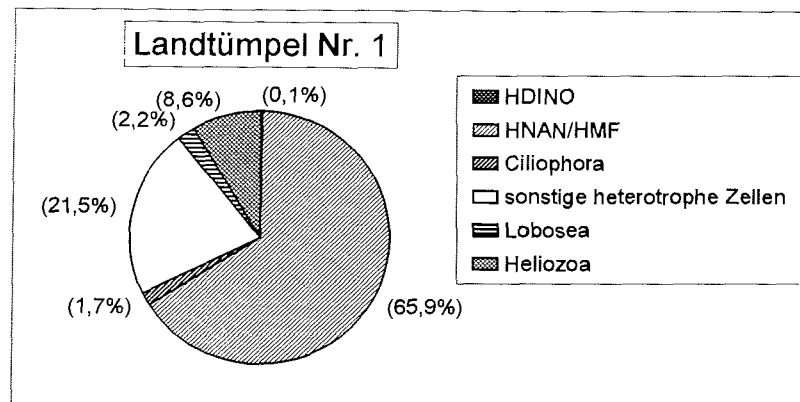
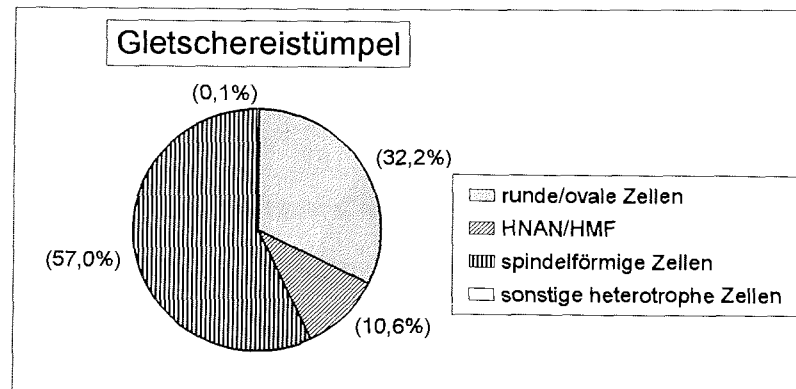
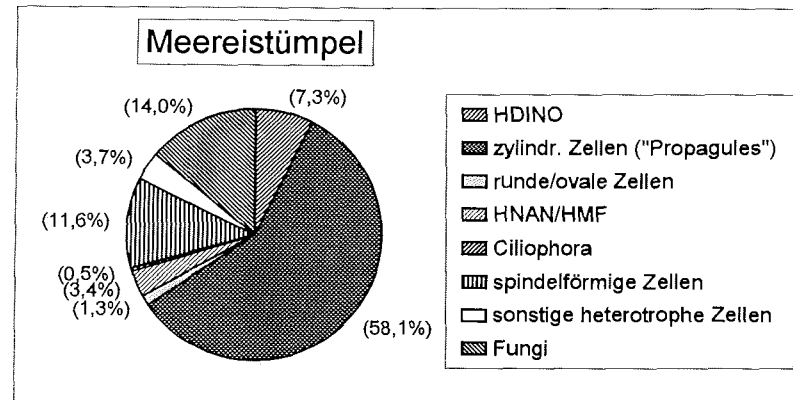


Abb. 31.b: Weitere Differenzierung der Zusammensetzung der phototropen Protista ohne die Fraktion der coccalen Zellen <5 µm aus Abb. 31.a



4.2 Meereistümpel als Lebensraum und Vergleich mit anderen polaren Habitaten

Abb. 31.c: Weitere Differenzierung der Zusammensetzung der heterotrophen Protista aus Abb. 31.a



#### *Landtümpel*

Im Landtümpel Nr. 1 (Station 33) erreichten die Protisten mit  $15,0 \times 10^5$  Zellen/l eine um etwa eine Größenordnung höhere Abundanz als in den Gemeinschaften der Meereistümpel (Medianwert) und des Gletschereistümpels. Sie lag jedoch nur unwesentlich höher als der in den Meereistümpeln gefundene Maximalwert von  $12,2 \times 10^5$  Zellen/l (Abb. 30; Tab. 14). Ähnlich wie in den Meereistümpeln waren coccale phototrophe Zellen  $< 5 \mu\text{m}$  dominierendes Taxon im Landtümpelplankton, wobei sie mit einer Abundanz von  $12,6 \times 10^5$  Zellen/l sogar einen Anteil von 84,1 % an den Protisten des Landtümpelplanktons bildeten (Abb. 31.a). Andere phototrophe Zellen bildeten 11,9 % der Protisten. Mit nur 4,0 % stellten die heterotrophen Zellen einen sehr geringen Anteil der Protisten.

Die Zusammensetzung der Gruppe der "anderen phototrophen Zellen" (Abb. 31.b) war vielfältiger als in den Meereis- und Gletschereistümpeln: jeweils zwischen 15 und 20 % des Bestandes dieser Gruppe wurden von Chrysophyceen (19,9 %), Cryptophyceen (19,5 %), Prasinophyceen (18,6 %), Dinophyceen (15,7 %) und Bacillariophyceen (15,0 %) gebildet, während die PNAN und sonstigen phototrophen Zellen 9,7 % stellten. Die in den Meer- und Gletschereistümpeln abundante Algenklasse der Chlamydomonadales hatte im Landtümpel mit 1,6 % nur einen geringen Anteil an dieser Gruppe und war zudem nicht durch die in Meereistümpeln dominierende *Carteria* sp., sondern durch andere Chlamydomonadales ( $1,7 \times 10^3$  Zellen/l) sowie durch Arten aus der Ordnung der Volvocales mit einer Abundanz von  $1,1 \times 10^3$  Zellen/l vertreten (*Pandorina* sp., *Eudorina* sp.). Stattdessen war innerhalb der Chlorophyta die zu den Prasinophyceen gehörige *Tetraselmis* sp. die dominierende Art, die eine Abundanz von  $3,3 \times 10^4$  Zellen/l erreichte. Die Chrysophyceen wiesen nicht nur höhere Abundanzen als in den beiden anderen Habitaten auf, sondern auch eine andere und diversere Zusammensetzung (vgl. auch Tab. 13). Sie wurden vor allem durch koloniebildende loricate Formen wie *Dinobryon sociale* repräsentiert, deren Einzelindividuen eine Abundanz von  $3,5 \times 10^4$  Zellen/l bildeten.

Innerhalb der Gruppe der heterotrophen Protista (Abb. 31.c) stellten die HNAN/HMF einen Anteil von 65,9 %. Das restliche Drittel bildeten sonstige heterotrophe Zellen mit einem Anteil von 21,5 %, gefolgt von Heliozoa (8,6 %), Lobosea (2,2 %) und Ciliophora (1,7 %). Heliozoa und Lobosea traten ausschließlich im Landtümpel auf.

Darüber hinaus wurden in den Schöpfplanktonproben des Landtümpels Nauplien in einer Abundanz von  $2,8 \times 10^1$  Individuen/l gefunden.

#### *Schneeprobe und Eis aus dem Tümpelboden von Station 9*

Schneealgen  $>5 \mu\text{m}$  erreichten in einer Schneeprobe aus der Umgebung von Station 9 eine Abundanz von  $0,05 \times 10^5$  Zellen/l Schneesmelzwasser (Tab. 14) und bestanden zu 100 % aus Akineten der Chlamydomonadales.

Die Auswertung einer Eisprobe aus dem Tümpelboden von Station 9 ergab eine Bakterienabundanz von  $11,2 \times 10^7$  Zellen/l (vgl. Tabellenanhang). Die Protisten wiesen eine Abundanz von  $53,3 \times 10^5$  Zellen/l auf. Damit waren die Abundanzen sowohl der Bakterien als auch der Protisten im Tümpelboden eine Größenordnung höher als die Medianwerte im Meereistümpelwasser. Der Anteil der phototrophen Zellen betrug 98,3 %, dominierende Vertreter waren die coccalen phototrophen Zellen  $<5 \mu\text{m}$  und  $<2 \mu\text{m}$ , die zusammen eine Abundanz von  $51,9 \times 10^5$  Zellen/l erreichten (Konzentration im Meereistümpelwasser von Station 9:  $2,5 \times 10^5$  Zellen/l). Die heterotrophen Zellen bildeten einen Anteil von nur 0,1 % an den Protisten. Darüber hinaus war jedoch mit einer Abundanz von  $0,83 \times 10^5$  Zellen/l eine hohe Anzahl von Dauerstadien photo- und heterotropher Zellen vertreten, darunter unter anderem Hypnozygoten von Dinoflagellaten und Ruhestadien von Grünalgen. Der Anteil der Dinoflagellaten-Ruhestadien an der Gesamtsumme der als Ruhestadien vorliegenden Zellen betrug 3,6 %. Es ist möglich, daß ein großer Teil der coccalen phototrophen Zellen Ruhestadien von Chrysophyceen darstellt (vgl. Kap. 4.2.4.1).

#### **4.2.4.3 Größenstruktur der Lebensgemeinschaften**

Die Größenstruktur des eukaryotischen Tümpelplanktons in Meereistümpeln, einem Gletschereistümpel (Station 35) und dem Landtümpel Nr. 1 (Station 33) ist in Abb. 32 dargestellt. In allen drei Habitaten dominierten Organismen der Größenklasse  $2-5 \mu\text{m}$  mit Anteilen an der jeweiligen Gesamt-Abundanz von 54,0 % (Meereistümpel) bis 86,8 % (Landtümpel), gefolgt von den Größenklassen  $5-20 \mu\text{m}$  und  $20-50 \mu\text{m}$ . In den Meereistümpeln stellte die Größenklasse  $5-20 \mu\text{m}$  38,8 % und im Gletschereistümpel 24,9 % des eukaryotischen Tümpelplanktons, der Landtümpel dagegen nur 8,2%. Organismen der Größenklasse  $50-150 \mu\text{m}$  wurden mit Zellzahlen von einigen Hundert/l Tümpelwasser und einem Anteil am eukaryotischen Tümpelplankton von maximal 0,1 % (Meereistümpel) in allen drei Habitaten gefunden. Dabei wurden Organismen  $>100 \mu\text{m}$  in den Schöpfproben aus Meereistümpeln selten (Zellzahl meist  $<50$ /l Tümpelwasser) und im Gletschereistümpel gar nicht gefunden, während im Landtümpel noch über 300 Individuen/l mit einer Körperlänge von  $>100 \mu\text{m}$  auftraten.

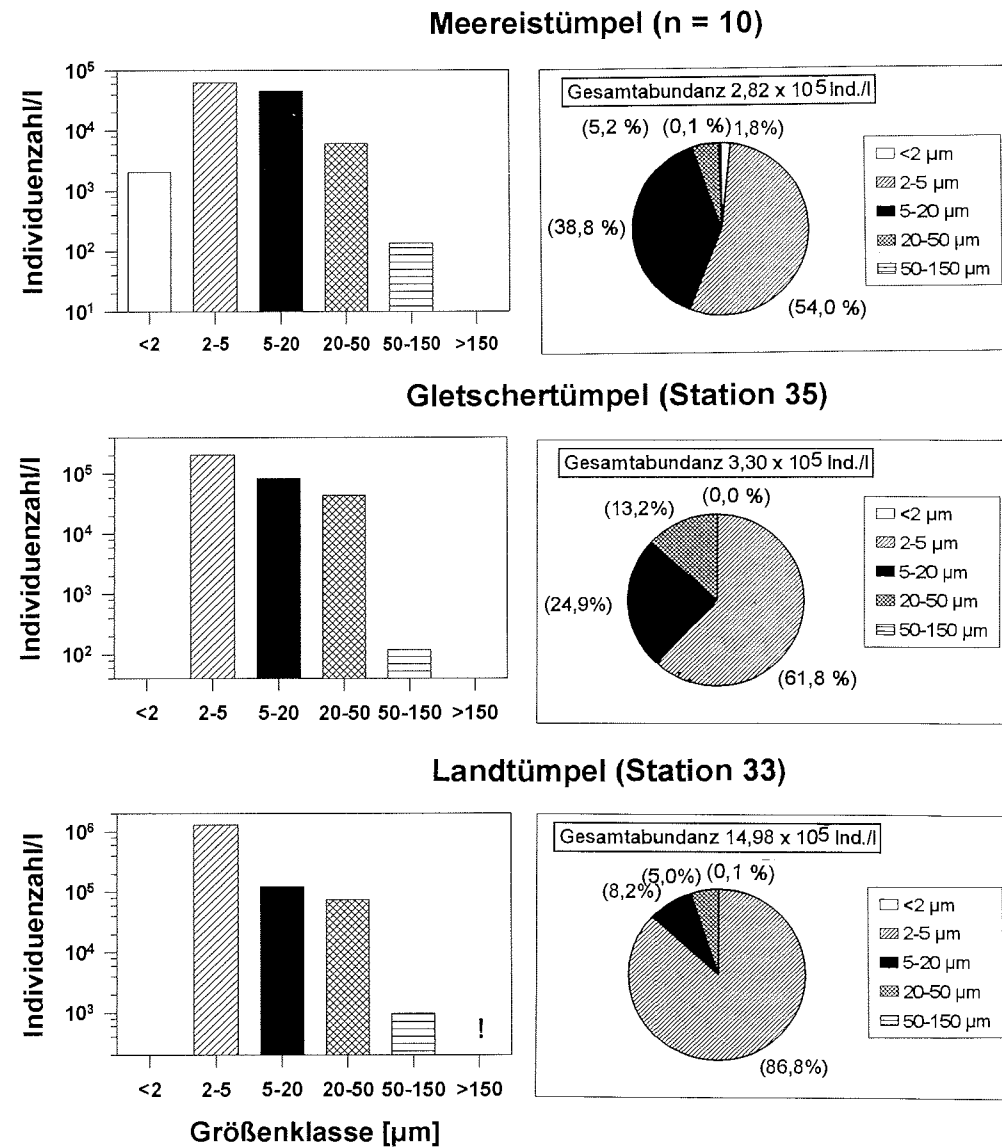


Abb. 32: Abundanzen und Größenstruktur des eukaryotischen Tümpelplanktons der Meerestümpel (Medianwerte aus 10 Stationen) und der Vergleichsstationen 35 (Gletschertümpel) und 33 (Landtümpel); links Größenklassenverteilung, dabei unterschiedliche Skalierung beachten; rechts prozentualer Anteil der Größenklassen an der Gesamtabundanz der Eukaryota

In Ermangelung von Planktonnetzfangen lassen sich keine gesicherten Aussagen über die Abundanz des Mikroplanktons  $> 100 \mu\text{m}$  treffen. Die im Probenmaterial gefundenen Individuen  $> 100 \mu\text{m}$  wurden mit der Fraktion  $50-100 \mu\text{m}$  zu  $50-150 \mu\text{m}$  zusammengefaßt. Ob darüber hinaus größeres Mikro- und Mesoplankton zur Tümpelgemeinschaft gehört, läßt sich für die Meereis- und Gletschereistümpel anhand der durchgeführten Untersuchungen nicht eindeutig beantworten. Bei der Filtration von insgesamt 584 l Tümpelwasser während der Aufarbeitung der Meereistümpelproben wurde ein einziger Copepode gefunden (Station 56, ein mesomixohaliner Meereistümpel mit einer Salinität von 16). In einem der Epifluoreszenzpräparate von Station 12 wurde ein Vertreter der Acari beobachtet (Körperlänge  $165 \mu\text{m}$ ). Inwieweit dieser Organismus ein typischer Meereistümpelbewohner oder ein Artefakt (z. B. aus Hausstaub) ist, läßt sich anhand eines Einzelfundes nicht beantworten. In den Landtümpeln kommen größere Plankter (Crustacea) jedoch vor (daher das Ausrufezeichen im Histogramm der Abb. 32 unten). Im Landtümpel wurden dagegen Nauplien sowie Kotballen  $> 100 \mu\text{m}$  gefunden, was die Präsenz von Crustaceen im Plankton beweist. Daphnien traten im Potsdam und Muskox Pond sowie im Basalt Sø auf, in letzterem wurden auch Copepoden nachgewiesen (vgl. Kap. 4.1.3). Nektonorganismen (Fische) wurden bei den Probenahmen ausschließlich in Landtümpeln und -seen beobachtet, und zwar im Muskox Pond und im Noa Sø.

#### 4.2.4.4 Unterschiede in der Besiedlung von Süß- und Brackwassertümpeln

Unterschiede in der Besiedlung von Süß- und Brackwassertümpeln auf Meereis lassen am Beispiel der Station 64 (Abb. 33) sowie anhand der Ciliatenfauna aufzeigen (Tab. 17).

Station 64 war ein mesomixohaliner Meereistümpel mit einer Salinität von 22. Mit einer Bakterienabundanz von  $8,4 \times 10^7$  Zellen/l erreichte dieser Brackwassertümpel den zweithöchsten Wert aller Meereistümpel (Median:  $4,5 \times 10^7$  Zellen/l). Außer Kokken und Stäbchen waren fädige Bakterien in einer Abundanz von  $0,05 \times 10^7$ /l vertreten. Fädige Bakterien wurden außer an Station 64 nur an Station 45 gefunden, die eine Salinität von 1,5 aufwies. Die Zusammensetzung der Protisten an Station 64 (Abb. 33 oben) zeigte mit 87,3 % einen höheren Anteil phototropher Zellen, als im Mittel in den Meereistümpeln festgestellt wurde (vgl. Abb. 31.a, in die mit Ausnahme der Station 64 ausschließlich Süßwasser- und oligomixohaline Meereistümpel mit einer Salinität bis 1,5 eingegangen sind). Coccale phototrophe Zellen  $< 5 \mu\text{m}$  bildeten mit 13,8 % einen geringen Anteil an der Gesamtabundanz der Protisten, die  $3,3 \times 10^5$  Zellen/l betrug. Die Gruppe der "anderen phototrophen Zellen" (Abb. 33 Mitte) war anders zusammengesetzt als in der Mehrzahl der



übrigen Meereistümpel (vgl. Abb. 31.b). Der Anteil der Chlamydothyceen betrug an Station 64 nur 1,3 % gegenüber einem mittleren Anteil von sonst 20,2 % (Abb. 31.b). Dominierende Algengruppen an Station 64 waren stattdessen die Prasinophyceen (34,7 %) und die Bacillariophyceen (30,5 %). Innerhalb der heterotrophen Protisten dominierten an Station 64 die heterotrophen Nanoflagellaten (87,5 %; Abb. 33 unten), die im Mittel nur 3,4 % der heterotrophen Protisten stellten (Abb. 31.c).

Die Zusammensetzung der Ciliatenfauna von Süßwassertümpeln (Tab. 17) unterschied sich von Brackwassertümpeln durch die klare Dominanz kleiner (<50  $\mu\text{m}$ ) Vertreter der Gattung *Strombidium*, das Vorkommen von ebenfalls kleinen (<50  $\mu\text{m}$ ) Vertretern der Gattung *Rimostrombidium* und das Fehlen von Tintinnen sowie von *Mesodinium rubrum*.

In beiden Brackwassertümpeln waren neben den kleinen *Strombidium*-Arten auch größere (>50  $\mu\text{m}$ ) Vertreter dieser Gattung zu finden. In der Summe ergab sich für Station 64 ebenfalls eine Dominanz der Gattung *Strombidium* mit einem Anteil von 56,3 % an der Ciliatenpopulation. An Station 56 dagegen dominierten choanotriche Vertreter der Ciliophora mit einem als cf. *Lohmanniella/Leegaardiella* bestimmten Vertreter (53,3 %) und einem Vertreter der Tintinnidae (14,7 % der Ciliatenpopulation). Bei den haptoriden Ciliaten bestanden außer im Vorkommen von *Mesodinium rubrum* keine Unterschiede zur Zusammensetzung der Haptorida in den Süßwassertümpeln.

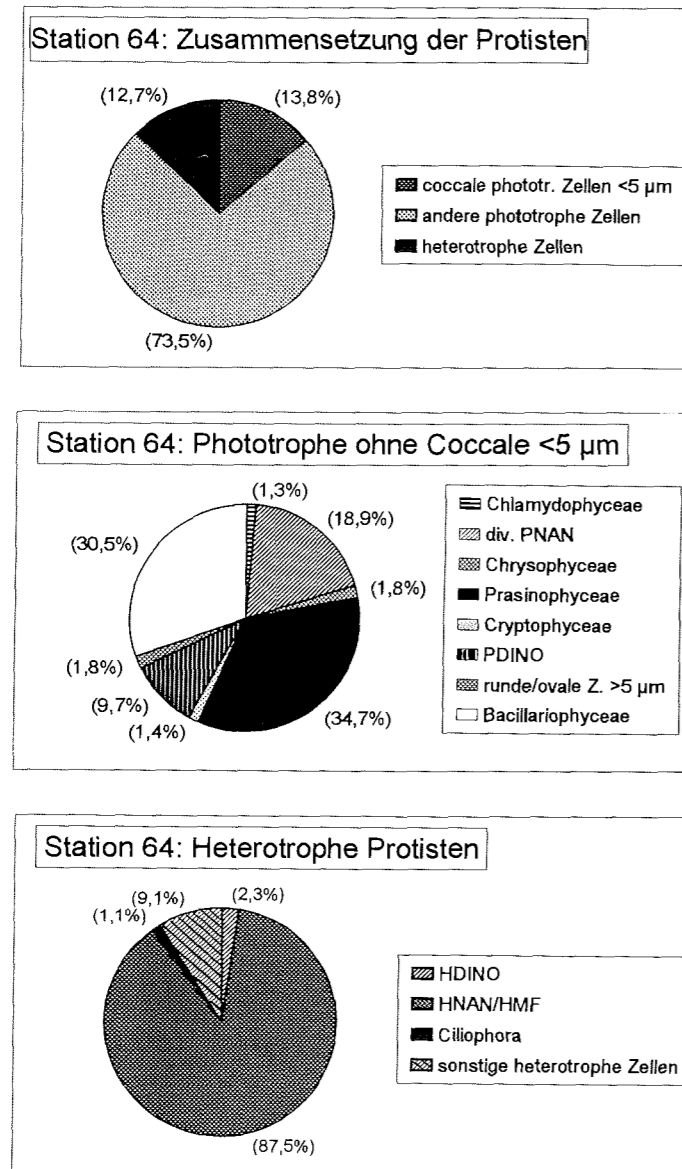


Abb. 33: Zusammensetzung der Protisten im Plankton eines Brackwassertümpels (Station 64, Salinität: 22). Anteile photo- und heterotropher Zellen an der Gesamtanzahl der Protisten (oben) und weitere Differenzierung der Zusammensetzung der phototrophen Zellen ohne die Fraktion der coccalen Zellen <5 µm (Mitte) und der heterotrophen Zellen (unten)

4 Ergebnisse

Tab. 17: Zusammensetzung der Ciliatenfauna in Süßwasser- (Stationen 57, 79) und Brackwassertümpeln auf Meereis (Stationen 56, 64)

++++ Anteil von 50 % und mehr (dominante Art/Gruppe)  
 +++ Anteil von 25 bis 50 % (sehr häufig)  
 ++ Anteil von 10 bis 25 % (häufig)  
 + Anteil von weniger als 10 % (selten)

CILIOPHORA	Süßwassertümpel		Brackwassertümpel	
	Station 57	Station 79	Station 56	Station 64
	Salin.: 0	Salin.: 0	Salin.: 16	Salin.: 22
<b>Klasse Spirotrichea</b>				
<b>Oligotrichida</b>				
<i>Strombidium</i> spp. (20-50 µm)	++++	++++	++	+++
<i>Strombidium</i> spp. (50-100 µm)	-	-	+	++
indet. Oligotrichida	+	-	-	-
<b>Choreotrichida</b>				
<i>Rimostrombidium</i> spp. (50-100 µm)	+	-	+	++
cf. <i>Rimostrombidium</i> sp. (20-50 µm)	++	-	-	-
Tintinnidae: cf. <i>Cymatocylis</i> sp.	-	-	++	-
indet. Choreotrichida	+	-	-	-
cf. <i>Lohmanniella/Leegaardiella</i> (20-50 µm)	-	-	++++	+
<b>Stichotrichida</b>				
indet. oxitriche Ciliophora	-	+	-	-
<b>Klasse Litostomatea</b>				
<b>Haptorida</b>				
<i>Lacrymaria</i> spp.	+	+	+	+
<i>Didinium</i> sp.	++	+	-	++
<i>Myrionecta rubra</i>	-	-	+	+
indet. Haptorida	-	+	-	-
<b>Klasse Prostomatea</b>				
indet. prostome Ciliophora	-	-	-	+
<b>Klasse Nassophorea</b>				
<b>U.Klasse Hypotrichia</b>				
indet. hypotriche Ciliophora	-	-	-	-
<b>indet. Ciliophora</b>				
indet. Ciliophora	-	+	-	+

### 4.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel

#### 4.3.1 Visuelle Beobachtungen zur saisonalen Entwicklung der Meereistümpel

Der Zeitraum der drei Expeditionen in 1993 und 1994 (Tab. 18) gab Gelegenheit zur Beobachtung saisonaler Veränderungen der Meereistümpel im Gebiet des Ostgrönlandstroms zwischen 81°N und 72°N.

Tab. 18: Übersicht über die Expeditionen und Probennahmezeiträume in den Untersuchungsjahren 1993/94 und die jeweils beprobten Stationen. Zusätzlich zur Datumsangabe in herkömmlicher Form erfolgt die Angabe in Form des "Tags des Jahres" (vgl. Kap. 3.1.1)

Expedition	Probennahmen	Tag des Jahres	Stationen
ARK 9/3	29.6. - 31.7.1993	180 - 212	1 - 48
ARK 10/1	14.7. - 10.8.1994	195 - 222	50 - 64
ARK 10/2	21.8. - 16.9.1994	233 - 259	65 - 88

#### *Beobachtungen im Untersuchungszeitraum 1993 (Expedition ARK 9/3)*

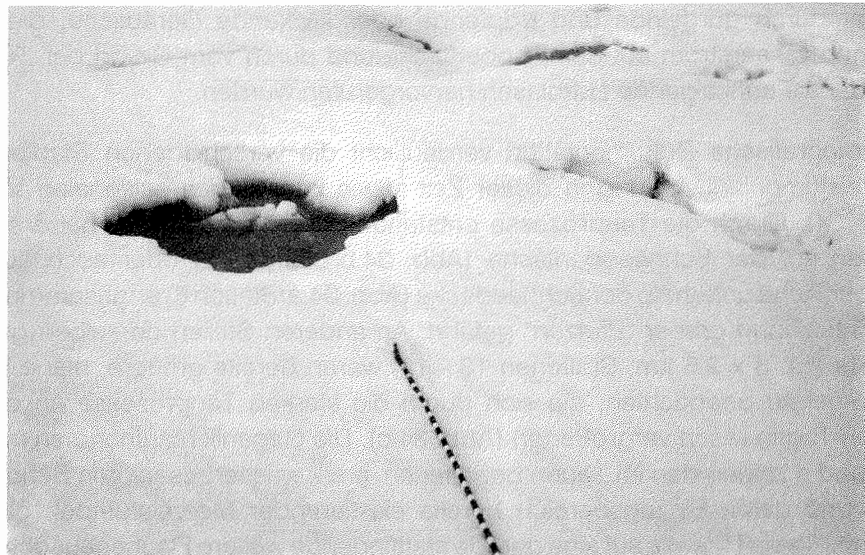
Nach dem Passieren der Eiskante auf 76°20' N/6°52' W am 28. Juni gehörten Meereistümpel zum Erscheinungsbild des Eises. Die ersten Stationen wurden am 29. Juni auf mehrjährigem Eis beprobt. Auf diesen Eisschollen hatten sich Meereistümpel verschiedener Größen und Formen geöffnet. Durch den tauenden, nassen Schnee auf der Meereisoberfläche war es zum Teil schwer zu entscheiden, wo ein Meereistümpel aufhörte und der nächste begann. Auf der ersten Scholle, die vormittags beprobt wurde (Stationen 1 - 3; Meereistümpel-Bedeckungsgrad der Scholle ca. 25 %, vgl. Tab. 2.a), waren keine Schmelzwasserkanäle sichtbar. Auf der am Nachmittag in der Nähe der ersten Stationen beprobten Scholle (Stationen 4 - 5; Meereistümpel-Bedeckungsgrad ca. 40 %) waren bereits Schmelzwasserkanäle zu erkennen. Einer von ihnen verband die Stationen 4 und 5. Die Wasseroberfläche war durch Windeinfluß gekräuselt, und eine deutlich erkennbare Strömung verlief von Station 4 in Richtung auf den Verbindungskanal zu Station 5.

Am 6. und 7. Juli wurden auf etwa 80°30'N/10°30'W starke Tauprozesse beobachtet, die zur Entstehung und Vergrößerung von Meereistümpeln und Schmelzwasserkanälen führten. Die Tauprozesse riefen innerhalb weniger Stunden sichtbare Veränderungen der Eisoberfläche und der Meereistümpel hervor, die in verschiedenen Entwicklungsstadien zu beobachten waren. An einigen

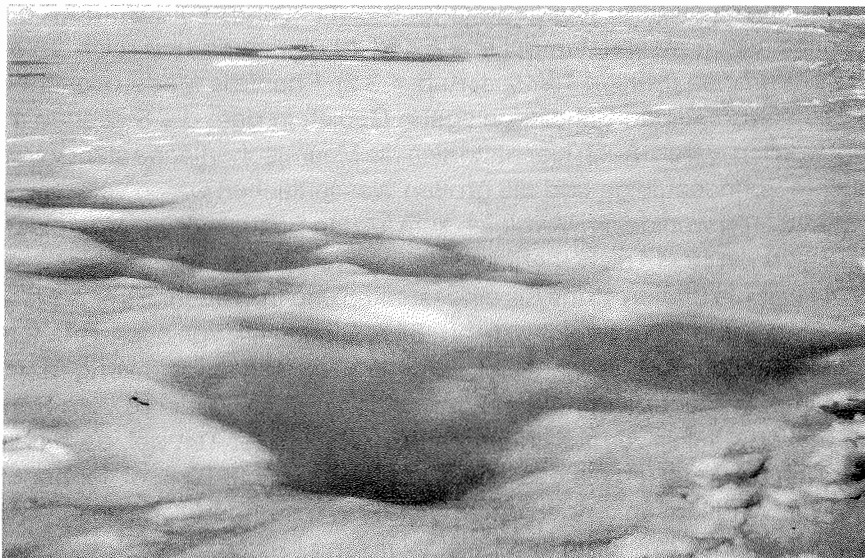
Stationen dieser beiden Tage (Stationen 12 - 18) waren die Tauprozesse sogar hörbar durch gurgelnde und tropfende oder klickende Geräusche, die vom Schmelzwasserstrom auf der Eisoberfläche und durch vom Grund der Tümpel und Kanäle aufsteigende Luftblasen hervorgerufen wurden.

Die fotografische Dokumentation verdeutlicht die verschiedenen Stadien der Meereistümpelentwicklung in dieser Zeit sowie im weiteren saisonalen Verlauf (Abb. 34). Durch die Tauprozesse entstandenes Schmelzwasser hatte sich in Senken auf der Schneeoberfläche (Abb. 34.b/Station 12) oder auch auf der Eisoberfläche unterhalb der Schneedecke (Abb. 34.a/Station 6) angesammelt und zur Entstehung grauer "Pfützen" geführt. An anderen Stellen derselben großen Scholle (ca. 3 x 2,5 km; Stationen 13 - 15) waren bereits größere, blaue Meereistümpel zu beobachten, die sich durch die starken Tauprozesse an diesen beiden Tagen rasch vergrößerten (Abb. 34.c). Die Gegenlichtaufnahmen in Abb. 34.c und d zeigen den im Tauen begriffenen, stark wassergesättigten Schnee im Ufer- und damit Einzugsbereich bereits existierender Meereistümpel; dies ist gleichzeitig ein Hinweis auf eine gerade stattfindende weitere Flächenausdehnung dieser Tümpel im Zuge der starken Tauprozesse.

Eine von dieser Scholle ausgebrachte Sedimentfallen-Verankerung bot die Gelegenheit, einen Meereistümpel am 7.7.93 zu markieren und nach 3 Wochen erneut zu beproben (Station 15/45; s. Kap. 4.3.2). Ebenfalls wiederbesucht wurde dabei das auf derselben Scholle gelegene Gebiet, in dem die Stationen 12 - 14 beprobt worden waren. Auch hier hatte sich die Meereisoberfläche stark verändert. Die feuchte Schneeauflage und die großen Wasserflächen waren verschwunden. Geblieben waren wenige, im Vergleich zum letzten Besuch kleine Meereistümpel, die den Stationen 12 - 14 nicht mehr zugeordnet werden konnten. Die hier beprobte Station 44 war wie Station 45 ins Eis eingesunken und trug ebenfalls eine Eisdecke, die eine Stärke von 2 cm erreichte (Abb. 34.e, Station 44, vgl. auch Tab. 2.a). Die Abb. 34.f (Station 46) verdeutlicht, daß Wasserstandsabsenkungen in den Meereistümpeln mehrfach erfolgen können und daß ihr Zufrieren vom Rand her erfolgt. Station 46 war vermutlich einmal ein sehr großer Tümpel, da das rechte Ufer deutlich niedriger lag als das linke. Das jetzige rechte Tümpelufer könnte vor den Wasserstandsabsenkungen unterhalb der Wasseroberfläche gelegen haben und somit Teil eines größeren Tümpels gewesen sein.



**a**



**b**

Abb. 34.a, b: Fotografische Dokumentation der Meereistümpelentwicklung 1993: Tümpelentstehung I. a): Station 6, 2. Juli; b): Station 12, 6. Juli



**c**



**d**

Abb. 34.c, d: Fotografische Dokumentation der Meereistümpelentwicklung 1993: Tümpelentstehung II. c) Fortschreitende Tümpelvergrößerung am 6. Juli (Eisscholle mit den Stationen 12 - 15); d) Station 13, 6. Juli

#### 4.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel

---



e



f

Abb. 34.e, f: Fotografische Dokumentation der Meereistümpelentwicklung 1993: Tümpelverkleinerung Ende Juli. e) Station 44, 29. Juli; f) Station 46, 31. Juli



*Beobachtungen im Untersuchungszeitraum 1994 (ARK 10/1+2)*

Zum Zeitpunkt der ersten Probenahmen (14.7.94) waren im Untersuchungsgebiet auf 75°N keine starken Tauprozesse mehr zu beobachten. Die winterliche Schneedecke war bereits weitestgehend abgeschmolzen, und die Eisschollen waren mit gut ausgeprägten Meereistümpeln und Schmelzwasserkanälen bedeckt. Die erneute Beprobung von Station 50 nach 10 Tagen (jetzt Station 58) zeigte, daß sich der Wasserspiegel in diesem Zeitraum bei gleichbleibender Wassertiefe um etwa 5 - 10 cm gesenkt hatte. Ab Station 60 (5.8.94) war auch deutlich zu erkennen, daß die übrigen Tümpel in die Meereisoberfläche eingesunken waren. Die zwischen dem 14. und 16.7.94 beprobten Stationen (50 - 54) wiesen keine oder eine nur am Tümpelrand ausgeprägte dünne Eisdecke auf (vgl. Tab. 2.a). Bis zum 5.8.94 nahm die Ausprägung und Stärke der Eisdecken zu (Stationen 55 - 60: Bedeckung zwischen 40 und 100 %; Stärke zwischen 0,3 cm und 1 cm). Ab dem 7.8.94 und damit etwa 10 Tage später als im Vorjahr waren die Tümpel zwischen 95 % und zumeist 100 % mit einer Eisdecke bedeckt, deren Stärke von 1,2 cm bis auf 15 cm am letzten Probenahmetag am 16.9.94 zunahm. Trotz ihrer zunehmend stärker werdenden Eisdecken blieben die Meereistümpel bis zum letzten Probenahmetag als Habitat existent (vgl. Kap. 4.1.2 mit Abb. 11), allerdings war der Einsatz eines Eiskernbohrers erforderlich, um die Beprobung vornehmen zu können.

Die nicht mit Schmelzwasser bedeckte Oberfläche der beprobten Eisschollen bestand niemals aus blankem Eis wie zum Beispiel auf Gletschern (Stationen 80, 82), sondern es existierte bis zum letzten Probenahmetag (16.9.) eine weiße Auflage aus Schnee- oder Eiskristallen, bei der es sich nicht um Neuschnee handelte.

#### **4.3.2 Zeitliche Entwicklung der wiederbesuchten Station 15**

Die saisonale Entwicklung der Meereistümpel einschließlich der abiotischen Faktoren und der Lebensgemeinschaft läßt sich anhand der wiederbesuchten Station 15 an einem konkreten Beispiel exemplarisch aufzeigen, ohne daß die Ergebnisse durch die Variabilität zwischen verschiedenen Tümpeln oder Regionen beeinflußt werden.

Die Station 15 wurde am 7.7.93 zum ersten Mal und am 29.7.93 ein weiteres Mal beprobt (dann als Station 45 bezeichnet). In diesem Zeitraum driftete die betreffende Eisscholle von 80°31'N/10°35'W nach 78°45'N/10°50'W (siehe auch Galbraith et al. 1994). Die Markierung und erste Beprobung von Station 15 fand am 7.7.93 zwischen 10 und 13 Uhr statt. Deutlich war der Aufbau aus zwei Tümpelteilen

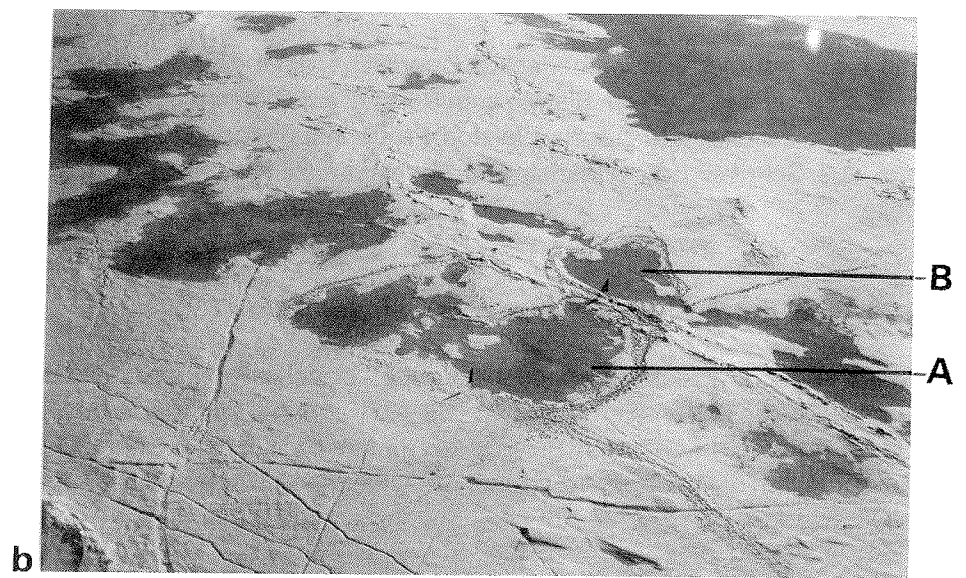


Abb. 35.a, b: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93, dargestellt an Luftaufnahmen. Station 15 am 7.7.93 um 11 Uhr (a) und um ca. 17 Uhr (b); sowie beim Wiederbesuch am 29.7.93 (c). A = Tümpelteil A, B = Tümpelteil B

(A und B) zu erkennen, die über einen teilweise unter Schnee verlaufenden Kanal verbunden waren. Zu diesem Zeitpunkt war Station 15 von sehr feuchtem, teilweise knietiefem Schnee umgeben, insbesondere in der Umgebung von Teil B (Abb. 35.a). Als am späten Nachmittag die Station 15 nochmals überflogen wurde, war aus der Luft zu erkennen, daß Teil B dieses Tümpels zwischenzeitlich über Schmelzwasserkanäle mit benachbarten Meereistümpeln in Verbindung getreten war (Abb. 35.b). Beim Wiederbesuch dieser Station (als Station 45 bezeichnet) am 29.7.93 zeigte sich, daß Teil A des Tümpels sich stark verkleinert hatte, während Teil B mit einem bis zum Schollenrand verlaufenden System aus Schmelzwasserkanälen und Meereistümpeln verschmolzen war (Abb. 35.c). Die winterliche Schneedecke war weitestgehend abgeschmolzen und hatte eine feste Oberfläche mit einer dünnen Schicht aus Schnee- oder Eiskristallen hinterlassen. Beide Tümpelteile waren tiefer in die Meereisoberfläche hineingeschmolzen, wie an der entstandenen "Uferböschung" zu erkennen war.

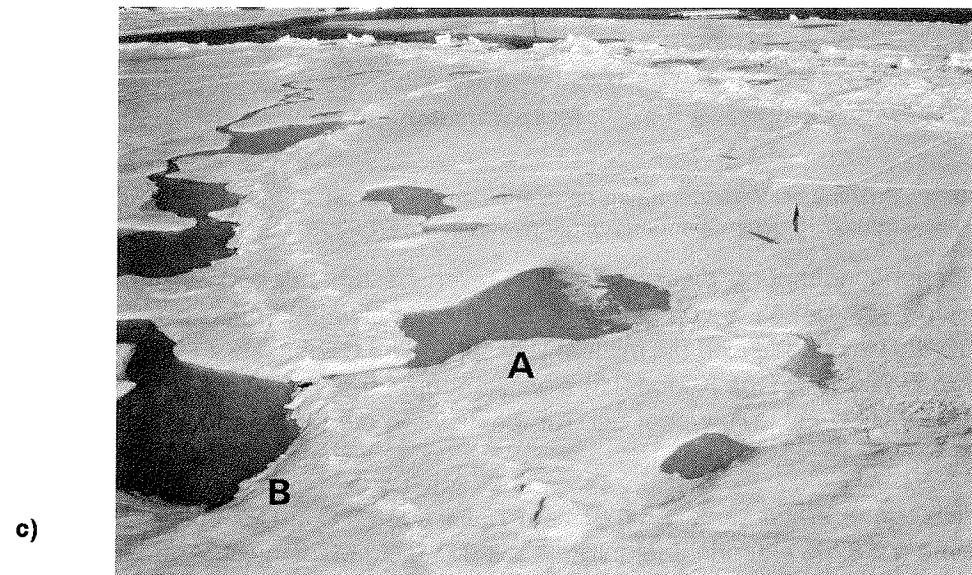


Abb. 35.c: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93, dargestellt an Luftaufnahmen. Station 15 beim Wiederbesuch am 29.7.93; A = Tümpelteil A, B = Tümpelteil B

Die beobachteten, innerhalb von drei Wochen erfolgten Veränderungen gehen mit einer ebenfalls starken Veränderung der verschiedenen abiotischen und biotischen Parameter einher (Abb. 36), so daß die Meereistümpel auch in ihrer individuellen Entwicklung einen sehr variablen Lebensraum darstellen. Einzeldarstellungen der Veränderungen einzelner Parameter zeigen die Abb. 37 bis 39.

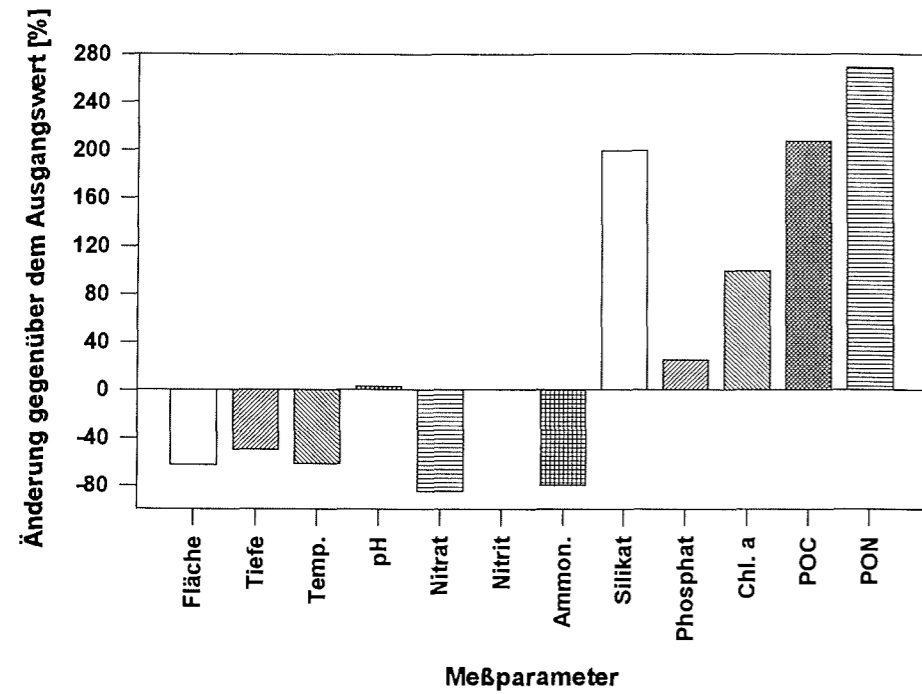


Abb. 36: Prozentuale Veränderungen der Meßparameter der am 29.7.93 wiederbesuchten Station 15 gegenüber den Ausgangswerten am 7.7.93

Die Flächenausdehnung dieses aus zwei Teilen bestehenden Meereistümpels verringerte sich um 63 % von eingangs 820 m<sup>2</sup> auf etwa 300 m<sup>2</sup> (Abb. 36, 37). Gleichzeitig verringerte sich die mittlere Wassertiefe im Gegensatz zur generellen saisonalen Tendenz (vgl. Kap. 4.3.3) signifikant um 50 % auf 10 cm ( $p = 0,001$ ; Mediantest; Abb. 36, 37), wobei der Tümpel tiefer in die Meeresoberfläche eingesunken war.

Die Wassertemperatur sank von 0,8°C am 7. Juli auf 0,3°C am 29. Juli, was einer Abnahme um 62 % entspricht (signifikant mit  $p = 0,05$ ; Mediantest; Abb. 36, 37). Der pH-Wert von 6,9 war gegenüber dem Wert von 6,7 am 7. Juli leicht erhöht, jedoch nicht signifikant. Die Salinität stieg dagegen von 0 auf 1,5 an (signifikant mit  $p = 0,01$ ; Mediantest).

Bei den Nährstoffkonzentrationen hatte für Nitrat und Ammonium eine starke Zehrung um 85 % (Nitrat) bzw. 80 % (Ammonium) stattgefunden: die mittleren Ausgangswerte von 1,3 bzw. 1,0  $\mu\text{mol/l}$  waren in beiden Fällen auf 0,2  $\mu\text{mol/l}$  abgesunken (signifikant mit  $p = 0,01$ ; Mediantest; Abb. 36, 38). Die Nitritkonzentrationen zeigten keine Änderung, während die mittleren Silikatkonzentrationen von 0,1 auf 0,3  $\mu\text{mol/l}$  und damit um 200 % des Ausgangswertes angestiegen

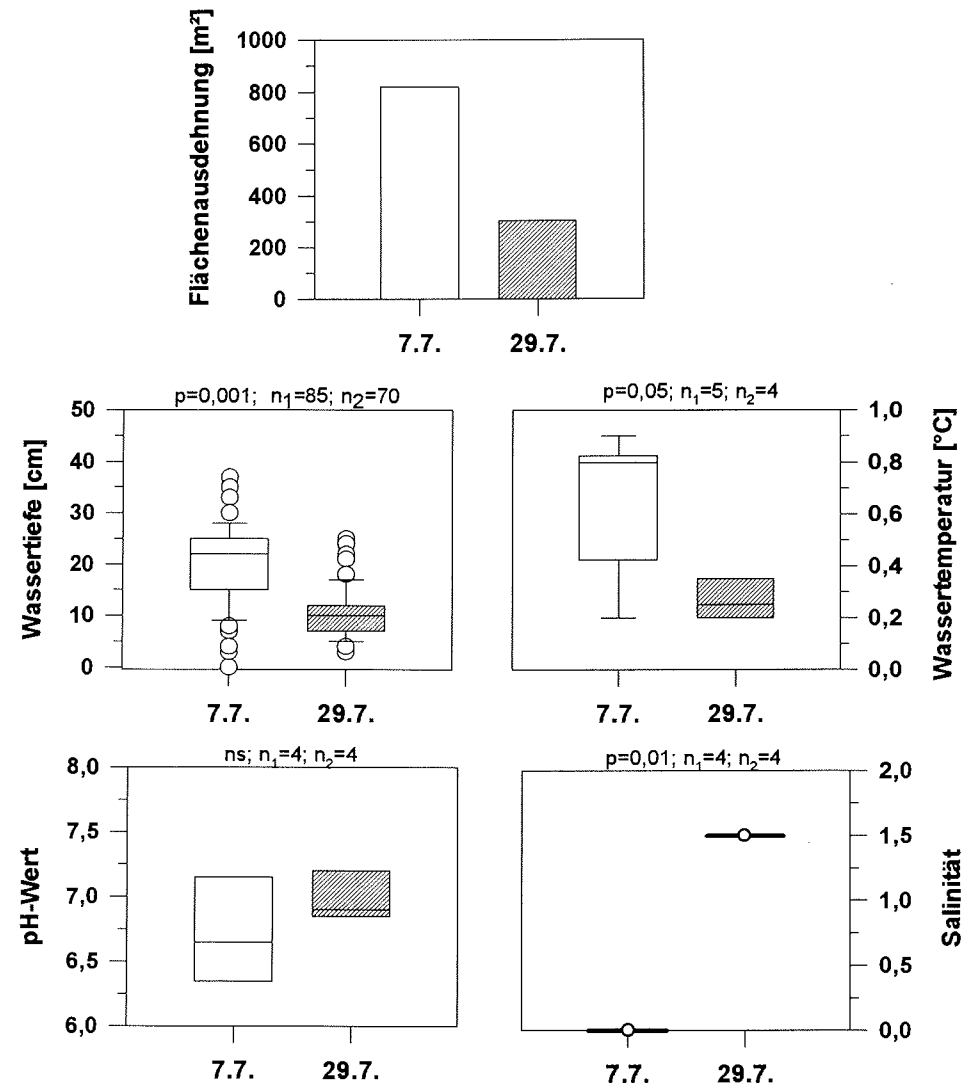


Abb. 37: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93: Flächenausdehnung, Wassertiefe, pH-Wert und Salinität

waren, was auf einen Eintrag von Meerwasser oder Sole aus dem Meereis hinweist. Die mittleren Phosphatkonzentrationen zeigten eine Zunahme um 75 % von einem Ausgangswert von  $<0,05$  auf  $0,1 \mu\text{mol/l}$ . Beide Veränderungen waren jedoch nicht signifikant.

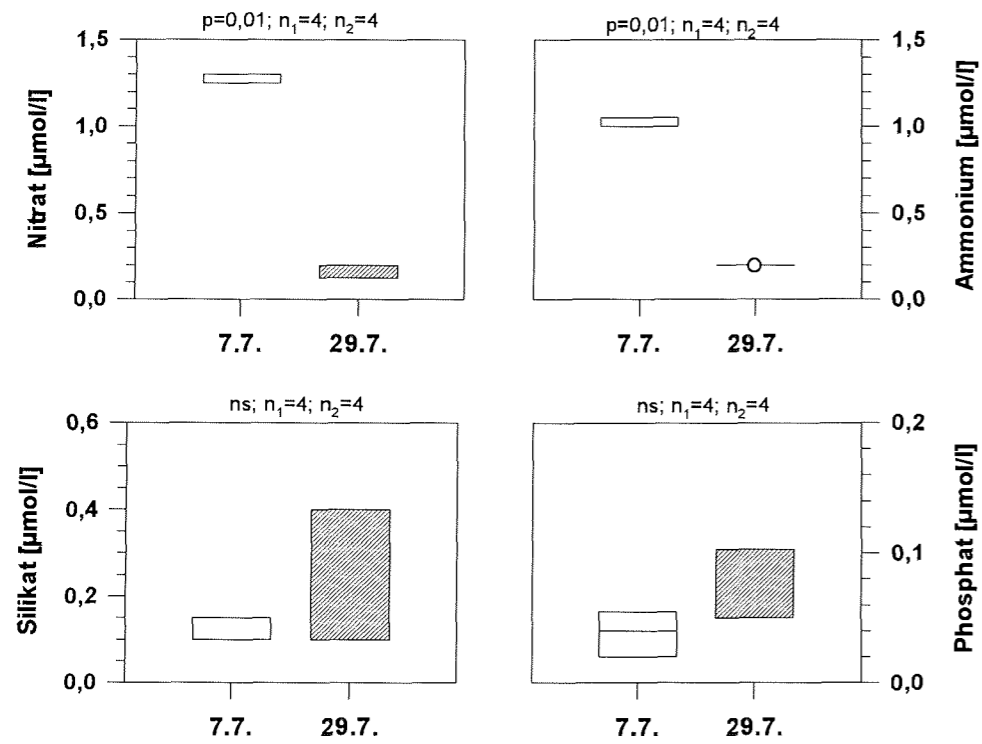


Abb. 38: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93: Nährstoffkonzentrationen

Die Chlorophyllkonzentrationen verdoppelten sich von 0,03 auf 0,06 μg/l; diese Zunahme kann jedoch nicht als signifikant angesehen werden (Abb. 39). Die POC- und PON-Konzentrationen verdreifachten sich dagegen und stiegen signifikant ( $p = 0,01$ ; Mediantest) auf 74,3 μg POC/l bzw. 11,8 μg PON/l an. Das molare C:N-Verhältnis verringerte sich um 17 % von 8,9 auf 7,4 (vgl. Anhangstabelle).

In der Zeit vom 7.7. bis 29.7.93 veränderte sich auch die Größenstruktur und taxonomische Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft deutlich. Am 7.7. dominierten in der Lebensgemeinschaft Bakterien und Protisten < 20 μm, während Zellen > 50 μm nicht beobachtet wurden (Abb. 40). Die Bakterien setzten sich zu 98,0 % aus Kokken und zu 2,0 % aus Stäbchen zusammen (Abb. 41.a). In der Größenklasse 2 - 20 μm waren 85,0 % der Protisten etwa 2 - 3 μm große, coccale Zellen mit schwacher Chlorophyll-Autofluoreszenz (Abb. 40; vgl. auch Tafel 2). Diese kleinen Zellen machten 99,4 % aller Phototrophen dieser Station aus (Abb.

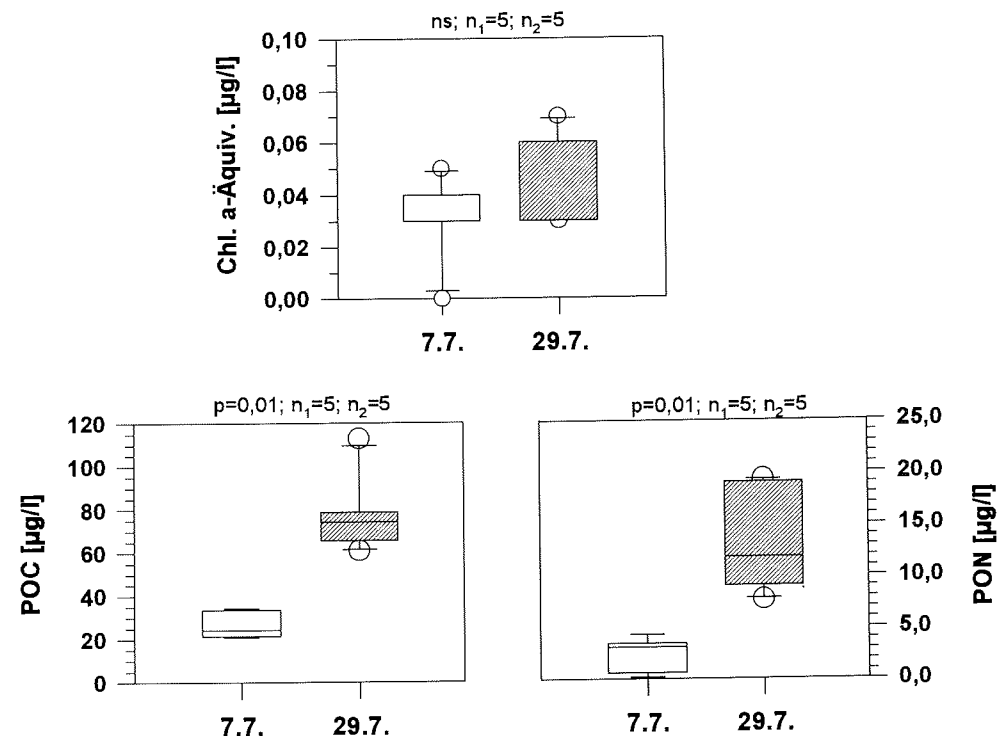


Abb. 39: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93: Chlorophyll a-, POC- und PON-Konzentrationen

41.c) und trugen 88 % zur Gesamtabundanz der eukaryotischen Lebensgemeinschaft bei. In weitaus höherer Anzahl als Protisten waren amorphe Aggregate vorhanden (Abb. 41.b), in die zum Teil Zellen eingebettet waren.

Am 29.7.93 hatte sich das Größenspektrum der Lebensgemeinschaft bis auf Zellen  $>100 \mu\text{m}$  erweitert (Abb. 40), die Gesamtzellzahl war angestiegen, und es hatte sich eine diverse Gemeinschaft photo- und heterotropher Protisten entwickelt (Abb. 41). Die Abundanz der Bakterien hatte sich leicht von  $3,4 \times 10^7$  auf  $5,5 \times 10^7$  Zellen/l erhöht, wobei der Anteil der Stäbchen auf 57,6 % angestiegen war (Abb. 41.a). Die Abundanz der Protisten in der Größenklasse 2-20  $\mu\text{m}$  hatte sich um 52 % erhöht. Dabei verringerte sich jedoch der Anteil der coccalen phototrophen Zellen  $<5 \mu\text{m}$  an dieser Größenklasse auf nur noch 3 % (Abb. 40), während sich gleichzeitig verschiedene photo- und heterotrophe Flagellaten einschließlich photo- und heterotropher Dinoflagellaten entwickelt hatten. In der Größenklasse 20-50  $\mu\text{m}$  waren die Abundanzen von 350 Zellen/l auf  $1,5 \times 10^4$  Zellen/l angestiegen.

Hiervon gehörten 93,0 % der Organismen einem einzigen Zelltyp an, einem heterotrophen Einzeller, der aufgrund seiner Dinokaryon-artigen Kernstruktur zu den Dinoflagellata gestellt wird. In der Größenklasse 50 - 100  $\mu\text{m}$  waren am 29.7. Organismen in einer Abundanz von etwa 500 Zellen/l vertreten, bei denen es sich zu 76,0 % um Vertreter der Ciliophora handelte. Oligotriche Ciliophora trugen 60,0 % zur Gesamtabundanz in dieser Größenklasse bei, haptoride Ciliophora (*Lacrymaria* sp. und *Didinium* sp.) hatten einen Anteil von 7,0 %. In der Größenklasse >100  $\mu\text{m}$  waren als einzige Organismen haptoride Ciliophora (*Lacrymaria* sp.) vertreten.

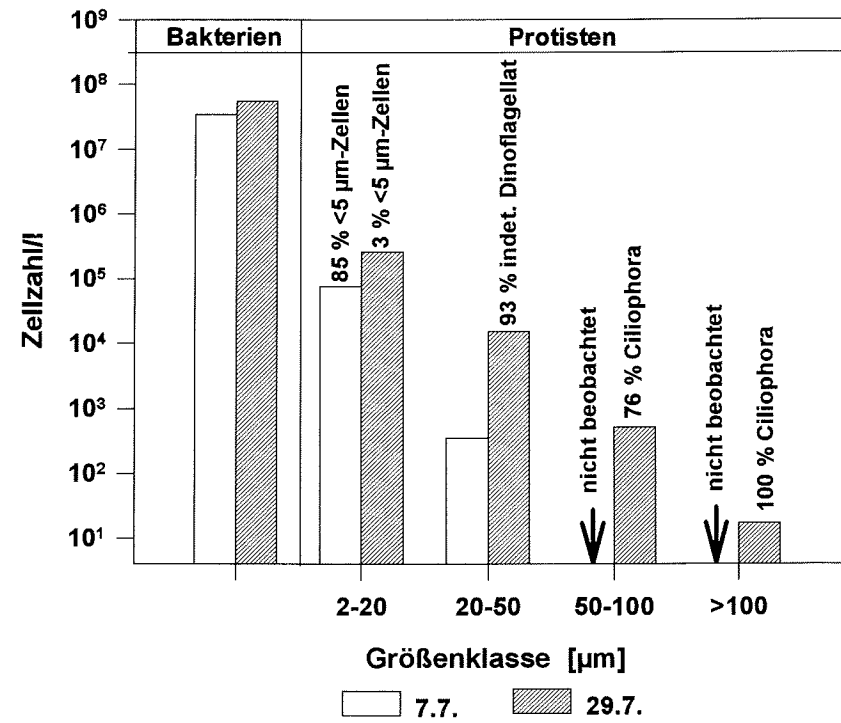


Abb. 40: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93: Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft (Größenklassenverteilung)

Bei Betrachtung der Lebensgemeinschaft unabhängig von ihrer Größenklassenverteilung wird deutlich, daß im Vergleich zum 7.7.93 die Zahl der heterotrophen Protisten auf das 25-fache angestiegen war, während die Zahl der Phototrophen sich halbiert hatte (Abb. 41). Aggregate wurden nicht mehr beobachtet. Innerhalb der Phototrophen war der Anteil der coccalen Zellen <5  $\mu\text{m}$  von 99,4 % auf 20,2 %



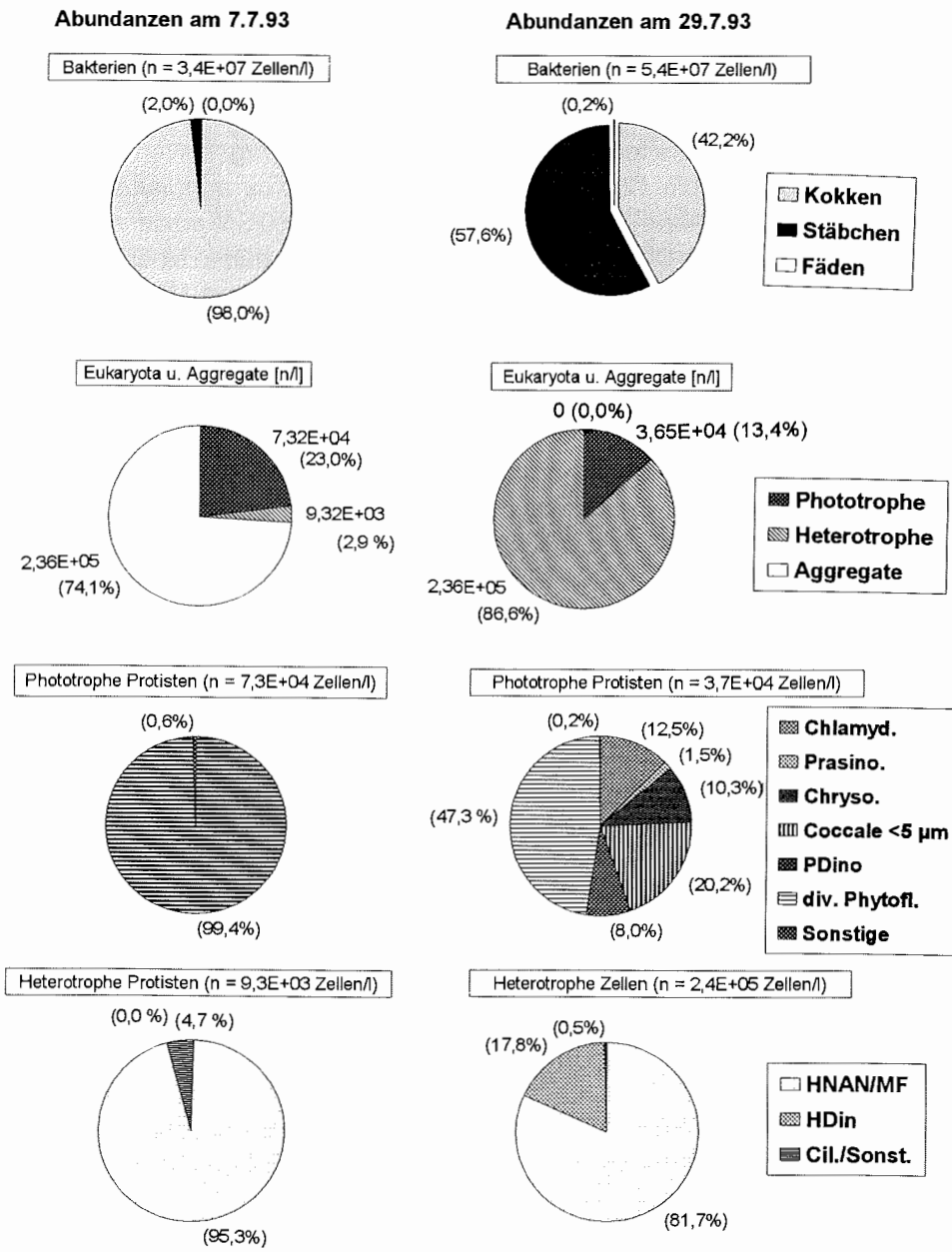


Abb. 41: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93: Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft (Abundanzen)

zurückgegangen. Gleichzeitig hatte sich eine Reihe anderer Algengruppen entwickelt, so z. B. die Chlorophyta mit Vertretern der Chlamydomphyceae und der Prasinophyceae, die zusammen 14 % der phototrophen Zellen stellten. Innerhalb der Chlamydomphyceae wurden *Carteria* sp. A sowie ein anderer, *Carteria*-ähnlicher Zelltyp mit abgehobener Zellwand festgestellt, der als *Carteria* sp. B bezeichnet wird (vgl. Tafel 1). Zwei weitere Algenklassen, die sich zu vegetativen Zellen entwickelt hatten, waren die Chrysophyceae mit *Chrysolykos angulatus* und die Dinophyceae. Die Chrysophyceae hatten einen Anteil von 10,3 % an der Abundanz der phototrophen Zellen. Die phototrophen Dinoflagellaten hatten einen Anteil von 8,0 %. Bei den heterotrophen Protisten hatten die Nano- und Mikroflagellaten (HNAN/HMF) ihre Dominanz mit einem Anteil von 81,7 % behauptet, wobei ihre Anzahl sich gegenüber dem 7.7.93 mehr als verzwanzigfacht hatte (Abb. 41). Daneben hatten sich heterotrophe Dinoflagellaten entwickelt und Zellzahlen von  $4,2 \times 10^4/l$  erreicht, was einem Anteil von 17,8 % an der heterotrophen Protistenpopulation entsprach. Ein typischer, nicht näher bestimmbarer Vertreter dieser Gruppe, der in der Größenfraktion 20-50  $\mu m$  dominierte, war im epifluoreszenzmikroskopischen Bild als ovale Zelle mit einem langen, knorrigen Zellkern zu erkennen (Dinoflagellat Typ B, vgl. Kap. 4.2.4.1). Unter den Ciliophora, die eine Abundanz von  $4,3 \times 10^2$  Zellen/l erreichten (sonstige Zellen:  $7,4 \times 10^2$  Zellen/l), dominierten oligotriche Vertreter, wie oben bereits erwähnt.

Die Veränderungen der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft spiegelten sich außer im POC-Gehalt auch in der organismischen Biomasse wieder, die aus dem mikroskopisch bestimmten Biovolumen der Zellen errechnet wurde. Am 7.7.93 bestand die Gesamt-Biomasse der Lebensgemeinschaft zu 40,5 % aus heterotrophen Protisten; phototrophe Protisten und Bakterien stellten 32,0 % bzw. 27,5 % der organismischen Biomasse von insgesamt  $1,5 \mu g$  Kohlenstoff/l (Abb. 42). Der Anteil der Kokken an der bakteriellen Biomasse betrug 54,0 %, der Anteil der Phototrophen an der eukaryotischen Biomasse 44,1 %. Als nicht-lebende Objekte gingen die Aggregate nicht in die Biomasseberechnung ein, so daß trotz eines nicht übermäßig hohen C:N-Verhältnisses von 8,9 von einem hohen Detritus-Anteil ausgegangen werden muß.

In den drei Wochen bis zum 29.7.93 erhöhte sich die organismische Biomasse der gesamten Lebensgemeinschaft um das 7-fache auf  $10,5 \mu g C/l$  (Abb. 42). Dabei veränderte sich auch der Beitrag der einzelnen Komponenten der Lebensgemeinschaft zur Biomasse. Die bakterielle Biomasse erhöhte sich von  $0,4 \mu g C/l$  auf  $1,2 \mu g C/l$ , wobei der Anteil der Stäbchen sich beinahe verdoppelte. Zusätzlich hatten sich fädige Bakterien entwickelt, die einen geschätzten Anteil von 2,5 % an der bakteriellen Biomasse hatten. Während die phototrophen Protisten am 7.7. 44,1 % zur Biomasse der Eukaryota beitrugen, verringerte sich ihr

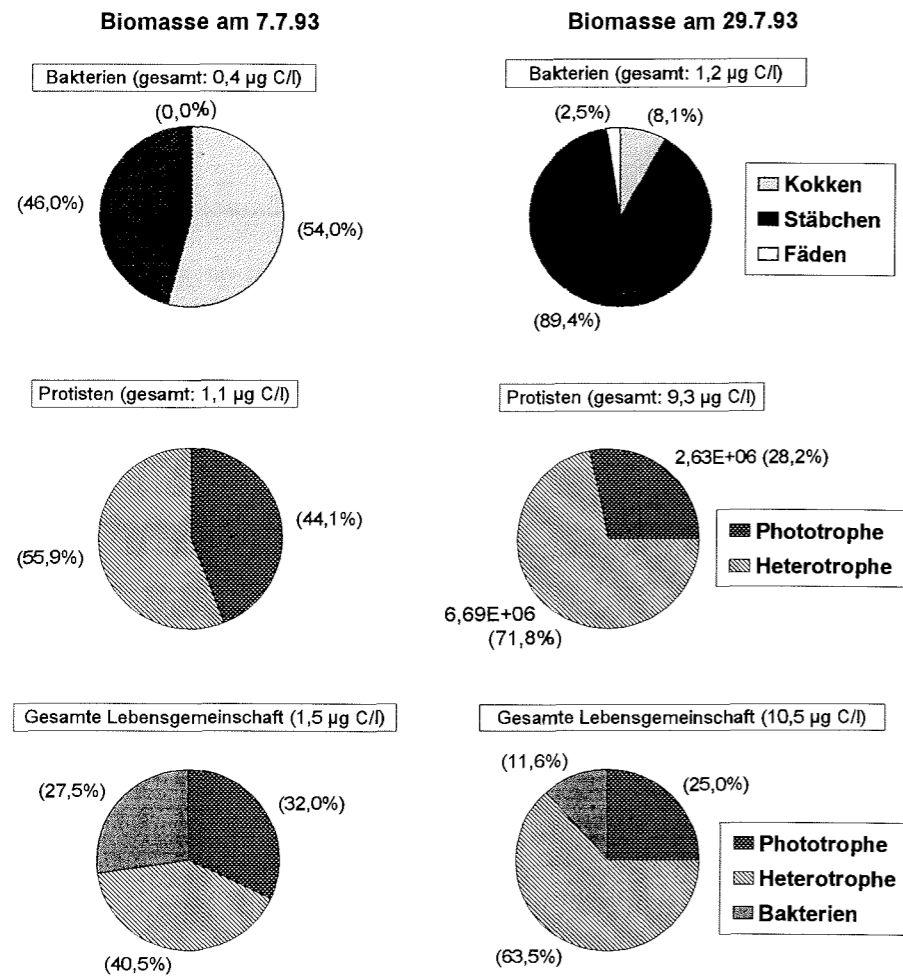


Abb. 42: Veränderungen der Station 15 vom 7.7. zum 29.7.93: Biomasseverteilung innerhalb der Lebensgemeinschaft

Anteil am 29.7. zugunsten der heterotrophen Protisten auf nur noch 28,2 % (Abb. 42). Der Beitrag der heterotrophen Protisten an den Eukaryota stieg um eine Zehnerpotenz von 0,6 µg C/l auf 6,7 µg C/l an. Ein Vergleich der Beiträge der drei Komponenten Bakterien, phototrophe und heterotrophe Protisten zur Gesamt-Biomasse der Lebensgemeinschaft zeigte, daß zwar alle Komponenten bis zu einer Zehnerpotenz an Biomasse gewonnen hatten, der Anteil der heterotrophen Protisten jedoch auf Kosten der Phototrophen und der Bakterien von 40,5 % auf 63,5 % angestiegen war. Der Anteil der Phototrophen an der organismischen

Biomasse der gesamten Lebensgemeinschaft war von 32,0 % auf 25,0 %, der Anteil der Bakterien dagegen sogar von 27,5 % auf 11,6 % gesunken, was dafür spricht, daß die heterotrophen Protisten Algen und Bakterien abweiden.

##### 4.3.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel

Nachdem im vorstehenden Kapitel die saisonale Variabilität der Meereistümpel exemplarisch an einem nach 22 Tagen wiederbesuchten Tümpel aufgezeigt wurde, soll in diesem Kapitel die generelle Übertragbarkeit der Ergebnisse zur zeitlichen Entwicklung auf die Meereistümpel des Untersuchungsgebiets überprüft werden. Da Ort und Zeit der Probennahme nicht unabhängig voneinander waren (Kap. 3.1.1), wird zusätzlich der Einfluß der geographischen Breite auf die Untersuchungsergebnisse überprüft.

###### *Flächenausdehnung der Meereistümpel*

Die Abb. 43 (links) zeigt die Größenverteilung der Meereistümpel im Jahresverlauf, wobei die Daten beider Untersuchungsjahre mit unterschiedlichen Symbolen gekennzeichnet sind. Eine sehr hohe Variabilität der Flächenausdehnung wurde im Zeitraum von Ende Juni bis Ende Juli 1993 beobachtet. Diese war bereits auf individuellen Schollen, d. h. kleinräumig, ausgeprägt. So variierten die Größen nur wenige Meter voneinander entfernt liegender Meereistümpel z. B. zwischen 18 m<sup>2</sup> und 6033 m<sup>2</sup> (Stationen 12 und 13) bzw. zwischen 5 m<sup>2</sup> und 2500 m<sup>2</sup> (Stationen 31 und 30; vgl. Tabellenanhang). Auch die drei Spitzenwerte von 20934 m<sup>2</sup> (Station 48, Tag 212), 6912 m<sup>2</sup> (Station 5, Tag 180) und 6033 m<sup>2</sup> (Station 13, Tag 187) wurden in diesem Zeitraum beobachtet. Die Variabilität der von Mitte Juli bis Mitte September 1994 beprobten Stationen war mit Werten zwischen 19 m<sup>2</sup> (Stationen 69 und 74) und 629 m<sup>2</sup> (Station 63) deutlich niedriger als im Vorjahr. Für beide Untersuchungsjahre zusammengenommen ließ sich anhand der Spearman-Rangkorrelation weder eine signifikante Korrelation zwischen der Flächenausdehnung und dem Tag der Probennahme noch der geographischen Breite nachweisen (Abb. 43 rechts).

Im Unterschied dazu zeigte sich jedoch im Untersuchungszeitraum 1994 eine signifikante Abnahme der Flächenausdehnung mit der Zeit ( $p = 0,05$ ; Spearman-Rangkorrelationskoeffizient  $r_s = -0,3732$ ;  $n = 25$ ), wobei sich anhand des optischen Eindrucks eine Zunahme der Flächenausdehnung mit einem Maximum am 8.8. (Tag 220) ableiten läßt. Gleichzeitig ließ sich eine statistisch hochsignifikante Abnahme der Flächenausdehnung der Meereistümpel von Nord nach Süd nachweisen ( $p = 0,001$ ;  $r_s = 0,6170$ ;  $n = 25$ ).

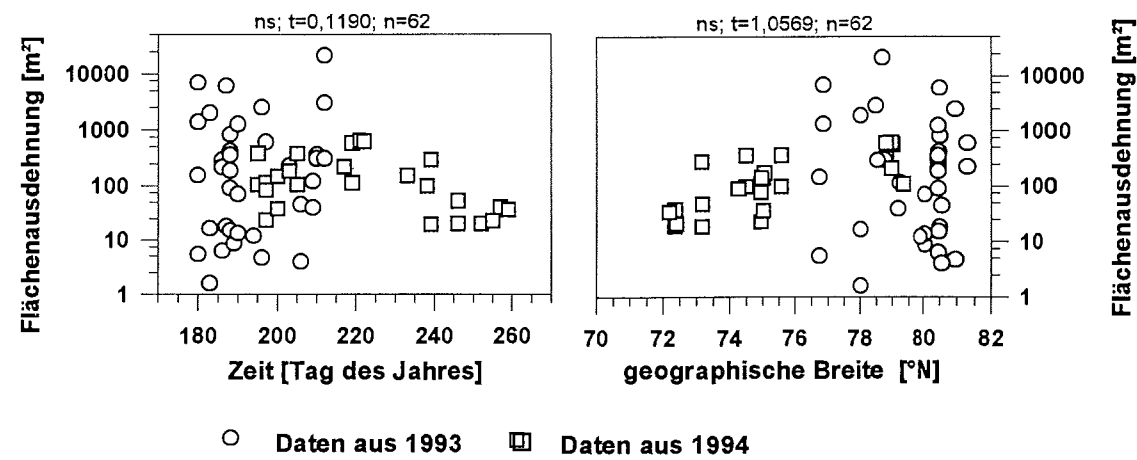


Abb. 43: Saisonale (links) und regionale (rechts) Entwicklung der Flächenausdehnung der Meereisümpel; logarithmische Skalierung der Y-Achse beachten. Für die Angabe des Tags der Probennahme auf der Zeitachse wurden die Tage des Kalenderjahres von 1 bis 365 durchnummeriert (vgl. Tab. 18 und Kap. 3.1.1); Tag 180 = 29.6., Tag 220 = 8.8.; Tag 259 = 16.9.

#### Tiefenentwicklung der Meereisümpel

Im saisonalen Verlauf (beide Untersuchungsjahre zusammengenommen; vgl. Abb. 44) zeigte sich eine statistisch hochsignifikante Zunahme der mittleren Wassertiefen mit der Zeit ( $p = 0,001$ ; t-Test). Diese zeichnete sich bereits für die Daten des Untersuchungszeitraums 1993 ab ( $p = 0,03$ ; t-Test) und bestätigte sich deutlich für die 1994 beprobten Stationen ( $p = 0,001$ ;  $r_s = 0,6247$ ;  $n = 24$ ). Es wurde ebenfalls ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen der mittleren Wassertiefe und der geographischen Breite der Stationen aus beiden Untersuchungsjahren deutlich ( $p = 0,001$ ; t-Test; Abb. 44).

#### Wassertemperatur, pH-Wert und Salinität der Meereisümpel

Signifikante Zusammenhänge zwischen der Wassertemperatur und dem Tag der Probennahme im Jahresverlauf ließen sich weder für die beiden Untersuchungsjahre zusammengenommen noch für 1993 und 1994 getrennt berechnet erkennen. Auch eine Abhängigkeit der Wassertemperatur von der geographischen Breite der Probennahme war nicht nachzuweisen (Abb. 45 oben).

Für die pH-Werte war dagegen ein deutlicher saisonaler Trend bei gemeinsamer Betrachtung der Daten beider Untersuchungsjahre zu erkennen ( $p = 0,02$ ; t-Test; Abb. 45 Mitte). Dabei bestand für die Daten aus 1993 (29.6.-31.7.) eine hochsignifikante positive Korrelation mit dem Tag der Probennahme ( $p = 0,001$ ;  $t = 6,2809$ ;  $n = 41$ ). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und der

geographischen Breite der Probennahme ließ sich weder bei gemeinsamer (Abb. 45 Mitte) noch bei getrennter Betrachtung der Daten aus beiden Untersuchungsjahren zeigen.

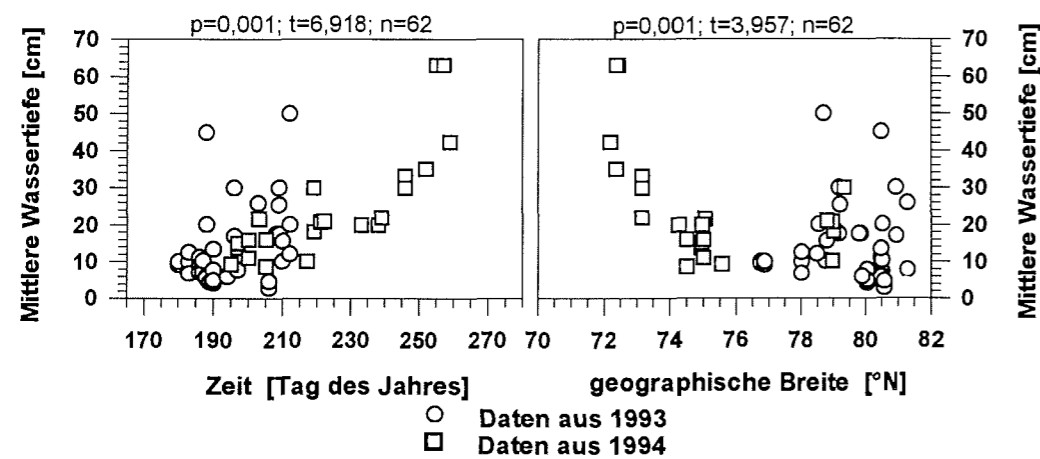


Abb. 44: Saisonale (links) und regionale (rechts) Entwicklung der mittleren Wassertiefen der 1993 und 1994 untersuchten Meereistümpel

Für die refraktometrisch bestimmte Salinität bestand eine hochsignifikante positive Korrelation mit dem Tag der Probennahme ( $p = 0,001$ ; t-Test; Abb. 45 unten). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Salinität und der geographischer Breite der Probennahme bestand weder bei gemeinsamer (Abb. 45 unten) noch bei getrennter Betrachtung der Datensätze aus 1993 und 1994.

*Entwicklung der Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentrationen in den Meereistümpeln*

Die Leitfähigkeit (Abb. 46 oben) zeigte eine hochsignifikante positive Korrelation sowohl mit dem Tag der Probennahme ( $p = 0,002$ ;  $r_s = 0,5047$ ;  $n = 23$ ) als auch mit der geographischen Breite ( $p = 0,002$ ;  $r_s = -0,0035$ ;  $n = 23$ ).

Signifikante Zusammenhänge zwischen der Sauerstoffkonzentration und der Zeit oder mit der geographischen Breite der Probennahme konnten für den Gesamtdatensatz aus 1994 nicht hergestellt werden (Abb. 46 unten). Bei getrennter Betrachtung beider Datensätze zeigte sich nur für das Untersuchungsgebiet zwischen  $79^\circ\text{N}$  und  $75^\circ\text{N}$  (Fahrabschnitt ARK 10/1) eine Abnahme des Sauerstoffgehalts mit der geographischen Breite ( $r_s = -0,6000$ ;  $n = 15$ ;  $p = 0,025$ ).

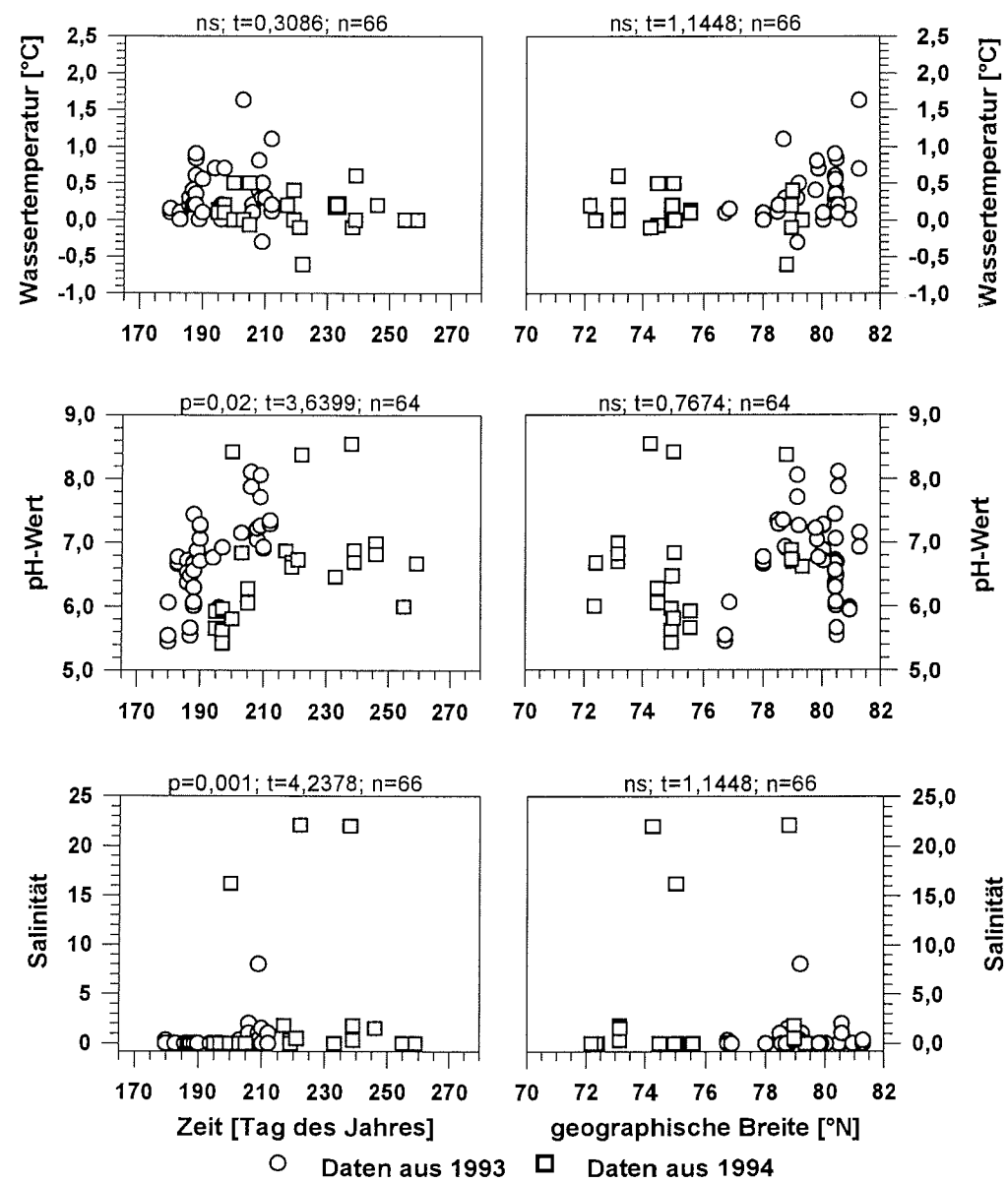


Abb. 45: Saisonale (links) und regionale (rechts) Entwicklung der mittleren Wassertemperaturen (oben), pH-Werte (Mitte) und Salzgehalte (unten) der Meereistümpel; ns = nicht signifikant

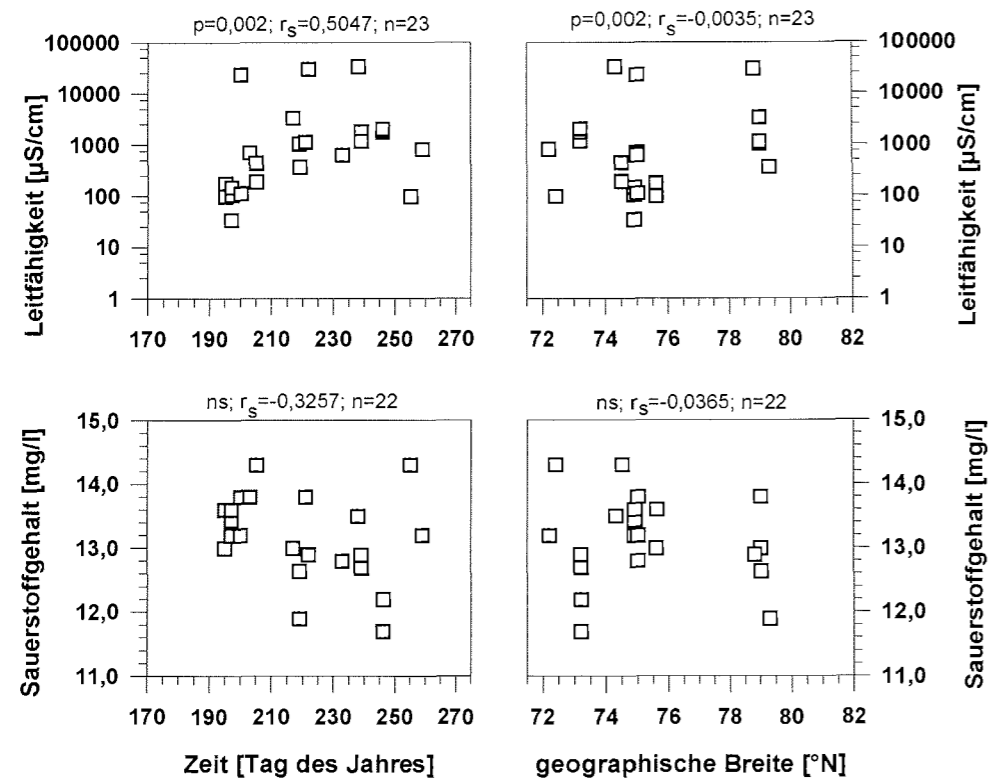


Abb. 46: Saisonale (links) und regionale (rechts) Entwicklung der mittleren Leitfähigkeiten (oben) und Sauerstoffkonzentrationen (unten) in den 1994 untersuchten Meereistümpeln; logarithmische Skalierung beachten; ns = nicht signifikant

*Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen in den Meereistümpeln*

Saisonale Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen in den Meereistümpeln (Abb. 47 links) ließen sich nur für Nitrat, Silikat und Phosphat nachweisen, nicht jedoch für Nitrit und Ammonium. Für die Nitratkonzentrationen zeigte sich im Zeitraum von Juli bis Mitte September eine signifikante Abnahme ( $p = 0,01$ ; t-Test; Abb. 47), was sich vor allem auf die starke Abnahme der Nitratwerte im Juli 1993 zurückführen läßt ( $p = 0,01$ ; t-Test; Tab. 19). Die Entwicklung der Silikatkonzentrationen zeigte von Juli bis Mitte September ebenfalls eine signifikante Korrelation mit der Zeit ( $p = 0,01$ ; t-Test; Abb. 47). Nach dem Nalimovschen Test erwiesen sich die Daten der Stationen 64 ( $p = 0,001$ ), 67 und 41 ( $p = 0,01$ ) als Ausreißer, konnten jedoch nicht aus dem Datensatz entfernt werden, da keine Normalverteilung vorlag ( $p > 0,1$ ). Bei getrennter Betrachtung der Datensätze aus beiden Untersuchungsjahren wurde nur für den Gesamtdatensatz aus 1994 eine



#### 4 Ergebnisse

signifikante positive Korrelation der Silikatkonzentration mit der Zeit deutlich ( $p = 0,02$ ; Tab. 19). Für die Phosphatkonzentrationen zeigte sich im saisonalen Verlauf eine signifikante Zunahme von Juli bis Mitte September ( $p = 0,05$ ; t-Test; Abb. 47), die sich in erster Linie auf die Verhältnisse im Juli 1993 zurückführen ließ ( $p = 0,001$ ; t-Test; Tab. 19).

Tab. 19: Korrelationen zwischen den Nitrat-, Silikat- und Phosphatkonzentrationen in den Meereistümpeln und dem Zeitpunkt der Probennahme. Sp.-Rang = Rangkorrelation nach Spearman; ns = nicht signifikant

Parameter	Zeitraum	p (2-seitig)	Testwert	Test	n
Nitrat	2.7.-31.7.1993	$p = 0,01$	$t = 3,1346$	t-Test	36
Nitrat	14.7.-16.9.1994	ns	$r_s = 0,3661$	Sp.-Rang	25
Silikat	2.7.-31.7.1993	ns	$t = 1,4694$	t-Test	36
Silikat	14.7.-16.9.1994	$p = 0,02$	$r_s = 0,5658$	Sp.-Rang	25
Phosphat	2.7.-31.7.1993	$p = 0,001$	$t = 5,0601$	t-Test	36
Phosphat	14.7.-16.9.1994	ns	$r_s = -0,0280$	Sp.-Rang	25

Über den gesamten Untersuchungszeitraum 1993 und 1994 betrachtet ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Nährstoffkonzentrationen und der geographischen Breite der Probennahme nachweisen (Abb. 47 rechts).

#### *Entwicklung der Chlorophyllkonzentrationen in den Meereistümpeln*

Für die Chlorophyllkonzentrationen ließ sich eine signifikante Zunahme mit der Zeit nachweisen ( $p = 0,025$ ; t-Test; Abb. 48 oben). Ein signifikanter Zusammenhang mit der geographischen Breite der Probennahme bestand jedoch nicht.

#### *Entwicklung der POC- und PON-Konzentrationen in den Meereistümpeln*

Für die POC- und PON-Konzentrationen ließ sich im saisonalen Verlauf eine hochsignifikante Zunahme mit der Zeit nachweisen ( $p = 0,001$ ; t-Test; Abb. 48 Mitte). Die POC-Konzentrationen zeigten eine leichte, aber signifikante ( $p = 0,01$ ; t-Test) Zunahme von Nord nach Süd. Für die PON-Konzentrationen bestand keine signifikante Korrelation mit der geographischen Breite der Probennahme (Abb. 48 unten).

4.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel

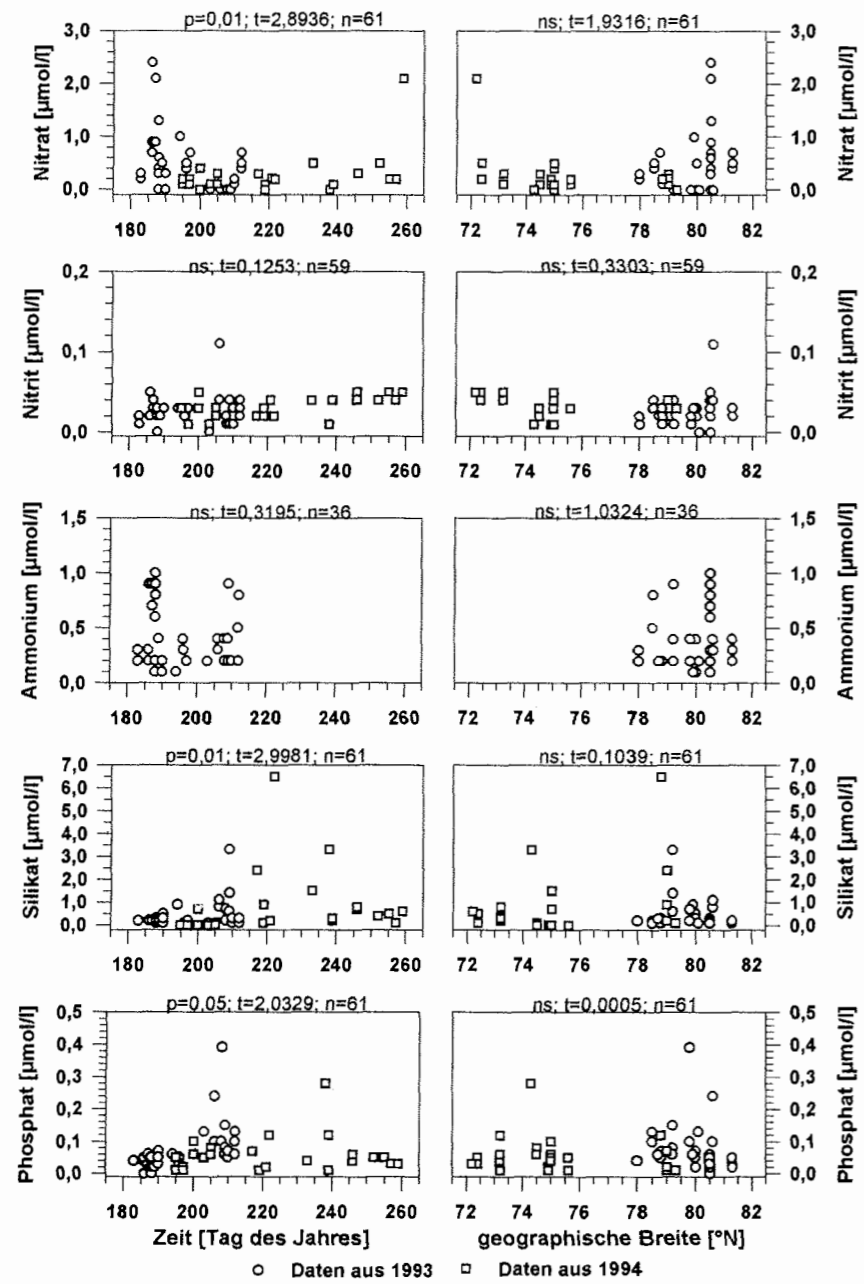


Abb. 47: Saisonale (links) und regionale (rechts) Entwicklung der mittleren Nährstoffkonzentrationen der Meereistümpel im Untersuchungszeitraum 1993/94; Ammoniumkonzentrationen nur für 1993; ns = nicht signifikant

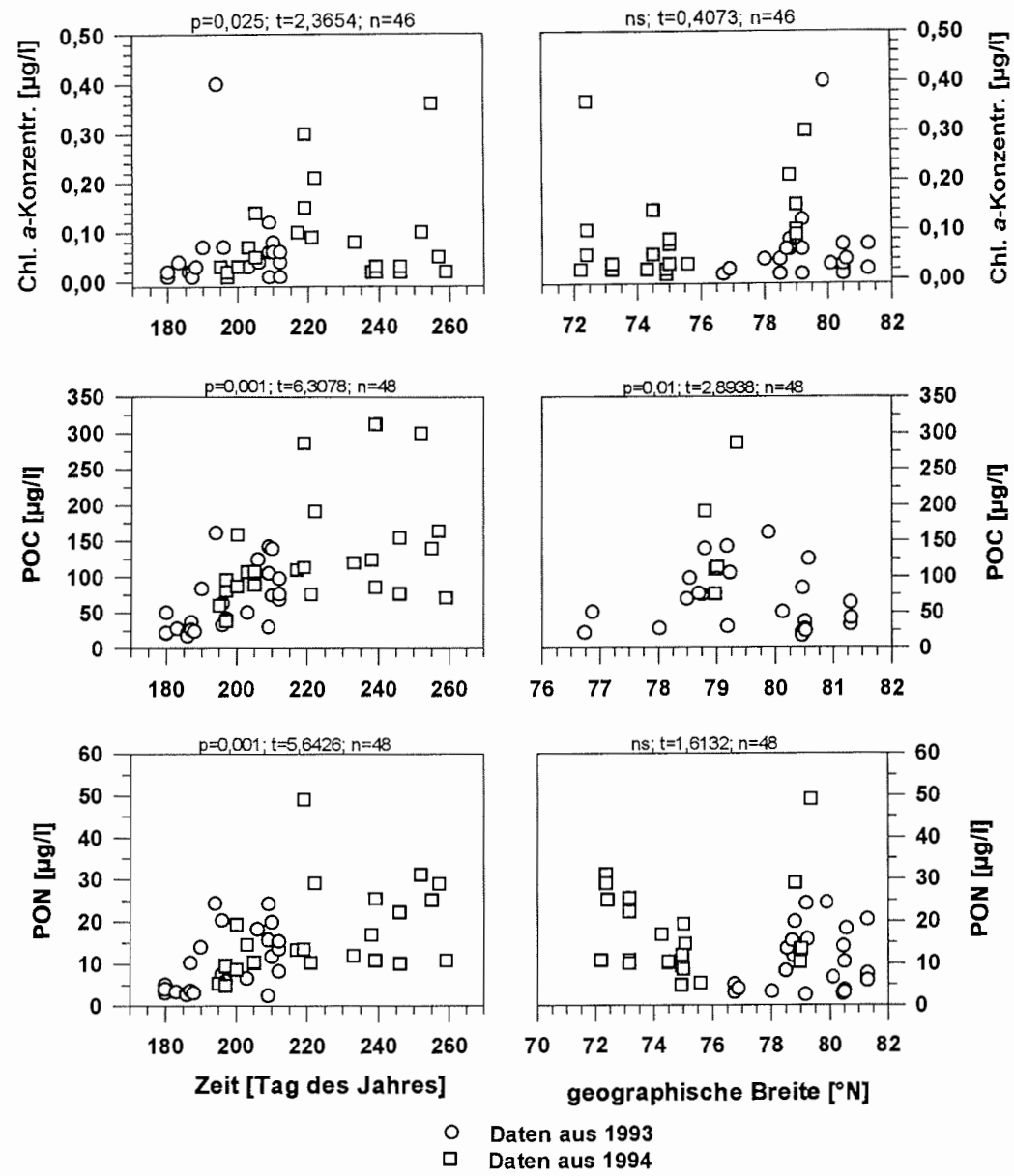


Abb. 48: Saisonale (links) und regionale (rechts) Entwicklung der mittleren Chlorophyll a- (oben), POC- und PON-Konzentrationen der Meereisümpel im Untersuchungszeitraum 1993/94; ns = nicht signifikant

##### *Zusammenfassung der Entwicklung der abiotischen und biotischen Parameter*

Im saisonalen Verlauf verringerte sich die Flächenausdehnung der Meereistümpel, während die Wassertiefe im Gegensatz zu dem in Kap. 4.3.2 dargestellten Entwicklungsverlauf der wiederbesuchten Station 15 eine signifikante Zunahme mit der Zeit zeigte. Auch ließ sich für den Zeitraum von Juli bis September keine saisonale Abnahme der Wassertemperatur nachweisen. Die leichte Erhöhung des pH-Werts der Station 15 spiegelte ebenso wie der Anstieg der Salinität eine generelle Entwicklungstendenz wider, denn auch im saisonalen Verlauf erfolgte eine signifikante Zunahme des pH-Werts und der Salinität sowie der Leitfähigkeit. Die Sauerstoffkonzentrationen dagegen zeigten keinen saisonalen Trend. Bei den Nährstoffkonzentrationen bestätigte sich die bereits an der zeitlichen Entwicklung der Station 15 erkennbare saisonale Abnahme der Nitratkonzentrationen, gepaart mit einem Anstieg der Phosphatkonzentrationen. Für beide signifikanten Ergebnisse sind die Verhältnisse im Frühsommer (Juli) maßgeblich. Auch der signifikante saisonale Anstieg der Silikatkonzentrationen hatte sich bereits an der wiederbesuchten Station 15 abgezeichnet. Die Ergebnisse unterstreichen ebenfalls die generelle Zunahme der Chlorophyll *a*-, POC- und PON-Konzentrationen im saisonalen Verlauf, die bereits an der zeitlichen Entwicklung der Station 15 deutlich geworden war. Ein Zusammenhang zwischen der geographischen Breite der Probennahme und den Meßergebnissen ließ sich über den Untersuchungszeitraum 1993/94 nur für die Flächenausdehnung (Abnahme von Nord nach Süd), Wassertiefe (Zunahme), Leitfähigkeit (Zunahme) und die POC-Konzentration zeigen (Anstieg von Nord nach Süd).

##### *Entwicklung der bakteriellen Abundanzen und Biomasse in den Meereistümpeln*

Die Gesamtabundanz der Bakterien variierte im saisonalen Verlauf zwischen  $1,0 \times 10^7$  Zellen/l im Frühsommer (6. Juli = Tag 187, Station 13) und  $16,5 \times 10^7$  Zellen/l im Herbst (16. September = Tag 259, Station 79; Abb. 49 oben). Der Anstieg der Zellzahlen war statistisch signifikant ( $p = 0,05$ ; Spearman-Rangkorrelation;  $r_s = 0,6444$ ). In den ersten zwei Wochen des Untersuchungszeitraums war eine besonders starke Variabilität der Zellzahlen zu beobachten (Tag 183 - Tag 194). Zwischen Frühsommer und Herbst veränderte sich die Zusammensetzung der Bakterien (Abb. 49 Mitte). Der Anteil der Stäbchen stieg von Werten zwischen 2,0 % und 38,7 % in den ersten Untersuchungstagen (Tag 183 - 194) signifikant auf Werte zwischen 43,6 % und 95,2 % an ( $p = 0,02$ ; Spearman-Rangkorrelation;  $r_s = 0,8450$ ). Der Anteil der Kokken verringerte sich entsprechend; fädige Bakterien wurden nur an 2 Stationen mit einem Anteil von  $< 1$  % gefunden. Die niedrigste Stäbchenabundanz von  $0,1 \times 10^7$  Zellen/l wurde am 7. Juli (Tag 188) an Station 15 festgestellt, der Maximalwert von  $15,7 \times 10^7$  Zellen/l am letzten Probennahmetag (16. September, Station 79). Die Veränderung in der Bakterienzusammensetzung

#### 4 Ergebnisse

spiegelte sich in der bakteriellen Biomasse wider, die an Stationen mit einem hohen Anteil an Stäbchen signifikant erhöht war ( $p = 0,05$ ; Median-Test;  $\text{CHI}^2 = 6,000$ ; Abb. 49 unten). Vier von fünf zwischen dem 29.6. (Tag 180) und dem 7.7. (Tag 188) beprobten Stationen bildeten eine Gruppe mit besonders niedrigen Stäbchenabundanz von  $<0,6 \times 10^7$  Zellen/l und niedriger bakterieller Biomasse mit Werten von  $<1,0 \mu\text{g C/l}$  (Abb. 49 unten, Stationen 8, 9, 13, 15). Die Maximalwerte der bakteriellen Biomasse wurden mit  $9,1 \mu\text{g C/l}$  im Brackwassertümpel (Station 64) und mit  $6,4 \mu\text{g C/l}$  am Tag der letzten Probennahme am 16.9. festgestellt (Station 79). Die Überprüfung der Breitenabhängigkeit der Werte zeigte parallel zu den saisonalen Veränderungen eine Zunahme der bakteriellen Gesamtabundanz von Nord nach Süd (Tab. 20).

Tab. 20: Korrelationen zwischen den bakteriellen Abundanz- und Biomassewerten in 10 Meereistümpeln und dem Ort der Probennahme (geographische Breite,  $72^\circ\text{N} - 80,5^\circ\text{N}$ ), ermittelt anhand der Rangkorrelation nach Spearman; ns = nicht signifikant

Parameter	p (2-seitig)	Testwert	Korrelation mit geographischer Breite
Gesamtabundanz Bakterien	$p = 0,05$	$r_s = -0,6771$	ja, Zunahme von Nord nach Süd
Abundanz Stäbchen	ns	$r_s = -0,5956$	keine signif. Korrel.
Abundanz Kokken	ns	$r_s = -0,0940$	keine signif. Korrel.
Biomasse Bakterien	ns	$r_s = -0,3994$	keine signif. Korrel.

#### Entwicklung der Abundanzen und Zusammensetzung der Protisten

Die Gesamtabundanz der Protisten zeigte ähnlich wie bei den Bakterien im Frühsommer eine starke Variabilität (Abb. 50). Innerhalb der ersten 8 Tage des Untersuchungszeitraums wurden Zellzahlen zwischen  $0,7 \times 10^5/\text{l}$  und  $12,2 \times 10^5/\text{l}$  festgestellt, letztere wurden zu  $>90\%$  von coccalen phototrophen Zellen  $<5 \mu\text{m}$  gebildet (Station 13). Die zwischen Mitte Juli und Mitte August untersuchten vier Meereistümpel wiesen Abundanzen auf einem mittleren Niveau auf ( $1,7 \times 10^5$  Zellen/l bis  $4,1 \times 10^5$  Zellen/l), während die Zellzahlen im Herbst um eine Größenordnung niedriger lagen und gleichzeitig den Minimalwert der Meßreihe darstellten ( $0,2 \times 10^5$  Zellen/l; Station 79). Die Unterschiede waren statistisch jedoch nicht signifikant (Median-Test). Die saisonale Entwicklung der Gesamtabundanz wurde im wesentlichen durch die phototrophen Zellen bestimmt (Abb. 50 Mitte), wobei die Abundanzentwicklung photo- und heterotropher Zellen ca. ab Mitte Juli (Tag

4.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel

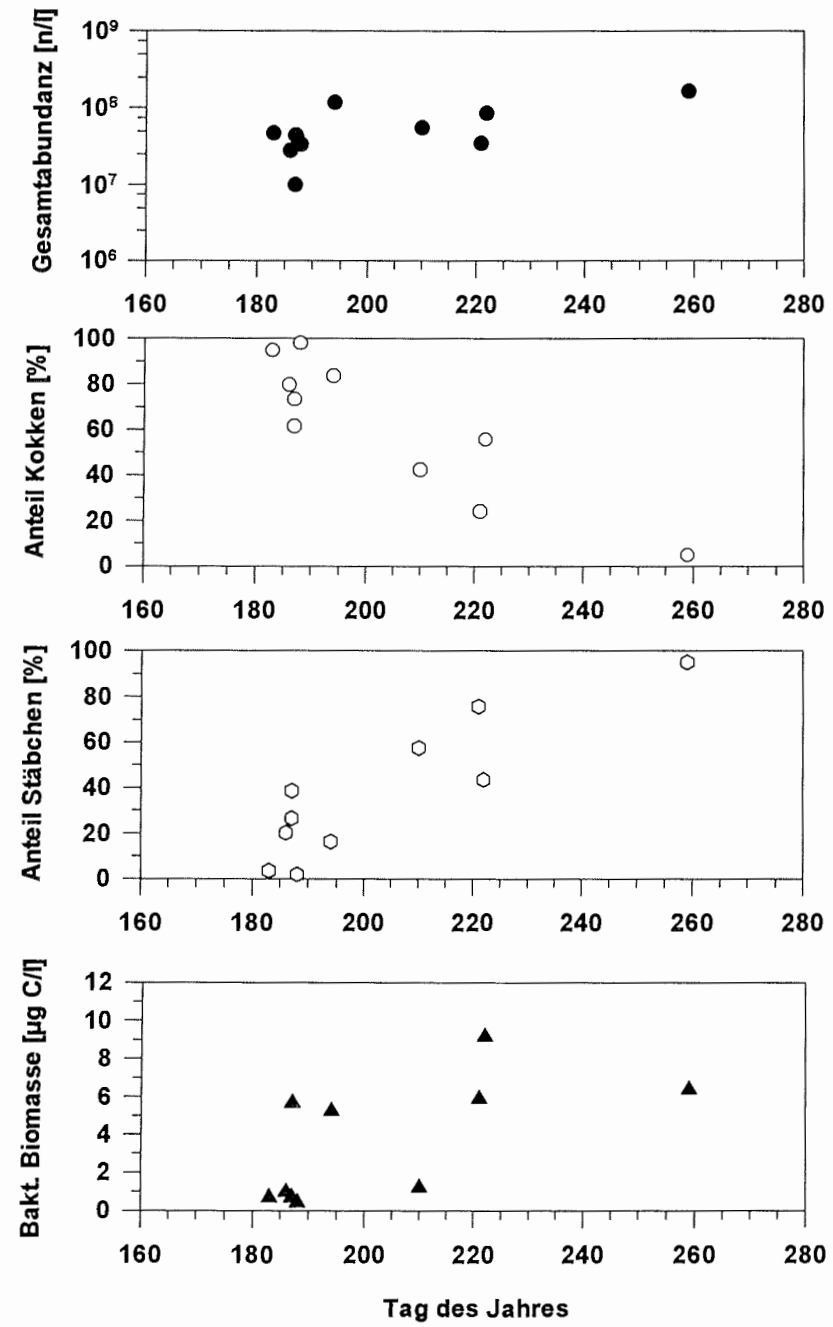


Abb. 49: Entwicklung der Bakterienabundanz (oben), der Anteile der Kokken und Stäbchen an der Gesamtabundanz (Mitte) und der bakteriellen Biomasse (unten) im Verlauf der Sommermonate 1993 und 1994

194) gegenläufig verlief, was auf den Fraßdruck der sich in den Meereistümpeln entwickelnden Protozoen (Ciliophora, Dinoflagellida) auf die phototrophen Zellen hinweist.

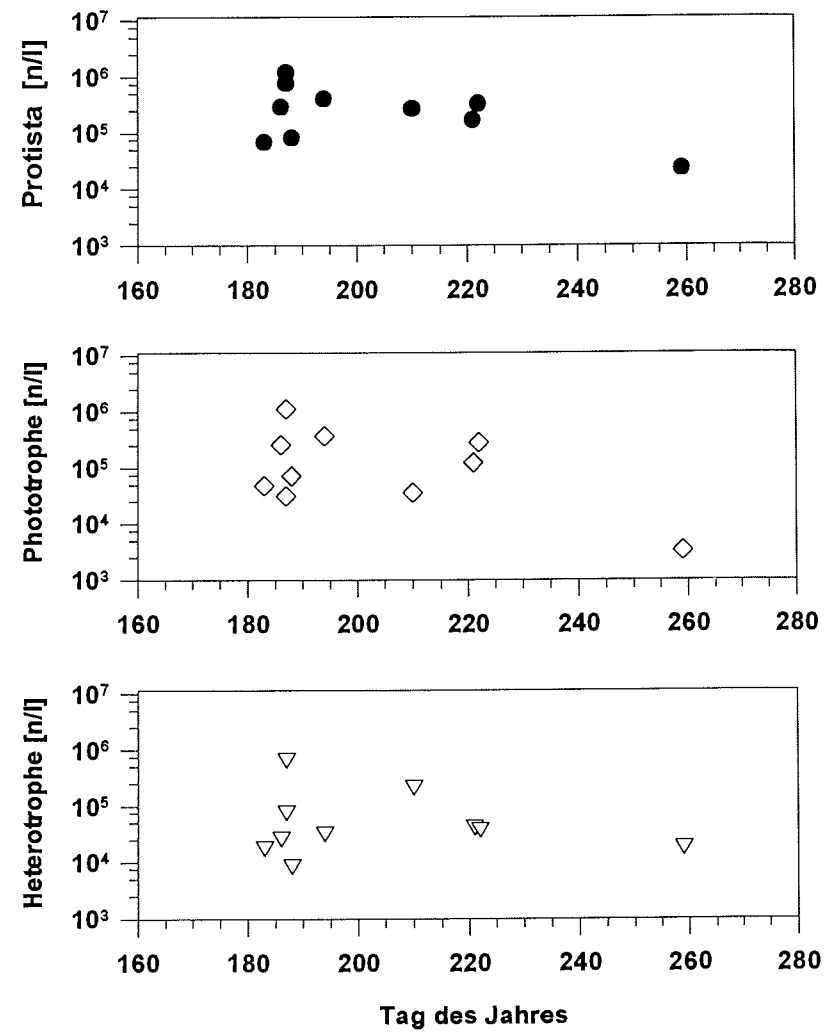


Abb. 50: Entwicklung der Abundanzen aller Protisten (oben), der photo- und heterotrophen Protisten (Mitte und unten) in 10 Meereistümpeln im Verlauf der Sommermonate 1993 und 1994

#### 4.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel

Eine signifikante Korrelation zwischen dem Ort der Probennahme und der Gesamtabundanz der Eukaryota, der Abundanz photo- und heterotropher Protisten und der Biomasse-Summenparameter der zugehörigen zehn Stationen ließ sich nicht zeigen (Tab. 21).

Tab. 21: Korrelationen zwischen den bakteriellen Abundanz- und Biomassewerten in 10 Meereistümpeln und dem Ort der Probennahme (geographische Breite, 72°N - 80,5°N), ermittelt anhand der Rangkorrelation nach Spearman; ns = nicht signifikant

Parameter	p (2-seitig)	Testwert	Korrelation mit geographischer Breite
Gesamtabundanz Eukaryota	ns	$r_s = 0,6332$	keine signif. Korrel.
Abundanz phototropher Protisten	ns	$r_s = 0,4138$	keine signif. Korrel.
Abundanz heterotropher Protisten	ns	$r_s = 0,2194$	keine signif. Korrel.
Chl. a-Äquivalentkonzentration	ns	$r_s = -0,3746$	keine signif. Korrel.
POC-Konzentration	ns	$r_s = -0,5205$	keine signif. Korrel.
PON-Konzentration	ns	$r_s = -0,2382$	keine signif. Korrel.

Veränderungen in der Zusammensetzung der Gemeinschaft im zeitlichen Verlauf waren sowohl bei den photo- als auch bei den heterotrophen Zellen zu beobachten. Zu Beginn der Sommersaison (Tage 183 - 188) bildeten coccale phototrophe Zellen  $< 5 \mu\text{m}$  zwischen 45,8 % und 99,2 % der phototrophen Protisten (Abb. 51. oben). Von Mitte Juli bis etwa Mitte August erreichte dieser Zelltyp nur Anteile zwischen 5,1 % und 20,3 % und war Mitte September nicht mehr zu finden. Chlamydothyceen waren zu Beginn der Saison nur in 2 von 5 Meereistümpeln mit Anteilen zwischen 11,2 und 17,3 % an der Gesamtabundanz der phototrophen Zellen zu beobachten, später im Jahr lag ihr Anteil zwischen 12,5 % und 51,6 % (Ausnahme: Station 64/Tag 222; in diesem brackigen Meereistümpel waren die Chlorophyta durch Prasinophyceen anstelle von Chlamydothyceen vertreten). Loricata Chrysophyceen traten mit Anteilen von bis zu 10,4 % erst ab Mitte Juli auf. Phototrophe Dinoflagellaten, die zwar auch an einer Anfang Juli (Tag 186) und Mitte Juli (Tag 194) beprobten Station mit einem Anteil von  $< 1$  % auftraten, erreichten zwischen Ende Juli und Mitte August Anteile zwischen 8,0 % und 10,2 % und bildeten am letzten Probennahmetag noch 2,1 % der phototrophen Zellen. Verschiedene andere phototrophe Zellen trugen zu Beginn der Saison zwischen 0,5 und 43,1 % zur Gesamtabundanz der Phototrophen bei, im weiteren Jahresverlauf stieg ihr Anteil auf Werte zwischen 25,4 % und 66,3 % an. Insgesamt zeichnet sich ein Trend von geringer Diversität, d. h. Dominanz weniger Zelltypen bzw. Taxa,



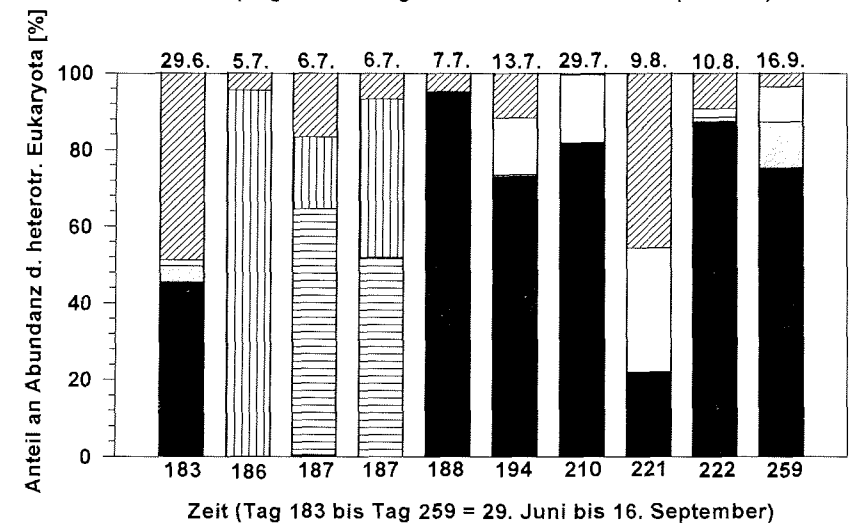
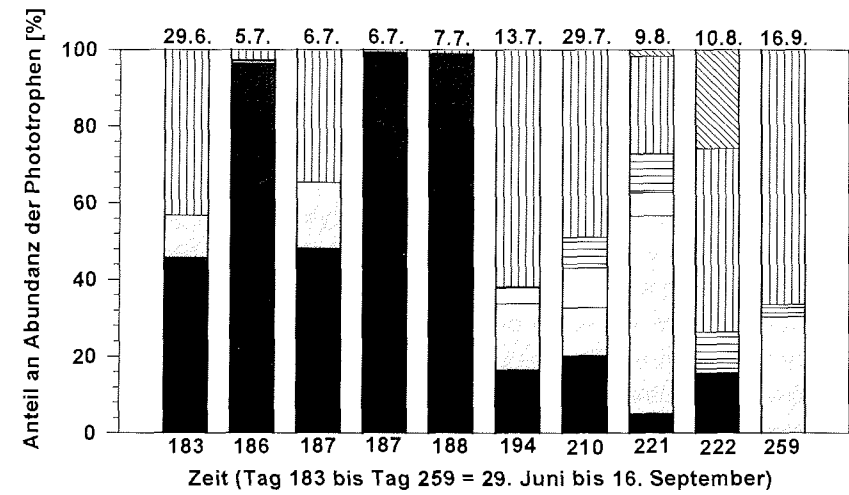
insbesondere an den Stationen 9, 12 und 13 (Tage 186 - 188), hin zu einer vielfältigeren Zusammensetzung der phototrophen Zellen im Laufe der Sommersaison ab.

Bei den heterotrophen Eukaryota ließ sich ein solcher Trend nicht feststellen (Abb. 51 unten). Saisonale Unterschiede in der Zusammensetzung der Gemeinschaft waren insbesondere anhand der spindel- und zylinderförmigen heterotrophen Zellen zu erkennen, die ausschließlich in drei der Anfang Juli beprobten Meereistümpel auftraten. Heterotrophe Nanoflagellaten waren in diesen drei Tümpeln nicht von Bedeutung (Anteile  $< 1\%$  an den heterotrophen Eukaryota), hatten aber an allen übrigen Stationen mit  $22,0\%$  bis  $95,3\%$  wesentliche Anteile an der Zusammensetzung der heterotrophen Eukaryota. Auch heterotrophe Dinoflagellaten und Ciliophora waren mit Ausnahme der drei eben genannten Meereistümpel an allen übrigen Stationen, d. h. über die gesamte Sommersaison, vertreten. Dabei war die Bedeutung der heterotrophen Dinoflagellaten von Mitte Juli bis Anfang August am höchsten, ihr Anteil stieg von  $14,8\%$  am 13.7. auf einen Maximalwert von  $32,4\%$  am 9.8. an. Der Anteil der Ciliophora war zu Beginn der Saison (29.6., Station 8) mit  $4,3\%$  und Mitte September mit einem Anteil von  $12,0\%$  am höchsten, während ihr Anteil an den heterotrophen Eukaryota in der übrigen Zeit zwischen  $0\%$  und  $1,2\%$  betrug. Anhand der Abundanzen ließ sich jedoch für die Ciliophora zeigen, daß zwischen dem 5.7. und dem 16.9. ein signifikanter Anstieg der Zellzahlen stattgefunden hatte ( $p = 0,05$ ;  $r_s = 0,9083$ ; Spearman-Rangkorrelation).

#### *Zusammenfassung der Entwicklung der Lebensgemeinschaft*

Im saisonalen Verlauf zeigte sich eine signifikante Zunahme der Gesamtabundanz der Bakterien. Die gleichzeitige Zunahme des Anteils der Stäbchen spiegelte sich in einem ebenfalls signifikanten Anstieg der bakteriellen Biomasse wider. Auch für die durch Protisten repräsentierte eukaryotische Lebensgemeinschaft bestätigte sich im saisonalen Verlauf eine Veränderung der Organismenzusammensetzung und Größenstruktur, verbunden mit einem signifikanten Anstieg der Abundanz der Ciliophora. Damit bestätigten sich die Tendenzen, die sich in der zeitlichen Entwicklung der wiederbesuchten Station 15 bereits abgezeichnet hatten. Die Bakterienabundanzen waren gleichzeitig positiv mit der geographischen Breite des Orts der Probenahme korreliert; für die bakterielle Biomasse ebenso wie für die Abundanz der Protisten und der Biomasse-Summenparameter an den zugehörigen Stationen bestand kein signifikanter Zusammenhang.

4.3 Saisonale und regionale Variabilität der Meereistümpel



Phototrophe Zellen (Abb. oben)

Heterotrophe Zellen (Abb. unten)

- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| coccale phototrophe Zellen <5 µm | heterotrophe Nanoflagellaten (HNAN)   |
| Chlamydomonadales                | Ciliophora                            |
| Chrysophyceae                    | heterotrophe Dinoflagellaten          |
| phototrophe Dinoflagellaten      | zylindrische heterotrophe Eukaryota   |
| diverse phototrophe Zellen       | spindelförmige heterotrophe Eukaryota |
| Bacillariophyceae (lebend)       | sonstige heterotrophe Eukaryota       |

Abb. 51: Saisonale Entwicklung der Zusammensetzung der phototrophen (oben) und heterotrophen Protisten (unten) in Meereistümpeln (n = 10)

## 5 Diskussion

### 5.1 Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung

In diesem Kapitel sollen die Charakteristika der Meereistümpel zusammenfassend diskutiert und mit den Ergebnissen anderer Autoren verglichen werden. Gleichzeitig soll auf die Variabilität und die Bedeutung der einzelnen Faktoren für den Lebensraum und seine Besiedlung eingegangen werden.

#### 5.1.1 Häufigkeit, Morphometrie, Farbe und Besonderheiten der Meereistümpel

Aufgrund des großen Interesses nicht-biologischer Disziplinen an den physikalischen Eigenschaften der Meereistümpel liegen eine Reihe von Vergleichsdaten zum Bedeckungsgrad der Meereisoberfläche mit Tümpeln (Tab. 22), zur Flächenausdehnung, Wassertiefe und Farbe von Meereistümpeln vor (Tab. 23, 24; Tab. 25), allerdings zumeist aus anderen Untersuchungsgebieten und häufig in Form punktueller Messungen und "grauer" Literatur (Expeditionsberichte). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern neue Erkenntnisse über das Vorkommen und die Variabilität von Meereistümpeln im Gebiet des Ostgrönlandstroms und stellen erstmals eine Verbindung zwischen physikalischen und biologischen Parametern her.

##### 5.1.1.1 Meereistümpel-Bedeckungsgrad und Ursachen seiner Variabilität

Die Häufigkeit der Meereistümpel, ausgedrückt als Bedeckungsgrad der Meereisoberfläche mit Tümpeln, lag auf den in der vorliegenden Arbeit beprobten Eisschollen und Festeisflächen bei einem mittleren Wert von 20 %. Regional waren nach eigenen Eisbeobachtungen vom Schiff und vom Helikopter aus im gesamten Untersuchungsgebiet zwischen <10 % und 70 % der Meereisoberfläche mit Tümpeln bedeckt; der Medianwert betrug 25 % (vgl. Kap. 4.1.1). Diese Ergebnisse stimmen mit den Resultaten anderer Autoren überein (Tab. 22), wobei Bedeckungsgrade zwischen 1 % und 95 % beobachtet wurden. Eine gute Übereinstimmung besteht trotz unterschiedlicher Methoden (eigene Daten: visuelle Abschätzungen) insbesondere mit den Daten von Garrity et al. (1991) und El Naggat et al. (1998), die im selben Untersuchungsgebiet mit Methoden der Fernerkundung ermittelt wurden.

Für die starke Variabilität des Meereistümpel-Bedeckungsgrads, wie in Tab. 22 dargestellt, sind im wesentlichen 3 Faktoren verantwortlich: a) der Zeitpunkt der Beobachtung, b) die Witterungsbedingungen und c) der Eistyp. Wie die eigenen Ergebnisse zeigten, verändert sich die Größe (Flächenausdehnung) der Meereistümpel im saisonalen Verlauf (Kap. 4.3.3; Abb. 43). Die Zunahme der Flächenausdehnung der einzelnen Meereistümpel nach ihrer Entstehung im Frühsommer und ihre Abnahme im Spätsommer/Herbst spiegelte sich im Bedeckungsgrad der Meereisfläche mit Tümpeln wider. Eine Abnahme des Meereistümpel-Bedeckungsgrades im Herbst auf Werte <10 % wurde anhand der visuellen Beobachtungen 1994 auf regionaler Basis nicht deutlich, wohl aber anhand der Beobachtungen auf den individuellen Schollen und anhand der gemessenen Abnahme der Flächenausdehnung individueller Tümpel, wie in Abb. 43 gezeigt. Das Sommermaximum der Flächenausdehnung lag 1993 im Frühsommer (Juni/Juli), 1994 dagegen im Hochsommer (Anfang August). Der Zeitpunkt der Beobachtung hat aufgrund der saisonalen Dynamik der Meereistümpelentwicklung somit einen wesentlichen Einfluß auf das Ergebnis, sowohl den Bedeckungsgrad als auch die Größe bzw. Flächenausdehnung individueller Meereistümpel betreffend. Diese Aussage wird durch Ergebnisse aus anderen Meeresgebieten unterstützt. So fanden Eicken et al. (1996) für Meereis in der Eurasischen Arktis, daß die Tümpelgröße mit dem Bedeckungsgrad anstieg. Jeffries et al. (1997) berichten von einem beinahe linearen Anstieg des Meereistümpel-Bedeckungsgrads in der Kanadischen Arktis von 0 auf maximal 53 % innerhalb von 10 Tagen. Das Auftreten eines Sommermaximums konnte anhand von Fernerkundungsdaten auch für andere Regionen der Arktis gezeigt werden (u. a. Grenfell & Maykut 1977; Maykut 1985; Jeffries et al. 1997). Wie aus den eigenen Ergebnissen hervorgeht, tritt das Sommermaximum des Meereistümpel-Bedeckungsgrads wie auch der Flächenausdehnung individueller Tümpel im Bereich des eisbedeckten Ostgrönlandstroms nicht zwingend im Frühsommer auf, wie 1993 vor Nordostgrönland beobachtet, sondern kann durchaus später im Jahr anzutreffen sein (1994: Anfang August). Hierfür können interannuelle (Melnikov 1997; Fetterer & Untersteiner 1998), aber auch regionale Unterschiede in den Witterungsbedingungen verantwortlich sein, wie von Jeffries et al. (1997) für das nordöstliche und westliche Beaufortmeer festgestellt. Unterschiede im maximal erreichten Meereistümpel-Bedeckungsgrad zwischen kalten (max. 10 - 40 %) und warmen Sommern (max. 60 %) stellte auch Melnikov (1997) für die Zentrale Arktis fest.

Anhand eigener visueller Beobachtungen vom Helikopter aus zeichnete sich ein Einfluß des Eistyps auf den Bedeckungsgrad der Eisoberfläche mit Meereistümpeln ab. Festeis wies einen besonders hohen Bedeckungsgrad auf (vgl. Abb.

Tab. 22: Bedeckungsgrad der arktischen Meeresoberfläche mit Meereisümpeln im Vergleich; k. A. = keine Angabe

Bedeckungsgrad	Gebiet	Zeitpunkt	Eistyp	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>				
20 % (10 - 40 %) bzw. 25 % (<10 - 70 %)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	ein-, mehrjähriges u. Festeis (beprobte Eisflächen bzw. regional)	eigene Daten
16 - 23 %	Grönlandsee u. NO-Grönlandstrom (80°N - 75°N)	Juli/Aug. 1990	mehrjähriges Eis	Garity et al. (1991)
2,5 - 48,3 %	NO-Grönlandstrom (82°N - 78°N)	Juli 1993	ein-, mehrjähriges u. Festeis	El Naggar et al. (1998)
bis zu 50 %	Framstraße u. Zentrale Arktis	Aug./Sept. 1991	k. A.	Eicken et al. 1992
<b>Andere Meeresgebiete</b>				
15 - 30 %	Zentrale Arktis (Driftstation Alpha)	Sommer 1957 und 1958	k. A.	English (1961), Untersteiner (1961)
bis zu 45 % (im Mittel 25 %)	Zentrale Arktis	Juni/Juli (10 Jahre)	k. A.	Nazintsev (1964) in Barry et al. (1993)
bis zu 60 %	Zentrale Arktis, (Driftstat. Nordpol)	Sommer 1977	k. A.	Melnikov (1997)
3 - 13 %	Zentrale Arktis	Sommer 1994	ein- u. mehrjähriges Eis	Perovich & Tucker (1997)
30 - > 60 %	Arktis allgemein	Sommer	mehrjähriges Eis	Maykut (1985)
20 - >50 %	Barents- und Laptevmeer	Aug./Sept. 1993	ein- u. mehrjähriges Eis	Eicken et al. (1994)
5 - 50 % (Mittel 16 - 19 %)	Eurasische Arktis	Sommer 1991 u. 1993	k. A.	Eicken et al. (1996)
10 - 80 %	Laptevmeer u. Zentrale Arktis	Juli - Sept. 1995	überwiegend einjähriges Eis	Werner (1997)
1 - 80 %	Eurasische Arktis	Juli 1997	ein- u. mehrjähriges Eis	Zhang et al. (1997)
<10 - 80 %	Kanad. Arktis	Juni 1968, Juni 1969	Festeis	Langleben (1969, 1971)
bis >50 %	Kanad. Arktis, bei Point Barrow	Juni 1972	einjähriges Eis	Grenfell & Maykut (1977)
bis zu 90 %	Kanad. Arktis, Mould Bay	Juni/Juli 1982	ein- u. mehrjähriges Eis	Onstott & Gogineni (1985)
75 - 95 %	Kanad. Arktis, Mould Bay	Juni/Juli 1982	Festeis	Holt & Digby (1985)
bis zu 66 %	Kanad. Arktis, Hudson-Bay	Juli, Mittel der Jahre 1979-81	einjähriges Eis	Etkin & Ramseier (1993)
bis zu 53 %	Kanad. Arktis bei Resolute	Juni 1995	einjähriges Eis	Derksen et al. (1997)
10 - 60 %	Kanad. Arktis, Beaufortmeer	Juni - Sept. 1992	mehrjähriges Eis	Jeffries et al. (1997)
a) 30 - 50 % b) 15 - 25 %	Kanad. Arktis, Beaufortmeer	Juni - Sept. 1992	a) einjähriges Eis b) mehrjähr. Eis	Fetterer & Untersteiner (1998)

9). Die maximal festgestellten Meereistümpel-Bedeckungsgrade von 60 % (im Umfeld von Station 34; Juli 1993) bzw. 70 % (im Umfeld von Station 65; August 1994) wurden nur jeweils einmal gefunden, aber auf Schollen, bei denen es sich möglicherweise um aufgebrochenes Festeis handelte. Hohe Meereistümpel-Bedeckungsgrade auf Festeis in der kanadischen Arktis (bis zu 80 %, Langleben 1969, 1971) und höhere Bedeckungsgrade in Küstennähe gegenüber küstenferneren Gebieten innerhalb des eigenen Untersuchungsgebiets wurden beschrieben und auf einen erhöhten Partikeleintrag von Land her zurückgeführt (El Naggar et al. 1998). Auch belegen die Daten von Etkin & Ramseier (1993) aus der Hudson Bay sowie von Ramseier et al. (1994) aus dem Gebiet der Nordostwasser-Polynja höhere Meereistümpel-Bedeckungsgrade auf einjährigem als auf mehrjährigem Eis: am 4. Juli 1993 waren dort 40 % der Oberfläche von einjährigem Eis, jedoch nur 5 % der Oberfläche von mehrjährigem Eis mit Meereistümpeln bedeckt. Ein Nord-Süd-Gradient war dabei nicht festzustellen (Untersuchungszeitraum Juli 1993; El Naggar et al. 1998). Der Eistyp (einjähriges, mehrjähriges oder Festeis) beeinflusst somit die Variabilität in der Ausprägung der Meereistümpel. Dabei werden sowohl der Bedeckungsgrad des Meereises mit Tümpeln als auch die individuelle Flächenausdehnung und Tiefe der Meereistümpel beeinflusst (s. u.). Jeffries et al. (1997) führen die vergleichsweise späte Ausprägung des Sommermaximums des Meereistümpel-Bedeckungsgrads im nordöstlichen Beaufortmeer Anfang August außer auf die generell kürzeren Sommer auch auf den dort vorherrschenden Eistyp (relativ altes und dickes Eis) zurück. Nach Fetterer & Untersteiner (1998) bedingen Unterschiede in der Oberflächentopographie und Eisdicke die unterschiedliche Ausprägung der Meereistümpel: bei gleicher gegebener Schneemenge wird dünnes, ebenes Meereis, wie es für einjähriges Eis typisch ist, aufgrund größerer und stärker vernetzter Meereistümpel einen höheren Tümpelbedeckungsgrad als dickes, unebenes Eis aufweisen, das für mehrjähriges Eis charakteristisch ist.

Die Variabilität der beobachteten Meereistümpel-Bedeckungsgrade in der Literatur (vgl. Tab. 22) dürfte nicht zuletzt auch auf individuelle Unterschiede der einzelnen Beobachter in der visuellen Abschätzung des Bedeckungsgrades zurückzuführen sein, so daß nach eigenen Erfahrungen Abweichungen der Ergebnisse verschiedener Autoren um 5 - 10 % keine Seltenheit sind.

### 5.1.1.2 Variabilität der Flächenausdehnung und Tiefe der Meereistümpel

Nach eigenen morphometrischen Untersuchungen zeigten die in den Untersuchungsjahren 1993 und 1994 vor Nordostgrönland untersuchten Meereistümpel mit Flächenausdehnungen zwischen 1 m<sup>2</sup> und beinahe 21.000 m<sup>2</sup> (Median

115 m<sup>2</sup>) eine hohe Größenvariabilität, während die Wassertiefe wenige Dezimeter nicht überstieg (Median 14 cm). Visuelle Beobachtungen vor Ort und die Meßergebnisse ergaben, daß die Meereistümpel sich während ihrer Entstehung innerhalb weniger Stunden bis Tage sehr stark ausdehnen können, um im weiteren Jahresverlauf wieder kleiner zu werden (s. o., vgl. auch Kap. 4.3.3). Im Verlauf einer Sommersaison kann die Tümpelgröße daher eine linkssteile Verteilung aufweisen, wie aus den Ergebnissen des Untersuchungsjahres 1993 besonders deutlich wurde (vgl. Abb. 43). 1994 zeigte die Größenentwicklung der Meereistümpel einen eher glockenförmigen Verlauf, woraus eine vermutlich auf Witterungseinflüsse zurückzuführende interannuelle Variabilität deutlich wurde. Gleichzeitig wurde für die Daten aus 1994 eine signifikante Abnahme der Tümpelgrößen von 78° N nach 72° N deutlich. Diese Unterschiede sind nach eigener Einschätzung weniger auf eine regionale Variabilität als auf den Einfluß der Zeit zurückzuführen, da die Schiffsroute 1994 von Nord nach Süd führte (75° N - 72° N; vgl. Abb. 5) und zwischen der ersten und letzten Station ein Zeitraum von 8 Wochen lag. Wie die eigenen Ergebnisse zeigten, kann bereits innerhalb von drei Wochen eine starke Verkleinerung der Tümpel erfolgen (Kap. 4.3.2). El Nagggar et al. (1998) konnten während mehrerer Nord-Süd-Tranekte im Untersuchungsgebiet zwischen 82° N und 78° N im Juli 1993 keine regionalen Unterschiede feststellen, sondern bestätigten eine zufällige Verteilung der Meereistümpel.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Werte für die Flächenausdehnungen und Wassertiefen, die Meereistümpel im Durchschnitt und in Einzelfällen erreichen, stimmen generell mit den Daten anderer Autoren aus verschiedenen arktischen Meeresgebieten überein (Tab. 23 und 24), wobei für das Gebiet der Grönlandsee und Framstraße nur wenige Vergleichsdaten vorliegen (Garrity et al. 1991; El Nagggar et al. 1998). Die nach eigenen Ergebnissen hohe Variabilität der individuellen Flächenausdehnung wird ebenso wie die Dominanz der Größenklassen 10 - 100 m<sup>2</sup> und 100 - 1.000 m<sup>2</sup> durch Daten anderer Autoren, ebenfalls vorwiegend aus anderen Untersuchungsgebieten, unterstützt (u. a. Eicken et al. 1996; Tucker et al. 1999). Die hohe Variabilität läßt sich auf dieselben Faktoren zurückführen, die auch den Meereistümpel-Bedeckungsgrad beeinflussen, nämlich die saisonale Dynamik der Meereistümpel, die jeweiligen Witterungsbedingungen (regional und lokal) und den Eistyp, wie oben bereits ausgeführt.

Hervorzuheben ist die besonders gute Übereinstimmung der eigenen Ergebnisse zur durchschnittlichen Meereistümpelgröße von 115 m<sup>2</sup> mit den Ergebnissen von El Nagggar et al. (1998), die im Juli 1993 mit Methoden der Fernerkundung als mittlere Größe der Meereistümpel im Untersuchungsgebiet zwischen 82° N und 78° N einen Wert von 105 m<sup>2</sup> bestimmten. Dieser Wert wiederum deckt sich sehr

5.1 Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung

Tab. 23: Flächenausdehnung von Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten; k. A. = keine Angabe

Flächenausdehnung (Spannweite)	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
115 m <sup>2</sup> (<1 - 21.000 m <sup>2</sup> ) (n = 62)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
1,5 - 440 m <sup>2</sup> (n = 13)	Grönlandsee und NO- Grönlandstrom (80°N - 75°N)	Juli/Anfang Aug. 1990	Garity et al. (1991)
105 m <sup>2</sup> (Mittelwert aus 309.817 Tümpeln; Methode: Ferner- kundung)	NO-Grönlandstrom (82°N - 78°N)	Juli 1993	El Naggat et al. (1998)
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
variabel (kleine und große Tümpel)	Zentrale Arktis (Fram-Drift)	Sommer 1894	Nansen (1906)
ca. 10 - 15 m Durchmesser (ca. 60 - 180 m <sup>2</sup> )	Zentrale Arktis, Nordpol-Driftstationen	mehrere Sommer	Melnikov (1997)
14 m <sup>2</sup> (Median) (2 - 8000 m <sup>2</sup> ) Methode: Luftaufnahmen	Zentrale Arktis	31. Juli 1994	Perovich & Tucker (1997); Tucker et al. (1999)
80 m <sup>2</sup> (Median) (5 - 1500 m <sup>2</sup> ; n = 14)	Zentrale Arktis	5. - 25. August 1994	Tucker et al. (1999)
100 m <sup>2</sup> (ca. 30 - 315 m <sup>2</sup> ; n = ca. 100)	Eurasische Arktis	Aug. - Sept. 1991	Eicken et al. (1996)
142 m <sup>2</sup> (ca. 30 - 300 m <sup>2</sup> ; n = ca. 50)	Eurasische Arktis	Aug. - Sept. 1993	Eicken et al. (1996)
ca. 0,2 - >1000 m <sup>2</sup>	Eurasische Arktis	Juli 1997	v. Juterzenka et al. (1997); Zhang et al. (1997)
4 x 30 m (ca. 94 m <sup>2</sup> ; n = 1)	Ostsibirisches Meer	Ende Aug. 1995	Zatchek & Darovskikh (1997)
mehrere Meter bis mehrere 10 m Größe	Kanadische Arktis, Beaufortmeer	Juni 1969	Langleben (1971)
meist <100 m <sup>2</sup>	Kanadische Arktis	Sommer 1975	Hanson (1980)
bis 10 m im Durch- messer (ca. <80 m <sup>2</sup> )	Kanadische Arktis, Beaufortmeer	Sommer 1992 und 1993	Jeffries et al. (1997)



gut mit den eigenen Daten für den Untersuchungszeitraum 1994, der einen Medianwert von 104 m<sup>2</sup> ergab. Der Vergleich der eigenen und anderer (vgl. Tab. 22) durch Handvermessung ermittelter Daten, insbesondere von Eicken et al. (1996), mit den anhand von Line Scan-Daten errechneten Meereistümpelgrößen bestätigt die Gültigkeit des von El Nagggar et al. (1998) verwendeten Algorithmus.

Nach eigenen Ergebnissen betrug der Median der Wassertiefe der Meereistümpel im Untersuchungszeitraum 1993/94 14 cm, so daß Übereinstimmung mit den Ergebnissen von v. Juterzenka et al. (1997) und einiger anderer Autoren (z. B. Perovich et al. 1998) bestand, während auch Wassertiefen <10 cm gefunden wurden (Tab. 24). Die umfangreichen Untersuchungen von Morassutti & LeDrew (1995, 1996) zur Albedo und Wassertiefe von Meereistümpeln in der kanadischen Arktis ergaben jedoch ebenso wie die Ergebnisse von Eicken et al. (1996) und Haas (1997) mit Werten zwischen 24 und 27 cm größere Wassertiefen. Tucker et al. (1999) stellten eine mittlere Wassertiefe von 35 cm fest. Andere Autoren fanden Wassertiefen von 40 cm und darüber, insbesondere in sedimenthaltigen ("dirty") Tümpeln (Eicken et al. 1994), für die Wassertiefen von 50 cm (Makshtas & Podgorny 1996) und 70 cm (Perovich et al. 1998) ermittelt wurden. Die Spannweite der eigenen Ergebnisse deckt diese Wertebereiche mit ab. Die Abweichungen vom Median der eigenen Ergebnisse erklärt sich daraus, daß es sich bei den Untersuchungen anderer Autoren (vgl. Tab. 24) um Messungen innerhalb kürzerer Zeiträume oder auch um reine Punktmessungen handelt (s. u.), während die eigenen Untersuchungen den Medianwert einer gesamten Saison wiedergeben.

Die beobachtete Variabilität der Wassertiefen beruht ähnlich wie bereits für den Bedeckungsgrad und die Flächenausdehnung dargestellt auf mehreren Faktoren: a) dem Zeitpunkt der Beobachtung, b) dem Eistyp und c) dem Sediment- bzw. Kryokonitgehalt der Tümpel. Wie die in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse zeigen, erfolgt im Laufe der Sommersaison eine statistisch hochsignifikante Zunahme der Tümpeltiefe zum Herbst hin (vgl. Kap. 4.3.2.2), wobei die Tümpel gleichzeitig tiefer in die Eisoberfläche einsinken und eine Eisdecke ausbilden (vgl. Kap. 4.3.2.3, visuelle Beobachtungen). Im Juni/Juli 1993 betrug der Medianwert der Wassertiefe 10 cm, im Juli 1994 14,8 cm. Für August und September 1994 betrug der Medianwert der Wassertiefe in den Meereistümpeln 20,7 cm und 40 cm. Beide Monate zusammengenommen (2. Sommerhälfte) ergaben einen Medianwert von 23 cm, der sich wiederum gut mit den Ergebnissen anderer Autoren für diesen Zeitraum deckt, z. B. Eicken et al. (1996) (vgl. Tab. 24). Die Untersuchungen von v. Juterzenka et al. (1997) und Perovich (1998) dagegen fanden in der frühen Sommersaison statt (Juni/Juli). Gleichzeitig wird der starke Einfluß der insgesamt 48 im Juni/Juli beprobten, flachen Meereistümpel auf das Gesamtergebnis des eigenen Datensatzes für beide Untersuchungsjahre deutlich.

5.1 Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung

Tab. 24: Wassertiefe von Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten; k. A. = keine Angabe

Wassertiefe (Spannweite)	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
14 cm (3 - >63 cm) (n = 64)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
oft 5 - 6 Fuß	grönländisches Meereis	ca. 1868	Koldewey & Petermann (1871)
4 - 45 cm (n = 13)	Grönlandsee (80°N - 75°N)	Juli/Aug. 1990	Garity et al. (1991)
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
26 cm (n = 1)	Zentrale Arktis (Driftstation Alpha)	August 1958	Untersteiner (1961)
im Mittel 60 - 80 cm; max. 120 cm (n: keine Angabe)	Zentrale Arktis, Nordpol-Driftstationen	mehrere Sommer	Melnikov (1997)
bis zu 20 cm (n: keine Angabe)	Zentrale Arktis	Sommer/Herbst 1991	Eicken et al. (1995)
35 cm (20 - 60 cm) (n = 14)	Zentrale Arktis	5. - 25. August 1994	Tucker et al. (1999)
<20 - <50 cm (n: keine Angabe)	nordwestlich von Franz Joseph-Land	August 1993	Ivanov & Alexandrov (1994)
26 cm (+/- 15 cm) (n: keine Angabe)	Eurasische Arktis	Aug. - Sept. 1993	Eicken et al. (1996)
2 - 35 cm (n = 4)	Barentsmeer	August 1993	Makshtas & Podgorny (1996)
25 cm (n = 1)	Ostsibirisches Meer	Ende August 1993	Zatchek & Darovskikh (1997)
27 cm (+/- 15 cm) (n: keine Angabe)	Laptevmeer u. Ostsibirisches Meer	Juli - Sept. 1995	Haas (1997)
10 - 40 cm (n = 8)	Laptevmeer u. Ostsibirisches Meer	Juli - Sept. 1995	Kolatschek & Zatchek (1997)
16 cm (10 - 42 cm) (n = 10)	Eurasische Arktis	Juli 1997	v. Juterzenka et al. (1997)
a) 5 cm (n = 1) b) 10 - 30 cm (n = 3)	Kanadische Arktis	a) Juni 1972 b) Sommer 1974	Grenfell & Maykut (1977)
3 - 5 cm (n: keine Angabe)	Kanadische Arktis	Juni/Juli 1982 Mai/Juni 1991	Holt & Digby (1985); Perovich (1994)
26,3 cm (0 - 86 cm) (n = 504)	Kanadische Arktis	Mai/Juni 1994 ein-, mehrjähriges u. Festeis	Morassutti & LeDrew (1995, 1996)
a) 5 - 10 cm (n: keine Angabe) b) ca. 15 cm (n=2)	Kanadische Arktis	Juni 1995, a) Festeis b) mehrjähriges Eis	Perovich et al. (1998)

Die Zeit ist nicht der einzige Einflußfaktor, wie die Untersuchungen von Morassutti & LeDrew (1995, 1996) zeigen, die ebenfalls im Frühsommer durchgeführt wurden, dabei jedoch eine mittlere Wassertiefe von 26 cm ergaben.

Ein Zusammenhang zwischen der Wassertiefe von Meereistümpeln und dem Eistyp deutete sich bereits anhand der eigenen Daten aus dem Sommer 1993 (Juni/Juli) an: Meereistümpel auf einjährigen Eisschollen und auf Festeis (einjährig) schienen flacher (Median 7,8 cm bzw. 7,7 cm) als auf mehrjährigem Eis zu sein (Medianwert von 10,1 cm). Diese Unterschiede waren allerdings statistisch nicht signifikant (Kap. 4.2.1.1) und ließen sich auch für den Gesamtdatensatz 1993/94 nicht statistisch absichern. Der Datensatz von Morassutti & LeDrew (1995, 1996) ergab jedoch signifikante Tiefenunterschiede zwischen Meereistümpeln auf einjährigem (meist 10-15 cm Wassertiefe), mehrjährigem (meist 25-35 cm) und Festeis (meist 15-40 cm Wassertiefe) und stützen damit die sich anhand des eigenen Datensatzes aus 1993 abzeichnende Tendenz. Als Ursache für die Unterschiede zwischen diesen Eistypen wird die unterschiedliche Oberflächentopographie der drei Eistypen angesehen (Morassutti & LeDrew 1995, 1996; Derksen et al. 1997): einjähriges Eis ist sehr eben, so daß sich flachere Tümpel ausbilden als auf mehrjährigem Eis, das typischerweise eine abgerundete Topographie mit Höhenunterschieden von ca. 1 m aufweist. Festeis kann durch Eispressungen stark deformiert sein. In den Senken auf mehrjährigem und deformiertem Festeis können sich tiefere Meereistümpel ausbilden. Auch die Stärke der Schneeauflage beeinflußt die Ausprägung der Meereistümpel (Derksen et al. 1997).

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Vergleich der Wassertiefen von "sauberen" Tümpeln und "unsauberen", d. h. flokkulentes Material, Sediment oder in den Tümpelboden eingeschmolzene dunkle Partikel enthaltenden Tümpeln vorgenommen. Es hatten sich Unterschiede abgezeichnet, nach denen "unsaubere" Tümpel größere Wassertiefen aufwiesen als "saubere" Tümpel. Diese Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant (vgl. Kap. 4.2.1.1). Eicken et al. (1994); Makshtas & Podgorny (1996) und Perovich et al. (1998) beschreiben "schmutzige" Tümpel ebenfalls als tiefer als "saubere" Tümpel. Aus dem Datensatz von Morassutti & LeDrew (1995) wird der Einfluß von "Debris"<sup>1</sup> auf die Tümpeltiefe besonders deutlich. Danach betrug der Medianwert der Wassertiefe 20,0 cm für "saubere" und von 33,0 cm für "unsaubere", d. h. detritushaltige Tümpel (Abb. 42). Diese Unterschiede waren statistisch signifikant (Mann und Whitney U-Test;  $p =$

---

<sup>1</sup> Eine genauere Beschreibung des Begriffs "Debris" wird von Morassutti & LeDrew (1995) nicht gegeben; nach eigenen Beobachtungen besteht "Debris" am Tümpelboden oder am Grunde von Kryokonitlöchern aus anorganischen Sedimentbestandteilen (Sand, Steinchen) und flokkulentem Material, das z. B. die Reste von Mikro- oder Makroalgen enthalten kann.

0,01) und erklären sich vermutlich dadurch, daß durch die Sediment- bzw. Kryokonitpartikel die Lichtabsorption erhöht und dadurch der Abschmelzprozess des Eises gegenüber "sauberen" Tümpeln beschleunigt wird. Nach Daten von Morassutti & LeDrew (1995) enthalten auf Festeis gelegene Meereistümpel besonders häufig Debris (52 %), so daß neben der Topographie auch das verstärkte Auftreten von "Debris" auf Festeis ein weiterer Grund für die relative große Wassertiefe von Meereistümpeln auf Festeis ist, zumal durch die Nähe zum Festland zu erwarten ist, daß ein höherer Partikeleintrag auf Festeis als in größerer Entfernung von Land erfolgt (Langleben 1969, 1971).

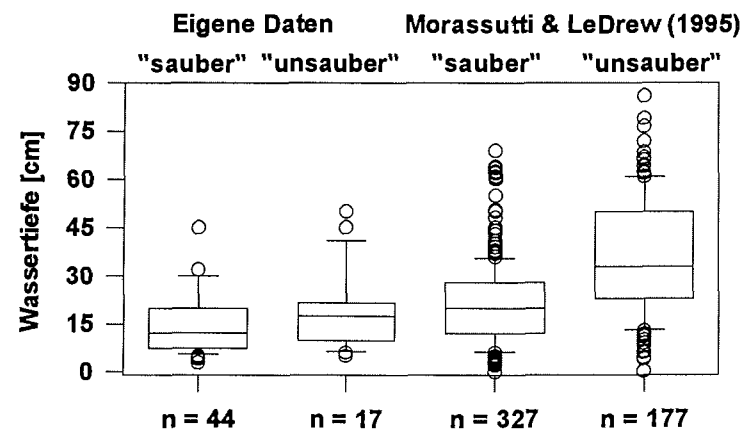


Abb. 52: Wassertiefen in "sauberen" und "unsauberen", d. h. Debris-haltigen Meereistümpeln in der Grönlandsee im Untersuchungszeitraum 1993/94 und nach Daten von Morassutti & LeDrew (1995) aus der Kanadischen Arktis (Mai/Juni 1994)

Somit konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, daß verschiedene Faktoren die maximal erreichte Größe und Tiefe der Meereistümpel sowie die Dynamik ihrer Entstehung und saisonalen Entwicklung beeinflussen. Hierzu gehören außer den Witterungsbedingungen in der Entstehungs- und frühen Existenzphase der Tümpel, wie bereits im Zusammenhang mit dem Bedeckungsgrad diskutiert (s. o.), Faktoren wie der Eistyp bzw. die Topographie der individuellen Scholle einschließlich der Stärke ihrer Schneeeauflage sowie die "Verschmutzung" des Eises durch marine oder terrigene Sedimente und Detritus.

Die saisonale Entwicklung der Meereistümpel stellt sich anhand der visuellen Beobachtungen und morphometrischen Daten wie folgt dar:

### *1. Phase: Schneeschmelze und Tümpelentstehung*

Der schmelzende Schnee führt zur Entstehung wassergesättigter Zonen in der Schneeauflage des Meereises, die als graue Flecken auf der Schneeoberfläche erkennbar sind oder bei niedrigen Lufttemperaturen im Inneren der Schneeauflage entstehen (Abb. 34.a, b): Das Schneeschmelzwasser sammelt sich in Senken auf der Meereisoberfläche und folgt der Topographie der Meereisoberfläche, wodurch sich flache, meist nur wenige Zentimeter tiefe Meereistümpel und Schmelzwasserkanäle bilden, die die Tümpel untereinander und mit dem Schollenrand verbinden. Wie aus den Beobachtungen deutlich wurde, haben die Meereistümpel ein großes Einzugsgebiet, und die Entstehung der Tümpel und ihre Vergrößerung kann innerhalb weniger Stunden erfolgen. Gleichzeitig wird das Schmelzwasser kanalisiert, und ein großer Teil des Schmelzwassers fließt in das Meer ab, wie auch von Untersteiner (1961), Fetterer & Untersteiner (1998) und anderen beschrieben. In dieser Phase finden innerhalb kurzer Zeit (Tage bis wenige Wochen) starke Veränderungen der Meereisoberfläche statt. Die Flächenausdehnung der einzelnen Tümpel nimmt zu, die Wassertiefe bleibt gering. Die Meereistümpel unterliegen somit einer starken Dynamik und stellen in dieser Phase Fließgewässer dar. Die Witterungsbedingungen und der Eistyp (einjähriges, mehrjähriges oder Festeis) beeinflussen die Ausprägung der Meereistümpel, wie oben dargestellt.

### *2. Phase: Fortschreiten der Tümpelentwicklung*

Das Schmelzwasser hat eine geringere Albedo als das umliegende Meereis (u. a. Untersteiner 1961; Fetterer & Untersteiner 1998; Perovich et al. 1998), so daß im Bereich von Meereistümpeln das Abtauen der Meereisoberfläche beschleunigt wird und auch großräumig, nach dem Abschmelzen der Schneedecke, zunehmend Schmelzwasser aus den oberflächlichen Eisschichten in die Meereistümpel eingetragen wird. Der Meereistümpel-Bedeckungsgrad steigt bis zum Erreichen seines Sommermaximums an, und die Wassertiefe der Tümpel nimmt zu, wobei Unterschiede zwischen den verschiedenen Eistypen bestehen, wie oben dargestellt (vgl. insbesondere Morassutti & LeDrew 1996). Die Meereistümpel bleiben in der Mehrzahl miteinander verbunden, und der Abfluß des Schmelzwassers von der Meereisoberfläche setzt sich fort, so daß die Tümpel weiterhin Fließgewässer darstellen.

### *3. Phase: Stabilisierung und Endphase der Tümpelentwicklung*

Die Meereistümpel haben das Maximum ihrer Flächenausdehnung überschritten und verkleinern sich wieder. Dabei werden die Tümpel nicht nur tiefer, sondern sinken auch tiefer in das Meereis hinein. Mit der Ausbildung einer Eisdecke auf den Meereistümpeln erfolgt eine Stabilisierung der Bedingungen (Kap. 5.2.1.3), und es können sich vertikale Schichtungen ausbilden, wie auch von Tucker et al.

(1999) beschrieben. Hinzu kommt, daß die Vernetzung der Meereistümpel und der Abfluß von Schmelzwasser über Schmelzwasserkanäle abnehmen, so daß der Übergang von einem Fließgewässer zu einem stehenden Gewässer erfolgt. Die Verkleinerung der Tümpel und Zunahme ihrer Wassertiefe bei gleichzeitigem tieferen Hineinschmelzen in das Meereis hat physikalische Ursachen (Untersteiner 1961; Fetterer & Untersteiner 1998) und birgt Konsequenzen für den Lebensraum Meereistümpel, da auf diese Weise der Kontakt zu tiefergelegenen Meereis-schichten und, je nach Eisdicke, auch zum Meerwasser hergestellt wird. Letzteres kann über eine hydraulische Verbindung durch poröses Meereis hindurch (Tucker et al. 1999) oder über eine direkte Verbindung zum Meerwasser über Schmelzlöcher erfolgen. Damit können Nährstoffe, Salze und ggf. Organismen aus dem Solekanalsystem des Meereises oder aus dem Meerwasser in die Tümpel eingetragen werden (vgl. Kap. 5.1.3.2 und 5.2.3). Die Endphase der Meereistümpelentwicklung kann zwei verschiedene Formen annehmen: a) die Tümpel bleiben bis zum Herbst erhalten, frieren schließlich durch und werden wieder integraler Bestandteil des Meereises, und b) die Tümpel überleben den Sommer nicht und vermischen sich mit Meerwasser, werden somit ein Teil des Pelagials.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, daß Tümpel auf dickem einjährigem Eis und auf mehrjährigem Eis bis zum Herbst erhalten bleiben und im Winter durchfrieren. Das Eis durchgefrorener Tümpel weist eine andere Eisstruktur als Meereis auf, so daß das Auftreten durchgefrorener Meereistümpel in mehrjährigem Eis anhand von Eiskernuntersuchungen belegt werden konnte (Perovich 1991; Perovich et al. 1998). Aufgrund der durch die Tümpel bedingten Oberflächentopographie mehrjährigen Meereises ist es wahrscheinlich, daß im nächsten Sommer am selben Ort wieder ein Meereistümpel entsteht. Diese Ansicht vertreten auch Morasutti & LeDrew (1996). Fetterer & Untersteiner (1998) dagegen weisen darauf hin, daß dies nicht immer der Fall ist. Wenn im Herbst die Eisdecke auf den Tümpeln nur dünn ist und starker Schneefall erfolgt, wird die Last des Schnees zum Aufbrechen der Eisdecke und zum Eintrag von Wasser durch Kapillarkräfte führen, so daß der Tümpel wieder aufgefüllt wird und eine Einebnung der Meereisoberfläche erfolgt, so daß es weniger wahrscheinlich ist, daß an diesem Ort wieder ein Tümpel entsteht. Diese Ergebnisse von Fetterer & Untersteiner (1998) verdeutlichen noch einmal die starke Variabilität der Meereistümpelentwicklung. Die Alternative b) der Endphase der Meereistümpelentwicklung, d. h. völliges Durchschmelzen oder Auslaufen der Tümpel, ist vor allem auf Festeis und dünnem einjährigem Eis zu beobachten und wird auch von Fetterer & Untersteiner (1998) und anderen beschrieben.

### 5.1.1.3 Farbe und Besonderheiten der Meereistümpel

#### *Farbe*

Meereistümpel erscheinen bei ihrer Beobachtung in unterschiedlichen Farben. Es lassen sich bis zu 17 Farbschattierungen von weiß über grau und blau nach grün, braun und schwarz unterscheiden (Morassutti & LeDrew 1995). Im Untersuchungsgebiet dominierten nach eigenen Ergebnissen blaue Meereistümpel in verschiedenen Farbvariationen (hellblau, blaugrau, graublau: zusammen 75,0 %). Die Dominanz von Meereistümpeln in Blautönen wurde auch von Morassutti & LeDrew (1995) für die Barrow Strait (Kanadische Arktis) bestätigt. Grüne oder grünliche Meereistümpel wurden in der vorliegenden Arbeit selten gefunden (zusammen 7,3 % der beprobten Tümpel). Dieses Ergebnis stimmt mit den Angaben von Eicken et al. (1996) überein, nach denen grüne Tümpel etwa 5 % der gesamten Tümpelfläche auf Meereis ausmachen. Grünliche Farbschattierungen waren in der Barrow Strait dagegen bei 24,6 % der Meereistümpel zu beobachten (Morassutti & LeDrew 1995).

Der Farbe der Meereistümpel könnte eine besondere Relevanz zukommen, wenn aus der Farbe eines Tümpels auf das Eis, auf dem die Tümpel entstanden sind, und auf die Eigenschaften und Besiedlung des Meereistümpels geschlossen werden könnte. Der Zusammenhang zwischen Tümpelfarbe und Salinität ist schon lange empirisch bekannt. Schon die frühen Polarforscher und Walfänger nutzten das Wasser aus (vermutlich blauen) Süßwasser-Meereistümpeln für die Versorgung mit Trinkwasser (vgl. Sutherland 1852; Koldewey & Petermann 1871). Auch heute noch nutzen Robbenfänger das Wasser aus blauen Tümpeln zum Auffüllen ihrer Frischwasservorräte, während grüne Tümpel gemieden werden, da sie meist Algen und/oder Salzwasser enthalten (Gulliksen, pers. Mitt. 1996).

Weißer Meereistümpel sind nach eigenen Beobachtungen leergelaufen oder mit großkörnigen Schneekristallen und wenig freiem Wasser gefüllt (z. B. Station 69). Schwarze Tümpel sind nach Angaben von Ramseier et al. (1994) zum marinen Milieu hin durchgeschmolzen bzw. stellen Schmelzlöcher dar. Auch nach eigenen Beobachtungen erscheinen die Schmelzlöcher dunkel bzw. schwarz und waren deshalb auf dem einjährigen Festeis im Untersuchungsgebiet besonders häufig festzustellen. Der gelbbraune Tümpel von Station 37 lag in Strandnähe und enthielt aus dem Litoral eingetragenes Sediment; er trug eine gelbbraune Kahmhaut.

Grüne Tümpel traten nach eigenen Beobachtungen im Juli 1993 eher fleckhaft und im Zusammenhang mit sedimentbeladenem Eis ("dirty ice") auf. Auch der grüne Tümpel von Station 64 lag auf einer Scholle, die stellenweise "dirty ice" aufwies. Möglicherweise ist dies als Hinweis auf regionale Unterschiede und ins-

besondere die Entstehung dieser mit grünen Tümpeln versehenen Eisschollen in küstennahen Gebieten mit Flußwasser- oder Sedimenteintrag aus dem Flachwasserbereich zu deuten. Die Vermutung, daß regionale Unterschiede bestehen, wird durch die Untersuchungen von Morassutti & LeDrew (1995) gestützt. Der Datensatz von Morassutti & LeDrew (1995) zeigt, daß in der relativ engen Barrow Strait südlich von Cornwallis Land alle drei Eistypen (ein-, mehrjähriges und Festeis) einen relativ konstanten Anteil grünlischer Tümpel (einschließlich grüner Mischöne) zwischen 21,6 % und 25,9 % aufweisen, der erheblich über dem Anteil grüner Tümpel im eigenen Untersuchungsgebiet liegt (Tab. 3). Dies läßt sich mit der Herkunft des Eises im eigenen Untersuchungsgebiet erklären, das zum großen Teil aus mehrjährigem Eis besteht, das aus dem Transpolaren Driftstrom kommend über die Framstraße im Ostgrönlandstrom südwärts driftet (Wadhams 1981, 1986).

Eine grünliche Tümpelfarbe könnte auf einen hohen Gehalt an Chlorophyll hinweisen, da die grüne Farbe von Süß- und Salzwassersystemen häufig auf ihren Phytoplanktongehalt oder auch auf einen hohen Gelbstoffgehalt zurückzuführen ist (Aas & Bogen 1988). Tatsächlich hatten die grünlichen Tümpel signifikant höhere Chlorophyll *a*-Konzentrationen (Median: 0,15 µg/l) als die blauen Meereistümpel (Median: 0,03 µg/l; vgl. Kap. 4.2.3.2). Dennoch sind die Chlorophyllkonzentrationen in den Meereistümpeln recht gering, verglichen mit Werten aus dem marinen Milieu, z. B. dem "grünen" Nordseewasser (5 - 50 µg/l; Cadée 1992; Spindler & Dieckmann 1991; Spindler 1994). Die Untersuchung einer grünen Schnee-Eis-Auflage (slush ice) auf Meereis im Laptevmeer durch v. Juterzenka & Knickmeyer (1999) ergab ebenfalls nur sehr geringe Chlorophyllkonzentrationen. Die grüne Farbe mancher Eisberge läßt sich auf physikalische Ursachen zurückführen (Dieckmann et al. 1987). Es erscheint daher unwahrscheinlich, daß die Chlorophyllkonzentration allein für die grünliche Farbe der Meereistümpel verantwortlich ist. Grünliche Tümpelfarben wurden in der vorliegenden Untersuchung an Tümpeln beobachtet, die einen stark zerklüfteten Boden ("aged", "honeycombed") mit einem augenscheinlich relativ hohen Gehalt an organischem Material (vermutlich Diatomeen) besaßen, der dem Boden eine gelblich-bräunliche Färbung verlieh (Stationen 41, 64). Ein ansonsten "blauer" Tümpel könnte auf diese Weise aus der Entfernung grünlich wirken, da gelb und blau grün ergeben. Daher sollten als Erklärung für die grüne Farbe der Tümpel noch andere Ursachen, insbesondere physikalisch-chemischer Natur, in Betracht gezogen werden.

Ramseier et al. (1994) berichten von unterschiedlichen Tümpelfarben in Abhängigkeit vom Eistyp. Mehrjähriges Eis ist nach ihren Angaben häufig durch blaue Tümpel gekennzeichnet. Dies erklärt die klare Dominanz der blauen Meereistümpel im eigenen Datensatz, denn die Mehrzahl der untersuchten



Meereistümpel lagen auf mehrjährigem (57,6 % der Stationen) oder dickem einjährigem Eis (21,2 % der Stationen). Auf Festeis und dünnem einjährigem Eis (z. B. Stationen 24 und 27) wurden vorwiegend graue Meereistümpel gefunden. Dieses Resultat stimmt mit den Beobachtungen von Ramseier et al. (1994) überein, nach denen auf einjährigem Eis graue Meereistümpel dominieren. Grenfell & Maykut (1977) dagegen fanden auf einjährigem Eis vor allem dunkelblaue Meereistümpel. Morassutti & LeDrew (1996) bestätigen den Einfluß des Eistyps und der Eigenschaften des Tümpelbodens auf die Farbe der Meereistümpel. Auf mehrjährigem Eis fanden sie meistens blaue Tümpel, auf einjährigem Eis waren gräulich-weiße und schwarze Tümpel am häufigsten, und auf Festeis waren alle Farben vertreten. Besteht der Tümpelboden aus stark blasenhaltigem Eis, wirkt der Tümpel hell, während ein geringerer Blasengehalt des Eisuntergrundes den Tümpel dunkel erscheinen läßt (Morassutti & LeDrew 1996; Barber & Yackel 1999).

Die blaue Farbe der Meereistümpel läßt sich auf ihren geringen Salzgehalt bzw. ihre Ionenarmut zurückführen. Destilliertes Wasser erscheint in dicker Schicht blau, da reines Wasser blaues Licht nur zu einem geringen Teil, den roten Teil des Spektrums jedoch stark absorbiert und das menschliche Auge den verbleibenden Blauanteil des Lichts wahrnimmt (Aas & Bogen 1988; Lampert & Sommer 1993). Das Schmelzwasser des Schnees und Süßwassereises an der Eisoberfläche ist ionenarm, wie die eigenen Daten zeigen (vgl. Kap. 4.2.1.2). 86 % aller blauen Meereistümpel enthielten reines Süßwasser mit einer Salinität von  $<0,5$ . Die übrigen blauen Tümpel waren oligomixohalin mit Salinitäten bis zu 2 (Einteilung nach Ott 1988). Dies deckt sich mit der Dominanz blauer Tümpel auf mehrjährigem Eis, das in Oberflächennähe stark ausgesüßt ist, während einjähriges Eis eine höhere Gesamtsalinität aufweist (Spindler 1990) und beim Abschmelzen der oberflächlichen Eisschichten daher ein höherer Salzeintrag in das Tümpelwasser erfolgt. Die höchsten Salinitäten von 22, 16 und 8 wurden in grünlichen oder grauen Tümpeln gefunden, allerdings gab es auch insbesondere unter den grauen Tümpeln Salinitäten von  $<0,5$ . Zudem betrug die Salinität in drei der 5 grünlichen Tümpel maximal 1. Dennoch kann davon ausgegangen werden, daß die charakteristischen hellblauen Meereistümpel in den meisten Fällen reines Süßwasser mit einer geringen Leitfähigkeit enthalten. Geringere Salzgehalte in blauen als in grünen Meereistümpeln wurden auch von Gradinger (1998a) festgestellt. Weiterhin ergaben die eigenen Untersuchungen, daß farbliche Unterschiede zwischen Meereistümpeln sich auch in unterschiedlichen Nährstoffkonzentrationen widerspiegeln können. Grünliche Meereistümpel wiesen signifikant niedrigere Nitratkonzentrationen und eine größere Spannweite der Silikatkonzentrationen auf als blaue Meereistümpel (Kap. 4.2.3.2). Derartige Unterschiede wurden auch von Gradinger (1998a) beschrieben.

Neben der Ionenarmut sind als weitere Faktoren für die Farberscheinung eines Meereistümpels die Menge, Art und Größe der im Tümpelwasser enthaltenen Partikel zu nennen (Schwoerbel 1984). Aas (1984) konnte aufgrund theoretischer Betrachtungen erklären, warum braunefärbte Algenzellen (vorwiegend *Phaeocystis pouchetii*) Meerwasser grün färben können. Der Grund liegt in den Lichtbrechungs- und -absorptionseigenschaften der Zellen. Nach Angaben von Aas & Bogen (1988) erhalten milchig-graue oder weißliche Gletscherströme ihre Farbe im turbulenten Bereich vorwiegend durch Luftblasen, im ruhiger fließenden Bereich jedoch durch den hohen Anteil suspendierten Materials mit Korngrößen  $>63\ \mu\text{m}$  (Sandfraktion). Nach der Einmündung eines solchen Stroms in einen See wechselt die Farbe nach grün. Die grüne Farbe entsteht durch das Absinken der Sandfraktion und den verbleibenden hohen Anteil an Partikeln der Silt-/Tonfraktion ( $<63\ \mu\text{m}$ ), da durch die Kombination der Lichtabsorptionseigenschaften dieser Partikel und reinen Wassers ein Absorptionsminimum im grünen Bereich erzeugt wird (Aas & Bogen 1988). Diese Erklärung trifft für die untersuchten Meereistümpel nicht zu, da im Tümpelwasser keine nennenswerten Mengen mineralischer Partikel dieser Größenklasse beobachtet wurden. Wie gezeigt werden konnte (vgl. Kap. 4.2.4.3), leben in den Meereistümpeln außer Bakterien vor allem einzellige eukaryotische Organismen  $<100\ \mu\text{m}$ . Zwar liegt das Abundanzmaximum innerhalb der Meereistümpelgemeinschaften tatsächlich in der Größenklasse  $<63\ \mu\text{m}$ , jedoch sowohl in blauen als auch in grünen Tümpeln. Daher dürfte die Partikel- bzw. Zellgrößenverteilung keinen entscheidenden Einfluß auf die Tümpelfarbe haben, zumal sich auch die Gesamtabundanzen der Zellen in blauen und grünen Meereistümpeln nicht wesentlich unterscheiden. Allerdings dominierten im grünen Meereistümpel von Station 64 Prasinophyceen, deren Körperoberfläche und Geißeln mit Schuppen besetzt sind, wodurch sich die Gesamtzahl der Partikel in diesem spezifischen Tümpel drastisch erhöht haben dürfte. Ob die Dominanz schuppentragender Nanoplankter jedoch allen grünen Tümpeln eigen ist, bleibt zu überprüfen.

Einen weiteren Ansatz zur Erklärung der Tümpelfarbe liefern Perovich et al. (1996). Sie erklären die blaue Farbe der Meereistümpel dadurch, daß kürzerwelliges Licht stark vom Tümpelboden reflektiert wird (die spektrale Albedo von blauen Meereistümpeln hat zwischen 400 und 500 nm ein Maximum) und gleichzeitig Licht der Wellenlängen zwischen 500 und 800 nm stark vom Tümpelwasser absorbiert wird, wodurch die Albedo für diese Wellenlängen abnimmt. Diese Erklärung wie auch die anderen Ansätze, die Partikel- und Phytoplanktonarmut für die blaue Tümpelfarbe verantwortlich machen, bestätigen die persönliche Beobachtung, wonach die hellblauen Tümpel auch bei bedecktem Himmel und bei Nebel ihr hellblaues Aussehen behalten. Die Reflektion des blauen Himmels an der Tümpeloberfläche als Begründung für die blaue Tümpelfarbe heranzuziehen, ist

deshalb falsch. Auch Podgorny & Grenfell (1996) unterstreichen die Bedeutung des Tümpelbodens für die optischen Eigenschaften der Meereistümpel: die Streuung (engl. "scattering") des Lichts am Tümpelboden ist wesentlich größer als die Streuung des Lichts im Wasserkörper eines flachen (<1 m Wassertiefe) Meereistümpels. Nach Perovich et al. (1998) zeigt die grüne Tümpelfarbe außerdem Algen und organisches Material an.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Frage nach der Ursache für farbliche Unterschiede der Meereistümpel sich nicht eindeutig beantworten läßt. Die Auswertung der eigenen Daten und die Literaturangaben lassen den Schluß zu, daß eine Kombination von Faktoren dafür verantwortlich ist. Zwar können grünliche Tümpel signifikant höhere Chlorophyll- und Salzgehalte aufweisen als blaue Tümpel, jedoch sind die Chlorophyllkonzentrationen in den Meereistümpeln insgesamt sehr niedrig. Die grüne Farbe kommt also nicht durch das Chlorophyll einer Phytoplanktonblüte zustande, sondern vor allem durch physikalische Faktoren, insbesondere durch die Kombination der Lichtbrechungs- und -absorptionseigenschaften des Tümpelwassers, des Tümpelbodens und der in beiden enthaltenen Partikel bzw. Zellen. Das charakteristische Hellblau der Meereistümpel scheint insbesondere mit der "Reinheit" des Wassers (geringe Konzentrationen von Partikeln und gelöster Stoffe) zusammenzuhängen und läßt sich analog zur blauen "Wüstenfarbe" des Meeres (Schwoerbel 1984) als Hinweis auf eine geringe Produktivität des Gewässers deuten.

#### *Besonderheiten*

Zu den Besonderheiten der Meereistümpel gehören die Ausbildung einer Eisdecke im Laufe der Saison und das Vorkommen von Kryokonitlöchern (Definition s. Kap. 1.4). Beide wirken sich auf die physikalischen Eigenschaften und darüber auch auf die Biologie der Meereistümpel aus. Die sich im Untersuchungszeitraum 1993/94 ab Ende Juli ausbildende Eisdecke grenzt den Wasserkörper zur Atmosphäre hin ab und bietet Schutz vor Wind- und Temperatureinflüssen, so daß eine Stabilisierung des ansonsten stark exponierten Lebensraums erfolgen kann. Vertikale Temperatur- und Salzgehaltsgradienten können sich einstellen und wurden später im Jahr auch gemessen (eigene Daten; vgl. auch Tucker et al. 1999). Es ist bekannt, daß Schichtungen Zonen mit günstigen Lebensbedingungen für Planktonorganismen schaffen können (u. a. Lochte & Smetacek 1995), so daß die Ausbildung einer Eisdecke sich positiv auf die Entwicklung der Meereistümpelgemeinschaft auswirkt und stabilere Lebensbedingungen schafft. Eisbedeckte Meereistümpel haben zudem eine höhere Albedo als eisfreie Tümpel (Grenfell & Maykut 1977; Perovich 1991), so daß mit zunehmender Stärke der Eisdecke auch die starke Exposition der Meereistümpel gegenüber der

Sonneneinstrahlung abnimmt und ein weniger extremes Lichtklima entstehen dürfte (vgl. Kap. 4.2.1.4). Wie die Abb. 11 verdeutlicht, nahm die Stärke der Eisdecke von wenigen mm Ende Juli bis auf 15 cm Mitte September zu. Der Wasserkörper und damit der Lebensraum Meereistümpel blieben jedoch bis mindestens Mitte September erhalten, obwohl der Wasserkörper über Wochen ringsherum von Eis mit Temperaturen von  $<0^{\circ}\text{C}$  umgeben war. Dies veranschaulicht, daß die Meereistümpel, aber auch die Gletschereistümpel (Station 82) eine große Menge Wärmeenergie aus der Sonneneinstrahlung speichern und die Meereistümpel daher eine Schlüsselrolle in der Energiebilanz des arktischen Meereises spielen, wie von Untersteiner (1961), Podgorny & Grenfell (1996) und anderen beschrieben. Es ist zu erwarten, daß parallel dazu Veränderungen der physikochemischen Parameter - durch die Eisbildung an der Tümpeloberfläche könnte es durch den Ausschluß von salzhaltiger Lösung aus dem gefrierenden Tümpelwasser und dessen Absinken u. a. zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit in Bodennähe kommen, wie z. B. an Station 73 festgestellt - zu einer Gefrierpunktserniedrigung beitragen. Durch ein feines Zusammenspiel zwischen Wärmeenergie und physikochemischen Faktoren würde somit das gänzliche Durchfrieren des Lebensraums Meereistümpel so lange hinauszögert werden, bis z. B. einsetzender Schneefall die ausreichende Zufuhr weiterer Wärmeenergie behindern und das Gleichgewicht verschieben würde. Die Veränderungen der physikochemischen Parameter könnten gleichzeitig als "Trigger" für die Vorbereitung der Tümpelorganismen auf das Zufrieren ihres Lebensraums und die bevorstehende Überwinterungsphase dienen. Zu den saisonalen Veränderungen der physikochemischen Parameter s. auch Kap. 4.3.

Die bereits von Nansen (1906) beschriebenen Kryokonitlöcher im Boden mancher Meereistümpel entstehen durch Ansammlungen von Detritus oder Sedimentpartikeln, die das Sonnenlicht stärker absorbieren als ihre Umgebung und daher in das Eis hineinschmelzen, wobei mehrere Milli- bis Zentimeter breite und mehrere Zentimeter tiefe, glattrandige Löcher entstehen (vgl. Kap. 4.1.2). Die Kryokonitlöcher sind Teil des Tümpelbodens und unterstützen physikalisch den sommerlichen Abschmelzprozess der Meereisoberfläche. Biologisch gesehen stellen Kryokonitlöcher ein Mikrohabitat dar, das im Rahmen dieser Arbeit nicht näher untersucht wurde. Es ist zu erwarten, daß die Detritus- und Sedimentpartikel durch die lokale Anreicherung von organischer Substanz und sowie von Nährstoffen (vgl. Kriews et al. 1995) kleinräumig das Wachstum von Mikroorganismen fördern. Nansens (1906) Beschreibung von Meereistümpelorganismen basierte auf flokkulentem Material vom Tümpelboden und demnach vermutlich auf Material aus Kryokonitlöchern, das die Verhältnisse im Wasserkörper des Tümpels nicht adäquat widerspiegelt.

#### 5.1.1.4 Konsequenzen für den Lebensraum Meereistümpel

Die ausgeprägte Bedeckung der Meereisoberfläche mit Meereistümpeln im arktischen Sommer hat nicht nur physikalische Konsequenzen für das Meereis, sondern bietet sich gleichzeitig als temporärer Lebensraum für planktisch lebende Organismen an. Die Meereistümpel entstehen zunächst aus Schneeschnmelzwasser, das sich in Abhängigkeit von den topographischen Bedingungen an der Meereisoberfläche an geeigneten Stellen sammelt. Im Laufe des Sommers wird zunehmend Schmelzwasser aus den oberflächennahen Meereisschichten in die Tümpel eingetragen, und die Tümpel sinken tiefer in die Meereisoberfläche hinein. Zusammen mit dem Schmelzwasser aus Schnee und Eis von der Meereisoberfläche gelangen Organismen, Partikel (z. B. Staub), Nähr- und andere Stoffe in die Tümpel. Durch die witterungsbedingt z. T. sehr rasch erfolgende Bildung und starke Vergrößerung der Meereistümpel haben diese Kleingewässer zunächst ein relativ großes Einzugsgebiet. Die sehr häufig zu beobachtende Vernetzung der Meereistümpel über Schmelzwasserkanäle miteinander sowie mit der Meereiskante ermöglicht weiträumige Transport- und Austauschprozesse auf der Meereisoberfläche, die topographisch bedingt oder windgetrieben mit recht hohen, d. h. für das menschliche Auge sichtbaren Fließgeschwindigkeiten einhergehen können (vgl. Kap. 4.3.1) und mit dem Abfließen eines großen Teils des Schmelzwassers in das Meer verbunden sind. Die Meereistümpel bilden daher in der ersten Phase ihrer Entwicklung ein Netzwerk von Fließgewässern auf der Meereisoberfläche, was die Ausbildung einer stabilen Gemeinschaft erschwert. Aufgrund ihrer Lage an der Grenzfläche Eis/Atmosphäre sind die Meereistümpel ein stark exponierter Lebensraum, der den Einflüssen von Wind, Temperaturschwankungen und der Sonneneinstrahlung direkt ausgesetzt ist. Im weiteren Entwicklungsverlauf erfolgt durch die Verkleinerung der Tümpel und durch die Ausbildung einer Eisdecke eine Stabilisierung bis hin zur Ausbildung vertikaler Gradienten der physikochemischen Parameter in den Tümpeln. Auch dürfte die Eisdecke sich günstig auf das Lichtklima in den Meereistümpeln auswirken, die ansonsten der einfallenden Sonneneinstrahlung gantztägig ausgesetzt sind, so daß insgesamt ein Übergang von einem stark exponierten zu einem geschützteren Lebensraum erfolgt, der sich auf die Entwicklung der Meereistümpelgemeinschaft günstig auswirken dürfte. Die Stärke der Eisdecke nimmt zum Herbst hin zu, wobei aufgrund der hohen Wärmespeicherkapazität des Wassers ein Durchfrieren der Tümpel verhindert wird, solange die weitere Zufuhr von Wärmeenergie über die Sonnenstrahlung nicht durch eine Schneeaufgabe verhindert wird. Daher bleibt der Lebensraum Meereistümpel trotz seiner Eisdecke bis in den Herbst hinein erhalten. Die Meereistümpel verändern die Topographie der Meereisoberfläche durch die Bildung von Mulden, die prädestinierte Orte für eine Neubildung eines Meereistümpels in der kommenden Saison darstellen. Auf dünnerem Eis hingegen

wird ein Großteil der Meereistümpel im Laufe des Sommers zusammen mit dem Eis abschmelzen und sich mit dem Meerwasser vermischen.

### **5.1.2 Temperatur, pH-Wert, Salinität, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt**

#### **5.1.2.1 Variabilität und Unterschiede zwischen Süß- und Brackwassertümpeln**

Meereistümpel bilden hinsichtlich der abiotischen Parameter Wassertemperatur, pH-Wert, Salinität und Leitfähigkeit kein einheitliches Habitat. Die überwiegende Mehrzahl der Meereistümpel im Gebiet des Nordostgrönlandstroms war nach eigenen Ergebnissen durch niedrige Wassertemperaturen zwischen 0 und 1° C, schwach saure bis neutrale pH-Werte und eine hohe Sauerstoffsättigung bei Sauerstoffkonzentrationen zwischen 12 und 14 mg O<sub>2</sub>/l gekennzeichnet. Diese Meereistümpel waren gleichzeitig reine Süßwasserhabitats mit einer Salinität von <0,5. Sie wiesen entsprechend geringe Leitfähigkeiten zwischen wenigen  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , wie sie auch in Schneeschmelzwasser zu finden sind (vgl. Abb. 15), und 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Oligomixohaline Meereistümpel mit einer Salinität von maximal 2 nahmen eine Zwischenstellung zwischen den reinen Süßwasser- und den Brackwassertümpeln ein und bildeten auch in der Clusteranalyse ein eigenes Cluster (Kap. 4.2.3.3). Ihre pH-Werte lagen im neutralen Bereich (6,7 bis 8,1), ihre Leitfähigkeiten waren meist höher als in den Süßwasser-, jedoch eine Größenordnung niedriger als in den stärker brackigen Meereistümpeln, die Salinitäten zwischen 8 und 22 aufwiesen und in geringer Zahl (6 %) auftraten. Diese meso- und polymixohalinen Tümpel wiesen durch pH-Werte im schwach alkalischen Bereich (7,7 bis 8,6) und hohe Leitfähigkeiten zwischen 24000 und 34000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  eine größere Ähnlichkeit mit dem marinen Milieu auf als die übrigen Meereistümpel, wie auch die Clusteranalyse zeigte (Kap. 4.2.3.3 und 5.2.3). Wassertemperaturen unterhalb von 0,0° C wurden mit einer Ausnahme ausschließlich in brackigen Meereistümpeln gemessen, deren Salzgehalt offensichtlich zu einer Gefrierpunktserniedrigung geführt hatte. Unterschiede in den Sauerstoffkonzentrationen in Süßwasser-, schwach brackigen und brackigen Meereistümpeln waren nicht festzustellen. Generell lassen jedoch die unterschiedlichen abiotischen Bedingungen in diesen drei Typen von Meereistümpeln Unterschiede in der Besiedlung erwarten. In der vorliegenden Arbeit werden die reinen Süßwasser- und die oligomixohalinen Meereistümpel zusammengefaßt betrachtet.

Der Wertebereich der Daten anderer Autoren, zumeist nur in Form von Expeditionsberichten vorliegend ("graue Literatur"), stimmen mit den eigenen Ergebnissen

gut überein (Tab. 26 - 30). Wassertemperaturen in Meereistümpeln zwischen 0° C und 1° C wurden auch von Sutherland (1852), Garrity et al. (1991) und anderen festgestellt (Tab. 26).

Die niedrigen Wassertemperaturen sind zu erwarten, da die Tümpel auf einem Untergrund aus Eis gelegen sind. Daher bleiben die Wassertemperaturen, wie die eigenen Ergebnisse zeigen, trotz intensiver Sonneneinstrahlung im arktischen Sommer (Mitternachtssonne) auf einem konstant niedrigen Niveau und erreichen nur selten Temperaturen von >1,0° C. Überraschend war zunächst das Ergebnis, daß bis in den arktischen Herbst hinein trotz Ausbildung einer bis zu 15 cm starken Eisdecke auf den nun allseits von Eis umgebenen Tümpeln noch Wassertemperaturen oberhalb des Gefrierpunkts gemessen wurden (Station 79: +0,2° C; vgl. Kap. 4.1.2 und 4.2.1.2). Dieses Phänomen ist auf physikalische Ursachen zurückzuführen. Das klare Süßwassereis an der Meereistümpeloberfläche ähnelt schneefreiem Seeneis, das einen erheblichen Anteil des einfallenden Sonnenlichts durchläßt (vgl. Bolsenga et al. 1991; Bolsenga & Vanderploeg 1992) und das Wasser aufheizt, insbesondere in flachen Gewässern (Rogers et al. 1995). Die in den Tümpeln gemessene Wassertemperatur ist somit das Ergebnis aus Wärmeeintrag über die Sonnenstrahlung und Wärmeabgabe an die kältere Umgebung. Daher erwärmten sich die Tümpel im saisonalen Verlauf meist nicht mehr als wenige Zehntel über dem Gefrierpunkt, froren andererseits aber auch nicht vollständig durch. Die Tatsache, daß auch Mitte September noch Wassertemperaturen von über 0,0° C gemessen wurden, veranschaulicht die Bedeutung der Speicherung von Wärmeenergie als latente Wärme im Tümpelwasser (Untersteiner 1961). Für die Meereistümpelorganismen haben diese Faktoren und die spezifischen Eigenschaften des Wassers (H<sub>2</sub>O) eine Verlängerung der Existenz ihres Lebensraums und damit auch ihrer eigenen Lebensmöglichkeit - zumindest im aktiven Zustand - zur Folge.

Die Spannweite der pH-Werte, die von anderen Autoren in Meereistümpeln gemessen wurden, entspricht den eigenen Ergebnissen (Tab. 27), wobei der von Eicken et al. (1994) gefundene Maximalwert von 9,1 noch über dem Maximalwert des eigenen Datensatzes lag. Salinitätsabhängige Unterschiede im pH-Wert wurden auch von Eicken et al. (1994), Giese (1997) und Gradinger (1998a) festgestellt. Damit werden die eigenen Ergebnisse bestätigt, nach denen Süßwassertümpel schwach saure bis neutrale, Brackwassertümpel dagegen ähnlich wie Meerwasser pH-Werte im alkalischen Bereich aufweisen.

## 5.1 Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung

Tab. 26: Wassertemperaturen von Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten

Temperatur	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
0,2°C (-0,6 - +1,6°C) (n = 66)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
0,3 - 1,0°C (n = ca. 13)	NO-Grönlandstrom (80°N - 74°N)	Juli/Aug. 1990	Garity et al. (1991)
0 - 1 °C (n = 11)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juli/Aug. 1994	Giese (1997)
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
0°C (32°F)	Kanadische Arktis	Sommer 1850/81	Sutherland (1852)
0,0 - 0,5°C	Zentrale Arktis, Driftstat. Nordpol	Sommer 1977 u. weitere Jahre	Melnikov (1997)
>0,0 <0,1°C	Eurasische Arktis	Sommer 1991	Eicken et al. (1994)
+0,5°C	Kanadische Arktis	Sommer 1995	Barber & Yackel (1999)

Tab. 27: pH-Werte des Meereistümpelwassers im Vergleich mit Literaturdaten

pH-Wert	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
6,7 (5,4 - 8,6) (n = 66)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
5,6 - 8,4 (n = 20 Proben)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juli/Aug. 1994	Kriews et al. (1995)
6,4 (5,6 - 8,1) (n = 11)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juli/Aug. 1994	Giese (1997)
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
5,2 - 9,1 (n = 44)	Zentrale und Eurasische Arktis	Sommer 1991 und Aug. - Sept. 1993	Eicken et al. (1994)
5,0 - ca. 8,0	Arktis	k. A.	Gradinger (1998a)

Das Auftreten von Süßwassertümpeln auf arktischem Meereis wurde von verschiedenen Autoren beschrieben, ohne daß parallel dazu Meßergebnisse der Salinität oder der Leitfähigkeit genannt wurden (u. a. Sutherland 1852; Koldewey & Petermann 1871; Usachev 1946; English 1961; Melnikov 1997; Okolodkov 1997a), ebenso das Vorkommen von Brackwassertümpeln (Bursa 1963, Spindler 1994). Sofern die Salinität von Meereistümpeln untersucht wurde (Tab. 28), deckt sich die Spannweite der Werte mit den eigenen Ergebnissen, wobei auch hochsaline Tümpel mit Salinitäten von 30 und mehr gefunden wurden (Eicken et al.



1994, 1996). Die Dominanz von Süßwassertümpeln mit einer Salinität von 0 wird von Garrity et al. (1991) für das Gebiet des Ostgrönlandstroms bestätigt. Auch Eicken et al. (1994, 1996) fanden vorwiegend Salinitäten zwischen 0 und <2 in Meereistümpeln aus der Eurasischen Arktis. Salinitäten >20 wiesen nach Eicken et al. (1994) solche Tümpel auf, die in hydraulischer Verbindung mit dem Ozean standen. Nach eigenen Beobachtungen kann, muß jedoch die Verbindung mit dem Ozean nicht zwangsweise mit höheren Salinitäten verbunden sein: Station 57 enthielt trotz mehrerer großer Schmelzlöcher von der Oberfläche bis in die Schmelzlöcher hinein reines Süßwasser.

Tab. 28: Salinität von Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten.

Salinität	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
0 (0 - 22) (n = 66)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
0 (n = 13)	NO-Grönlandstrom (80°N - 75°N)	Juli/Aug. 1990	Garrity et al. (1991)
0 - 11 (n = 11)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juli/Aug. 1994	Giese (1997)
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
1 - 2	Zentrale Arktis (Fram-Drift)	Sommer 1894	Nansen (1906)
ca. 25 (n = 2)	Barentsmeer	August 1984	Syvertsen (1991)
meist <1; max. 2,9 bzw. 30	Eurasische Arktis	Aug. - Sept. 1993	Eicken et al. (1994)
a) 0,4 (+/- 0,8) b) 2,2 (+/- 5,9) (n: k. A.)	Eurasische Arktis	blaue Tümpel, a) Sommer 1991 b) Sommer 1993	Eicken et al. (1996)
a) 23,5 (+/- 12,1) b) 4,2 (+/- 9,0) (n: k. A.)	Eurasische Arktis	grüne Tümpel, a) Sommer 1991 b) Sommer 1993	Eicken et al. (1996)
Süßwasser (n = 10)	Eurasische Arktis	Sommer 1997	v. Juterzenka et al. (1997)
Süßwasser (n = 12)	Eurasische Arktis	Sommer 1997	Okolodkov (1997a)
a) 0,1 (0 - 2; n = 34) b) 29 (28 - 32; n = 4)	Zentrale Arktis	Sommer 1991 a) blaue Tümpel b) grüne Tümpel	Gradinger (1998a)
35 (20 - 60; n = 10)	Zentrale Arktis	Sommer 1994	Tucker et al. (1999)

Die Farbe gibt erste Hinweise auf die Salinität der Meereistümpel. Die charakteristischen hellblauen Tümpel sind in der Regel reine Süßwasserhabitats, während die grünlichen Tümpel im allgemeinen brackige Lebensräume darstellen. Graue Meereistümpel sind schwerer einzuordnen (vgl. Kap. 4.2.3.2).

Daten anderer Autoren zur Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentration des Meereistümpelwassers liegen nur sehr vereinzelt vor. In einem Süßwassertümpel in der Eurasischen Arktis fanden v. Juterzenka et al. (1997) eine Leitfähigkeit von etwa  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$  in Bodennähe, die gut mit dem Median der eigenen Messungen übereinstimmt (Tab. 29). Auch die von Eicken et al. (1994) ebenfalls in Meereistümpeln der Eurasischen Arktis festgestellte Sauerstoffkonzentration von  $13,7 \text{ mg/l}$  stimmt mit den eigenen Ergebnissen überein (Tab. 30). In den Meereistümpeln liegt demnach eine gute Sauerstoffversorgung mit Konzentrationen nahe dem Sättigungsniveau ( $14,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$  bei  $0^\circ \text{ C}$  und 1 bar Luftdruck; Schwoerbel 1984) vor.

Eine hohe Sauerstoffkonzentration des Tümpelwassers war aufgrund mehrerer Faktoren zu erwarten: die Wassertemperaturen liegen nahe dem Gefrierpunkt; die Tümpel haben bei geringer Tiefe eine große Oberfläche und sind zudem - solange keine Eisdecke als Diffusions- und Windbarriere ausgebildet ist - dem Einfluß des Windes ausgesetzt, so daß auch eine vollständige Durchmischung des Tümpelwassers möglich ist. Die Biomasse der Tümpel-Gemeinschaften ist relativ gering (vgl. Kap. 4.2.2), so daß auch nach Ausbildung einer Eisdecke auf der Tümpeloberfläche Sauerstoffproduktion und -zehrung sich die Waage halten dürften. Eine signifikante Korrelation zwischen Sauerstoff- und Chlorophyll *a*-Konzentration bestand nicht (Kap. 4.2.3.1), ebenso ließ sich der Eindruck einer Abnahme der Sauerstoffkonzentrationen mit der Zeit (vgl. Abb. 46 in Kap. 4.3.3) anhand der eigenen Daten nicht statistisch absichern. Einen Beweis dafür, daß die Sauerstoffkonzentrationen in individuellen Meereistümpeln im Laufe der Saison abnehmen können, liefern jedoch die Daten von Melnikov (1997), der im Sommer 1975 während der Driftstation NP-22 in einem Meereistümpel Sauerstoffkonzentrationen zwischen  $14,2 \text{ mg/l}$  im Juli und  $10,7 \text{ mg/l}$  im Oktober feststellte.

Das Meereis entsteht aus gefrierendem Meerwasser und gehört daher zu den marinen Lebensräumen. Deshalb mag die Dominanz von Süßwassertümpeln (79 %) und schwach brackigen Meereistümpeln (15 %) zunächst überraschen. Die Erklärung ist, daß die Meereistümpel aus schmelzendem Schnee und der abschmelzenden Meereisoberfläche entstehen. Wie die Salinitäts-Vertikalprofile von Eiskernen nach eigenen (Kap. 4.2.1.2) und Literaturdaten zeigen, sind die oberen Zenti- bis Dezimeter des Meereises stark ausgesüßt, insbesondere bei mehrjährigem Meereis (u. a. Garrity et al. 1991; Barry et al. 1993; Eicken et al.

Tab. 29: Leitfähigkeit des Meereistümpelwassers im Vergleich mit Literaturdaten

Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
628 (13 - 33700) (n = 25)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
ca. 600 in Bodennähe (n = 1)	Eurasische Arktis	Sommer 1997	v. Juterzenka et al. (1997)

Tab. 30: Sauerstoffkonzentration des Meereistümpelwassers im Vergleich mit Literaturdaten

Sauerstoff- konzentration [mg/l]	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
13,2 (11,7 - 14,3) (n = 24)	NO-Grönlandstrom (81°N - 72°N)	Juni/Juli 1993 und Juli-Sept. 1994	eigene Daten
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
max. 13,7	Eurasische Arktis	Aug. - Sept. 1993	Eicken et al. (1994)
14,2 - 10,7	Zentrale Arktis (Driftstation Nordpol)	mehrere Sommer	Melnikov (1997)

1995; Gradinger 1998a; Gradinger et al. 1999), so daß sich naturgemäß Süßwasser- und schwach brackige Tümpel bilden. Durch Meerwassereintrag oder Zustrom von Sole aus hochsalinen Eisschichten können sich Meereistümpel mit höheren Salinitäten ausbilden. Hiermit begründen auch Eicken et al. (1994) die große Spannweite der Meereistümpel-Salinitäten in der Eurasischen Arktis.

Im saisonalen Verlauf steigt der pH-Wert in den Meereistümpeln von anfangs stark Schneeschmelzwasser-beeinflußten sauren pH-Werten zwischen 5,5 und 6,5 auf Werte um pH 7 (ca. 6,6 - 7,5) an. Auch die Salinität und, noch deutlicher, die Leitfähigkeit steigen an. Hierin zeigt sich ebenso wie beim pH-Wert der zunächst starke Einfluß des Schneeschmelzwassers, das eine Salinität von 0 und äußerst geringe Leitfähigkeiten von  $<20 \mu\text{S}/\text{cm}$  aufweist. Das Schneeschmelzwasser sammelt sich in den Meereistümpeln, fließt aber zum größten Teil (Untersteiner 1961) über die Schmelzwasserkanäle in das Meer ab. Ein vermutlich kleinerer Teil

sickert vertikal in das Solekanalsystem ein (Schmelzwasserperkolation, vgl. Freitag 1999). Verdunstung findet in geringem Ausmaß statt (Untersteiner 1961). Mit dem Abschmelzen der Schneeauflage steigt der Anteil Meereis-Schmelzwassers und damit von Sole in den Tümpeln, die im Laufe der Saison tiefer in das Meereis hineinsinken und deren Wassertiefe gleichzeitig zunimmt, so daß auch tiefer gelegene Meereishorizonte mit höherem Gesamt-pH-Wert, höherer Gesamt-Salinität und -Leitfähigkeit erreicht werden (vgl. Messungen an Eiskernen in Kap. 4.2.1.2). Dies führt zu einem Anstieg der Werte in den Meereistümpeln. Zum Anstieg der Leitfähigkeit des Meereistümpelwassers dürften weiterhin biologische Aktivität (Ausscheidungsprodukte der Zellen; Nährstoffregeneration durch Bakterien und Protozoen) und das Ausfrieren von Salzen bei der Entwicklung einer Eisdecke auf den Tümpeln und beim späteren Zufrieren der Tümpel beitragen.

### 5.1.2.2 Konsequenzen für die Besiedlung der Meereistümpel

Meereistümpel sind während ihrer Existenz als aquatischer Lebensraum durch konstant geringe Wassertemperaturen von meist zwischen 0 und +1° C gekennzeichnet. Diese niedrigen Temperaturen stellen besondere Anforderungen an potentielle Tümpelbewohner, da die Stoffwechselprozesse in der Regel langsamer ablaufen als in wärmeren Habitaten ("Q10-Regel"), und daher auch die Wachstums- und Vermehrungsraten geringer sind. Da der Lebensraum nur in der relativ kurzen Sommersaison existiert und dabei auch noch einer Variabilität der übrigen abiotischen Parameter unterliegt, sind besondere Überlebens- und Vermehrungsstrategien vonnöten, um diesen Lebensraum erfolgreich besiedeln zu können, wie z. B. eine spezifische kälteadaptierte Enzymausstattung, rasche Vermehrungsfähigkeit (r-Strategen), Überdauerungsfähigkeit in Form von Ruhestadien o. ä.. Der Lebensraum ist keinesfalls sauerstofflimitiert, wie die hohen Sauerstoffkonzentrationen im Tümpelwasser zeigen.

Die Salinität der Meereistümpel wirkt sich naturgemäß auch auf den pH-Wert, die Leitfähigkeit und den Nährstoffgehalt (vgl. Kap. 4.2.1.3) des Tümpelwassers aus und hat starken Einfluß auf die Lebensbedingungen in Meereistümpeln und letztendlich deren Besiedlung (Biomasse und Artenzusammensetzung; vgl. Kap. 4.2.2 und 4.2.4). Die Spannweite der Meereistümpelsalinitäten reicht von reinem Süßwasser, begleitet von sehr geringen Leitfähigkeiten und pH-Werten im sauren Bereich, über oligomixohaline Verhältnisse mit höheren Leitfähigkeiten und pH-Werten bis hin zu Werten, wie sie im marinen Milieu zu finden sind. Insbesondere die geringe Salinität und Ionenarmut in den reinen Süßwasser- und schwach brackigen Tümpeln ist daher als begrenzender Faktor für die Besiedlung dieses

Lebensraums anzusehen, der Süßwasser"inseln" in einem rein marinen Milieu bildet und völlig andere Anforderungen an die osmoregulatorischen Fähigkeiten der Organismen stellt als das marine Milieu.

Hinzu kommt, daß die Salinität keinen konstanten Faktor darstellt, sondern wie auch die meisten anderen abiotischen Parameter einer saisonalen Dynamik unterliegt. Im Laufe des Sommers nehmen die Salinität und Leitfähigkeit des Meereistümpelwassers signifikant zu (Kap. 4.3.3). Die Veränderungen der aufgrund der abiotischen Parameter gegebenen Lebensbedingungen sind ein zusätzliches Erschweris für die Bewohner dieses Lebensraums und gleichzeitig Auslöser von saisonalen Veränderungen der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft.

### **5.1.3 Nährstoffkonzentrationen und Lichtverhältnisse**

#### **5.1.3.1 Nährstoffangebot in den Meereistümpeln**

Die Medianwerte der Nährstoffkonzentrationen waren sowohl bei den stickstoffhaltigen Komponenten als auch im Falle von Phosphat-P und Silikat-Si sehr niedrig (Tab. 31), so daß unter Berücksichtigung der ebenfalls sehr niedrigen Chlorophyllkonzentrationen die Charakterisierung der Meereistümpel im Untersuchungsgebiet als ultraoligotropher Lebensraum (Whiteside et al. 1980) gerechtfertigt ist. Sehr geringe Nährstoffkonzentrationen fanden auch English (1961), Eicken et al. (1994), Gradinger (1998a) und andere (Tab. 31). Melnikov (1997) berichtet ebenfalls von niedrigen Phosphat- und Silikatkonzentrationen, die im Bereich der Werte des Schneeschmelzwassers lagen. Die Konzentrationen in den Meereistümpeln waren nach Eicken et al. (1994) jedoch nicht so gering, wie man es durch einfache Verdünnung von Seewasser erwarten würde. Die Autoren deuten dies insbesondere bei Silikat als Hinweis auf Remineralisationsvorgänge in den Tümpeln. Als Silikatquellen nennen sie Diatomeenschalen und Sedimente. Diese Vermutung wird durch die Ergebnisse von Kriews et al. (1995) und Giese (1997) gestützt, die in Tümpelwasserproben, die oberhalb von Kryokonitlöchern genommen wurden, höhere Silikatkonzentrationen messen konnten als in Wasserproben, die an anderen Orten derselben Meereistümpel genommen wurden, an denen aber keine Kryokonitlöcher auftraten. Das in den Kryokonitlöchern von Meereistümpeln akkumulierte und aggregierte Material enthält vielfach Diatomeen (Gran 1904; Høllum v. Quillfeldt 1997; Okolodkov 1997a) und mineralische Sedimente marinen und terrigenen Ursprungs (Wollenburg 1993 und darin zitierte Literatur), die als Silikatquellen dienen können.

Tab. 31: Nährstoffkonzentrationen in Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten; k. D. = keine Daten

Nitrat [µmol/l]	Nitrit [µmol/l]	Ammonium [µmol/l]	Silikat [µmol/l]	Phosphat [µmol/l]	Gebiet	Zeit	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>							
0,3 (0,0 - 2,4) (n = 61)	0,0 (0,0 - 0,1) (n = 59)	0,3 (0,1 - 1,0) (n = 36)	0,2 (0,0 - 6,5) (n = 61)	0,1 µmol/l (0,0 - 0,4) (n = 61)	NO-Grönland- strom	Juni/Juli 1993, Juli-Sept. 1994	eigene Daten (Median und Spannweite)
0,2 - 2,7 (n = 5)	k. D.	k. D.	<0,5 - 2 (n = 5)	<0,1 - 0,9 (n = 5)	NO-Grönland- strom	Juli/Aug. 1994	Kriews et al. (1995)
<0,5 - 2,7 (n = 11)	k. D.	k. D.	<0,5 - 2,3 (n = 11)	<0,1 - 0,5 (n = 11)	NO-Grönland- strom	Juli/Aug. 1994	Giese (1997)
<b>Andere Meeresgebiete</b>							
0,1 µg-Atom/l (n = 1)	k. D.	k. D.	0 µg-Atom/l (n = 1)	0,1 µg-Atom/l (n = 1)	Driftstation Alpha	12.8.1958	English (1961)
max. 0,43	k. D.	k. D.	max. 2,0	max. 0,13	Eurasische Arktis	Aug. - Sept. 1993	Eicken et al. (1994)
0,4 (0,2 - 1,5) (n = 34)	k. D.	k. D.	<0,2 (0,0 - 15) (n = 34)	0,0 (0,0 - 0,3) (n = 34)	blaue Tümpel, Zentrale Arktis	Sommer 1991	Gradinger (1998a)
0,2 (0,2 - 0,2) (n = 4)	k. D.	k. D.	0,5 (0,4 - 0,6) (n = 4)	0,3 (0,2 - 0,5) (n = 4)	grüne Tümpel, Zentrale Arktis	Sommer 1991	Gradinger (1998a)

200

Insgesamt weisen Süßwasser- und schwach brackige Meereistümpel nach eigenen Ergebnissen höhere Nitrat- und niedrigere Silikatkonzentrationen als Brackwassertümpel auf. Auch zeichnen sich blaue Meereistümpel durch signifikant höhere Nitratkonzentrationen als grünliche Meereistümpel aus. Die vergleichsweise niedrigen und wenig variablen Nitratkonzentrationen in den grünlichen, oft brackigen Meereistümpeln weisen auf eine starke Nitratzehrung durch das Phytoplankton hin. Tatsächlich enthielten die grünlichen Meereistümpel signifikant höhere Chlorophyllkonzentrationen als die blauen (Kap. 4.2.3.2 und 5.1.1).

Die Nährstoffe gelangen mit der abschmelzenden Schneeauflage, die über den Winter akkumulierte Nährstoffeinträge (insbesondere Stickstoff) aus der Atmosphäre enthält, und dem schmelzenden Meereis sowie über Spritzwasser und hydraulische Verbindungen mit dem marinen Milieu in die Meereistümpel. In der Entstehungsphase der Meereistümpel (vgl. Kap. 4.3.1) gelangen zusammen mit dem Schneeschmelzwasser Nährstoffe aus einem großen Einzugsgebiet in die Tümpel, allerdings fließt ein Großteil des Schmelzwassers über das Netzwerk aus Tümpeln und Schmelzwasserkanälen in das Meer ab. Die Schneeproben enthielten nach eigenen Ergebnissen bis zu  $1,3 \mu\text{mol Nitrat-N/l}$ . In der Schneeauflage von Gletschern an der nordostgrönländischen Küste waren bis zu  $0,8 \mu\text{mol NH}_4/\text{l}$  enthalten. Kriews et al. (1995) fanden in Schneeproben von der Meereisoberfläche zwischen  $0,9$  und  $5,3 \mu\text{mol Nitrat-N/l}$ . In Eiskernen, die neben Meereistümpeln entnommen wurden, wurden nach eigenen Ergebnissen über die gesamte Kerntiefe ( $0 - 70 \text{ cm}$ ) einheitlich nur  $0,1 \mu\text{mol Nitrat-N/l}$  gefunden (Medianwerte), maximal waren  $0,8 \mu\text{mol Nitrat-N/l}$  enthalten. Nitratkonzentrationen  $>1 \mu\text{mol/l}$  wurden vereinzelt in größeren Tiefen erreicht (ab  $60 \text{ cm}$  Tiefe in Kernen, die aus dem Boden von Meereistümpeln entnommen worden waren, vgl. Kap. 4.2.1.3). Dies zeigt, daß im Schnee deponierter atmosphärischer Stickstoff als eine wichtige Nitrat- und vermutlich auch Ammoniumquelle der Meereistümpelgemeinschaft angesehen werden muß. Die Nitritkonzentrationen waren im Schnee wie auch in den Eiskernen und Meereistümpeln gleichermaßen niedrig. Interessant wäre die parallele Untersuchung der Ammoniumkonzentrationen in Schnee und Eiskernen, um auch die Herkunft dieser Stickstoffquelle in den Meereistümpeln klären zu können. Es gibt Hinweise darauf, daß im Gegensatz zur Eisunterseite in den oberflächennahen Eisschichten Ammonium eine größere Rolle als Nitrat spielt, zumal Ammoniumionen die häufigste Stickstoffverbindung in Eiskernen darstellen (Donner 1999). Ammonium gelangt sowohl über Schneeschmelzwasser als auch über das abschmelzende Meereis in die Meereistümpel und steht den Meereistümpelorganismen als Stickstoffquelle zur Verfügung. Ammonium- wie auch Phosphateinträge in das Meereistümpelwasser können darüber hinaus durch

biologische Aktivität erfolgen. Es ist bekannt, daß neben Bakterien auch Protozoen in nicht unerheblichem Maße zur Regeneration sowohl von Ammonium als auch Phosphat in Gewässern beitragen (Johannes 1965; Berman 1991)

Silikateinträge in die Meereistümpel erfolgen in der Regel nicht über den Schnee, der nach eigenen wie auch nach Ergebnissen von Kriews et al. (1995) nur sehr geringe Silikatkonzentrationen aufweist, sondern über das abschmelzende Meereis und über den Kontakt mit Meerwasser (Spritzwasser, Schmelzlöcher). Daneben finden in den Meereistümpeln jedoch auch Remineralisationsprozesse statt (Eicken et al. 1994, s. oben), die zur Freisetzung und lokalen Anreicherung von Silikat führen (Kriews et al. 1995; Giese 1997). Die Silikatremineralisation erfolgt jedoch relativ langsam. So ermittelte Donner (1999) einen Zeitraum von 12 Monaten bei einer mittleren Temperatur von  $-2^{\circ}\text{C}$  zur Remineralisation von Eisalgen aus der Bodengemeinschaft. Zwar ist die Wassertemperatur in Meereistümpeln etwas höher, und die Lösungsprozesse werden möglicherweise durch die intensive Sonneneinstrahlung etwas beschleunigt. Dennoch ist zu erwarten, daß durch die Remineralisation von Diatomeenschalen, die ohne Zellinhalt auch in Süßwassertümpeln auftreten (vgl. Kap. 4.2.4), nur ein kleiner Beitrag zur Silikatversorgung der Meereistümpelgemeinschaft geleistet wird. Größere Sedimentmengen dagegen vermögen die Silikatkonzentrationen in Meereistümpeln stärker zu beeinflussen, wie anhand des durch Sedimente braun gefärbten Tümpels von Station 37 deutlich wurde, der mit  $1,1\ \mu\text{mol/l}$  zu den silikatreicheren Meereistümpeln gehörte. Nach Ergebnissen von Wollenburg (1993) schien in Eiskernen aus dem eurasischen Becken eine Korrelation zwischen Bereichen erhöhter Sedimentkonzentrationen und den dort zu messenden Nitrat- und Silikatkonzentrationen zu bestehen.

Im saisonalen Verlauf nehmen die Nitratkonzentrationen ab, was auf die Nährstoffzehrung durch das sich entwickelnde Phytoplankton zurückzuführen ist. Parallel erfolgt eine Zunahme der Chlorophyllkonzentrationen und der Biomasse, repräsentiert durch die Summenparameter POC und PON. Die Silikatkonzentrationen nehmen im saisonalen Verlauf zu, was auf den Silikateintrag durch das Meereis zurückzuführen ist, wie die Ergebnisse der Messungen an Eiskernen zeigen (Kap. 4.2.1.3). Insbesondere durch das tiefere Hineinschmelzen der Tümpel in das Meereis und die Zunahme ihrer Wassertiefe werden tiefere Meereisschichten erreicht, in denen höhere Silikatkonzentrationen zu finden sind. Die saisonale Zunahme der Phosphatkonzentrationen in den Meereistümpeln kann ebenfalls hiermit begründet werden, da unterhalb der Meereistümpel höhere Phosphatkonzentrationen als im Tümpelwasser zu finden sind, wenn auch die Silikatkonzentrationen in den Eiskernen deutlich höher als die Phosphatkonzentrationen



sind. Auch der Stickstoff- und Phosphatregeneration durch heterotrophe Organismen in den Tümpeln kommt vermutlich eine wichtige und saisonal zunehmende Rolle zu.

Die Konzentration und das Mengenverhältnis der im Wasser gelösten Nährstoffe spiegeln die zum Zeitpunkt der Messung für das Phytoplankton verfügbaren Ressourcen wider (Istzustand). Für die gesicherte Beurteilung der Nährstoffsituation eines Gewässers sollten die Gesamtkonzentrationen, d. h. die gelösten und in Biomasse festgelegten Konzentrationen herangezogen werden (Sommer 1994). Nährstoffmangel und andere Faktoren, z. B. Photoinhibition, können die Wachstumsraten und die Biomassebildung limitieren. Liegt keine N- oder P-Limitierung des Algenwachstums vor, beträgt die stöchiometrische Zusammensetzung von Planktonproben für die Elemente C : N : P in etwa 106 : 16 : 1 (Redfield-Verhältnis; Sommer 1994). Da im Rahmen dieser Arbeit keine Gesamtposphorbestimmungen durchgeführt wurden, sind keine Aussagen zur Limitierung der Wachstumsraten, ebenso keine gesicherten Aussagen zur Limitierung der Biomassebildung durch Nährstoffmangel möglich. Es ist jedoch davon auszugehen, daß in den Meereistümpeln Organismen leben, die an geringe Nährstoffkonzentrationen angepaßt sind und die verfügbaren Ressourcen effizient zu nutzen vermögen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern durchaus Hinweise darauf, daß die geringen Silikatkonzentrationen insbesondere in den Süßwasser- und schwach brackigen Tümpeln die Biomasseentwicklung der Diatomeen begrenzen, denn sowohl in brackigen Meereistümpeln als auch in Landtümpeln und -seen, in denen deutlich höhere Silikatkonzentrationen vorlagen, waren lebende Diatomeen abundant (leere Schalen treten auch in Süßwasser-Meereistümpeln und Kryokonitlöchern auf). Für marine antarktische Gewässer gelten Silikatkonzentrationen  $< 6 \mu\text{mol/l}$  als limitierend für das Diatomeenwachstum (Nelson & Treguer 1992). Dieser Wert wurde mit einer Ausnahme (Station 64, Salinität 22,  $6,5 \mu\text{mol Silikat/l}$ ) in keinem der untersuchten Meereistümpel überschritten, selbst die anderen Brackwassertümpel mit Salinitäten zwischen 8 und 22 wiesen Silikatkonzentrationen von maximal  $3,3 \mu\text{mol/l}$  auf. An Station 64, die auch mikroskopisch untersucht wurde, waren im Gegensatz zu den Süßwassertümpeln lebende Diatomeen in vergleichsweise hoher Abundanz zu finden (Stationen 41 und 64, vgl. Kap. 4.2.4).

#### 5.1.3.2 Lichtangebot in den Meereistümpeln

Die Meereistümpel sind flache, sehr klare Gewässer und dadurch der einfallenden Sonnenstrahlung einschließlich ihrer UV-Anteile intensiv ausgesetzt - während der Mitternachtssonne sogar 24 Stunden täglich. Der aus Eis bestehende Tümpel-

boden reflektiert einfallende Strahlung zusätzlich, was das größere  $4 \pi / 2 \pi$ -Verhältnis der Lichtmessungen im Meereistümpelwasser gegenüber den Verhältnissen in den Landtümpeln und -seen erklärt (Kap. 4.2.1.4). Der sandige bis schlammige Boden der Landtümpel und -seen absorbiert dagegen mehr Strahlung als das blanke Eis in den Meereistümpeln. Zudem weisen die Süßwasserhabitats an Land teilweise sogar recht trübes Wasser mit hoher Sedimentfracht auf (insbesondere der Noa Sø), so daß in diesen Gewässern weniger extreme Lichtverhältnisse als in den Meereistümpeln herrschen, die als Starklichthabitats einzuordnen sind. Weiterhin bieten diese Gewässer ihren Bewohnern durch Wasserpflanzen, Steine und die insbesondere in Seen größeren Wassertiefen die Möglichkeit, Schutz vor der intensiven Sonneneinstrahlung zu suchen.

Als Maximalwert für die im Sommer in der Arktis zu messende Lichtmenge werden  $1500 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  angegeben (Mittagswert; Kirst & Wiencke 1995). Dieser Wert wurde in den eigenen Lichtmessungen mit dem  $2\pi$ -Sensor nicht erreicht, als Maximalwert der einfallenden Lichtstrahlung wurden mittags  $966 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  festgestellt (Station 61). Lichtmessungen anderer Autoren liegen vor allem in Form von Bestimmungen der Meereistümpel-Albedo vor. Die tümpelfreie Meereisoberfläche hat im Sommer eine Albedo von etwa 0,66 (Untersteiner 1961). Mit trockenem Schnee bedecktes Meereis weist vor Beginn der sommerlichen Tauperiode sogar eine Albedo von etwa 0,9 auf (Perovich 1996). Mit zunehmender Durchfeuchtung des Schnees zu Beginn der Tauperiode nimmt die Albedo ab. Die Albedo von Meereistümpeln liegt bei etwa 0,4 (Perovich 1994). Grenfell & Maykut (1977) geben für die Meereistümpel-Albedo einen Wert von 0,25 an. Kolatschek und Zatchek (1997) bestimmten die Albedo von sedimentfreien ("sauberen") Meereistümpeln mit Werten zwischen 0,54 (10 cm Wassertiefe) und ebenfalls 0,25 (40 cm Wassertiefe).

Die geringere Albedo der Meereistümpel gegenüber der tümpelfreien Meereisoberfläche hat zur Folge, daß mehr Lichtstrahlung aufgenommen wird, die Tümpel sich also schneller erwärmen und zudem aufgrund der Wärmekapazität des Wassers die Wärme länger speichern ("latente Wärme"; Untersteiner 1961) als das umliegende Meereis. Dadurch sinken die Tümpel tiefer in das Meereis hinein, wie die eigenen Ergebnisse zeigen (Kap. 4.3.1 und 4.3.2). Durch Wärmeabgabe an das gefrorene Meereis sowie durch in den Tümpelboden eindringende Lichtstrahlung hervorgerufene Tauprozesse am Tümpelboden nimmt gleichzeitig die Wassertiefe der Meereistümpel zu. Beide Prozesse haben zur Folge, daß tieferliegende Meereisschichten erreicht werden, so daß zusammen mit dem abschmelzenden Eis Sole in die Meereistümpel gelangt. Damit verbunden ist ein Eintrag von Stoffen (Nährstoffe, sonstige Ionen und Verbindungen) und Partikeln (organisches und anorganisches Material, z. B. Detritus oder mineralische Sedi-

mentpartikel, Diatomeenschalen etc.) sowie Organismen aus dem Eis und dessen Solekanalsystem in die Tümpel. Dies erklärt z. B. den saisonalen Anstieg der Leitfähigkeit und Salinität, der Silikat- und Phosphatkonzentrationen und führt zu einem erhöhten Nahrungsangebot für die mikrobielle Gemeinschaft.

Die einfallende Lichtstrahlung, insbesondere die Strahlungsenergie im kurzwelligen Bereich, die stark absorbiert wird und einen Anteil von bis zu 90 % an der täglich von der Meereisoberfläche abschmelzenden Eismenge hat (Untersteiner 1961), erzeugt und erhält den Lebensraum Meereistümpel. Der photosynthetisch aktive Teil der Lichtstrahlung (400 - 700 nm) ermöglicht die Existenz phototropher Organismen in den Meereistümpeln, die zusammen mit den Bakterien die Nahrungsgrundlage für heterotrophe eukaryotische Organismen liefern. Gleichzeitig sind die Lichtbedingungen jedoch sehr extrem, so daß davon auszugehen ist, daß das gegebene Überangebot von Licht gleichzeitig als begrenzender Faktor der Meereistümpelbesiedlung wirkt. Die niedrigen Chlorophyllkonzentrationen in den Meereistümpeln sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß die an das Starklichthabitat angepaßten Zellen weniger Chlorophyll *a* pro Zelle enthalten als Algenzellen, die an Schwachlichthabitate angepaßt sind, wie z. B. die Eisalgen (Cota 1985; Horner 1985; Smith & Sakshaug 1990; Cota & Smith 1991). Die Meereistümpel sind nicht nur ein Starklichthabitat im Sinne der photosynthetisch aktiven Strahlung, sondern auch in bezug auf UV-Strahlung (Wickham & Carstens 1998). Die UV-Strahlung, insbesondere der UV B-Anteil (280 - 320 nm), kann nicht nur auf Zell- und Organismenebene, sondern durch artspezifische und andere Effekte auch auf Populations- und Gemeinschaftsebene Schäden hervorrufen (u. a. Smith et al. 1980; Häder & Worrest 1991; Helbling et al. 1992; Behrenfeld et al. 1995; Wickham & Carstens 1998). Erhöhte UV B-Einstrahlung führt u. a. zur Abnahme der Chlorophyllkonzentrationen (Döhler 1984) und zum Ausbleichen photosynthetischer Pigmente (Zündorf & Häder 1991), hemmt die Photosynthese und das Wachstum von Phytoplanktonorganismen (Cullen & Lesser 1991; Helbling et al. 1992; Davidson et al. 1994) und beeinträchtigt die Orientierung und Motilität von Flagellaten (Häder & Häder 1988; Zündorf & Häder 1991; Ekelund 1992, 1993). Hohe Dosen von UV A haben ebenso wie UV B negative Auswirkungen auf die Stickstoffaufnahme von Phytoplanktonorganismen (Döhler 1992; Döhler & Haas 1995; Döhler & Buchmann 1995). Auch das Zooplankton kann durch UV-Strahlung geschädigt werden (Williamson et al. 1994). Es ist daher davon auszugehen, daß die Meereistümpelorganismen an hohe Strahlungsmengen sowohl im PAR- als auch im UV-Bereich angepaßt sind, z. B. durch die Ausprägung von Schutzpigmenten wie in manchen Schneealgen (Carotenoide: Bidigare et al. 1993) und in vielen antarktischen Organismen (mycosporinartige Aminosäuren: Karentz et al. 1991; Garcia-Pichel & Castenholz 1991; Garcia-Pichel et al. 1993). Die Adaptation

## 5.1 Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung

---

ist möglicherweise der Grund dafür, daß Wickham & Carstens (1998) in experimentellen UV B-Ausschlußuntersuchungen keinen negativen Effekt von UV-B auf die Meereistümpelgemeinschaft feststellen konnten.

Im Laufe der Saison normalisieren sich die extremen Lichtverhältnisse durch die Ausbildung einer Eisdecke auf den Meereistümpeln, die mit zunehmender Dicke einen gewissen Lichtschutz bietet, wenn auch Süßwassereis eine gute spektrale Durchlässigkeit für PAR besitzt (Bolsenga et al. 1991) und die Meßwerte in den Meereistümpeln daher auch Mitte September noch nicht auffallend geringer als im Juli waren. Allerdings dürfte die Eisdecke einen Teil des UV-Anteils herausfiltern. Hinzu kommt, daß durch den niedrigeren Sonnenstand ein kleinerer Einfallswinkel gegeben ist und der Anteil reflektierten Lichts steigt (Melnikov 1997), während sich gleichzeitig wieder ein Tag-Nacht-Rhythmus einstellt, so daß in den Tümpeln im August und September moderatere Lichtverhältnisse, insbesondere im UV-Bereich, herrschen dürften.

### 5.1.3.3 Konsequenzen für den Lebensraum Meereistümpel

Meereistümpel stellen einen äußerst nährstoffarmen Lebensraum dar, dessen geringe Ressourcen der Biomassenentwicklung Grenzen setzen. Nach Vollenweider (1968, zitiert in Whiteside et al. 1980) sind die Meereistümpel aufgrund ihrer geringen Phytoplankton-Biomasse (Frischgewicht <1 mg/l) als ultraoligotroph einzustufen. Insbesondere der Silikatmangel in den Süßwassertümpeln begrenzt die Existenzmöglichkeit stark silikatbedürftiger Organismen wie Diatomeen. Meereistümpelbewohner müssen die geringen Nährstoffressourcen effizient zu nutzen wissen, was wiederum die Entwicklung kleiner Organismen (Protisten) und von r-Strategen begünstigen dürfte. Gleichzeitig sind Meereistümpel ein Klarwasser- und Starklichthabitat ohne Refugien wie z. B. Wasserpflanzen oder Überhänge als Schutz vor der Sonnenstrahlung. Die einzigen Rückzugsmöglichkeiten in nicht durchgeschmolzenen Meereistümpeln bestehen darin, Beschattung durch das Material am Boden von Kryokonitlöchern zu suchen, sofern vorhanden, oder sich in das Solekanalsystem im Eisinneren zurückzuziehen. Diese Möglichkeit ist größeren Planktern und Nektonorganismen jedoch verwehrt, zudem nimmt in den Solekanälen die Salinität mit zunehmender Tiefe meist zu (vgl. Kap. 4.2.1.2). In durchgeschmolzenen Meereistümpeln besteht dagegen die Möglichkeit, größere Wassertiefen innerhalb der Süßwasserlinse aufzusuchen, bis der zum marinen Milieu hin zunehmende Salzgehalt dem Vordringen nicht salztoleranter Organismen ein Ende setzt. Eine erfolgreiche Besiedlung des Lebensraums Meereistümpel durch mikrobielle oder auch größere Planktonorganismen setzt Anpassungen sowohl an die hohe Lichtintensität im

PAR-Bereich - schattenadaptierte Organismen wie z. B. die typischen Meereisdiatomeen ("Eisalgen") wären hier kaum zu erwarten - als auch eine Toleranz gegenüber der UV-Strahlung voraus.

Es ist zu erwarten, daß die Produktivität in den Meereistümpeln sehr gering ist, da die Kombination aus Starklichtbedingungen und niedrigen Nährstoffkonzentrationen in anderen Habitaten zu einer Produktivitätserniedrigung führt (Hansson & Haakansson 1992). Gleichzeitig kann Nährstofflimitierung die Ausprägung von Reaktionen auf UV-Stress unterdrücken. Behrenfeld et al. (1994) konnten zeigen, daß dieselbe UV B-Dosis bei Nährstoffüberschuß zu einer Verringerung der spezifischen Wachstumsrate und Biomasse einer Algenart führt, bei Nährstofflimitierung dieser Effekt jedoch nicht auftritt. Die Ursache hierfür ist nach Ergebnissen der Autoren nicht die Toleranz der Art gegenüber UV-Strahlung, sondern das Prinzip der dominierenden Wirkung des am stärksten limitierenden Faktors. Auf diese Weise kann die Nährstoffarmut auch von Vorteil für die Meereistümpelgemeinschaft sein.

Da die Nährstoffkonzentrationen in den Meereistümpeln besonders niedrig (ultraoligotroph) und die Lichtbedingungen besonders extrem sind und zudem niedrige Temperaturen, vielfach niedrige pH-Werte und ionenarmes Wasser die Meereistümpel kennzeichnen, ist dieser Lebensraum als ein Extrem in einer ohnehin extremen und lebensfeindlichen Umgebung anzusehen. Seiner Besiedlung sind daher durch die abiotischen Bedingungen enge Grenzen gesetzt.

#### **5.1.4 Die Lebensgemeinschaften der Meereistümpel**

##### **5.1.4.1 Biomasse der Lebensgemeinschaft (Chlorophyll, POC, PON)**

Die Meereistümpel des Untersuchungsgebiets sind durch äußerst geringe Chlorophyll *a*-Konzentrationen von durchschnittlich  $<0,05 \mu\text{g/l}$  (Tab. 32) und demnach durch eine sehr geringe Algenbiomasse gekennzeichnet. Diese Ergebnisse decken sich mit den Angaben von English (1961), Gradinger (1996) und v. Juterzenka & Knickmeyer (1999). Gradinger (1998a) fand in blauen Meereistümpeln ebenfalls sehr niedrige Chlorophyll *a*-Konzentrationen, in grünen Meereistümpeln, die mit dem Meerwasser in Verbindung standen, dagegen um eine Größenordnung höhere Werte als in blauen Tümpeln. Auch nach eigenen Ergebnissen weisen grüne Meereistümpel höhere Chlorophyll *a*-Konzentrationen als blaue auf (Kap. 4.2.3.2). Sehr hohe Chlorophyllkonzentrationen fanden Grossmann & Gleitz (1997) in einer Algenschicht am Boden eines durchgeschmolzenen Meereistümpels (Tab. 32). Dies zeigt, daß es in Meereistümpeln "hot

spots" mit hohen Chlorophyll-Konzentrationen geben kann, die jedoch ähnlich wie die Kryokonitlöcher, die nicht in allen Tümpeln vorhanden sind, für die Verhältnisse im eigentlichen Wasserkörper des Gewässers nicht repräsentativ sind. Auch Untereistümpel (Eicken 1994; Gradinger 1996) können sehr hohe Chlorophyllkonzentrationen von  $29,6 \mu\text{g/l}$  aufweisen (Gradinger 1996), sind jedoch ebenfalls nicht mit den Tümpeln auf der Meereisoberfläche vergleichbar. Weitere Untersuchungen der Chlorophyllkonzentrationen in Meereistümpeln liegen zur Zeit nicht vor.

Ursache für die niedrigen Chlorophyllkonzentrationen dürften die Nährstoffarmut und die Starklichtbedingungen in den Meereistümpeln sein, zumal das Zusammenwirken beider Faktoren nach Hansson & Haakanson (1992) die Produktivität eines Gewässers verringert (vgl. Kap. 5.1.3). Die Nährstoffarmut spielt sicherlich eine große Rolle, denn in antarktischen Schelfeistümpeln (James et al. 1995) sind bei vermutlich vergleichbaren Lichtbedingungen, aber höheren Nährstoffkonzentrationen deutlich höhere Algenbiomassen zu finden (vgl. Kap. 5.2.1.2). Die Algenblüte im mesomixohalinen Untereistümpel (Gradinger 1996) dürfte ebenfalls auf die gemäßigten Lichtbedingungen an der Eisunterseite und vermutlich auch auf höhere Nährstoffkonzentrationen zurückzuführen sein.

Die POC-Konzentrationen als Maß für die Gesamt-Biomasse der Meereistümpelgemeinschaft sind mit einem Median von  $85,1 \mu\text{g/l}$  höher, als die geringen Chlorophyll *a*-Konzentrationen erwarten lassen, und entsprechen den Ergebnissen von Melnikov (1997), der zwischen 20 und  $150 \mu\text{g POC/l}$  feststellte (Tab. 33). Weitere Vergleichsmessungen anderer Autoren liegen nicht vor. Die vergleichsweise hohen POC-Konzentrationen können als Hinweis darauf gedeutet werden, daß die an ihr Starklichthabitat angepaßten Zellen weniger Chlorophyll *a* pro Zelle enthalten als die schattenadaptierten Eisalgen (Demers et al. 1984; Cota 1985; Smith & Sakshaug 1990; Cota & Smith 1991b) oder die Algen in Gewässern mit einem gemäßigteren Lichtklima (Kap. 5.1.3.2). Die Chlorophyll *a*-Konzentrationen sind ebenso wie die POC- und PON-Konzentrationen positiv mit dem Tag der Probennahme korreliert. Im saisonalen Verlauf folgen die Chlorophyllkonzentrationen einer Glockenkurve mit zunächst zunehmenden und zum Herbst hin wieder abnehmenden Werten (Kap. 4.3.3), während die Werte der POC- und PON-Konzentrationen einer Sättigungskurve gleichen. Daher ist davon auszugehen, daß die Chlorophyllkonzentrationen und damit die Algenbiomasse in den Meereistümpeln zusätzlich durch den Fraßdruck herbivorer Organismen kontrolliert werden. Hierfür spricht auch, daß zwar eine positive Korrelation zwischen den Chlorophyll *a*- und den POC-Konzentrationen besteht, jedoch keine gesicherte Korrelation zwischen der Chlorophyll *a*-Konzentration und den

abiotischen Parametern einschließlich der Nährstoffkonzentrationen hergestellt werden konnte (Kap. 4.2.3.1). Die POC- und PON-Konzentrationen dagegen sind mit verschiedenen abiotischen Faktoren korreliert.

Tab. 32: Chlorophyll *a*-Konzentrationen in Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten

Chlorophyll <i>a</i> -Konzentration	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
0,04 µg/l (0,01 - 0,40 µg/l) n = 48	NO-Grönlandstrom	Juni - September	eigene Daten
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
0,03 µg/l (n = 1)	Zentrale Arktis	Sommer 1958	English (1961)
<0,5 µg/l (blau, n = 34) <6,0 µg/l (grün, n = 4)	Zentrale Arktis	Sommer 1991	Gradinger (1998a)
<0,05 µg/l (n = 1)	Eurasische Arktis	Sommer 1993	Gradinger (1996)
1,9 mg/m <sup>2</sup> in Bodenschicht	Eurasische Arktis	Sommer 1995	Grossmann & Gleitz (1997)
<0,1 µg/l in grünen „crack pools“	Eurasische Arktis	Oktober 1995	v. Juterzenka & Knickmeyer (1999)

Tab. 33: POC-Konzentrationen in Meereistümpeln im Vergleich mit Literaturdaten

POC-Konzentrat. [µg/l]	Gebiet	Zeitpunkt	Autoren
<b>Framstraße und Grönlandsee</b>			
85,1 (17,7 - 312,8) n = 48	NO-Grönlandstrom	Juni - September	eigene Daten
<b>Andere Meeresgebiete</b>			
20 - 50 (n: keine Angabe)	Zentrale Arktis	Sommer 1975-1980	Melnikov (1997)

Die POC- und PON-Konzentrationen nehmen mit abnehmender Flächen- ausdehnung und zunehmender Wassertiefe der Meereistümpel zu. Dies erklärt sich aus der saisonalen Entwicklung der Tümpel. Zu Beginn der Saison nimmt die Flächenausdehnung der Tümpel sehr rasch zu (Kap. 4.3), wodurch ein großes Einzugsgebiet abgedeckt wird und mit dem tauenden Schnee Nährstoffe und Schneeorganismen in die Tümpel eingetragen werden. Die Entwicklung der Meereistümpelgemeinschaft steht jedoch erst am Anfang. Die photo- und

heterotrophe Biomasse steigt im Laufe der saisonalen Entwicklung der Meereistümpelgemeinschaft an, die Tümpel jedoch verkleinern sich wieder und sinken tiefer in die Meereisoberfläche hinein. Gleichzeitig nimmt die Wassertiefe zu (vgl. Kap. 5.1.1.2), so daß sich das Einzugsgebiet der Tümpel auf tiefergelegene Meereisschichten ausdehnt. Über den Eintrag von Stoffen, Organismen und Detritus aus dem Meereis wird die weitere Biomasseproduktion in den Tümpeln unterstützt, gleichzeitig aber auch ein "passiver" Beitrag zum organischen Kohlenstoffgehalt der Meereistümpel geleistet. Das molare C : N-Verhältnis von 7,8 (Median) läßt keinen hohen Detritusanteil in den Meereistümpeln vermuten (vgl. jedoch Kap. 5.3.2).

Die POC- und PON-Konzentrationen sind unabhängig von der Wassertemperatur, die im saisonalen Verlauf ohnehin nur eine enge Bandbreite zeigt, aber auch vom pH-Wert des Meereistümpelwassers. Dies ist überraschend, da der pH-Wert Einfluß auf die Organismenzusammensetzung nehmen kann. Manche Schneeealgen benötigen z. B. einen pH-Wert um 5 (Hoham & Mohn 1985), während pH-Werte zwischen 5 und 6 im Süßwasser die Entwicklung von Dinoflagellaten und Chrysophyceen begünstigen (Brönmark & Hansson 1998). Möglicherweise haben die Tümpelbewohner eine breite pH-Toleranz vom sauren bis zum neutralen und schwach alkalischen Bereich, oder Unterschiede in den pH-Werten spiegeln sich in der Dominanz unterschiedlicher Organismen wider, wobei die aufgrund der abiotischen Bedingungen maximal mögliche Produktion unabhängig von der Artenzusammensetzung erreicht wird. Eine Korrelation mit der Leitfähigkeit ließ sich für POC und PON nicht zeigen, obwohl sie saisonal ansteigt und auch eine positive Korrelation zwischen POC und der Salinität besteht. Es wäre daher zu erwarten, daß die zu Beginn der Saison sehr niedrigen, stark schneeschnelzwasserbeeinflussten Leitfähigkeiten, die hohe Anforderungen an die osmoregulatorischen Fähigkeiten von Organismen stellen, die Biomasseentwicklung begrenzen. Mit dem Anstieg der Leitfähigkeit und Salinität könnte dagegen ein breiteres Spektrum von Organismen die Tümpel besiedeln und zum Aufbau von Biomasse beitragen. Insbesondere der Zusammenhang zwischen Salinität und POC läßt vermuten, daß marine oder Brackwasserorganismen, z. B. aus dem Solekanalsystem oder der ausgesüßten Oberflächenschicht des Meeres, als Besiedler in Frage kommen (vgl. Kap. 5.2.3). Aber offensichtlich sind die Bewohner der Meereistümpel an die Bedingungen in den Süßwasser- und oligomixohalinen Tümpeln gut angepaßt, wie auch die breite Spannweite der POC-Konzentrationen bei geringer Salinität zeigt (Abb. 24.a).

Die POC-Konzentrationen sind negativ mit den Nitratkonzentrationen korreliert, was sich dadurch erklärt, daß Nitrat im Laufe der Saison stark aufgezehrt und in Algenbiomasse festgelegt wird, die wiederum mit dem Anstieg der heterotrophen



Biomasse in Zusammenhang steht (positive Korrelation zwischen Chlorophyll *a* und POC). Mit zunehmender Silikat- und Phosphatkonzentration steigen die POC- und PON-Werte wiederum an, was auf die Bedeutung dieser Nährstoffe für die Entwicklung der Algen- und Gesamtbiomasse hinweist (vgl. Kap. 5.1.3.1).

Grüne Meereistümpel unterscheiden sich von den blauen Vertretern durch signifikant höhere Chlorophyll *a*-, POC- und PON-Konzentrationen, was sich durch Unterschiede in der Nährstoffchemie erklären läßt (Kap. 4.2.3.2 und 5.1.3.1).

Weiterhin lassen sich für die Biomasseparameter salinitätsabhängige Unterschiede zwischen der Gruppe der Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel (Stationen mit einer Salinität von 0 - 2) und der Gruppe der meso- und polymixohalinen Meereistümpel (Stationen mit einer Salinität zwischen 8 und 22) erkennen. Letztere hatten sich bereits in der Clusteranalyse (Kap. 4.2.3.3) von der ersten Gruppe abgehoben, da sie in ein gemeinsames Cluster mit den Meerwasserproben eingruppiert worden waren. Die meso- und polymixohalinen Meereistümpel weisen signifikant erhöhte POC-Konzentrationen auf, wie aufgrund der positiven Korrelation zwischen der Salinität und POC auch zu erwarten war. Die Chlorophyll *a*-Konzentrationen waren dagegen nicht signifikant erhöht. Da die untersuchten meso- und polymixohalinen Meereistümpel nur zum Teil identisch mit den grünen Meereistümpeln sind, läßt sich die Erklärung des Unterschieds zwischen blauen und grünen Tümpeln nicht direkt auf die Brackwassertümpel übertragen. Die höhere Gesamtbiomasse in den stärker brackigen Meereistümpeln läßt sich jedoch als Hinweis auf günstigere Lebensbedingungen für Organismen deuten, die aus dem Solekanalsystem oder dem marinen Milieu in die Tümpel einwandern (vgl. Kap. 5.3.3).

#### **5.1.4.2 Zusammensetzung und Sukzession der Lebensgemeinschaft**

##### *Sukzession im Laufe der saisonalen Entwicklung*

Die saisonale Dynamik der abiotischen Faktoren, die den Lebensraum Meereistümpel charakterisieren und seine Entwicklung steuern, findet ihren Niederschlag in der saisonalen Entwicklung der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft der Meereistümpel. Nach den Ergebnissen dieser Arbeit läßt sich die Entwicklung der Meereistümpelgemeinschaft in drei Phasen einteilen:

1. die Schneeschmelzwasser-dominierte Entstehungsphase, gekennzeichnet durch typische Vertreter der Schneegemeinschaften;

#### 5.1 Charakteristika der Meereistümpel und Konsequenzen für ihre Besiedlung

---

2. die Süßwasser-dominierte Phase, in der zunehmend Schmelzwasser aus den oberflächlichen Meereisschichten eingetragen wird und sich die eigentliche Meereistümpelgemeinschaft unter dem Einfluß der sich ebenfalls verändernden abiotischen Faktoren entwickelt; in Abhängigkeit von der Salinität des Meereises und dem Meerwassereinfluß können sich auch oligo- bis schwach mesomixohaline Meereistümpel ausbilden;
3. das Endstadium der saisonalen Entwicklung, in der die Tümpel langsam wieder durchzufrieren beginnen, was mit einem Anstieg der Leitfähigkeit und der Ausbildung vertikaler Schichtungen bei zunehmender Stärke der Eisdicke auf der Tümpeloberfläche verbunden ist. Für die Meereistümpelgemeinschaft bedeutet dies das baldige Ende ihrer Existenz oder den Übergang in eine Ruhephase. Der Abschluß der saisonalen Entwicklung kann auch durch Auslaufen der Tümpel (z. B. Station 69) und Vermischung des Tümpelwassers mit dem Meerwasser bei Durchschmelzen der Tümpel oder Bruch des Meereises erfolgen.

Die folgenden Ausführungen gelten für die Meereistümpel des Untersuchungsgebiets, in dem mehrjähriges und dickes einjähriges Eis dominierte, was das überwiegende Vorkommen von Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpeln erklärt. In Meeresgebieten mit vorwiegend einjährigem Meereis oder in Festeisregionen ist das Eis dünner, schmilzt somit eher zum marinen Milieu durch und weist eine höhere Gesamtsalinität auf. Daher ist in solchen Gebieten mit einem höheren Anteil von Brackwassertümpeln und demzufolge einer anderen Zusammensetzung und Entwicklung der Lebensgemeinschaften zu rechnen.

In den Süßwasser-Meereistümpeln auf mehrjährigem und dickem einjährigem Eis findet im Laufe ihrer Entwicklung eine Veränderung von einer Schneeorganismen-dominierten hin zu einer typischen Süßwasser-Meereistümpelgemeinschaft statt, die mit einer Veränderung abiotischer Faktoren zusammenhängt (z. B. des pH-Werts, der Salinität und Nährstoffkonzentrationen), aber auch durch andere Faktoren wie Art und Menge der mit dem Schnee; über das Meereis oder andere Pfade (Spritzwasser oder vertikaler Kontakt zu Meerwasser, Windverfrachtung von Organismen) eingetragenen Organismen beeinflusst wird. Charakteristische Schneeorganismen wie *Chionaster bicornis* und *Ancylonema nordenskioeldii* und vermutlich auch die gefundenen *Chlamydomonas* sp., *Chloromonas* sp. und der phototrophe Flagellat (PNAN) Typ A (evtl. *Chlamydomonas* cf. *yellowstonensis*) kamen in "jungen", sich gerade öffnenden oder wenige Tage zuvor entstandenen Meereistümpeln bei pH-Werten zwischen 5,5 und 6,7 und einer Salinität von 0 vor (Stationen 9, 12, 13, 15; Beprobung in der ersten Julihälfte auf 80° N). Weiterhin typisch für die "jungen", Schneeschmelzwasser-dominierten Meereistümpel sind

die in hohen Abundanzen auftretenden phototrophen coccalen Zellen mit einem mittleren Durchmesser von  $2,5 \mu\text{m}$  (Kap. 4.2.4, Tafel 2), die auch in den oberen Zentimetern des Tümpelbodens gefunden wurden (Kap. 4.2.4.2). Ihr Anteil an der Gesamtabundanz der Protisten des Tümpelplanktons nahm im Laufe der Saison zugunsten anderer Taxa ab (Tab. 14 und Kap. 4.3.2), und Zellen dieses Typs  $<2 \mu\text{m}$  wurden nach dem 13. Juli (Station 27) nicht mehr beobachtet. Daneben treten weitere photo- und heterotrophe Flagellaten auf. Charakteristische heterotrophe Vertreter der Schneeschmelzwasser-dominierten Phase der Meereistümpelentwicklung sind nicht näher identifizierbare zylindrische und spindelförmige Zellen.

Zu der typischen Süßwasser-Meereistümpelgemeinschaft gehören Chlamydo-phyceen (dominierende Gattung: *Carteria* sp., Auftreten von pH 5,5 bis 6,9), loricate Chrysophyceen (*Dinobryon* spp., *Chrysolykos angulatus*; Auftreten von pH 6,8 - 6,9, aber auch in Brackwassertümpeln mit pH 8,4), verschiedene photo- und heterotrophe Dinoflagellaten und Ciliaten (*Strombidium* spp., *Lacrymaria* sp., *Didinium* sp.), die bei pH 6,7 - 6,9 sowie in Brackwassertümpeln mit pH 8,4 vorkamen. Daneben sind verschiedene andere photo- und heterotrophe Flagellaten sowie Ruhestadien Bestandteil der Süßwasser-Meereistümpelgemeinschaft. Beispiele für die Ausprägung dieser typischen Gemeinschaften sind die Stationen 45, 63 und 79. Der Vergleich der Besiedlung der nach drei Wochen wiederbesuchten Stationen 15 macht die Unterschiede zwischen der Schnee- und der Meereistümpel-Gemeinschaft besonders deutlich (Kap. 4.3.2).

Eine klare pH-Wert-abhängige Grenze für das Auftreten von charakteristischen Schneeorganismen und Meereistümpelorganismen kann nicht gezogen werden, weil sich die Bereiche ihres Vorkommens überlappen. Dies liegt vermutlich daran, daß viele Schneeorganismen bei einem ungünstigen, aber nicht letalen pH-Wert noch weiterexistieren können, während es gleichzeitig einige Zeit dauert, bis sich die möglicherweise höhere pH-Werte bevorzugende Meereistümpelgemeinschaft zu erkennbarer Größe entwickelt hat. Der genaue Einfluß des pH-Werts und anderer physikalisch-chemischer Faktoren kann nur durch entsprechende physiologische Untersuchungen der Organismen geklärt werden. Die Entwicklung der Meereistümpel erfolgt nicht zeitgleich an allen Standorten, sondern ist variabel. Mikroklimatische Unterschiede (z. B. Unterschiede im Niveau über dem Meeresspiegel; geschützte Lage im Windschatten eines Preßeisrückens) sowie die Eigenschaften des Einzugsgebiets der Tümpel und ihre Entstehungsgeschichte wirken sich auf die Entwicklung und Besiedlung der Meereistümpel aus. Daher sind kleinräumige Unterschiede zwischen Tümpeln auf einer Scholle zu erwarten und wurden auch festgestellt, z. B. in der Besiedlung zwischen Station 12 und 13 (vgl. Tabellenanhang).

Station 8, obwohl früher im Jahr, aber weiter südlich (78° N) beprobt, ist bereits durch den Übergang von der Schnee- zur Meereistümpelgemeinschaft gekennzeichnet. Anstelle von *Chlamydomonas* sp. ist *Carteria* sp. typischer Vertreter der Chlamyodophyceen, und es fehlen die für die schneebeeinflusste Gemeinschaft typischen phototrophen Coccalen <2 µm sowie die heterotrophen zylindrischen und spindelförmigen Zellen. Stattdessen sind Ciliaten und heterotrophe Dinoflagellaten bereits vorhanden.

Die Mitte September als letzter Meereistümpel beprobte Station 79 wies eine vergleichsweise geringe Algenabundanz (14,2 % der Protisten) bei einem hohen Anteil heterotropher Protisten auf (85,8 %), die sich vor allem aus heterotrophen Dinoflagellaten, Ciliaten und heterotrophen Nanoflagellaten zusammensetzten. Diese Station ist ein Beispiel für die Endphase der Gemeinschaftsentwicklung eines nicht durchgeschmolzenen Meereistümpels vor dem Durchfrieren im Winter, der in diesem Stadium ein geschlossenes, allseits von Eis umgebenes System darstellt.

Station 64, ein Beispiel für polymixohaline Meereistümpel (Salinität: 22), ist durch das Fehlen der Gattungen *Chlamydomonas* und *Carteria* und das abundante Vorkommen von Prasinophyceen und Diatomeen sowie die Präsenz von Cryptophyceen gekennzeichnet. Ein weiteres Charakteristikum ist das Auftreten von Arten wie *Mesodinium rubrum* (Ciliophora) und *Attheya septentrionale* (Bacillariophyceae), die für den Kontakt mit Meerwasser sprechen (vgl. Kap. 5.3.3). Dieser Tümpel lag auf mehrjährigem Eis, das charakteristischerweise in Oberflächennähe stark ausgesüßt ist (vgl. Kap. 4.2.1.2 und Thomas et al. 1995; Gradinger et al. 1999). Zudem war der Tümpel vertikal nicht über Schmelzlöcher mit dem Meerwasser verbunden. Es erscheint nicht sehr wahrscheinlich, daß die hohe Salinität durch Soleeintrag aus dem Meereis erzeugt wurde, sondern eher, daß direkter Meerwassereintrag die Salinität hervorgerufen hat. Es dürfte sich somit aller Wahrscheinlichkeit nach um einen Deformationstümpel (Horner et al. 1992) gehandelt haben. Möglich wäre theoretisch auch, daß die zum Teil ebenfalls polymixohalinen Untereistümpel (Gradinger 1996) im Laufe der Meereisentwicklung über mehrere Jahre an die Meereisoberfläche "wachsen". Es ist zu erwarten, daß andere brackige Meereistümpel eine ähnliche Lebensgemeinschaft aufweisen wie Station 64 oder sich zumindest durch das Auftreten von Diatomeen von den Süßwassertümpeln unterscheiden. Die Ergebnisse von Bursa (1963) bestärken diese These, zeigen aber gleichzeitig, daß die Artenzahlen sich von Tümpel zu Tümpel und in Abhängigkeit vom jeweiligen Entwicklungsstadium der Tümpelgemeinschaft unterscheiden können, wenn auch Grünalgen und Diatomeen typische Vertreter der Lebensgemeinschaft brackiger Meereistümpel sind. Auf einjährigem Packeis oder auf Festeis sind aufgrund der geringeren Eisdicke und

höheren Gesamtsalinität des Eises sowie aufgrund des verstärkten Auftretens durchgeschmolzener Tümpel vermehrt Brackwassertümpel zu erwarten, deren Salinität in Abhängigkeit vom Ausgangszustand und äußeren Faktoren wie Witterung, Seegang etc. im Laufe der saisonalen Entwicklung zunehmen dürfte. Dies wird durch die Ergebnisse von Bursa (1963) bestätigt, der die Meereistümpel vor Point Barrow sämtlich als Brackwassertümpel beschreibt, deren Inhalt sich mit dem Abschmelzen des Eises mit dem Meerwasser und dessen Organismen vermischt.

Eine unterschiedliche Entwicklung der Meereistümpel auf dünnem einjährigem oder Festeis und auf mehrjährigem Eis kann sich auch daraus ergeben, daß die Meereistümpel auf mehrjährigem Eis vielfach mehrjährige Gewässer sind. Aufgrund ihrer geringeren Albedo schmelzen die Tümpel im Laufe des Sommers schneller in das Meereis hinein, als das umgebende Meereis abtaut. Die Meereistümpel bilden daher Senken an der Meereisoberfläche, die im Winter vom Schnee bedeckt werden und nicht mehr erkennbar sind, im nächsten Sommer jedoch als Sammelbecken für das Schneeschmelzwasser fungieren. Auf diese Weise wird der im Winter durchfrierende Tümpel in der nächsten Saison zum Tümpelboden des am selben Ort entstehenden Meereistümpels. Im Zuge der Tauprozesse schmilzt der neue Tümpel in das Eis hinein, und der Tümpelboden bzw. der Vorjahrestümpel mit darin enthaltenem Detritus und encystierten Organismen kann als Inoculum der neuen Meereistümpelgemeinschaft dienen und sich mit der zunächst Schneeorganismen-dominierte Gemeinschaft vermischen und diese ablösen.

#### *Einfluß abiotischer Faktoren auf die Zusammensetzung der Meereistümpelgemeinschaften*

Die Salinität ist ein wichtiger Faktor, der die Struktur aquatischer Lebensräume und die Verteilung von Arten in Planktongemeinschaften beeinflusst (Remane & Schlieper 1971). Dies erklärt die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Unterschiede in der Artenzusammensetzung von Süß- und Brackwassertümpeln (siehe oben). Die Existenzmöglichkeit mariner Arten in den im Untersuchungsgebiet dominierenden Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpeln und umgekehrt der Schnee- und Süßwasserorganismen in den brackigen Meereistümpeln hängt unter anderem von ihrer Salzgehaltstoleranz bzw. ihren osmoregulatorischen Fähigkeiten ab. Brackwasserhabitats mit geringen Salzgehalten, d. h. oligomixohaline Habitats, haben dabei die geringste Diversität von Phyto- und Zooplanktonarten (Remane & Schlieper 1971; Krey 1974 in Gradinger 1998). Auf die Mechanismen der Besiedlung der Süß- und Brackwassertümpel wird ausführlicher in Kap. 5.2.3 eingegangen.

Ein weiterer Faktor, der die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft beeinflusst, ist der pH-Wert, der in den untersuchten Meereistümpeln zwischen 5,4 und 8,6 (Median 6,7) betrug. Bei alleiniger Betrachtung der reinen Süßwassertümpel mit Salinitäten von 0 ergibt sich ein Median von 6,5. In den Süßwasser-Meereistümpeln lag der pH-Wert zu Beginn der Tümpelentwicklung (Juni/Juli) häufig unter pH 6; saisonal war ein signifikanter Anstieg bis auf Werte  $>7$  zu beobachten (vgl. Kap. 4.3.3). Es ist aus Untersuchungen zur Versauerung von Seen bekannt, daß sich bereits bei pH-Werten zwischen 5 und 6 die Artenzusammensetzung in Landtümpeln und -seen verändert und die Diversität beträchtlich abnimmt (Brönmark & Hansson 1998). Insbesondere Diatomeen und Blaualgen verschwinden aus dem Artenspektrum, stattdessen dominieren Dinoflagellaten (*Peridinium* sp.) und Chrysophyceen (*Dinobryon* sp.). Auch ist bei pH-Werten zwischen 5 und 6 bereits die Reproduktionsfähigkeit vieler Tierarten beeinträchtigt, z. B. von *Gammarus* sp., von Flußkrebsen und einigen Fischarten, die nach Angaben von Brönmark und Hansson (1998) bei pH-Werten von 5 - 6 einer negativen Selektion unterliegen. Unter den Zooplanktern sind vor allem cyclopoide Copepoden und Daphnien sehr empfindlich gegenüber niedrigen pH-Werten, während andere Cladoceren, z. B. *Bosmina* sp., nicht beeinträchtigt werden (nach Stenson et al. 1993 in Brönmark & Hansson 1998). Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse verwundert nicht, daß Diatomeen, aber auch z. B. Daphnien und andere Süßwasser-Crustaceen in den Meereistümpeln keine Rolle spielen. Über Flußeinträge oder andere Wege auf oder in das Meereis gelangte Organismen oder deren Ruhestadien finden in den sich neu bildenden Tümpeln außer niedrigen Wassertemperaturen auch saure pH-Werte und wenig Nahrung vor und können sich möglicherweise deshalb nicht entwickeln. Für diese und andere Metazoa könnte zusätzlich die starke Licht- einschließlich der UV-Exposition in den Meereistümpeln ein die erfolgreiche Besiedlung ausschließender Standortfaktor sein (vgl. Kap. 5.1.3.2).

Weiterhin begünstigen pH-Werte um 5 das Vorkommen von Schneealgen, die für ihre Fortpflanzung auf niedrige pH-Werte angewiesen sind (Hoham & Mohn 1985). Das Schnee-Schmelzwasser, das sich in den Meereistümpeln sammelt und während der Ablationsphase zu niedrigen pH-Werten von  $<6$  in den Meereistümpeln führt, ist daher wichtig für die Vollendung des Lebenszyklus vieler Arten. Daher kommen im trockenen Schnee vor allem Akineten vor (z. B. die stark hämatochromhaltigen und die Farbe roten Schnees verursachenden Akineten von *Chlamydomonas nivalis*, vgl. Gradinger & Nürnberg 1996), während in den Süßwasser-Meereistümpeln wie auch in den wassergesättigten Schnee- und Eisbreilagern auf See- und Meereis (Felip et al. 1995, 1999; Buck et al. 1998) neben Akineten auch begeißelte einzellige Grünalgen zu finden sind. Mit zunehmendem pH-Wert ( $>6$ ) im Laufe der Meereistümpelentwicklung erfolgt eine Artenver-

schiebung hin zu anderen kälteliebenden oder -toleranten Arten. Die Grenze kann dabei nicht genau bei pH 6,0 gezogen werden, da auch andere Faktoren wie die Salinität, die Nährstoffkonzentrationen und das Lichtangebot eine Rolle spielen (vgl. auch Kap. 5.1.3).

Die niedrigen Silikatkonzentrationen, unterstützt durch pH-Werte im sauren Bereich, erklären speziell das Fehlen von Diatomeen in den Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpeln (vgl. auch Kap. 5.1.3 und 5.2.1.1). Diatomeen sind in der Regel große Zellen (deutlich größer als z. B. die ebenfalls Silikat für Schuppen und Loricae benötigenden Chrysophyceen) mit einem hohen Bedarf an Silikat. Die Halbsättigungskonstante  $k_S$  für Silikat nimmt bei Kieselalgen häufig einen Wert zwischen 2 und 5  $\mu\text{mol Silikat/l}$  und im Extremfall zwischen 0,88 und 19,3  $\mu\text{mol/l}$  an (nach Kohl & Nicklisch 1988, Lampert & Sommer 1993, Sommer 1991 in Sommer 1994). Selbst an extreme Nährstoffarmut angepaßte Kieselalgen benötigen für den Aufbau einer abundanten Population somit sehr viel mehr Silikat, als in den Süßwassertümpeln verfügbar ist. Silikatmangel führt demnach zum Ausschluß von Diatomeen und zur Begünstigung anderer Taxa mit geringerem Silikatbedarf oder einem kleineren  $k_S$ -Wert, wodurch Chrysophyceen vermutlich im Vorteil gegenüber Diatomeen sind. So führen auch Dieckmann et al. (1991) Silikatmangel in antarktischem Meereis als Ursache dafür an, daß eine Verschiebung von einer Diatomeen-dominierten Gemeinschaft hin zu einer Gemeinschaft erfolgt, in der phototrophe Flagellaten dominieren.

Der Faktor Licht, insbesondere dessen UV-Anteil, trägt durch artspezifische Effekte ebenfalls zur Strukturierung aquatischer Lebensgemeinschaften bei (u. a. Helbling et al. 1992; vgl. auch Kap. 5.1.3.2). UV-Strahlung schädigt photosynthetische Pigmente, z. B. das akzessorische Pigment Phycoerythrin in Cryptomonaden (Zündorf & Häder 1991) sowie die Motilität und Orientierung von Cryptomonaden, Euglenophyceen und anderen Organismen (Häder & Häder 1989; Ekelund 1992, 1993). Dies könnte das erst später im Jahr nach Ausbildung einer Eisdecke auf den Tümpeln beobachtete Auftreten von Cryptomonaden in den Meereistümpeln erklären. Es ist zu erwarten, daß im Starklichthabitat Meereistümpel solche Organismen einen Selektionsvorteil besitzen, die aufgrund ihrer Ausstattung mit Schutzpigmenten und/oder einer Zellwand (z. B. Chlamydoophyceen), einer Lorica (Chrysophyceen) oder Schuppen (Chrysophyceen, Prasinophyceen) einen besseren Schutz vor der intensiven Lichtstrahlung als nackte Organismen besitzen. Da UV-Strahlung auch Metazoen beeinträchtigen kann (Hessen 1993; Williamson et al. 1994), könnten außer dem Nahrungsmangel und der geringen Salinität auch die extremen Lichtbedingungen der Präsenz von Metazoa, insbesondere auch der Eis-Meiofauna, in den Meereistümpeln Grenzen setzen.

### *Das Nahrungsnetz in den Meereistümpeln*

In den Meereistümpeln existiert eine relativ einfache, d. h. aus vergleichsweise wenigen Taxa zusammengesetzte Gemeinschaft, deren Komponenten Teile eines mikrobiellen Nahrungsnetzes bilden, in dem räuberische Ciliaten und Dinoflagellaten die höchste trophische Ebene darstellen. Diese Verhältnisse sind nicht von Anfang an gegeben, sondern entwickeln sich im Laufe der saisonalen Dynamik aus der zunächst Schneeorganismen-dominierten Gemeinschaft heraus und spiegeln schließlich die charakteristische Lebensgemeinschaft der Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel wider. In den meso- und polymixohalinen Meereistümpeln treten noch weitere Taxa auf, vor allem Diatomeen und Prasinophyceen. Die phototrophe Biomasse nimmt im Laufe der saisonalen Entwicklung zu und steht den herbivoren Organismen, insbesondere den oligo- und choreotrichen Ciliaten (*Strombidium* spp., *Rimostrombidium* sp.), als Nahrung zur Verfügung. Von den Phototrophen freigesetzte organische Verbindungen und Detritus sind die Nahrungsgrundlage der Bakterien, deren Biomasse daher im Laufe der Saison ebenfalls ansteigt. Heterotrophe Nanoflagellaten ingestieren außer Bakterien (Azam et al. 1983; Sherr et al. 1983; Fenchel 1982; Sanders et al. 1992) auch pico- und kleine nanoplanktische phototrophe Zellen (Parslow et al. 1986). Bakterien gehören ebenfalls zum Nahrungsspektrum der oligo- und choreotrichen Ciliaten (Sherr et al. 1989; Agatha 1995), aber auch Dinoflagellaten werden von manchen *Strombidium*-Arten aufgenommen (Capriulo et al. 1991). Die höchste trophische Ebene wird in den Meereistümpeln von den für ihre schlingende, omnivore Ernährungsweise bekannten haptoriden Ciliaten *Didinium* sp. und *Lacrymaria* sp. sowie von Dinoflagellaten eingenommen. Die genannten haptoriden Arten fressen sowohl coccale Algenzellen als auch Flagellaten (u. a. Cryptomonaden, Dinoflagellaten) und Ciliaten (Agatha 1995, Petz et al. 1995). Zum Nahrungsspektrum hetero- und mixotropher Dinoflagellaten gehören neben Bakterien und Algenzellen auch oligotriche Ciliaten (Bockstahler & Coats 1993) und vermutlich andere Dinoflagellaten. Die Protozoen wiederum tragen zusammen mit den Bakterien zur Nährstoffregeneration in den Meereistümpeln bei, vor allem durch die Exkretion von Phosphat und Ammonium (Johannes 1965; Finlay 1982; Taylor 1982; Andersen et al. 1986; Caron et al. 1986; Berman 1991). Somit ist in den Meereistümpeln ein komplettes mikrobielles Nahrungsnetz ausgeprägt, das die vorhandenen Ressourcen effektiv nutzt und regeneriert.

Die Nahrungsbeziehungen werden durch Organismen mit mixotropher Ernährungsweise weiter verkompliziert, da sie mehrere trophische Ebenen besetzen. Nach Popovsky & Pfiester (1990) sind die wenigsten Dinophyceen obligat phototroph, sondern durch eine mixotrophe Lebensweise gekennzeichnet. Daher ist davon auszugehen, daß auch die in den Meereistümpeln gefundenen chloro-



phyllhaltigen Dinophyceen potentielle Konsumenten von Bakterien und Protisten der Tümpelgemeinschaft sind. Zu den mixotrophen Organismen gehören weiterhin die Chrysophyceen, die Bakterien mit hohen Ingestionsraten aufzunehmen vermögen (Bird & Kalf 1986, 1987) und in den Meereistümpeln mit loricierten Formen vertreten sind, sowie plastidentragende Ciliaten (u. a. Laval-Peuto 1991; Stoecker 1991). Manche Ciliaten aus den Meereistümpeln wiesen eine schwache, diffuse Chlorophyllfluoreszenz auf, ohne daß jedoch eindeutig entschieden werden konnte, ob es sich um die Fluoreszenz von Beuteorganismen oder um ciliaten"eigene" Plastiden handelte, deshalb kann das Vorkommen plastidentragender Ciliaten in den Meereistümpeln durch die Ergebnisse dieser Arbeit nicht gesichert werden. Die mixotrophe Ernährungsweise bietet den Organismen in Phasen geringer Nahrungsverfügbarkeit einen Vorteil gegenüber obligat heterotrophen Organismen, gleichzeitig aber auch einen Vorteil gegenüber obligat phototrophen Organismen in Situationen, in denen die Photosynthese lichtlimitiert ist (Bockstahler & Coats 1993). Im Starklichthabitat Meereistümpel ist eine Lichtlimitierung der Photosynthese aufgrund zu hoher Lichtintensitäten zu erwarten, auch sind die Abundanzen sowohl der Bakterien als auch der Protisten vergleichsweise gering. Daher könnte Mixotrophie eine weitere Strategie der Meereistümpelgemeinschaft zur effektiven Nutzung aller Ressourcen und zur Sicherung des eigenen Überlebens sein und eine weitere Erklärung für die im Vergleich zu den Chlorophyllkonzentrationen hohen POC-Konzentrationen liefern.

Mikrobiell dominierte Systeme wurden auch aus anderen extremen Habitaten beschrieben, wie z. B. den Schnee-/Slush-Gemeinschaften auf dem Eis alpiner Bergseen (Felip et al. 1995, 1999; vgl. Kap. 5.2.1.3), den antarktischen Schelfeistümpeln (James et al. 1995; vgl. Kap. 5.2.1.2) und den permanent eisbedeckten antarktischen Seen (u. a. Parker et al. 1983; Guillizoni et al. 1992; Laybourn-Parry & Marchant 1992; Laybourn-Parry et al. 1997). In den genannten antarktischen Gewässern sind Metazoa fast ausschließlich durch Meiofaunaorganismen (Rotifera, Nematoda, Turbellaria, Tardigrada) vertreten, die aus den benthischen Cyanobakterienmatten in das Freiwasser einwandern (Armitage & House 1962, Suren 1990; Sharp & Priscu 1991; James et al. 1995); ein Crustaceenplankton wurde bislang nur in einem salinen See nachgewiesen (Eslake et al. 1991). Auch in den Meereistümpeln scheint die Rolle der herbivoren Grazer nicht, wie für andere Gewässer typisch, vom planktischen Crustaceenplankton ausgefüllt zu werden, sondern von Protozoen, vor allem Ciliaten. Das Vorkommen von Crustaceen und anderen Metazoa im Meereistümpelplankton kann durch die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden, ist aber aufgrund der vergleichsweise geringen Abundanzen potentieller Beuteorganismen nicht sehr wahrscheinlich und dürfte sich auf bodennahe

Mikrohabitate (Aggregate aus vergehenden marinen Algen; Detritus am Boden von Kryokonitlöchern) beschränken, die potentiellen Einwanderern der Eismeiofauna Nahrung und Schutz (Beschattung) bieten.

#### *Ergebnisse anderer Autoren*

Die Ergebnisse zur Zusammensetzung und Abundanz der Meereistümpelgemeinschaft decken sich weitestgehend mit den wenigen vorhandenen Ergebnissen anderer Autoren (Sutherland 1852; Meunier 1910; Bursa 1963; Gradinger & Nürnberg 1996; Melnikov 1997; Okolodkov 1997a), wenn auch nicht in allen Fällen dieselben Arten gefunden wurden. Die Untersuchungen von Gran (1904), Nansen (1906), Usachev (1946), Hellum v. Quillfeldt (1997) und Okolodkov (1997a) konzentrierten sich auf Mikrohabitate innerhalb der Meereistümpel (Untersuchung von Material aus Algenflocken und Kryokonitlöchern) und sind daher mit den eigenen Ergebnissen nicht vergleichbar.

Schneealgen (*Chlamydomonas nivalis*, *Ancylonema nordenskiöldii*) wurden in ähnlichen Abundanzen von etwa  $10^3$  -  $10^4$  Zellen/l auch von Melnikov (1997) in Meereistümpeln nachgewiesen, daneben auch Vertreter der Gattung *Chlorella*. Während der Ablationsphase des Meereises fand er in Schneeproben außer den eben genannten Arten verschiedene andere Schneeorganismen, nämlich die Schneepilze *Chionaster bicornis* und *C. nivalis*, 11 weitere Grünalgen sowie je einen Vertreter der Chrysophyceae und der Cyanophyceae (*Stigonema ocellatum*). Letztere konnte er in Meereistümpeln nicht beobachten, was er auf ihre relativ geringe Abundanz zurückführt. Nach eigenen Ergebnissen tritt *Chionaster nivalis* durchaus in höheren Abundanzen in jungen Meereistümpeln auf, was den Eintrag von Schneeorganismen in die Meereistümpel nochmals bestätigt. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit sowie von Palibin (1903-1906), Usachev (1946) und English (1961) schließt auch Melnikov (1997) das Vorkommen lebender Diatomeen im Schnee und in den Lebensgemeinschaften an der Meereisoberfläche aus. Zum Vorkommen von Protozoen in den Meereistümpeln macht er keine Angaben. Nach Ergebnissen von Okolodkov (1997a) setzt sich die Algenflora im bodennahen Wasser sowie in aufgetautem Eis aus dem Tümpelboden aus Grünalgen (3 Arten), Dinophyteen (2 Arten sowie eine enzystierte Form) und der Chrysophycee *Dinobryon faculiferum* zusammen. Daneben beobachtete er Kinetoplastida und Amöben. Letztere wurden in den eigenen Untersuchungen nicht in Meereistümpeln, sondern nur im Landtümpel festgestellt. Insgesamt reihen sich die bisher nur punktuell vorliegenden Erkenntnisse anderer Autoren in die Ergebnisse dieser Arbeit ein.

Bursa (1963) untersuchte Brackwasser-Meereistümpel vor Point Barrow und fand neben Bakterien und Pilzen, photo- und heterotrophen Flagellaten und Ciliaten durchaus auch Diatomeen. Es traten sowohl Süßwasser- als auch Brackwasserarten, im Falle der Diatomeen zusätzlich auch marine Arten auf, die über Schmelzlöcher eingewandert waren. Das Artenspektrum wurde von Süßwasser-Grünalgen mit mindestens 13 Arten dominiert. Chrysophyceen waren mit *Ochromonas glacialis* vertreten, Diatomeen mit 4 Arten (ohne die marinen Arten). Diese Ergebnisse unterstreichen unter anderem die in den eigenen Untersuchungen festgestellten Unterschiede zwischen Süß- und Brackwassertümpeln auf Meereis. Auch Syvertsen (1991) fand Diatomeen und Flagellaten in Brackwassertümpeln, stellte aber fest, daß die von ihm untersuchten Meereistümpel nur sehr selten besiedelt waren. Diese Aussage kann durch die eigenen Ergebnisse keinesfalls unterstützt werden. Möglicherweise hatte Syvertsen größere Organismen wie Diatomeen und Crustaceen erwartet.

Außer den Angaben von Melnikov (1997) zur Algenabundanz, die im wesentlichen auf der Untersuchung von zwei Meereistümpeln basieren, liegen quantitative Daten zur Organismenabundanz in Meereistümpeln nur von Gradinger & Nürnberg (1996) und Okolodkov (1997a) vor. Gradinger & Nürnberg (1996) bestimmten im Rahmen von Schneealgenuntersuchungen die Zellzahl von *Chlamydomonas nivalis* auch in einem Meereistümpel und fanden eine sehr hohe Abundanz von  $3,1 \times 10^6$  Zellen/l. Dieser Wert übersteigt sogar den Maximalwert der Gesamtabundanz der Eukaryota in allen von mir untersuchten Meereistümpeln (Spannweite  $2,3 \times 10^4$  -  $1,2 \times 10^6$ ). Auch die von Gradinger & Nürnberg (1996) festgestellte Bakterienabundanz liegt mit  $8,3 \times 10^8$  Zellen/l etwa eine Größenordnung über den eigenen Ergebnissen. Aufgrund dieser sehr hohen Abundanzen ist zu vermuten, daß eine große Menge roten Schnees zum Einzugsgebiet des von Gradinger & Nürnberg (1996) untersuchten Meereistümpels gehörte, denn in rotem Schnee stellten die Autoren um zwei Größenordnungen höhere Abundanzen von *Chlamydomonas nivalis* als im Meereistümpel fest. Okolodkov (1997a) fand in der bodennahen Wasserschicht und im Eis aus dem Boden von Meereistümpeln zwischen  $1,0 \times 10^2$  und  $1,7 \times 10^5$  Algenzellen/l, wobei *Chlamydomonas cf. nivalis* ebenfalls hohe Zellzahlen von bis zu  $9,9 \times 10^4$ /l erreichte. Eine Dinoflagellatenzyste ("*Echinus minor*" nach Meunier 1910) trat in einem der Süßwassertümpel mit  $1,1 \times 10^4$  Zellen/l auf. Die von Okolodkov (1997a) festgestellten Abundanzen stimmen somit besser mit den eigenen Ergebnissen überein.

*Meereistümpel und das zweite "biozönotischen Grundgesetz"*

Es ist davon auszugehen, daß das zweite "biozönotische Grundgesetz" von Thienemann (Lampert & Sommer 1993) auf die Meereistümpel zutrifft. Danach sind extreme Standorte durch geringe Artenzahlen bei hoher Abundanz der einzelnen Arten gekennzeichnet. Ein Vergleich der Chrysophyceenflora der Meereistümpel mit der mindestens 13 Arten umfassenden Chrysophyceenflora des Landtümpels (vgl. Kap. 4.2.4 und Ikävalko et al. 1996) macht die relative Artenarmut der Meereistümpel bereits deutlich. Die Ciliatenfauna der Meereistümpel ist dagegen vergleichsweise divers, wenn auch in Seen und Brackwassersystemen nicht-polarer Regionen höhere Artenzahlen zwischen ca. 20 und 80 gefunden werden (Beaver & Crisman 1989; Amblard et al. 1993; Agatha 1995). Die Höhe der Individuenzahlen, mit der jede einzelne Art vertreten ist, wird in den Meereistümpeln durch abiotische Faktoren (Temperatur, pH, Salinität, Leitfähigkeit, Nährstoffkonzentrationen und Lichtüberangebot) begrenzt. Daher liegen die Abundanzen der Protisten ( $10^4$  -  $10^6$  Zellen/l) wie auch der Bakterien ( $10^7$  -  $10^8$  Zellen/l) im unteren Bereich der Werte (z. B. Protisten im Landtümpel Nr. 1) und insbesondere bei Bakterien und Ciliaten meist mindestens eine Größenordnung unter den Werten, die in weniger extremen Lebensräumen gefunden werden (u. a. Amblard et al. 1993). Wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, findet im saisonalen Verlauf eine Veränderung der abiotischen Bedingungen in den Meereistümpeln statt, die sich auf die Besiedlung auswirkt und zu einer Sukzession führt, wie oben beschrieben.

## **5.2 Vergleich des Lebensraums "Meereistümpel" mit anderen polaren Habitaten**

Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Arbeit war die Herausarbeitung der charakteristischen Eigenschaften des Lebensraums Meereistümpel und seiner Besiedlung. Weiterer Gegenstand dieser Arbeit war die vergleichende Betrachtung anderer polarer aquatischer Lebensräume. Es kristallisierte sich heraus, daß sich die Mehrzahl der Meereistümpel des Untersuchungsgebiets - nämlich die Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel - von den übrigen untersuchten Lebensräumen mit Ausnahme der Gletschereistümpel deutlich unterscheiden und einen ganz eigenen Lebensraum darstellen. Dies wurde insbesondere durch die Clusteranalyse auf Basis der abiotischen Parameter und der biotischen Summenparameter veranschaulicht (vgl. Kap. 4.2.3.3), die eine deutliche Trennung zwischen dem marinen Milieu (Cluster I), den Landtümpeln und -seen (Cluster III) und den Süßwasser- und oligomixohalinen Tümpeln auf Meer- und Gletschereis

(Cluster II) ergab. Gleichzeitig enthielt das Cluster I die meso- und polymixohalinen Meereis- sowie den euhalinen Eisbergtümpel. Dies zeigt den starken Einfluß der Salinität auf die Gruppierung der Stationen und die Ähnlichkeit dieser Stationen mit dem marinen Milieu. Weiterhin läßt sich diese Ähnlichkeit als Hinweis auf die Beteiligung von Meerwasser (nicht nur Schnee und Meereis) an der Entstehung dieser Tümpel deuten. In den folgenden Unterkapiteln sollen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Meereistümpeln und den vergleichend untersuchten Lebensräumen aufgezeigt werden.

### **5.2.1 Meereistümpel im Vergleich mit Süßwasserhabitaten polarer und alpiner Regionen**

#### **5.2.1.1 Meereistümpel im Vergleich mit arktischen Süßwasserhabitaten**

Die Mehrzahl der Meereistümpel im Untersuchungsgebiet waren Süßwasserhabitats. Die an der nordostgrönländischen Küste untersuchten Tümpel und Seen boten daher eine interessante Vergleichsmöglichkeit mit den Verhältnissen in klassischen arktischen Süßwasserhabitaten, ebenso die auf meteorischem Eis beprobten Schmelzwassertümpel (Gletschereis- und Eisbergtümpel). Für die brackigen Meereistümpel mit einer Salinität von  $>5$  bot sich dagegen ein Vergleich mit dem marinen Milieu an (s. Kap. 5.2.3), das überdies - in gefrorener Form als Meereis - das Substrat bildet, auf und aus dem die Meereistümpel letztendlich entstehen. Die im folgenden vorgenommenen Vergleiche beziehen sich ausschließlich auf die Süßwasser- und oligomixohaline Fraktion der Meereistümpel, die eine Salinität von 0 bis maximal 2 aufwiesen.

Allen diesen Süßwasserhabitaten gemeinsam ist, daß sie planktische Lebensräume in der Arktis darstellen, die auf gefrorenem Untergrund liegen (Meereis; Permafrostboden; Gletschereis), durch entsprechend niedrige Wassertemperaturen gekennzeichnet sind und durch die lange Dunkelheit während der Wintersaison bedingt nur eine kurze Vegetationsperiode von etwa 3 Monaten aufweisen. Alle Tümpel frieren im Winter ganz durch, sind also temporäre Lebensräume, während die Seen Grönlands einen permanent existierenden Lebensraum darstellen, der im arktischen Winter von einer etwa 1,5 bis maximal 2,5 m dicken Eisdecke (Røen 1962) gegen die Atmosphäre abgeschlossen wird. Alle diese Süßwassersysteme werden von Schmelzwasser gespeist: die Meereistümpel von Schnee und tauendem Meereis, die Landtümpel durch Schmelzwasser aus umliegenden Schneefeldern und dem im Sommer oberflächlich auftauenden Permafrostboden (z. B. Landtümpel Nr. 1 und Potsdam Pond) und die Seen vor allem durch Schnee und Schmelzwasser von den umliegenden Gletschern (Noa Sø, Basalt Sø; vgl. Melles et al. 1995). Die Gletschereistümpel

entstehen aus schmelzendem Schnee und Gletschereis, die Eisbergtümpel ebenfalls, sofern nicht durch Wellenschlag oder Drehungen der Eisberge zusätzlich Meerwasser eingetragen wird.

Dem Schmelzwassereinfluß entsprechend besitzen diese Gewässer eine niedrige Leitfähigkeit - in den Süßwasser-Meereistümpeln mit einer Salinität von 0 betrug die Leitfähigkeit zwischen 13 und maximal 818  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ab einer refraktometrisch bestimmten Salinität von ca. 0,3 (Stationen 61 und 69) stieg die Leitfähigkeit auf Werte  $> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  an; in den oligomixohalinen Meereistümpeln wurden maximal 3350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemessen. Die Landtümpel und -seen der vorliegenden Untersuchung wiesen Leitfähigkeiten zwischen 28 und 338  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Røen (1962) bestimmte in vielen Tümpeln und Seen Grönlands ähnlich niedrige Werte. In Abhängigkeit vom Gehalt der Gewässer an gelösten Salzen fand er jedoch auch höhere Werte von bis zu 4400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , was wiederum den Verhältnissen in den oligomixohalinen Meereistümpeln entspricht. Die Gletschereistümpel und der Süßwasser-Eisbergtümpel wiesen sehr niedrige Leitfähigkeiten von 16 und 161  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Damit zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Süßwasser-Meereistümpeln, Landtümpeln und -seen und Schmelzwassertümpeln auf meteorischem Eis. Wie die Ergebnisse zeigen, kommt es in den Meereistümpeln zu einer saisonal bedingten Zunahme der Leitfähigkeit, die von Røen (1962) auch für Landtümpel und -seen Grönlands beschrieben wird, wenn auch später im Jahr. Es ist davon auszugehen, daß eine entsprechende Zunahme der Leitfähigkeit in den Gletschereistümpeln in der Regel geringer ausgeprägt sein wird als in Meereis- oder Landtümpeln, da ein Eintrag weiterer Salze bzw. Ionen vor allem über die Luft erfolgt, während durch das Hineinschmelzen der Tümpel in das Meereis größere Ionenmengen aus dem Solekanalsystem bzw. im Falle der Landtümpel aus dem tauenden Permafrostboden in die Gewässer eingetragen werden.

Eine weitere Gemeinsamkeit zwischen Meereis-, Gletschereis- und Landtümpeln ist ihre geringe Wassertiefe von wenigen Dezimetern, die z. B. im Potsdam Pond maximal 0,7 m betrug (Melles et al. 1995), eine Tiefe, die auch von Meereistümpeln erreicht wird (Station 48). Die Meereis-, Gletschereis- und Landtümpel entsprechen damit der Definition von Tümpeln in Polargebieten nach Røen (1962), da sie aufgrund ihrer geringen Wassertiefe im Winter durchfrieren, und einer allgemeinen Definition von Tümpeln als "Seen ohne Tiefe" (Forel 1892), da sie flache temporäre Gewässer ohne Hypolimnion darstellen. Ohne Kenntnis der Wassertiefe wäre bei einer Flächenausdehnung der untersuchten Landtümpel zwischen 0,01 und 0,26  $\text{km}^2$  zunächst die Einordnung dieser Gewässer als "Seen" gerechtfertigt gewesen. Die Meereistümpel waren mit einer mittleren Flächenausdehnung von 115  $\text{m}^2$  wesentlich kleiner als die untersuchten Landtümpel und -seen. Allerdings hatte

der größte Meereistümpel (Station 48) eine beachtliche Fläche von 20934 m<sup>2</sup> (0,02 km<sup>2</sup>) und war damit größer als der Musko Pond. Auch ist zu erwarten, daß an Land kleinere Tümpel als die in dieser Arbeit untersuchten existieren, so daß die Spannweiten der Flächenausdehnung der Meereis- und Landtümpel sich über weite Bereiche decken dürften. Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit läßt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Flächenausdehnung von Meereistümpeln und Schmelzwassertümpeln auf meteorischem Eis feststellen. Eine weitere Gemeinsamkeit zwischen allen untersuchten Tümpeltypen besteht darin, daß sie aufgrund ihrer geringen Wassertiefe stark exponierte Standorte darstellen, die Witterungseinflüssen wie Temperaturschwankungen, Wind, Niederschlägen und Sonneneinstrahlung direkt ausgesetzt sind. Erst die Ausbildung einer Eisdecke aufgrund saisonal abnehmender Temperaturen führt durch ihre Schutzwirkung insbesondere gegenüber Windeinfluß und Niederschlägen zu einer stärkeren Stabilisierung des Systems, erkennbar z. B. an der Ausbildung vertikaler Schichtungen (Carstens, unveröff. Beobachtungen; Tucker et al. 1999). Aufgrund ihrer größeren Wassertiefe und des größeren Wasservolumens reagieren Landseen wesentlich langsamer auf Witterungseinflüsse.

Ganz wesentliche Unterschiede zwischen den Meereistümpeln einerseits und den Landtümpeln und -seen andererseits bestehen bezüglich der Lichtverhältnisse, Nährstoffkonzentrationen, Wassertemperatur und Besiedlung, letzteres sowohl in den Biomasse-Summenparametern als auch in der Größenklassenverteilung und Artenzusammensetzung. Die Meereistümpel sind Starklichthabitats, die entsprechende physiologische Anpassungen ihrer Bewohner erfordern und diesen auch keine lichtgeschützten Refugien bieten (vgl. Kap. 5.1.3.2). Die Landtümpel und -seen dagegen sind mit Ausnahme des trüben Noa Sø zwar auch sehr klare Gewässer, haben aufgrund ihres höheren Partikelgehaltes und ihres dunklen, aus Sedimenten und nicht aus blankem Eis bestehenden Untergrunds jedoch ein anderes Lichtabsorptionsverhalten und ein weniger helles Lichtklima, wie auch an den in den Landtümpeln gemessenen Werten der PAR deutlich wird (vgl. Kap. 4.2.1.4). Auch bieten Landtümpel und -seen durch Steine und Pflanzenwuchs im Flachwasserbereich Refugien und weitere Substrate zugleich, was die Ausprägung einer vielfältigeren und für Süßgewässer an Land typischeren Lebensgemeinschaft, wie unter anderem im Landtümpel Nr. 1 und Potsdam Pond gefunden (vgl. Kap. 3.1.2.2 und 4.2.4), begünstigt.

Unterschiede in den Nährstoffkonzentrationen zwischen Meereistümpeln und Landtümpeln und -seen bestehen vor allem in den Silikatkonzentrationen, die in den Landtümpeln und -seen (Median 25,8 µmol Silikat/l) um zwei Größenordnungen höher als in den Meereistümpeln waren (Median 0,2 µmol/l). Hierfür sind vermutlich die terrigenen Sedimente verantwortlich, die den Untergrund der

Landtümpel und -seen bilden. Für die übrigen Nährstoffkonzentrationen bestanden mit Ausnahme von Nitrit keine signifikanten Unterschiede. Die Landtümpel und -seen wiesen geringfügig, aber signifikant höhere Nitritkonzentrationen als die Meereistümpel auf. Unterschiede bestanden im Verhältnis der Nährstoffe zueinander. Das Verhältnis der stickstoffhaltigen Nährsalze zu Phosphat und zu Silikat betrug in den Meereistümpeln 12:1:4, in den Landtümpeln und -seen dagegen 6,3:1:411 (vgl. Tab. 6 und 7 in Kap. 4.2.1.3). Dies und die signifikant höhere phototrophe Biomasse der Landtümpel und -seen (s. unten) spricht dafür, daß die Nährstoffe zum Zeitpunkt der Probennahme bereits stark aufgezehrt und in Biomasse festgelegt waren, zu Beginn der Saison jedoch höhere Konzentrationen vorhanden gewesen sein dürften. Der Trophiestatus dieser Landtümpel und -seen ist nach Røen (1962) als oligo- bis mesotroph einzustufen, da aufgrund der kurzen Vegetationsperiode des arktischen Sommers auch vergleichsweise hohe Nährstoffkonzentrationen nur eine eingeschränkte Produktivität dieser Gewässer ermöglichen. Bei einer längeren Vegetationsperiode könnten die grönländischen Seen durchaus als eutroph gelten (Søgaard Andersen 1946 in Røen 1962). Die Meereistümpel dagegen sind aufgrund ihrer sehr niedrigen Nährstoffkonzentrationen (insbesondere die Phosphatkonzentrationen lagen oft an der Nachweisgrenze) bei gleichzeitig geringer Phytoplankton-Biomasse als ultraoligotroph einzustufen (vgl. Kap. 5.1.3.1). Nährstoffarme Landtümpel und Seen im Yukon Territory, Kanada wurden von Whiteside et al. (1980) aufgrund ihrer geringen Phytoplankton-Biomasse (Frischgewicht <1 mg/l) ebenfalls als ultraoligotroph bezeichnet.

Unterschiede in den sommerlichen Wassertemperaturen zwischen Meereistümpeln (Median: +0,2°C) und den Landtümpeln und -seen (Median: +5,4°C) sollten sich generell auf die Lebensgemeinschaften auswirken, und zwar aufgrund einer Erhöhung der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit, die bei einer Temperaturerhöhung um 10° C um einen Faktor ("Q<sub>10</sub>") von 1,4 bis 4 zunimmt (Sommer 1994). Daher sind bei höheren Wassertemperaturen im Prinzip größere Wachstumsraten der Organismen zu erwarten, was sich - bei vergleichbarer Nährstoffversorgung - im Aufbau höherer Abundanzen und Biomassen und somit in einer höheren Produktivität als in den kälteren Meereistümpeln widerspiegeln sollte. Tatsächlich zeigte sich, daß die mittleren Chlorophyllkonzentrationen in den Meereistümpeln wie auch in den Gletschereistümpeln um den Faktor 12,5 und statistisch signifikant niedriger als in den Landtümpeln und -seen waren. Dennoch erreichen die Landtümpel und -seen mit einer mittleren POC-Konzentration von 254 µg POC/l nur die 3-fache POC-Konzentration der Meereistümpel und unterscheiden sich in diesem Parameter nicht signifikant. Diese Ergebnisse zeigen, daß die Wassertemperatur nicht der alleinige Faktor ist, der die Gemeinschafts- und Biomasseentwicklung steuert, und daß trotz der extremen Eigenschaften (Tem-



peratur, Nährstoffarmut) des Lebensraums Meereistümpel überraschend hohe POC-Konzentrationen erreicht werden. Es ist zu erwarten, daß in den Meereistümpeln psychrophile Arten leben, die an die Kälte angepaßt sind und z. B. höhere Wachstumsraten aufweisen, als im Vergleich mit den wärmeren und nährstoffreicheren Landtümpeln und -seen zu erwarten gewesen wäre. Weiterhin sind die Unterschiede im POC : Chlorophyll *a*-Verhältnis ein Hinweis darauf, daß die an das Starklichthabitat Meereistümpel angepaßten Zellen weniger Chlorophyll *a* pro Zelle enthalten als Algenzellen in Gewässern mit einem "gemäßigeren" Lichtklima wie in den klaren Landtümpeln und -seen (vgl. Kap. 5.1.3.2).

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen Meereistümpeln und Landtümpeln und -seen besteht darin, daß sich die Artenzusammensetzung, die Größenstruktur und das Nahrungsgefüge stark unterscheiden. Dabei stellen die Meereistümpel ein mikrobiell dominiertes System mit Zellen  $< 200 \mu\text{m}$  dar, während die Landtümpel und -seen eine ausgeglichene Größenverteilung und Zusammensetzung ihrer Gemeinschaft auch aus Invertebraten (Crustaceenplankton, Rotifera) und Fischen aufweisen (Fische: z. B. Muskox Pond, Basalt Sø).

Die hohen Silikatkonzentrationen in den Landtümpeln und -seen dürften in Kombination mit anderen abiotischen Faktoren maßgeblich eine andere und diversere Artenzusammensetzung und höhere Abundanzen als in den Süßwasser-Meereistümpeln bedingen, wie der Vergleich mit dem Landtümpel Nr. 1 zeigt. Dieser Landtümpel, der sich von der Mehrzahl der Meereistümpel durch um zwei Größenordnungen höhere Silikatkonzentrationen, einen schwach alkalischen pH-Wert und eine Wassertemperatur von fast  $+10^\circ\text{C}$  unterschied, war außer durch eine höhere Gesamtabundanz des eukaryotischen Planktons von  $15,5 \times 10^5$  Zellen/l durch eine vielfältige Chrysophyceenflora mit 15 Arten (Ikävalko et al. 1996) sowie durch pennate Diatomeen charakterisiert, die beide hohe Abundanzen in der Größenordnung von jeweils  $10^4$  Zellen/l aufwiesen. Heterotrophe schuppentragende Chrysophyceen der Gattung *Paraphysomonas* hatten zusätzlich einen hohen Anteil an den heterotrophen Flagellaten  $< 10 \mu\text{m}$  (insgesamt  $1,2 \times 10^4$  Zellen/l). Auch Heliozoen waren mit 7 Arten in ungewöhnlich hoher Abundanz vertreten. In den Lebensgemeinschaften der Süßwasser- und oligo-mixohalinen Meereistümpel hingegen spielten diese Organismengruppen ebenso wie in den Gletschereistümpeln keine oder nur eine untergeordnete Rolle. So wurden schuppentragende Chrysophyceen in Meereis- und Gletschereistümpeln als intakte Zellen nicht gefunden, es wurden nur Einzelfunde von Chrysophyceenschuppen gemacht (Ikävalko et al. 1996). Auch in den Meereistümpeln traten gehäusetragende Chrysophyceenarten auf, die sich jedoch von denen des Landtümpels Nr. 1 unterschieden (vgl. Tab. 13 sowie Ikävalko et al. 1996). Heliozoen wurden nur in der vorliegenden Untersuchung nicht beobachtet, traten

jedoch in einem von Wickham & Carstens (1998) untersuchten Meereistümpel in geringer Abundanz auf. Lebende, d. h. intakte Diatomeenzellen mit Chlorophyll-Autofluoreszenz wurden nur in den meso- und polymixohalinen Meereistümpeln beobachtet. Diatomeen, Chrysophyceen und viele Heliozoen benötigen Silikat zum Aufbau ihrer Zellhüllen, Schuppen und Stacheln. Ikävalko et al. (1996) führen die starke und diverse Ausprägung der Chrysophyceenflora im Landtümpel Nr. 1 auf die hohen Silikatkonzentrationen und den hohen pH-Wert von 8,3 zurück, die ungewöhnlich starke Ausprägung der Heliozoen zusätzlich auf die hohen Wassertemperaturen und die ausreichende Verfügbarkeit von Nahrungsorganismen. Umgekehrt dürften die niedrigen Silikatkonzentrationen und die meist schwach sauren pH-Werte in den Meereistümpeln ebenso wie in den Gletschereistümpeln für die geringe Bedeutung insbesondere der Diatomeen (s. auch Kap. 5.1.3 und 5.2.3), aber auch der schuppentragenden Chrysophyceen und der Heliozoen verantwortlich sein.

Allerdings gibt es verschiedene Arten schuppentragender Chrysophyceen, die ein schwach saures Milieu bevorzugen, z. B. *Spiniferomonas abei* und andere *Spiniferomonas*-Arten, die außer im Landtümpel Nr. 1 auch in anderen Tümpeln und Seen Grönlands bei pH 5,9 - 7,0 beobachtet wurden (Jacobsen 1985). Auch manche *Mallomonas*-Arten sind als Zeiger für ein saures Milieu bekannt (Smol et al. 1984). Hinzu kommt, daß gerade schuppentragende Chrysophyceen kaltes Wasser bevorzugen (Kristiansen 1988), weshalb "Chrysococci" in unseren Breiten auch dominierende Arten des Winterplanktons von Teichen sind (Wawrik 1978). Gleichzeitig wird das an niedrige Wassertemperaturen angepaßte Winterplankton der Gewässer gemäßigter Breiten von Schwachlicht-Kälteformen geprägt (Wawrik 1978, 1979), während die Landtümpel und Klarwasserseen Grönlands im Sommer durchaus als Starklichthabitate anzusehen sind, wenn auch die Lichtintensitäten in den Meereistümpeln noch deutlich extremer sind. Die niedrigen Wassertemperaturen und pH-Werte <7 sind daher nicht als Hauptursache für die unterschiedliche Ausprägung der Artenzusammensetzung in Land- und Meereistümpeln anzusehen. Die Untersuchungen von Ikävalko et al. (1996) wurden im Juli, d. h. in einer relativ frühen Phase der Meereistümpelentwicklung durchgeführt. Da in den eigenen Untersuchungen ab der zweiten Julihälfte auch loricate Chrysophyceen und im August vereinzelt Heliozoen in Süßwasser-Meereistümpeln beobachtet wurden, ist nicht auszuschließen, daß eingehendere taxonomische Untersuchungen von im Spätsommer beprobten Meereistümpeln das Auftreten schuppentragender Chrysophyceen wie auch von Heliozoen belegen würden. Das Auftreten planktischer Diatomeen in nennenswerten Abundanzen in den Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpeln bleibt jedoch aufgrund der äußerst geringen Silikatkonzentrationen unwahrscheinlich.

Außer Unterschieden in der Chrysophyceen- und Diatomeenflora und im Vorkommen von Heliozoen sind in den Meereistümpeln auch andere Arten von Grünalgen und Dinophyceen und -flagellida zu verzeichnen als im Landtümpel. Während in den Meereistümpeln Chlamydophyceen mit *Carteria* sp. dominieren, waren im Landtümpel Nr. 1 als dominierende Gruppe die Prasinophyceen mit *Tetraselmis* sp. vertreten, auch Volvocales waren mit *Eudorina* sp. und *Pandorina* sp. häufig anzutreffen. Prasinophyceen waren nur im brackigen Meereistümpel (Station 64) von Bedeutung, während "koloniale" Volvocales in Meereistümpeln gar nicht gefunden wurden. Heterotrophe Dinoflagellaten, die in den Meereistümpeln einen wesentlichen Anteil an der heterotrophen Biomasse hatten, waren im Landtümpel Nr. 1 nicht vertreten. Typische oligo- oder choreotriche Planktonciliaten hatten einen geringen Anteil an der Biomasse dieses Landtümpels. Haptoride Ciliaten wurden im Landtümpel Nr. 1 nicht beobachtet, jedoch traten Gymnamöben auf, die in Meereistümpeln bislang nur in Material aus Kryokonitlöchern gefunden wurden (Okolodkov 1997a). Im Potsdam Sø wurden neun Ciliatenarten sowie Rotatorien (vier Arten) nachgewiesen (Wickham & Carstens 1998). Røen (1962) fand in grönländischen Landtümpeln und Seen zahlreiche weitere Vertreter der Metazoa, so u. a. Entomostraca, Copepoda, Cladocera, Rotifera. Im Muskox Pond und im Noa Sø wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit sogar Fische beobachtet (vgl. Kap. 4.2.4.4). Die Landtümpel und -seen weisen somit im Gegensatz zu den Meereistümpeln eine breitere Größenklassenverteilung und ein komplexeres Nahrungsgefüge auf, das mehrzellige Organismen bis hin zu Vertebraten als Endglied der Nahrungskette einschließt.

Ein Vergleich der Gesamtabundanzen ergab für die Prokaryota mit einer Größenordnung von  $10^9$  Zellen/l und einer variableren Zusammensetzung der prokaryotischen Taxa im Landtümpel Nr. 1 deutliche Unterschiede zu den Meereistümpeln, in denen die Zellzahlen sich zwischen  $10^7$  und  $10^8$  Zellen/l bewegten. Damit war im Landtümpel neben günstigeren Nährstoff-, Temperatur- und Lichtbedingungen auch eine bessere Nahrungsbasis für bakterivore Organismen gegeben.

Im Landtümpel Nr. 1 war eine höhere Gesamtabundanz der Eukaryota (Größenordnung:  $10^6$  Zellen/l) zu finden als im Mittel in den Meereistümpeln und im Gletschereistümpel, in denen die Abundanz bei  $10^5$  Zellen/l lag. Sowohl die höhere Abundanz der Protisten als auch der Bakterien könnte der Grund dafür sein, daß in den Landtümpeln und -seen auch Metazoa zur Lebensgemeinschaft gehören, die im Plankton der Meereis- und des Gletschereistümpels mit den eingesetzten Methoden nicht gefunden wurden. Zwar wurden in den Meereistümpeln keine Netzplanktonfänge durchgeführt, so daß das Vorkommen von Metazoen nicht

gesichert ausgeschlossen werden kann. Da weder Kotpillen noch Nauplien gefunden wurden, läßt sich jedoch zumindest für Crustaceen vermuten, daß die in den Süßwasser-Meereistümpeln vorhandenen Abundanzen potentieller Nahrungsorganismen zu gering sind, um das Überleben einer Crustaceen-Population zu gewährleisten. Dies könnte zusammen mit anderen abiotischen Faktoren, insbesondere Salinität bzw. Ionenarmut (Osmoregulation!), Lichtbedingungen und nicht zuletzt der Schwierigkeit der Besiedlung dieses im Meer gelegenen ephemeren Lebensraums für Süßwasserorganismen auch für andere Metazoa gelten.

Die höhere Individuen- bzw. Zellzahl der Eukaryota im Landtümpel wurde vorwiegend durch phototrophe Protisten hervorgerufen, die einen Anteil von 96 % an der Gesamtabundanz hatten. Da dieser Tümpel im Juli, d. h. relativ früh in der Sommersaison beprobt wurde, könnte zu diesem Zeitpunkt eine Blütensituation erfaßt worden sein. In den Meereistümpeln lag im Mittel eine ausgewogenere Situation mit einem Anteil heterotropher Protisten von rund 35 % an der Protistenabundanz vor. Zu Beginn der Saison wurden jedoch auch in den Meereistümpeln durchaus Anteile heterotropher Protisten von nur 11 % festgestellt (Station 15, vgl. Kap. 4.3.2). Umgekehrt betrug der Anteil heterotropher Zellen an der Protistenabundanz bei der letzten Meereistümpelbeprobung im September 85,8 % (Station 79). Hieraus wird der Einfluß der saisonalen Entwicklung auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft deutlich (vgl. auch Kap. 5.1.4.2).

Bisher wurde vorwiegend auf die Unterschiede zwischen Meereistümpeln und den Landtümpeln und -seen eingegangen. Die beschriebenen Unterschiede gelten ebenso für den Vergleich zwischen den Gletschereistümpeln und den Landtümpeln und -seen, da sich die Gletschereis- und die Süßwasser-Meereistümpel sowohl in den abiotischen als auch in den biotischen Summenparametern stark ähneln. Auch die Abundanzen der Prokaryota und der Protisten lagen in derselben Größenordnung (Bakterien:  $10^7$  Zellen/l; Eukaryota bzw. Protista:  $10^5$  Zellen/l). Metazoa wurden mit den eingesetzten Methoden im Gletschereistümpel nicht beobachtet. Die Zusammensetzung der Eukaryota in den Gletschereistümpeln unterschied sich stark von der Gemeinschaft, die im Landtümpel Nr. 1 gefunden wurde. Meereis- und Gletschereistümpelgemeinschaften wiesen einige Gemeinsamkeiten, jedoch auch Unterschiede auf. Beiden gemeinsam war z. B. das Vorkommen von phototrophen Nanoflagellaten des Typs "A" und der heterotrophen spindelförmigen Zellen, die nicht näher eingeordnet werden konnten. Im Gletschereistümpel waren ferner Chlamydomphyceen die dominierende Gruppe der Phototrophen. Diese Algenklasse war auch in den meisten Meereistümpeln vertreten, wenn auch dort vor allem mit der Gattung *Carteria*. Im Gletschereistümpel dagegen dominierten Vertreter der Gattung *Chlamydomonas*

sowie tiefrote Akineten und andere Chlamydoptyceen, die nicht näher zugeordnet werden konnten. Die in den Meereistümpeln stark vertretenen coccalen Zellen <5 µm sowie Dinophyceen/-flagellida und Ciliophora fehlten im Gletschereistümpel vollständig, stattdessen überraschte die starke Dominanz der heterotrophen Zellen. Möglicherweise handelte es sich bei den runden und ovalen heterotrophen Zellen, die rund 24 % der Gemeinschaft ausmachten, um Ruhestadien, oder aber es lag ein Maximum heterotropher Organismen nach einer Blüte phototropher Organismen vor (top-down Kontrolle der phototrophen Population durch Heterotrophe).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß insgesamt eine starke Ähnlichkeit zwischen Süßwasser-Meereistümpeln und Gletschereistümpeln festgestellt werden kann, während sich die Landtümpel und -seen von den beiden erstgenannten Lebensräumen deutlich unterscheiden.

Eine kürzlich erschienene Arbeit von Vincent et al. (2000) über die Schmelzwassersysteme auf über 10 m dickem arktischem Festeis ("Schelfeis") in der Kanadischen Arktis belegt erstmals das Vorkommen von benthischen Cyanophyceenmatten in Eistümpeln der Arktis. Die Tümpel und Seen dieses "Schelfeises" unterscheiden sich darin grundsätzlich von den Meereis- und Gletschereistümpeln, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, weisen aber gleichzeitig starke Ähnlichkeit mit den Schmelzwassersystemen auf antarktischen Schelfeis auf (vgl. Kap. 5.2.1.2). Die Cyanophyceenmatten des arktischen Habitats kommen jedoch ausschließlich in Kryokonitlöchern vor und enthalten neben fädigen und coccalen Blaualgen verschiedene Grünalgen, Flagellaten, kleine benthische und aerophile Diatomeen, Ciliaten und Meiofaunaorganismen wie Tardigrada, Rotifera und Nematoda. Diese Ergebnisse zeigen, daß Cyanobakterien und vielzellige Organismen auf Meer- und Gletschereis durchaus vorkommen können (vgl. auch Kap. 5.2.1.2) und daß Kryokonitlöcher interessante Mikrohabitate darstellen, die bei zukünftigen Untersuchungen der Meereisoberflächengemeinschaften berücksichtigt werden sollten.

#### **5.2.1.2 Meereistümpel im Vergleich mit antarktischen Süßwasserhabitaten**

Meereistümpel sind ein charakteristisches Merkmal des arktischen Meereises und in der Antarktis nur selten zu beobachten, da sich die sommerlichen Schmelzprozesse dort aufgrund der insgesamt niedrigeren Lufttemperaturen vor allem an der Grenzfläche Meereis/Pelagial abspielen (Andreas & Ackley 1982; Spindler

1990). Nur auf Festeis in Landnähe können sich Meereistümpel bilden, da durch das nahegelegene Land Sonnenstrahlung reflektiert wird und zum Schmelzen der Eisoberfläche führt (Thomas & Kuechle 1982).

Das Vorkommen und die Entstehung von Schmelzwassertümpeln in Sastrugis auf antarktischem Festeis in der Lützw-Holm Bucht nahe der Prinz Olaf-Küste wurde von Takahashi (1960) beschrieben. Die in großer Zahl vorkommenden Tümpel hatten einen so geringen Salzgehalt, daß sie als Trinkwasserquelle genutzt werden konnten. Die Tümpel entstanden aus einer ca. 60 cm starken Lage von "Schnee-Eis", d. h. zu Eis gefrorenem Schnee, die festem, etwa 1 m starkem Meereis auflag. Die Entstehung wird von Takahashi aufgrund eines "Treibhaus-Effekts" beschrieben, da sich die Tümpel zunächst unterhalb einer Schneedecke bilden. Bei kälteren Temperaturen kann sich auf dem zunächst nach oben offenen Tümpel wieder eine Eisdecke bilden, die insbesondere nach Schneefall die Existenz der Tümpel verbirgt. Dies war ein deutliches Hindernis für Geländefahrzeuge. In der kalten Saison ab März waren die Tümpel stets mit einer Eisdecke versehen, die im Laufe der Zeit an Stärke zunahm, bis die Tümpel in der zweiten Maihälfte gänzlich durchgefroren waren. "Traditionelle" Orte der Bildung von Meereistümpeln im McMurdo Sound sind Hutton Cliffs, Turtle Rock, Inaccessible Island, Tent Island and Turks Head (Thomas & Kuechle 1982). Die Tümpel bilden sich Anfang November und bleiben bis zum Aufbrechen des Eises existent, wobei ihre Größe stark variieren kann. Während der Tümpelentstehung kommt es durch fortgesetzte Schmelzprozesse zum Durchschmelzen des Tümpelbodens. Weddellrobben suchen diese Tümpel häufig auf. Ishikawa & Kobayashi (1985) berichten von Schmelzwassertümpeln auf antarktischem Festeis, die auf schneefreiem Eis 10 - 15 cm unterhalb der Eisoberfläche durch interne Tauprozesse entstehen und sich im Laufe des antarktischen Sommers zur Atmosphäre hin öffnen, nachdem sie bereits einen Durchmesser von mehreren Metern und eine Tiefe von ca. 50 cm erreicht haben. Nach dem Öffnen sinkt die Wassertemperatur von ca. 1,5°C wieder auf Werte nahe 0°C. Da diese Tümpel aus schmelzendem Meereis und nicht aus Schnee entstehen, weisen sie eine höhere Leitfähigkeit (3.600 - 6.600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) als die primär aus schmelzendem Schnee entstehenden Meereistümpel auf. Diese Leitfähigkeit entspricht der Salinität von geschmolzenem einjährigen Meereis (6,2 - 7), so daß es sich um ein Brackwasserhabitat handelt. Auch Schmelzwassertümpel auf antarktischem Schelfeis können durch interne Tauprozesse entstehen, wie von Paige (1968) auf blauem Gletschereis bei McMurdo beobachtet. Diese Tümpel entstanden in ca. 40 cm Tiefe und erreichten einen Durchmesser von 10 - 15 m und eine Tiefe von 1 - 1,5 m.

Die bislang einzige ökologische Untersuchung von Schmelzwassertümpeln auf antarktischem Festeis wurde von McConville & Wetherbee (1983) nahe Casey durchgeführt. Die Autoren fanden zahlreiche, unter einer 10 cm starken Firndecke verborgene Meereistümpel von ca. 15 cm Wassertiefe. Die Wassertemperatur in den Tümpeln betrug  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , die Salinität lag zwischen 14 und 20, so daß es sich ebenfalls um ein Brackwasserhabitat handelte. Am Boden der Tümpel hatten sich aus Algenzellen bestehende Aggregate gebildet, die bis zu  $2,8 \times 10^9$  Zellen/l enthielten und aufgrund der absorbierten Wärmestrahlung das Abtauen des Eises unterstützten. Die Primärproduktion dieser aus kleinen Diatomeen, Cryptophyceen, Prasinophyceen (*Pyramimonas* sp.), Dinophyceen (*Gymnodinium* sp.) und Haptophyceen (*Phäocystis* sp.) zusammengesetzten Aggregate war mit Werten von  $67 - 363 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$  deutlich höher als die der Eisalgen an der Eisunterseite ( $47 \mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ ), die wiederum die Primärproduktion im darunterliegenden Meerwasser noch fast um den Faktor 100 überstieg. Untersuchungen des eigentlichen Tümpelplanktons, wie in der eigenen Arbeit sowie von James et al. (1995) durchgeführt, wurden nicht vorgenommen, so daß sich die Vergleichbarkeit dieser Ergebnisse mit den eigenen Daten auf die brackigen Meereistümpel und für die Besiedlung im Grunde genommen auf die Verhältnisse in Kryokonitlöchern beschränkt, die in der eigenen Arbeit nicht berücksichtigt wurden und auch nicht regelmäßig vorkamen.

Typisch für antarktisches Meereis sind weiterhin Infiltrationsgemeinschaften in den meerwassergesättigten Schneelagen an der Meereis-/Schnee-Grenzfläche, die eine charakteristische Zusammensetzung aus Bakterien und Protisten und eine höhere Produktivität und Biomasse als das darunterliegende Meerwasser aufweisen (Meguro 1962; Horner et al. 1988, 1992). Für arktisches Meereis wurde diese Gemeinschaft erstmalig von Buck et al. (1998) beschrieben. Daneben treten auf antarktischem Meereis sogenannte "crack pools" (Gleitz et al. 1996) und "deformation ponds" auf, die durch Überflutung des Meereises im Bereich von Gezeitenbrüchen oder Eispressungen entstehen (Horner et al. 1988, 1992). Diese speziellen Lebensräume sind jedoch ebenfalls stark durch Meerwasser beeinflusst und für den Vergleich mit Süßwasser-Meereistümpeln ebenfalls nicht geeignet, sondern werden im Kap. 5.2.3 behandelt.

Ökologische Untersuchungen an Schmelzwassertümpeln auf antarktischem Schelfeis (Vincent 1988; Howard-Williams et al. 1989, 1990; James et al. 1995; Vincent & James 1996) bieten dagegen eine interessante Vergleichsmöglichkeit der Besiedlung temporärer Gewässer an kalten, eisdominierten Standorten der Arktis und der Antarktis. Eine Besonderheit der im folgenden betrachteten Schelfeistümpel ist, das sie auf dem McMurdo-Schelfeis gelegen sind, das als marinen Ursprungs gilt (Debenham 1920, Swithinbank 1970, in Howard-Williams

Tab. 34: Vergleich des Lebensraums „Meereistümpel“ nach eigenen Ergebnissen (alle Stationen) mit Schmelzwassertümpeln auf Gletschern Nordostgrönlands (eigene Ergebnisse) und antarktischen Schelfeis (n = 20) nach James et al. (1995), weiterhin mit Schnee auf arktischem Meereis (n = 1) und auf alpinen Bergseen in der Ablationsphase nach Daten von Felip et al. (1995, 1999). Angegeben sind der Median bzw. Mittelwert sowie die Spannweite der Werte (in Klammern);  $\mu\text{atg/l}$  entspricht  $\mu\text{mol/l}$  (Catalan, pers. Mitt.). \*: Daten liegen nur für einen Gletschereistümpel vor. k. D. = keine Daten.

	Meereistümpel (diese Arbeit)	Gletschereis- tümpel (diese Arbeit)	Schelfeistümpel Antarktis	Schnee auf Meer- eis (diese Arbeit)	Schnee-/Slush auf alpinen Bergseen
Fläche [m <sup>2</sup> ]	115 (1 - 20934)	127 (3 - 368)	173 (<10 - 8000)	–	–
Wassertiefe [cm]	14 (3 - >60)	21 (8 - 80)	83 (25 - 150)	–	–
pH	6,7 (5,4 - 8,6)	6,0 (5,6 - 6,2)	9,4 (8,4 - 10,2)	6,1 (5,2 - 6,6)	5,8 (5,3 - 6,6)
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S/cm}$ ]	628 (13 - 33700)	16 (10 - 22*)	1853 (453 - 54200)	9 (5 - 15)	6,5 (1,6 - 13,6)
Nitrat [ $\mu\text{mol/l}$ ]	0,3 (0,0 - 2,4)	1,0 (0 - 1,9)	0,02 (0 - 1,6)	0,3 (0,0 - 1,3)	13 $\mu\text{atg/l}$ (3 - 26 $\mu\text{atg/l}$ )
Ammonium [ $\mu\text{mol/l}$ ]	0,3 (0,1 - 1,0)	0,8 (0,7 - 1,2)	0,0 (0,0 - 0,7)	0,8 (0,7 - 0,8)	10,2 $\mu\text{atg/l}$ (2,1 - 19,1 $\mu\text{atg/l}$ )
Phosphat [ $\mu\text{mol/l}$ ]	0,0 (0,0 - 0,4)	0,0 (0,0 - 0,4)	1,3 (0,0 - 16,7)	0,1 (0,0 - 0,4)	0,03 $\mu\text{atg/l}$ (0,01 - 0,08 $\mu\text{atg/l}$ )
Chlorophyll a [ $\mu\text{g/l}$ ]	0,03 (0,01 - 0,40)	0,04 0,03 - 0,05	5,7 (1,1 - 78,2)	k. D.	– (0,20 - 0,40)
Bakterienzahl [n x 10 <sup>7</sup> /l]	4,49 (1,00 - 16,5)	6,71 (–)	111,2 (34,8 - 344,4)	k. D.	48,0 (5,0 - 150,0)
phototr. Protista [n x 10 <sup>5</sup> /l]	0,98 (0,03 - 11,4)	0,88 (–)	27,0 (2,66 - 1023,3)	0,05 (–)	k. D.
heterotrophe Protista [n x 10 <sup>5</sup> /l]	0,39 (0,09 - 7,38)	2,42 (–)	0,14 (0,02 - 0,99)	k. D.	k. D.
Metazoa [Individuen/l]	0	0	50 (0 - 800)	k. D.	0



et al. 1990). Den Meereis- und Schelfeistümpeln ist gemeinsam, daß ähnliche Faktoren den Lebensraum und seine Besiedlung bestimmen (u. a. ephemerer Charakter des Gewässers mit einer "Lebensdauer" von 3 - 4 Monaten während des Polarsommers, Entstehung und Existenz auf Meer- bzw. Gletschereis, Wassertemperaturen nahe dem Gefrierpunkt, Saisonalität und Lichtbedingungen wie in der Arktis) und daß es sich um mikrobiell dominierte Systeme mit geringer Artenvielfalt und kurzen Nahrungsketten handelt (Burch 1988; Guilizzoni et al. 1992; James et al. 1995). Vielzellige Organismen spielen im Plankton der Schelfeistümpel ebenso wie in den antarktischen Seen der Dry Valleys eine untergeordnete Rolle, falls sie überhaupt vorkommen (Armitage & House 1962; Parker et al. 1983; Eslake et al. 1991; Sharp & Priscu 1991; James et al. 1995). Crustaceenplankton ist selten (Armitage & House 1962; Guilizzoni et al. 1992) und offenbar vorwiegend in salinen Gewässern mit Meerwassereintrag zu finden (Eslake et al. 1991). Tardigrada und die im Plankton gelegentlich zu findenden Rotifera gehören zur Meiofauna der benthischen Cyanobakterien-Matten, die den Boden antarktischer Schelfeistümpel und Seen bedecken (McInnes & Ellis-Evans 1990; Suren 1990; Guilizzoni et al. 1992; James et al. 1995; Laybourn-Parry et al. 1997). Die Cyanobakterien-Matten sind eine Besonderheit der antarktischen Gewässer auf Schelfeis und in der kontinentalen Antarktis. Sie treten auch in Seen, Tümpeln und Flüssen (Vézina & Vincent 1997) sowie in Schmelzwassersystemen auf permanentem, >10 m dicken Festeis der kanadischen Arktis auf (Vincent et al. 2000), fehlen jedoch in den Meereis- und Gletschereistümpeln der vorliegenden Arbeit. Hierin besteht ein wesentlicher Unterschied zu den Meereistümpeln.

Wie ein Vergleich weiterer wesentlicher Merkmale zeigt (Tab. 34), weisen die Schelfeistümpel eine vergleichbare Größe, jedoch eine größere Wassertiefe und vor allem höhere pH-Werte und höhere Leitfähigkeiten als die Meereistümpel auf (Ausnahme: die brackigen Meereistümpel mit Salinitäten ebenfalls im Millisiemens-Bereich). Auch die Nährstoffsituation in den Schelfeistümpeln ist eine andere, da im Gegensatz zu den Meereistümpeln Phosphat im Überfluß vorhanden ist, wohingegen die stickstoffhaltigen Nährsalze weitestgehend aufgezehrt werden. Dies erklärt die im Vergleich zu den Meereistümpeln um zwei Größenordnungen höheren mittleren Chlorophyllkonzentrationen und Phytoplanktonabundanz in den Schelfeistümpeln. Trotz ebenfalls hoher Bakterienzahlen und des Fehlens von herbivorem Crustaceenplankton (James et al. 1995) waren die heterotrophen Protisten in den Schelfeistümpeln nur in relativ geringen Abundanz vertreten (Verhältnis auto- zu heterotrophen Protisten 192:1 gegenüber den Meereistümpeln mit 2,5:1).

Das Phytoplankton der Schelfeistümpel setzte sich aus Chlamydomphyceen (*Chlamydomonas* spp., *Brachiomonas* sp.), Chrysophyceen, Cryptophyceen, Diatomeen und Cyanobakterien zusammen, wobei die Cryptophyceen die mit Abstand häufigste Gruppe bildeten. Die Dominanz der für ihre mixotrophe Ernährungsweise bekannten Algenklasse der Cryptophyceen ist ein Charakteristikum der Schelfeistümpel und anderer antarktischer Gewässer (Goldman et al. 1972; Laybourn-Parry & Marchant 1992; James et al. 1995), wobei in den vertikal geschichteten Seen je nach Tiefe Cryptophyceen, Chlamydomphyceen oder Chrysophyceen dominieren können (Lizotte et al. 1996). Die Diatomeen der Schelfeistümpel waren wie auch die Metazoa benthische Formen aus den Cyanobakterien-Matten. Der Hauptunterschied in der Phytoplanktonzusammensetzung zwischen Meereis- und Schelfeistümpeln besteht somit in der Dominanz der Cryptophyceen und im Auftreten von fädigen und coccalen Cyanobakterien in den Schelfeistümpeln, wobei die Gattung *Synechococcus* nur in einem einzigen Tümpel, der eine sehr hohe Leitfähigkeit aufwies, gefunden wurde. Das Protozooplankton der Schelfeistümpel bestand nach James et al. (1995) ausschließlich aus Ciliaten, die eine im Vergleich mit den Meereistümpeln sehr diverse Zusammensetzung aufwiesen. Es konnten 22 Gattungen bzw. Taxa unterschieden werden, darunter auch oberflächenaffine Arten wie euplotide und stichotriche Ciliaten sowie benthische Vertreter wie *Chilodonella* sp. und *Nassula* sp., die in den Meereistümpeln nicht auftraten. Kleine Ciliatenarten (<20 µm) trugen 50 % zur Gesamtabundanz der Ciliophora bei, das zweithäufigste Taxon der Ciliatenfauna der Schelfeistümpel war die peritriche Gattung *Vorticella*, deren Vertreter von Bakterien und Picoplankton leben. Größere herbivore Ciliaten wie Vertreter der auch in Meereistümpeln häufigen Gattung *Strombidium* wurden in den Schelfeistümpeln nicht gefunden, obwohl *Strombidium* in antarktischen Seen ohne herbivores Crustaceenplankton dessen Funktion als Hauptkonsument des Phytoplanktons übernimmt und dort an der Spitze der Nahrungskette steht (James et al. 1995). Räuberische Ciliaten waren mit den Haptorida (u. a. die auch in Meereistümpeln zu findende Gattung *Didinium*) vertreten. Die für Meereistümpel und die Schnee-/Slush-Gemeinschaft alpiner Bergseen (Felip et al. 1995, 1999) charakteristischen Arten *Lacrymaria* sp. bzw. *Dileptus* sp. wurden in den Schelfeistümpeln nicht beobachtet. Nach den Ergebnissen von James et al. (1995) treten die typischen Planktonciliaten (Oligotriche, Tintinnen) vor allem in den weniger produktiven Schelfeistümpeln mit mittlerer Leitfähigkeit und relativ geringen Chlorophyllkonzentrationen auf, während euplotide, stichotriche und hymenostome Ciliaten stärker saline, produktivere Tümpel bevorzugten. Beaver & Crisman (1989) hatten zuvor eine geringere Diversität und Biomasse der Ciliatenpopulation oligotropher saurer Seen gegenüber nicht-sauren oligotrophen Seen außerhalb der Polarregionen festgestellt. Die bakterivore *Vorticella* sp. trat in allen Schelfeistümpeln auf, während Cryptophyceen ebenfalls in produktiveren Tümpeln mit

höheren Bakterienabundanzen dominierten und in solchen Tümpeln fehlten, die eine Bakterienabundanz von  $>10^6/l$  aufwiesen. Außerdem konnten die Autoren eine positive Korrelation zwischen der Abundanz der Cryptophyceae *Ochromonas* sp. und der Leitfähigkeit feststellen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen einen derartigen Zusammenhang für die Meereistümpel, denn Cryptophyceen wurden nur an zwei Stationen mit erhöhter Leitfähigkeit ( $>1000 \mu S/cm$ ) beobachtet. Andererseits waren Cryptophyceen eine dominante Gruppe des Landtümpel-Phytoplanktons, deren mittlere Leitfähigkeit nur  $56 \mu S/cm$  betrug, so daß vermutlich artspezifische Unterschiede bestehen.

Die arktischen Meereis- und die antarktischen Schelfeistümpel stellen trotz einiger Gemeinsamkeiten unterschiedliche Lebensräume dar, was zu einer entsprechend unterschiedlichen Besiedlung führt. Die Meereistümpel gehören aufgrund ihrer Nährstoffarmut, geringen Leitfähigkeit und der ebenfalls geringen Chlorophyllkonzentrationen und Bakterienabundanzen zur Gruppe der (ultra)oligotrophen, schwach sauren und daher weniger produktiven Tümpel, die durch typische Planktonciliaten charakterisiert werden, während andere Gruppen der Ciliophora ebenso wie die Cryptophyceen im Gegensatz zu den antarktischen Schelfeistümpeln keine optimalen Lebensbedingungen vorfinden. Auch Tab. 34 macht deutlich, daß die Meereistümpel mehr Gemeinsamkeiten mit der arktischen Schnee- und Gletscherumwelt und den Schnee-/Slush-Gemeinschaften auf alpinen Bergseen (vgl. Kap. 5.2.1.3) als mit den Schelfeistümpeln aufweisen.

### 5.2.1.3 Meereistümpel im Vergleich mit nivalen Lebensräumen polarer und alpiner Regionen

Es ist seit langem bekannt, daß die rote, gelbe, grüne oder violette Färbung des Schnees alpiner und terrestrischer polarer Regionen auf einzellige Algen zurückzuführen ist (u. a. Ehrenberg 1851; Huber-Pestalozzi 1902; Meunier 1910; Charcot 1910; vgl. Übersicht in Kol 1968). In den vergangenen Jahrzehnten wurden eine Reihe von taxonomischen und physiologischen Untersuchungen an Schneetalgen verschiedenster Regionen durchgeführt (u. a. Thomas 1972; Hoham 1973, 1974, 1975a, 1975b; Kol & Eurola 1974; Fjeringstad et al. 1974; Hoham et al. 1979; Lichti-Federovich 1980; Marchant 1982; Hoham et al. 1983; Ling & Seppelt 1990; Bidigare et al. 1993), wobei die ökologische Bedeutung der Schneelebensgemeinschaft bisher kaum untersucht ist (Pollock 1970; Hoham 1992). Spätestens seit Gradinger & Nürnberg (1996) ist belegt, daß die Schneetalge *Chlamydomonas nivalis* auch in der Schneeaufgabe des arktischen Packeises das Phänomen des "roten Schnees" hervorruft, wobei Zellkonzentrationen von  $10^8$  Zellen/l Schneeschmelzwasser erreicht werden. In ungefärbtem Schnee auf

Meereis des Untersuchungsgebiets sind nach eigenen Ergebnissen Schneeealgen in deutlich geringeren Konzentrationen ( $4,5 \times 10^3$  Zellen/l) zu finden, was sich mit den Angaben von Melnikov (1980, in Gradinger & Nürnberg 1996) deckt, der Konzentrationen von  $10^3$  bis  $10^4$  Zellen/l feststellte. Schneeealgen wie *Chlamydomonas nivalis* gelangen mit dem Schneeschmelzwasser in die Meereistümpel und lassen sich auch in den oberen Dezimetern des Solekanalsystems des Meereises nachweisen (Gradinger & Nürnberg 1996; Melnikov 1997). Die eigenen Ergebnisse bestätigen, daß typische Schneeorganismen sowohl in der Schneeeauflage in der Umgebung von Meereistümpeln als auch in den Meereistümpeln auftreten, wobei es sich bei den im Schnee dominierenden Akineten möglicherweise um *Chlamydomonas nivalis sensu* Kol handelte, die die typische Schneeealge der Nordhemisphäre darstellt und auch in der Arktis vielfach gefunden wurde (vgl. Literatur in Gradinger & Nürnberg 1996). Die Organismen der Schneegemeinschaft dürften zusammen mit ggf. über Winddrift von Land eingetragenen Organismen die "Saatpopulation" der Meereistümpelgemeinschaft bilden (vgl. auch Kap. 5.2.3).

Neben der klassischen Schneegemeinschaft existieren spezielle Infiltrationsgemeinschaften in den wassergesättigten Schneelagen (engl. "slush") auf dem Eis alpiner Bergseen (Felip et al. 1995, 1999), die eine weitere interessante Vergleichsmöglichkeit mit den Süßwasser-Meereistümpeln bieten. Es handelt sich dabei um ein ephemeres Habitat aus Eiskörnern und interstitiellem, nährstoffreichem Wasser, das sich im Winter und vor allem im Frühjahr analog zu den Meereis-Infiltrationsgemeinschaften (vgl. Buck et al. 1998) auf der winterlichen Eisdecke von Bergseen durch Infiltration von Seenwasser entwickelt. Die Chlorophyll- und Nährstoffkonzentrationen dieses Habitats sind daher höher als in den Meereistümpeln (vgl. Tab. 34), obwohl durch den Einfluß des tauenden Schnees vergleichbar niedrige pH-Werte und Leitfähigkeiten gegeben sind.

Ebenso wie die Meereistümpel ist dieses Habitat Lebensraum einer vielfältigen mikrobiellen Gemeinschaft aus Bakterien, photo- und heterotrophen Protisten, in der räuberische haptoride Ciliaten wie *Lacrymaria* sp., *Didinium* sp. und *Dileptus* sp. an der Spitze des Nahrungsnetzes stehen. Manche Arten stammten nach Felip et al. (1995, 1999) aus dem Seenplankton, während andere charakteristisch für die oberflächennahe Schnee- und Schmelzwassertümpelgemeinschaft waren (z. B. Grünalgen wie *Chlamydomonas nivalis*, *Chlamydomonas* spp., *Pteromonas* sp., *Chloromonas* spp.). Die letztgenannten Arten ebenso wie die räuberischen, nicht aus dem Seenplankton stammenden Ciliaten (*Lacrymaria* sp., *Dileptus* sp. und andere) charakterisierten die "slush"-Gemeinschaft zur Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr. Diese Ciliaten traten nach Felip et al. (1995, 1999) im Gegensatz zu den Schneeealgen ausschließlich in den wassergesättigten

Schneelagen, nicht jedoch in den etwa 40 cm tiefen Schneeschmelzwassertümpeln auf, die sich im Mai auf dem Seen-Eis bildeten und durch die zweigeißlige, gehäusetragende Grünalge *Pteromonas* sp. charakterisiert wurden (Charakterart der Meereistümpel: *Carteria* spp.). Haptoride Ciliaten wie *Lacrymaria* sp. und *Didinium* sp. dagegen waren in den Meereistümpeln durchaus zu finden. Weitere abundante Taxa in den Schneelagen zur Zeit der Schneeschmelze waren ähnlich wie in den Meereistümpeln Chrysophyceen (darunter auch die Gattung *Chryso-lykos*, jedoch mit der Art *C. skujai f. tatica*), Dinoflagellaten (*Gymnodinium* spp.), Cryptophyceen und Ciliaten, darunter neben den bereits erwähnten Haptorida auch verschiedene oligotriche Ciliaten <30 µm (*Strombidium* sp., *Rimostrombidium* sp.). Wie auch in den Süßwasser-Meereistümpeln spielten Diatomeen jedoch eine untergeordnete Rolle, sofern sie überhaupt vorkamen. Dies könnte mit den abiotischen Parametern zusammenhängen, die insbesondere zur Zeit der Schneeschmelze den Bedingungen in den Meereistümpeln stark ähneln (z. B. pH <6,0; Leitfähigkeit <10 µS/cm). In den Schneeschmelzwassertümpeln stellten Felip et al. (1995) mit Bakterienabundanzen von  $2,1 \times 10^7$  -  $4,8 \times 10^7$  Zellen/l ähnliche Werte wie in den Meereistümpeln fest. Diese Abundanzen lagen deutlich unterhalb der Werte aus den Slush-Lagen (vgl. Tab. 34). Die Chlorophyll a-Konzentrationen in den Schneeschmelzwassertümpeln waren jedoch um eine Größenordnung höher als in den Meereistümpeln, was vermutlich mit den relativ hohen Nährstoffgehalten des Schnees der Region zusammenhängt, der deutlich höhere Ammonium- und Phosphatkonzentrationen als das Seenwasser und als die Meereistümpel aufwies.

Es bleibt festzuhalten, daß die von Felip et al. (1995, 1999) beschriebenen, schneegeprägten Infiltrations- und Tümpelgemeinschaften auf dem Eis alpiner Bergseen ebenso wie die Meereistümpelgemeinschaften offenbar ausschließlich mikrobielle Lebensgemeinschaften mit ähnlichen Taxa darstellen. In beiden Habitaten dominierten grüne Flagellaten der Ordnung Chlamydomonadales mit *Pteromonas* sp. (Schnee-/Slushgemeinschaften) bzw. *Carteria* spp. (Meereistümpel) und *Chlamydomonas* spp. (beide Habitate) als Charakterarten. Weitere gemeinsame Taxa waren loricate Chrysophyceae, phototrophe Dinophyceae, oligotriche Ciliophora mit *Strombidium* spp. sowie räuberische Ciliophora mit *Lacrymaria* sp.). Eine mikrobiell dominierte Gemeinschaft wurde ebenfalls im Gletschereistümpel festgestellt, wenn auch zum Zeitpunkt der Beprobung keine Ciliatenpopulation nachgewiesen werden konnte. Damit unterscheiden sich die eben genannten Lebensräume von den Landtümpeln und -seen, deren Plankton zusätzlich vielzellige Organismen, unter anderem Crustaceen, enthält.

Die Ähnlichkeit der Lebensbedingungen und Lebensgemeinschaften in den im Untersuchungsgebiet dominierenden Süßwasser-Meereistümpeln mit den Verhältnissen in der arktischen und alpinen Schnee- und Gletscherumwelt spricht dafür, daß die Habitate an der Meereisoberseite, also der Grenzfläche zwischen Meereis und Atmosphäre, eine Fortsetzung des Schnee/ Gletscher-Ökosystems darstellten, wie es in polaren Breiten an Land, aber auch in hochalpinen Lagen unserer Breiten gefunden wird, und das eine charakteristische Besiedlung mit kryophilen Einzellern aufweist (u. a. Pollock 1970, Kol 1968, Ettl 1983). Dies gilt im Prinzip auch für die Antarktis, was den Schnee betrifft, jedoch weisen die von James et al. (1995) untersuchten Schelfeistümpel einige wesentliche Unterschiede zu den Meereistümpeln auf, die eine Abgrenzung von den Meereistümpeln erlauben (u. a. Cyanobakterienmatten, höhere Nährstoffkonzentrationen und Leitfähigkeit; vgl. Kap. 5.2.1.2). Die von Bursa (1963) geäußerte Vermutung, die Mikroflora in den Meereistümpeln trage kosmopolitische Züge mit Arten, die wahrscheinlich in den Schnee- und Eisgemeinschaften aller geographischer Breiten zu finden seien, kann daher nicht uneingeschränkt bestätigt werden.

#### **5.2.2 Vergleich der Meereistümpel mit dem Meereis-Solekanalsystem**

Im Laufe ihrer saisonalen Entwicklung werden die Meereistümpel außer von der abschmelzenden Schneeaufgabe vom tauenden Meereis gespeist, in das sie eingebettet sind. Trotz ihrer Entstehung auf und aus Meereis existieren wesentliche Unterschiede zwischen beiden Lebensräumen (vgl. Tab. 35). Der erste offensichtliche Unterschied besteht darin, daß die Meereistümpel temporäre Lebensräume darstellen, die je nach Witterungsbedingungen etwa 3 bis 4 Monate existieren, im arktischen Winter jedoch durchfrieren und wieder gefrorener Bestandteil der Meereisdecke werden. Auch nach dem Durchfrieren läßt sich das Eis der durchgefrorenen Meereistümpel vom eigentlichen Meereis unterscheiden, da es generell recht homogen und porenarm ist und Süßwassereis ähnelt (u. a. Perovich 1991; Eicken et al. 1995). Aus physikalischen Gründen wird daher im Tümpel eis kein Solekanalsystem wie im Meereis entstehen, so daß in diesen Zonen auch kein interstitielles Leben möglich ist. Meereistümpelbewohner müssen demnach den langen Winter in einem Zustand latenten Lebens überdauern, oder aber es muß jeder sich bildende Meereistümpel gänzlich neu besiedelt werden. Das Solekanalsystem des Meereises bietet Organismen einen größtenteils ganzjährig existierenden Lebensraum, stellt allerdings extrem hohe Anforderungen an die Salinitätstoleranz der Organismen, da mit abnehmender Temperatur des Eises die Salinität der Sole zunimmt (Beispiel: bei einer Eistemperatur von  $-4^{\circ}\text{C}$  erreicht die Sole eine Salinität von 70; Spindler 1990). Wie Friedrich (1997) anhand experimenteller Untersuchungen zeigen konnte, tolerieren typische Ver-

treter der Eis-Meiofauna bei Temperaturen zwischen 0°C und -6°C Salinitäten zwischen 5 und 65, vielfach sogar Salinitäten bis 95. Salinitäten von 1, wie z. B. in den Meereistümpeln häufiger vorkommend, wurden dagegen nicht toleriert. Daher ist nicht zu erwarten, daß Organismen der Eis-Meiofauna aktiv aus tieferen Schichten in die Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel einwandern, und über tauendes Meereis in die Tümpel eingetragene Meiofauna werden auch bei ausreichendem Nahrungsangebot schwerlich eine lebensfähige Population aufbauen können.

Meereistümpel ermöglichen eine planktische Lebensweise an der Meereisoberfläche. Dies ist ein weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Meereistümpeln und dem Solekanalsystem im Eisinneren, das ein vertikal und horizontal vernetztes Hohlräumssystem aus Kanälen von wenigen  $\mu\text{m}$  bis wenigen mm Durchmesser darstellt (im Mittel 200  $\mu\text{m}$ , meist  $<1$  mm im Durchmesser; Weissenberger 1992; Eicken et al. 1995), die sich gelegentlich zu solegefüllten Taschen erweitern. Das Solekanalsystem bildet einen interstitiellen Lebensraum, der in vielen Punkten mit dem Interstitial mariner Sandböden vergleichbar ist und entsprechende Anforderungen an seine Bewohner stellt. So sind im Solekanalsystem des arktischen und antarktischen Meereises z. B. die auf Oberflächen zu "kriechen" vermögenden euplotiden und stichotrichen Ciliaten häufig (Fenchel & Lee 1972; Agatha et al. 1990, 1993; Friedrich 1997; Friedrich et al. 1996; Sime-Ngando et al. 1997a, b), die in den untersuchten Meereistümpeln nicht gefunden wurden. Stattdessen dominieren in den Meereistümpeln nach eigenen Ergebnissen oligo- und choreotriche Ciliaten (vor allem *Strombidium* spp.), die für planktische Habitate typisch sind (u. a. Sime-Ngando et al. 1997a, b). Die in Meereistümpeln anzutreffende haptoride Ciliatengattung *Lacrymaria* wurde auch im Meereis nachgewiesen (Sime-Ngando et al. 1997a, b).

Aufgrund ihrer Lage an der Grenzfläche Eis/Atmosphäre sind die Meereistümpel ein stark exponierter Lebensraum, der den Einflüssen von Wind, Temperaturschwankungen und der Sonneneinstrahlung direkt ausgesetzt ist. Das klare Wasser und fehlender Makrophytenbewuchs bieten den Bewohnern der Meereistümpel keinerlei Refugien gegen die einfallende Strahlungsenergie (PAR und UV; vgl. Kap. 5.1.3.2). Das Solekanalsystem dagegen liegt sehr viel geschützt im Eisinneren, und die typischen "Eisalgen", die in den unteren Dezimetern des Eises dominieren und hohe Abundanzen und Biomassen erreichen, sind in der Regel schattenadaptierte Formen (Cota 1985; Horner 1989; Spindler 1994; Gradinger 1998b), deren Lichtoptimum für die Photosynthese bei ca. 20 - 50  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  liegt (Cota & Smith 1991b und darin zitierte Literatur). Insbesondere an der Eisunterseite herrschen in Bezug auf Temperatur- und Salinitätsschwankungen recht stabile Verhältnisse (u. a. Cota et al. 1991, Gradinger et

5.2 Vergleich des Lebensraums "Meereistümpel" mit anderen polaren Habitaten

Tab. 35: Vergleich der Lebensräume Meereistümpel, Meereis (bzw. dessen Solekanalsystem im Eisinneren) und Pelagial des arktischen Ozeans

Meereistümpel	Meereis (Solekanalsystem)	Pelagial
temporäres Gewässer, 3 - 4 Monate existent	ganzjährig existent	permanent existent, viele Monate eisbedeckt
aquatischer Lebensraum, planktische Lebensweise möglich	Solekanalsystem erlaubt nur interstitielle Lebensweise	aquatischer Lebensraum, planktische Lebensweise
im Untersuchungsgebiet vorwiegend Süßwasser- bis leicht brackige Tümpel	meist brackig bis hochsalin	mariner Lebensraum
stark exponierter Lebensraum (Temperatur, Wind, Licht)	weniger exponierter, geschützterer Lebensraum	eisbedeckt: geschützt; eisfrei: weniger exponiert als Meereistümpel (Pufferwirkung des Ozeans)
Starklichthabitat	Schwachlichthabitat	eisbedeckt: Schwachlichthabitat, eisfrei: kein Starklichthabitat
dynamisches System (Winddurchmischung, Konvektion, weiträumiger Organismen-transport, Durchschmelzen/ Auslaufen, Salinitäts- u. Temperaturänderungen)	großräumig stabiles System, da weniger exponiert, kleinskalig jedoch hochdynamisches System (Einfluß v. Temperaturänderungen auf Solesalinität u. Kanalsystem)	vergleichsweise stabiles System
sehr geringe Nährstoffkonzentrationen, insbesondere Phosphat u. Silikat, in Süßwassertümpeln; höhere Konzentrationen in brackigen Tümpeln	in der Sole höhere Nährstoffkonzentrationen als in Meereistümpeln und im Pelagial	höhere Nährstoffkonzentrationen als in Meereistümpeln
sehr geringe Chlorophyll-Konzentrationen in Süßwassertümpeln, höhere Konz. in brackigen Tümpeln	in der Sole, insbes. an Eisunterseite sehr viel höhere Chlorophyll-Konzentrationen als in Tümpeln und im Pelagial	höhere Chlorophyll a-Konzentrationen als in Meereistümpeln
relativ geringe POC-Konzentrationen	in der Sole, insbesondere an Eisunterseite sehr viel mehr POC als in Tümpeln und im Pelagial	höhere POC-Konzentrationen als in Meereistümpeln
mikrobiell dominiertes System (Bakterien, einzellige Algen und Protozoen), herbi- bzw. carnivore Ciliaten u. Dinoflagellaten letztes Glied der Nahrungskette	mikrobiell und Meiofauna-dominiertes System, Metazoa (Crustacea, Rotifera, Nematoda) letztes Glied der Nahrungskette	alle Größenklassen u. Organismengruppen von Prokaryota über Protisten, Invertebraten u. Vertebraten vertreten
Diatomeen von geringer Bedeutung	Diatomeen sind bedeutende Komponente der Lebensgemeinschaft	Diatomeen sind bedeutende Komponente des Phytoplanktons
typische oligotriche Planktonciliaten dominieren, oberflächenaffine Gattungen fehlen	andere Ciliatengruppen von Bedeutung (u. a. oberflächenaffine Arten wie z. B. <i>Euplotes</i> spp.)	Planktonciliaten dominieren, jedoch andere Gruppen als in Meereistümpeln (u. a. <i>Tintinnen</i> u. <i>Myrionecta rubra</i> )



al. 1991), während die oberflächennahen Bereiche des Meereises stärkeren Schwankungen ausgesetzt sind, insbesondere nach Abschmelzen der winterlichen Schneeeauflage. In diesen Bereichen kann es daher kleinräumig in Abhängigkeit von Temperatureinflüssen zu Salinitätsschwankungen kommen, und die Solekanälchen können sich entsprechend erweitern oder verengen bzw. zufrieren (Krembs 1998), denn die Salinität in den Solekanälchen sowie deren Volumen hängt von der Temperatur des Eises ab (Assur 1958, Frankenstein & Garner 1967, Leppäranta & Manninen 1988, in Gradinger 1998a). Sommerliche Tauprozesse führen durch Schmelzwasserperkolatation zur Abnahme der Salinität, umgekehrt können hydraulische Prozesse zum Eintrag von Meerwasser von der Eisunterseite her in das Solekanalsystem führen (Freitag 1999). Die Bewohner dieses Lebensraums sind daher an starke Salinitätsschwankungen angepaßt und in der Lage, kurzfristiges und sogar mehrtägiges Einfrieren schadlos zu überstehen (Friedrich 1997).

Durch die sehr häufig zu beobachtende Vernetzung der Meereistümpel über Schmelzwasserkanäle miteinander sowie mit der Meereiskante sind weiträumige Transport- und Austauschprozesse auf der Schollenoberfläche bzw. Meereisfläche möglich, die topographisch bedingt oder windgetrieben mit recht hohen, d. h. für das menschliche Auge sichtbaren Fließgeschwindigkeiten einhergehen können (vgl. Kap. 4.3.1). Gleichzeitig unterliegen die Tümpel einer starken Winddurchmischung, solange sie keine Eisdecke tragen. Auch haben die Meereistümpel durch diese Vernetzung und Transportprozesse ein relativ großes Einzugsgebiet, was sich vor allem bei der Tümpelentstehung, aber auch während der weiteren Entwicklung der Tümpel günstig auf Nährstoff- und Organismeneinträge auswirkt. Andererseits kommt es über den Schmelzwasserabfluß ins Meer gleichzeitig zu einem Austrag von Stoffen und Organismen. Weiterhin laufen manche Tümpel im Laufe ihrer Entwicklung leer, schmelzen zum marinen Milieu hin durch oder vermischen sich gänzlich mit Meerwasser, wenn das Eis vollständig schmilzt. Daher sind die Meereistümpel als ein sehr "dynamisches" System zu bezeichnen, während das Solekanalsystem vergleichsweise statisch ist, da die Transportprozesse im Eisinneren durch die Enge der Solekanäle sowie durch fehlenden Windantrieb bedingt langsamer ablaufen müssen. Allerdings konnte Freitag (1999) mit Hilfe von Markerexperimenten zeigen, daß im Meereis nicht nur vertikale, sondern auch laterale Transportprozesse stattfinden. Dennoch dürfte die Enge der Solekanäle zumindest dem passiven Organismentransport Grenzen setzen, wenn auch "weiche" Meiofaunaorganismen wie z. B. Turbellarien durchaus in der Lage sind, sich durch schmale Spalten zu zwängen (Krembs 1998). Großräumig eher stabil, ist das Solekanalsystem kleinskalig daher ebenfalls ein sehr dynamisches System, da auf kleinem Maßstab eine hohe Variabilität der

Lebensbedingungen gegeben ist (z. B. vertikale Temperatur- und damit verbundene Salinitätsgradienten; vertikale Salinitätsänderungen durch Schmelzwasserperkolatation oder Einstrom von Meerwasser).

Weiterhin erwiesen sich die Meereistümpel im Untersuchungsgebiet überwiegend als reine Süßwasser- bis schwach brackige Lebensräume mit Salinitäten zwischen 0 und 2. Im Gegensatz dazu ist das Solekanalsystem naturgemäß ein brackiger bis hypersaliner Lebensraum, da es bei der Meereisbildung entsteht und die Sole Salze enthält, die bei der Bildung der Eiskristalle aus dem Kristallgitter ausgeschlossen werden (Pounder 1965). In den Eiskernen zeigt sich häufig ein vertikaler Salinitätsgradient mit von oben nach unten zunehmender Salinität (u. a. Thomas et al. 1995; Gradinger et al. 1999; Tucker et al. 1999). Dieser Gradient ist insbesondere bei mehrjährigem Eis ausgeprägt, da das oberflächliche Eis aufgrund der sommerlichen Tauprozesse aussüßt und die spezifisch dichteren salzhaltigeren Zonen dadurch weiter nach unten verlagert werden. Die Aussüßung der oberen Zentimeter des Meereises ließ sich anhand der Salinität in den neben den Tümpeln entnommenen Eiskernen ("N-Kerne") aller 5 Stationen gut verfolgen (vgl. Abb. 16, Kap. 4.2.1.2). Datengrundlage war die Gesamtsalinität des jeweiligen Kernhorizonts, ermittelt nach dem Auftauen des Eises. Die Salinität innerhalb des Solekanalsystems im natürlichen Zustand war deutlich höher. Eicken et al. (1995) bestimmten z. B. in 2 m Tiefe eine Gesamtsalinität von 3,5, während die Salinität der Sole in der gleichen Tiefe mit etwa 17 beinahe um den Faktor 5 höher war. Mock und Gradinger (1999) bestimmten in der Sole aus den unteren Dezimetern arktischer Eiskerne Salinitäten von 35 und 64. Da die Salinität des Lebensraums ein wichtiger Faktor für die Artenzusammensetzung der Gemeinschaften ist (z. B. Remane & Schlieper 1971; Krey 1974; Gradinger 1998a), erklären sich hieraus Unterschiede in der Besiedlung der Süßwasser-Meereistümpel und des Solekanalsystems, aber auch in der Besiedlung von Süßwasser- und brackigen Meereistümpeln. Gleichzeitig wird deutlich, daß eine Besiedlung der Süßwasser-Meereistümpel aus dem Solekanalsystem heraus nicht sehr wahrscheinlich ist, und es stellt sich die Frage nach der Herkunft der Organismen in den Süßwasserhabitaten auf Meereis, das schließlich aus Meerwasser entsteht (siehe hierzu Kap. 5.2.3).

Die Gesamt-Nährstoffkonzentrationen in den oberflächennahen Bereichen der untersuchten Eiskerne entsprachen mit Ausnahme der Silikatkonzentrationen den niedrigen Nährstoffkonzentrationen, die auch im Tümpelwasser gemessen wurden (vgl. Tab. 8, Kap. 4.2.1.3), wobei die absoluten Konzentrationen in der Sole höher waren (vgl. Gesamtsalinität). Nitrat und Phosphat waren in den Eiskernen stark aufgezehrt. Die Silikatkonzentrationen dagegen waren bereits als Gesamtkonzentration höher als im Tümpelwasser und zeigten in den in der Nachbarschaft

der Meereistümpel genommenen "N"-Kernen eine Zunahme mit dem Abstand von der Meereisoberfläche. Eine Zunahme der Nährstoffkonzentrationen von der ausgesüßten Meereisoberfläche hin zur Eisunterseite ist mehrfach beschrieben worden (u. a. Grainger 1977, Nitrat-Frühjahrsdaten in Gradinger 1998a; Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen in Thomas et al. 1995 und in Mock & Gradinger 1999), muß jedoch wie auch im Falle der Salinität nicht immer ausgeprägt sein (Dunbar & Acreman 1980).

Über das gesamte Vertikalprofil gemittelt ergeben sich jedoch im allgemeinen deutlich höhere Nährstoffkonzentrationen im Eisinneren als in den Meereistümpeln und den oberen Dezimetern der Eisoberfläche. So bestimmte z. B. Gradinger (1998a) Medianwerte der Gesamt-Nitratkonzentration in arktischem Meereis von 0,35  $\mu\text{mol/l}$  (Frühjahr), 0,07  $\mu\text{mol/l}$  (Sommer) und 0,08  $\mu\text{mol/l}$  (Herbst). Die Sommer- und Herbstwerte sind mit den in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Ergebnissen für die Gesamt-Nitratkonzentration in den oberen 80 cm des Meereises vergleichbar (Median: 0,1  $\mu\text{mol/l}$ ). Daß im Solekanalsystem deutlich höhere Konzentrationen zu finden sind als anhand der Gesamtkonzentration in aufgetauten Eiskernsegmenten ermittelt, zeigen die Ergebnisse von Gradinger (1998a), der in der Sole von Eiskernen aus der Grönlandsee je nach Jahreszeit und Tiefenhorizont Medianwerte von bis zu 15  $\mu\text{mol Nitrat/l Sole}$ , etwa 1,5  $\mu\text{mol Phosphat/l Sole}$  und bis zu 30  $\mu\text{mol Silikat/l Sole}$  gemessen hat. Dabei zeigten die Sommerwerte in den oberen 25 % der Eisschollen Minimalwerte, die mit den in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Meßwerten in den aufgetauten Eiskernsegmenten vergleichbar waren. Mock & Gradinger (1999) fanden in den unteren Dezimetern arktischer Meereiskerne 2 - 14  $\mu\text{mol Nitrat/l Sole}$ , 0 - 0,5  $\mu\text{mol Nitrit/l Sole}$ , 0 - 88  $\mu\text{mol Ammonium/l Sole}$ , 0,2 - 23,5  $\mu\text{mol Silikat/l Sole}$  und 0 - 12,4  $\mu\text{mol Phosphat/l Sole}$ . Es verwundert nicht, daß bei derartigen Nährstoffbedingungen die Eisalgen ihr Abundanz- und Biomassemaximum in den unteren Dezimetern der Meereisdecke haben (u. a. Appollonio 1965; Hsiao 1980, 1992; Demers et al. 1984; Horner 1989; Okolodkov 1996; Gradinger et al. 1999)

Daher kann festgestellt werden, daß die Nährstoffkonzentrationen in den Meereistümpeln im allgemeinen deutlich niedriger als im Solekanalsystem selbst sind, da das Meereistümpelwasser Schmelzwasser aus Schnee und den ausgesüßten oberflächennahen Meereisschichten darstellt. Eine Ausnahme hiervon könnten die stärker brackigen Meereistümpel bilden, die zum Teil eine andere Genese haben (z. B. Deformationstümpel) als die dominierenden Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel.

Die in dieser Arbeit untersuchten Meereistümpel waren durch sehr niedrige Chlorophyll-Konzentrationen gekennzeichnet (Medianwert  $0,04 \mu\text{g/l}$ ), die auf die ebenfalls niedrigen Nährstoffkonzentrationen zurückzuführen sind, die eine stärkere Phytoplanktonentwicklung nicht zulassen. Die Medianwerte der Vertikalprofile der Chlorophyllkonzentrationen in den drei untersuchten Eiskernen (Tiefenhorizonte 0 - 80 cm) liegen nur geringfügig unter dem Medianwert der Konzentrationen in den zugehörigen Tümpeln (vgl. Tab. 10, Kap. 4.2.2.1), sind also ebenfalls niedrig. Geringe Chlorophyllkonzentrationen zwischen 0 und  $0,2 \mu\text{g/l}$  in den oberen Dezimetern arktischen Meereises wurden auch von anderen Autoren gemessen (u. a. Thomas et al. 1995; Gradinger et al. 1991; Gradinger 1998a; Gradinger et al. 1999). In den untersten Zentimetern des Eises, an der Grenzfläche Meereis/Meerwasser, erreichen die Chlorophyllkonzentrationen im allgemeinen ihr Maximum mit Werten von mehreren  $\mu\text{g/l}$  bis zu mehreren  $100 \mu\text{g/l}$  (Apollonio 1965; Irwin 1990; Hsiao 1992; Gradinger & Zhang 1997; Gradinger 1998a; Mock & Gradinger 1999; Gradinger et al. 1999). Apollonio (1965) berichtet von Spitzenwerten bis zu  $1,5 \text{ mg/l}$ . Es sind auch Chlorophyllmaxima im Eisinneren möglich (ca.  $5 \mu\text{g/l}$ ; Gradinger 1998a). Derartig hohe Chlorophyllkonzentrationen wurden in den Meereistümpeln bei weitem nicht erreicht. Hinzu kommt, daß wie auch bei der Salinität und den Nährstoffkonzentrationen die Chlorophyllkonzentrationen in der Sole höher sind als im geschmolzenen Eiskernsegment. Gradinger (1998a) fand in der Sole von Packeis aus der Grönlandsee Chlorophyllkonzentrationen zwischen  $0 \mu\text{g/l}$  an der Oberfläche und ca.  $4,5 \mu\text{g/l}$  Sole in den untersten Zentimetern der Scholle (Sommersituation). Im Frühjahr lagen die Werte entsprechend zwischen  $4,0 \mu\text{g/l}$  und  $20 \mu\text{g/l}$  Sole. Im Herbst wurden im Mittel bis zu  $55 \mu\text{g/l}$  Sole erreicht. Diese in der Sole zu messenden Werte liegen durchaus im Bereich der Chlorophyllmaxima der in aufgetauten Eiskernhorizonten aus den untersten Zentimetern des Meereises gemessenen Chlorophyllkonzentrationen (loc. cit.), so daß letztere in den Solekanälen noch höher sein dürften als dort angegeben.

Hieraus ergibt sich als weiterer Unterschied zwischen Meereistümpeln und dem Meereis eine geringere Chlorophyllkonzentration und damit eine geringere Algenbiomasse in den Tümpeln als im Solekanalsystem des Meereises. Als Gründe hierfür wären die geringen Nährstoffkonzentrationen und die geringe Salinität in den Meereistümpeln wie auch in den oberflächennahen Schichten der Meereisdecke zu diskutieren. Die Daten von Gradinger (1998a) lassen entsprechend auch einen Zusammenhang zwischen der Salinität und den Chlorophyllkonzentrationen vermuten, denn an der Eisoberfläche (oberste 25 % der Eiskerne) lag der Medianwert der Salinität im Frühjahr bei 50, im Herbst bei etwa 25, während die Chlorophyllkonzentrationen ca.  $50 \mu\text{g/l}$  betragen (Medianwerte). Eine Salinität von 25 kommt dem marinen Milieu schon recht nah und wird z. B. auch in der

ausgesüßten Oberflächenschicht des Meeres gefunden (Kap. 4.2.1.2), so daß Meereis- und marine Algen in Bezug auf die Salinität ihres Lebensraums akzeptable Lebensbedingungen vorfinden. Eine Salinität von 50 wie im Frühjahr ist für marine Organismen zwar ungewöhnlich hoch, für viele Eisalgen und die Eis-Meiofauna (Friedrich 1997) jedoch durchaus tolerabel. Eisdiatomeen können noch bei einer Salinität von 90 und einer Temperatur von  $-5,5^{\circ}\text{C}$  wachsen (Bartsch 1989). Auch überstehen sie mehrere Wochen bei einer Salinität von 145 unbeschadet (Bartsch 1989 in Spindler 1990). Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse und des langen dunklen Winters verwundern die bei einer Solesalinität von 50 im Frühjahr von Gradinger (1998a) immerhin gefundenen  $4\ \mu\text{g}$  Chlorophyll *a*/l nicht mehr. Im Sommer dagegen süßten die oberflächlichen Eisschichten aus, die Salinitäten lagen nach den Daten von Gradinger (1998a) vorwiegend zwischen 8 und 2 mit einem Medianwert von etwa 4, und die Chlorophyllkonzentrationen fielen auf  $0,1\ \mu\text{g/l}$  (Medianwert). Daß im Übergangsbereich von Brack- zu Süßwasser ohnehin ein Artenminimum bei einer Salinität von etwa 5 - 7 auftritt (Remane & Schlieper 1971), könnte als weiteres Indiz für geringe Chlorophyllkonzentrationen aufgrund ungünstiger, da zuwenig saliner Lebensbedingungen gewertet werden. Die sommerlichen Chlorophyll- und Salinitätsminima in den oberflächlichen Eisschichten sind wiederum mit den Verhältnissen in den Süßwassertümpeln auf Meereis vergleichbar, wie die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen.

In den Meereistümpeln wurden höhere POC- und PON-Konzentrationen gemessen, als aufgrund der geringen Chlorophyllkonzentrationen zunächst zu erwarten war. In den Eiskernen aus den oberflächennahen Schichten (Tiefenhorizonte 0 - 80 cm) waren die Chlorophyllkonzentrationen nach eigenen Ergebnissen ähnlich niedrig wie in den Meereistümpeln (Medianwerte  $<0,1\ \mu\text{g/l}$ ), die POC- und PON-Konzentrationen dagegen waren ausgehend von den Medianwerten in den neben den Tümpeln genommenen Eiskernen um den Faktor 5,4 (POC) bzw. 3,5 (PON) höher als in den zugehörigen drei Meereistümpeln, in denen der Medianwert  $85,1\ \mu\text{g POC/l}$  und  $10,9\ \mu\text{g PON/l}$  betrug (vgl. Tab. 10, Kap. 4.2.2.1). Entsprechend ergaben sich noch höhere Werte des POC : Chlorophyll *a*-Verhältnisses als in den Meereistümpeln. Aufgrund der sehr geringen Chlorophyllkonzentrationen und der relativ geringen Salinität in der Sole ist nicht zu erwarten, daß in den stark ausgesüßten Bereichen nahe der Meereisoberfläche ein hoher Biomasseanteil durch große heterotrophe Organismen (insbesondere Metazoa) gebildet wird, da die Nahrungsgrundlage für ihre Existenz nicht ausreicht. Vielmehr dürfte ein Großteil der partikulären Substanz refraktäres Material sein, das Grundlage für ein auf Detritus basierendes, bakteriendominiertes Nahrungsnetz bilden könnte.

Diese Hypothese wird durch die Untersuchungen von Gradinger et al. (1999) gestützt, die die Gemeinschaft in einem nur wenige Meter von Station 60 entfernt genommenen Eiskern von der Meereisoberfläche bis zur Unterseite analysierten. Die Biomasse in den oberen 60 cm des Eises wurde zu 70 bis 75 % von Bakterien gebildet, im Horizont 60-80 cm zu etwa 50 %, während der verbleibende Anteil aus photo- und heterotrophen Flagellaten bestand. Pennate Diatomeen traten erst ab einer Tiefe >80 cm auf. Auch Meiofauna wurde erst ab einer Tiefe >80 cm in zunächst geringer Zahl gefunden (<10 Individ./m<sup>3</sup> Eis). Die aufgrund mikroskopischer Untersuchungen und Messungen bestimmte Biomasse der Bakterien und Protisten lag in den oberen 80 cm des Vertikalprofils zwischen ca. 30 und 50 µg C/l (vgl. Abb. 6 in Gradinger et al. 1999). Nach eigenen Untersuchungen lagen die POC-Konzentrationen, bestimmt durch CHN-Analyse, in dem nur wenige Meter entfernt entnommenen Eiskern der gleichen Tiefenzone zwischen 306 und 805 µg POC/l, also etwa eine Größenordnung höher. Das POC:PON-Verhältnis betrug im Mittel 12,0, was für einen hohen Anteil detritalen Materials spricht (Lenz 1977). Dabei könnte es sich um die abgestorbenen Reste einer Eisgemeinschaft aus dem oder den Vorjahr/en (bei mehrjährigem Eis) handeln, die im Laufe des Winters oder durch die oberflächliche Aussüßung des Solekanalsystems im Sommer eingegangen ist. Es ist bekannt, daß Abnahmen der Salinität Eisorganismen durch osmotischen Schock schädigen können (Garrison & Buck 1986, Cota & Smith 1991a), insbesondere bei rasch erfolgenden Änderungen und im Falle empfindlicher Organismengruppen wie nackten Flagellaten und Ciliaten. Im Meereistümpel der Station 15 wurden bei einem POC:PON-Verhältnis von 8,9 relativ wenige eukaryotische Zellen, dafür aber ein großer Anteil von Aggregaten gefunden, die evtl. aus abgestorbenem Algenmaterial hervorgegangen sein könnten (vgl. Kap. 4.3.2). Durch die sommerlichen Abschmelzprozesse an der Eisoberfläche werden tiefere Eisschichten näher an die Eisoberfläche gehoben, so daß bei mehrjährigem Eis die ursprüngliche Eisunterseite über mehrere Sommer an die Eisoberfläche "wachsen" kann (Untersteiner 1961; Melnikov 1997). Auch Sandberg & Hegseth (1996) fanden in Meereis aus der Barents-See im Vergleich zu den POC- und PON-Konzentrationen sehr geringe Chlorophyllkonzentrationen und führen diese Diskrepanz auf einen hohen Anteil an nicht aus Algen bestehendem Material zurück. Gradinger (1999a) berechnete für arktische Meereis-Meiofauna eine mittlere Ingestionsrate von 1,8 mg C/m<sup>2</sup>/d. Rechnet man die Medianwerte der eigenen POC-Daten für die oberflächennahen Eisschichten (0-80 cm) und die Meereistümpel auf Flächeneinheiten hoch, ergibt sich ein Kohlenstoffpool von 70,5 mg C/m<sup>2</sup> (Meereis) bzw. 14,1 mg C/m<sup>2</sup> (Tümpel). Unter der Annahme, das 75 % dieses Kohlenstoffpools für Organismen verfügbar und 25 % refraktäres Material sind, könnte sich Meereis-Meiofauna hiervon rund 30 Tage (Eis) bzw. rund 6 Tage (Tümpel) ernähren. Das Fehlen der Meiofauna in den oberflächennahen Eisschichten dürfte somit eher auf abiotische Faktoren, z. B. eine zu geringe Salinität,

als auf Nahrungsmangel zurückzuführen sein. In den Meereistümpeln dagegen ist der Kohlenstoffpool deutlich kleiner und für die Ausprägung und Erhaltung einer vielzelligen Planktongemeinschaft, insbesondere eines Crustaceenplanktons wie in limnischen oder marinen Gewässern, vermutlich zu klein, zumal die Verdopplungszeiten der Bakterien und Protisten aufgrund der niedrigen Temperaturen länger als in Gewässern gemäßigter Breiten sind.

Ist auch die Biomasse in den oberflächlichen Eisschichten pro Volumeneinheit geschmolzenen Eises gering und mit den in den Meereistümpeln gefundenen Werten vergleichbar, so besteht dennoch ein großer Unterschied zu den unteren Zenti- bis Dezimetern des Meereises, da die Abundanz und Biomasse aller Organismen (Bakterien, Protisten, Metazoa) zur Eisunterseite hin zunimmt und in den unteren 2 - 10 cm des Eises meist ein Maximum erreicht. So ermittelten Gradinger et al. (1999) auf Basis mikroskopischer Messungen an Organismen für die unteren 6,5 cm des Eiskerns, der nahe meiner Station 60 entnommen wurde, eine Biomasse zwischen ca. 235 und 735  $\mu\text{g C/l}$ . Irwin (1990) ermittelte für Eisalgen aus der Bodenschicht von winterlichem Packeis vor Labrador mittlere POC-Konzentrationen von 6100  $\mu\text{g POC/l}$  bei einem mittleren POC : PON-Verhältnis von 7,2. Der Median der POC-Konzentrationen in Meereistümpeln betrug 85,1  $\mu\text{g POC/l}$ , der Maximalwert immerhin 313  $\mu\text{g POC/l}$ . In 50 % der Meereistümpel wurden jedoch nur Werte zwischen 48 und 124  $\mu\text{g POC/l}$  gemessen, so daß die Aussage gerechtfertigt ist, daß die Meereistümpel sowie insgesamt die Eisoberseite eine deutlich geringere Biomasse als die Eisunterseite aufweist. Da die POC-Messungen der vorliegenden Untersuchung auch den Kohlenstoffgehalt toten Materials beinhalten, während die Ergebnisse von Gradinger et al. (1999) sich allein auf die organismische Biomasse beziehen, ist davon auszugehen, daß die lebende Biomasse in den Meereistümpeln erheblich geringer ist als über den POC-Wert angegeben (siehe auch Kap. 5.3.2).

Für den Vergleich der Besiedlung der Meereistümpel mit den Gemeinschaften des Eisinneren ist zwischen den im Untersuchungsgebiet dominierenden Süßwasser- und oligomixohalinen Tümpeln mit Salinitäten zwischen 0 und 2 und den stärker brackigen Tümpeln wie z. B. Station 64 mit einer mittleren Salinität von 22 zu unterscheiden. Aufgrund von Salinitätsunterschieden ist somit zu differenzieren zwischen

- der Lebensgemeinschaft der Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel, in denen einzellige Grünalgen (Chlamydomphyceae, vor allem *Carteria* sp. und *Chlamydomonas* sp.) und für planktische Lebensräume typische Ciliaten (*Strombidium* spp.) dominieren, zentrale und pennate Diatomeen außer in Form leerer Schalen oder seneszenten Zellen nicht vorkommen und die mehrzellige Eis-Meiofauna fehlt (vgl. Kap. 4.2.4.5 und 5.2.4.2),

- der Lebensgemeinschaft der stärker brackigen Meereistümpel (vgl. Kap. 4.2.4.5 und 5.2.4.2), in der Diatomeen eine größere Bedeutung zukommt und in der Arten zu finden sind, die auch im marinen Milieu (z. B. die Ciliaten *Myrionecta rubra* und *Lohmaniella/Leegardiella* sowie die zentrale Diatomee *Attheya septentrionalis* und die pennaten Diatomeen *Nitzschia frigida* und *Nitzschia* spp.) oder im Solekanalsystem des Eisinneren vorkommen (z. B. *Nitzschia frigida*), und
- der Lebensgemeinschaft des Solekanalsystems im Eisinneren, in dem im allgemeinen höhere Salinitäten als in den Süßwasser- und schwach brackigen Meereistümpeln gegeben sind und neben photo- und heterotrophen Flagellaten (Ikävalko 1997; Ikävalko & Gradinger 1997; Gradinger 1999b) vor allem pennate Diatomeen und Organismen der Eis-Meiofauna auftreten. Die Bedeutung der pennaten Diatomeen und der Eis-Meiofauna erreicht in den unteren Zenti- bis Dezimetern des Eises ihr Maximum (Friedrich 1997; Gradinger 1999b). Die Eis-Meiofauna der Grönlandsee setzt sich aus Ciliophora (insbesondere Vertreter der Euplotidae sowie *Peritromus* sp. als dominante Gattung), Nematoda, Rotifera, Turbellaria, cyclopoiden und harpacticoiden Copepoda zusammen (Friedrich 1997; Gradinger et al. 1999). Innerhalb der Ciliophora dominieren gleitende Formen, die bevorzugt an Oberflächen bzw. benthisch und weniger im freien Wasser vorkommen (Agatha et al. 1993; Friedrich 1997; Sime-Ngando 1997a, b).

Der Hauptunterschied zwischen den Meereistümpel- und den Solekanal-Gemeinschaften des Meereises besteht darin, daß die Meereistümpel der Grönlandsee im allgemeinen mikrobiell dominierte, aus Bakterien, einzelligen Algen und Protozoen bestehende Gemeinschaften sind, in denen Diatomeen keine wesentliche Rolle spielen, während herbivore und räuberische Protisten (Ciliophora und z. T. Dinoflagellaten) an der Spitze der Nahrungspyramide stehen. Im Solekanalsystem dagegen sind zusätzlich zur mikrobiellen Gemeinschaft aus Bakterien, photo- und heterotrophen Flagellaten und Ciliaten Diatomeen und kleine Invertebraten zentrale Komponenten der Gemeinschaft. Diatomeen tragen in den tieferen Meereishorizonten wesentlich zur Primärproduktion bei, während kleine Invertebraten die Endkonsumenten der Produktion im Solekanalsystem sind. Die Ciliatenfauna der Meereistümpel unterscheidet sich von der Ciliatenfauna des Solekanalsystems: oligo- und choreotriche Ciliaten dominieren im Tümpelplankton, während im Solekanalsystem vor allem oberflächenaffine "benthische" Formen zu finden sind.



### **5.2.3 Vergleich der Meereistümpel mit meerwassergeprägten Lebensräumen und Diskussion der Frage nach der Herkunft der Meereistümpelgemeinschaft**

#### **5.2.3.1 Vergleich der Meereistümpel mit meerwassergeprägten Lebensräumen**

Meereistümpeln und dem marinen Milieu ist gemeinsam, daß sie - im Gegensatz zum Solekanalsystem des Meereises - planktische Lebensräume sind, wenn auch die Tümpel winzige "Inseln" auf dem Eis im Vergleich zur Dimension des Pelagials darstellen. Ein grundsätzlicher Unterschied besteht darin, daß die Meereistümpel des Untersuchungsgebiets vorwiegend Süßwasser- oder oligomixohaline Gewässer mit einer Salinität von maximal 2, einer geringen Leitfähigkeit und einem pH-Wert im sauren Bereich sind, während das Meerwasser naturgemäß einen höheren Salzgehalt aufweist, verbunden mit einer entsprechend höheren Leitfähigkeit und einem basischen pH-Wert. Die mittlere Salinität des Meerwassers im Arktischen Ozean beträgt 34,8 (Aagaard & Carmack 1989), wobei durch Schmelzwassereinträge eine Salinitätserniedrigung des Oberflächenwassers erfolgt, wie anhand der eigenen Ergebnisse auch gezeigt. So wurden 1994 im Oberflächenwasser Salinitäten zwischen 31 und 25,5 gemessen (Abb. 14, Kap. 4.2.1.2). Zwischen Eisschollen kann das Meerwasser von einer dünnen Süßwasserschicht aus Schmelzwasser überlagert werden, so daß bei ruhigem Wetter eine Salinität von 1 gefunden wird (Station 43, 1993). Im Gebiet der Nordostwasser-Polynja wurden 1993 während der Expedition ARK 9/3 in den oberen Wasserschichten Salinitäten <33 gemessen (Budéus et al. 1994). Die Salinitätsunterschiede zwischen Süßwasser-Meereistümpeln und dem marinen Milieu stellen unterschiedliche Anforderungen an die Physiologie der Organismen und bedingen daher ein unterschiedliches Arteninventar in Süßwasser-Meereistümpeln und Pelagial, wobei die größeren Dimensionen und höhere Produktivität des Arktischen Ozeans die Existenz einer größeren Bandbreite von Organismen ermöglicht, die vom Picoplankton bis zum Megaplankton, zu Fischen, Vögeln und Säugern reicht.

Die brackigen, d. h. meso- und polymixohalinen Meereistümpel unterscheiden sich jedoch von den Süßwassertümpeln und zeigen bei fast allen abiotischen Parametern (Salinität, pH-Wert, Leitfähigkeit, Silikat- und Phosphatkonzentration) signifikant höhere Werte, die mit den Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu vergleichbar sind. Unterschiede in den abiotischen Faktoren spiegeln sich in höheren Chlorophyll- und POC-Konzentrationen in den Brackwassertümpeln wider, die im Mittel doppelt so hoch (Chlorophyll) bzw. 1,5 mal so hoch wie in den Süßwassertümpeln waren. Die Chlorophyllkonzentrationen in den marinen

Oberflächenwasserproben waren mit  $0,11 \mu\text{g/l}$  jedoch höher als in den Brackwassertümpeln ( $0,08 \mu\text{g/l}$ ). Im Gegensatz dazu wiesen die Brackwassertümpel mit einem Median von  $132,8 \mu\text{g/l}$  sogar höhere POC-Konzentrationen als die marinen Oberflächenwasserproben auf (Median:  $86,8 \mu\text{mol/l}$ ), allerdings stimmten die Wertespannweiten beider Lebensräume gut überein. Da die Chlorophyllkonzentrationen in den Brackwassertümpeln eine große Spannweite von  $0,02 - 0,21 \mu\text{g/l}$  aufwiesen und die POC-Konzentrationen einen Detritusanteil enthalten (vgl. Kap. 5.2.2 und 5.3.2), ist davon auszugehen, daß die höheren POC-Konzentrationen in den Brackwassertümpeln zum großen Teil auf Detritus zurückzuführen sind.

Die insgesamt größere Ähnlichkeit der Brackwassertümpel mit dem marinen Milieu als mit den Süßwasser-Meereistümpeln spricht dafür, daß Meerwasser bei der Bildung dieser Tümpel eine Rolle gespielt hat, z. B. durch Überflutung im Bereich von Eispressungen und -brüchen (Deformationstümpel, vgl. Horner et al. 1992). Meerwassereintrag an der Grenzfläche Meereis/Schneeeauflage führt zur Bildung von Infiltrationsgemeinschaften auf arktischem (Buck et al. 1998) und antarktischem Meereis (u. a. Horner 1992). Abgesehen davon, daß es sich um ein interstitielles Habitat mit anderen Anforderungen an seine Bewohner als in planktischen Habitaten handelt, stellt dieser Lebensraum ebenfalls eine Mischung aus Meer- und Schmelzwasser dar, wenn auch der Meerwasseranteil dominiert (mittlere Salinität: 36,5 bei einer Spannweite von 20 - 39). Die Infiltrationszonen zeichnen sich durch hohe Chlorophyllkonzentrationen aus, die etwa um den Faktor 27 höher als in den Brackwassertümpeln sind, und Diatomeen bildeten 80 % der phototrophen Organismen. Auch die aus der Antarktis beschriebenen "crack pools" (Gleitz et al. 1996) weisen bei vergleichbaren Salinitätsbereichen um zwei Größenordnungen höhere Chlorophyll- und um eine Größenordnung höhere POC-Konzentrationen als die meso- und polymixohalinen Meereistümpel auf, gleichzeitig sind in den "crack pools" höhere Nährstoffkonzentrationen vorhanden. Die Existenz von meso- und polymixohalinen Tümpeln auf der Meereisoberfläche, die keine offensichtliche Verbindung zum Meer haben, kann auf Schmelzwasser aus Infiltrationszonen oder direkten Meerwassereintrag wie im Falle der Deformationstümpel und "crack pools" zurückzuführen sein. Eine dritte Möglichkeit ist, daß diese stark salzhaltigen Brackwassertümpel frühere Untereistümpel darstellen, die im Laufe des Eisdickenwachstums über mehrere Jahre bis an die Meereisoberfläche emporgehoben wurden (vgl. Kap. 5.2.3.2). Eine Entstehung ausschließlich aus Meereis ist aufgrund der hohen Salinität dieser Tümpel weniger wahrscheinlich.

Die meso- und polymixohalinen Meereistümpel stellen sich somit als meerwasserbeeinflusste Lebensräume dar, die eine Zwischenstellung zwischen der Gruppe der schmelzwassergeprägten Süßwasser- und oligomixohalinen Meereistümpel und dem marinen Milieu und anderen meerwassergeprägten Lebensräumen einnehmen. Dabei weisen sie größere Ähnlichkeit mit meerwassergeprägten Lebensräumen als mit den Süßwasser-Meereistümpeln auf.

### 5.2.3.2 Herkunft der Meereistümpelgemeinschaft

Der Vergleich der Verhältnisse in Meereistümpeln mit dem marinen Milieu bietet sich vor allem deshalb an, weil das Meerwasser eine potentielle Organismenquelle für die Besiedlung der Meereistümpel darstellt. Bei der Entstehung des Meereises aus Meerwasser werden Organismen aus dem marinen Milieu in das Eis eingeschlossen (u. a. Nansen 1906; Melnikov 1979 in Melnikov 1997; Spindler 1994; Gradinger & Ikävalko 1998). Da im Sommer mehr Eis von der Eisoberfläche als von der Eisunterseite abschmilzt und das Eisdickenwachstum im Winter an der Eisunterseite erfolgt (Untersteiner 1961), werden die unteren Schichten durch wiederholtes Abtauen der oberflächennahen und Anfrieren neuer Schichten an der Eisunterseite an die Eisoberseite befördert (Pounder 1965). Aus dem Meerwasser in das Meereis eingeschlossene Organismen dürften über den saisonalen Schmelz-/Gefrierzyklus nach ca. 2-3 Jahren wieder die Meereisoberfläche erreichen (Melnikov 1997). Das polare Meereis enthält nach eigenen Beobachtungen (Eis aus dem Tümpelboden von Station 9, vgl. Kap. 4.2.4.1) und Literaturangaben Ruhestadien verschiedener Protisten (Gradinger 1999b), u. a. Hypnozygoten von Dinoflagellaten (eigene Beobachtungen sowie Stoecker et al. 1992), Chrysophyceencysten und Ruhestadien von Diatomeen (Stoecker et al. 1992; Okolodkov 1992, 1993, 1997a). Nach dem Eintrag in Meereistümpel könnten diese Cysten bei Vorfinden günstiger Bedingungen keimen und als Saatpopulation dienen. So berichtete z. B. Usachev (1938, in Horner 1985), daß nach dem Auftauen einer Meereisprobe im Eis vorhandene Auxosporen von *Melosira granulata* auskeimten und "benthische" Diatomeenarten lebendig und bewegungsfähig waren. - Es ist im übrigen auch denkbar, daß die von Eicken (1994) und Gradinger (1996) untersuchten Untereistümpel auf die eben beschriebene Weise an die Meereisoberfläche gelangen und dort Brackwasser-Meereistümpel bilden.

Weiterhin könnten Organismen theoretisch über das Solekanalsystem aktiv oder, wie von Bursa (1963) für planktische marine Diatomeen beschrieben, über vertikal durchgeschmolzene Stellen im Eis (Schmelzlöcher) aus dem marinen Milieu in die Meereistümpel gelangen. Als dritte Möglichkeit der Besiedlung der Meereistümpel aus dem marinen Milieu heraus kommt der Kontakt zu Meerwasser über Wel-

lenschlag, Eispressungen und -brüche ("crack pools") und Windverfrachtung über die Gischt in Betracht (Gran 1904; Blessing (in Gran 1904); Meunier 1910, Usachev 1946; Horner et al. 1992; Gleitz et al. 1996; Wiktor et al. 1998). Eine weitere Möglichkeit ist Verbreitung von Organismen über Vögel, Robben und Eisbären.

Wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, sind die Meereistümpel im Bereich des Nordostgrönlandstroms vor allem Süßwasser- oder schwach brackige Habitats, so daß eine Besiedlung durch marine Organismen unabhängig vom Eintragspfad kaum möglich ist, sofern es sich nicht um ausgesprochen euryhaline Arten handelt. Entsprechend wurden in diesen Meereistümpeln Arten bzw. Taxa gefunden, die dem Süßwasserplankton kalter Standorte bzw. nivaler Habitats ähneln (vgl. Kap. 5.2.1). Anders sieht es jedoch bei den Brackwasser-Meereistümpeln aus, die nach eigenen Ergebnissen durchaus Salinitäten zwischen 16 und 22 und Leitfähigkeiten zwischen 23,5 und 33,7 mS/cm aufweisen und damit den Verhältnissen im Oberflächenwasser des marinen Milieus nahekommen. Dementsprechend war eine andere Zusammensetzung der Gemeinschaft als in den Süßwassertümpeln zu finden, wobei Arten und Gattungen auftraten, die auch aus dem Brackwasser- und marinen Bereich bekannt sind, z. B. die Ciliaten *Myrionecta rubra* und *Lohmaniella/Leegaardiella* sp., die zu den Prasinophyceen gehörige Alge *Pyramimonas* sp. und die Diatomee *Attheya septentrionalis* (vgl. Kap. 5.1.4.2). Die eben genannten Arten sowie Vertreter der auch in Meereistümpeln häufigen Gattung *Strombidium* wurden auch im Oberflächenwasser des Untersuchungsgebiets und angrenzender Gebiete nachgewiesen (Antia 1991; Reitmeier 1994; Auf dem Venne 1994; Thomsen & Østergaard 1994; Hansen et al. 1996; Hellum von Quillfeldt 1997; Okolodkov 1996b, 1997c). Oligo- und choreotriche Ciliaten der Gattungen *Strombidium* und *Rimostrombidium* zeichnen sich nach Ergebnissen von Agatha (1995) durch eine ausgeprägte Euryhalinität aus. So wurde z. B. *Strombidium conicum* in norddeutschen Küstengewässern bei Salinitäten zwischen 2 und 32 beobachtet, wobei das Abundanzmaximum bei Salinitäten zwischen 12 und 24 lag. Gradinger (1996) konnte eine *Pyramimonas*-Blüte in einem "Untereis-Tümpel", d. h. einer Brackwasserlinse an der Meereisunterseite, bei einer Salinität von 9,1 nachweisen. *Myrionecta rubra* wurde ebenfalls in beträchtlicher Abundanz in 5 - 20 cm Abstand von der Meereisunterseite gefunden (Gradinger & Baumann 1991). Auch Sime-Ngando et al. (1997a, b) berichten vom Auftreten dieses Ciliaten in hohen Abundanzen sowohl im Plankton als auch in den unteren Zentimetern des Meereises. Bei der Eisbildung im Herbst könnten diese Organismen somit durchaus ins Meereis eingeschlossen werden und auf diese Weise in die Meereistümpel gelangen. Über Wellenschlag und Eisbrüche sowie über Windverfrachtung von Gischt können diese Organismen ebenfalls auf die Eisoberfläche und in die Meereistümpel eingetragen werden. Das Auftreten von *Myrionecta rubra* in Brackwassertümpeln auf Meereis läßt sich daher als Hinweis darauf deuten, daß

diese Tümpel durch direkten Kontakt mit Meerwasser entstanden sind (crack pools, Wellenschlag). Das Vorkommen von *M. rubra* in den vor langer Zeit aus Meerwassertaschen entstandenen Seen der Vestfold Hills (Antarktis) wird auch auf diesen allerdings frühen Kontakt zu Meerwasser zurückgeführt (Perriss et al. 1995), wobei die Art offenbar in der Lage ist, im vegetativen Zustand zu überwintern, Cystenbildung ist nicht bekannt (Gibson et al. 1997). Die Art wurde jedoch in antarktischem Festeis (Stoecker et al. 1992), im Meereis des Lake Saroma vor der japanischen Küste (Sime-Ngando et al. 1993, 1997a) und in den unteren Bereichen von einjährigem Festeis der kanadischen Arktis gefunden (Sime-Ngando et al. 1997b), so daß das Einwandern von *M. rubra* über das Solekanalsystem oder die abschmelzenden oberflächennahen Meereisschichten in die Brackwasser-Meereistümpel ebenfalls ein möglicher Eintragsmechanismus ist. *M. rubra* toleriert in unseren Breiten Salinitäten zwischen 2 und 32, wobei die Art nur bei Salinitäten >14 gehäuft auftritt und ihr Abundanzmaximum bei Salinitäten zwischen 23 und 31 erreicht (Agatha 1995).

Die Herkunft der Organismen in den Brackwasser-Meereistümpeln aus dem marinen Milieu ist also wahrscheinlich, auch kommen Organismen aus dem Solekanalsystem in Betracht.

Die Besiedlung der Süßwasser- und schwach brackigen Meereistümpel erfolgt primär durch kryophile Organismen aus der arktischen Schnee- und Gletscherumwelt (vgl. Kap. 5.2.1), die mit dem Schneeschmelzwasser in die Meereistümpel eingetragen werden. Insbesondere nach dem Abschmelzen der Schneeaufgabe wird Schmelzwasser aus den oberen Lagen des Meereises eingetragen, die nach eigenen Beobachtungen und Literaturangaben (s. o.) zahlreiche Cysten und andere Ruhestadien enthalten. Parallel fließen Schneeschmelzwasser und Schmelzwässer aus den oberen Meereislagen in das Meer ab und bilden dort zusammen mit dem von der Eisunterseite abschmelzenden Eis eine ausgesüßte Oberflächenschicht (Coachman & Aagaard 1974; vgl. Kap. 2). Weiterhin entwässern Flüsse und auch viele Seen an der nordostgrönländischen Küste (z. B. der in dieser Arbeit auch untersuchte Noa Sø; Melles et al. 1995) in das Meer, darüber hinaus fließt Schmelzwasser von Gletschern ab, und es erfolgen Süßwassereinträge über abschmelzende Eisberge. Daher enthält die stabile Oberflächenschicht eine Mischung aus Süßwasser-, Schnee-, Gletschereis-, Meereis- und Meereistümpelorganismen sowie marinen Organismen, die - im Falle ihres Überlebens oder Überdauerns dieser Bedingungen - bei der Neueisbildung im arktischen Herbst wieder in das Meereis eingeschlossen werden können. In Meereistümpeln auftretende Organismen wurden auch in der durch Schmelzwasser ausgesüßten Oberflächenschicht des marinen Milieus gefunden (Nansen 1906, Meunier 1910, Melnikov 1997; Okolodkov 1997b). Melnikov (1979, zitiert in

Melnikov 1997) berichtet, daß drei der (Süßwasser-)Chlorophyceenarten aus dem Schmelzwasser an der Meereisoberfläche auch in Schmelzwasserlinsen unterhalb des Meereises (d. h. in Untereistümpeln) auftraten. Er geht davon aus, daß diese Organismen mit der Drainage des Schmelzwassers von der Oberfläche an die Eisunterseite verfrachtet werden, dort Sporen bilden und im neuen Eis, das an der Eisunterseite gebildet wird, überdauern. Weiterhin fand Usachev (1938, in Horner 1985) in den mittleren Schichten zweijähriger Eisschollen Süßwasserarten von Grünalgen.

Es ist daher wahrscheinlich, daß die Besiedlung der Süßwasser- und schwach brackigen Meereistümpel sowie der stark ausgesüßten Zonen des Solekanalsystems außer durch über schmelzenden Schnee erfolgende Organismeneinträge auch "von unten" erfolgt, d. h. über das Einfrieren von Organismen aus der ausgesüßten Oberflächenschicht des marinen Milieus in das Meereis und "Hochwandern" dieser Zonen im Laufe des mehrjährigen Eiswachstums. Auch ein erneuter Organismeneintrag über "mehrjährige" Meereistümpel ist denkbar. Der Haupteintragspfad von Organismen in die Meereistümpel ist der Eintrag über den Schnee und das Eis der abschmelzenden Meereisoberfläche. Im Rahmen weitergehender Untersuchungen sollte insbesondere die quantitative Rolle der Windverfrachtung von Organismen sowie die quantitative und Artenzusammensetzung einschließlich der Keimfähigkeit der zahlreichen im Meereis vorhandenen Ruhe- und Dauerstadien geklärt werden. Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit läßt sich ein Kreislauf kryophiler Organismen der Schnee- und Gletscher- sowie der Süßwasserumwelt postulieren, der über Windverfrachtung und Schmelzwassereinträge ins Meer mit anschließendem Wiedereinschluß in das Meereis dafür sorgt, daß sich über die Jahrhunderte ein Pool von Meereistümpelbesiedlern im Arktischen Ozean, speziell in der ausgesüßten Oberflächenschicht, etabliert hat und erhält.

### 5.3 Bedeutung der Meereistümpel für das System Meereis

#### 5.3.1 Physikalische Aspekte

Die Meereistümpel bedeckten im Mittel etwa 20 - 25 % der Meereisfläche des Untersuchungsgebiets, wobei lokal Bedeckungsgrade bis zu 70 % erreicht wurden, insbesondere in Festeisgebieten. In anderen Regionen des Arktischen Ozeans wurden vergleichbare Werte festgestellt. Dies unterstreicht die große physikalische Bedeutung der Meereistümpel, da sie aufgrund ihrer Eigenschaften und ihres großflächigen Vorkommens die Energie-, Massen- und Süßwasserbilanzen des Meereises stark beeinflussen und daher in Modellrechnungen, aber auch in der Fernerkundung keinesfalls vernachlässigt werden dürfen (Grenfell & Maykut 1977; Eicken et al. 1994; Morassutti & LeDrew 1995, 1996; Derksen et al. 1997; El Naggar et al. 1998; Perovich et al. 1998; Barber & Yackel 1999).

Aufgrund ihrer im Vergleich zum tümpelfreien Meereis niedrigen Albedo und der hohen Wärmespeicherkapazität des Wassers absorbieren und speichern die Meereistümpel große Mengen der einfallenden Sonnenstrahlung und leisten damit einen wesentlichen Beitrag zum Abschmelzen der Meereisdecke (u. a. Untersteiner 1961; Wadhams 1981). Das Verhältnis der Ablationsraten von tümpelfreiem zu tümpelbedecktem Meereis beträgt 1 : 2,5 (Untersteiner 1961). Damit tragen die Meereistümpel erheblich dazu bei, daß die Meereisoberfläche schneller abschmilzt als die Meereisunterseite, wodurch in das Meereis eingefrorene Organismen im Laufe von ca. 2 - 3 Jahren an die Meereisoberfläche transportiert werden können (Melnikov 1997), und daß große Mengen Schmelzwassers und die darin gespeicherte Wärme lateral und vertikal in das Meer abfließen und zur Ausbildung der sommerlichen stabilen Schichtung beitragen. Dies ist gleichzeitig von Bedeutung für die Existenz der Meereistümpelgemeinschaften, denn auf diese Weise steht über den Weg Meereisoberfläche → Eintrag in das marine Milieu → Überleben bzw. Überdauern in der stabilen, ausgesüßten oder stärker brackigen Oberflächenschicht → Wiedereinschluß ins Meereis und "Hochwachsen" im Laufe der Gefrier/Abschmelzzyklen ein Pool von Organismen vielfältiger Herkunft (Schnee, Meereistümpel, Meereis, Meerwasser, in Landnähe auch Einträge aus Flüssen, Seen, Gletschern) für die Besiedlung der neuer Meereistümpel zur Verfügung (vgl. Kap. 5.2.1 und 5.2.3).

Weiterhin sind Meereistümpel "Fenster im Eis" (Perovich et al. 1998), die den lateralen und vertikalen Licht- und Wärmetransfer innerhalb des Eises verstärken und die Lichtdurchlässigkeit des Meereises erhöhen. Dies führt zum einen dazu, daß das Eis im Bereich der Meereistümpel im allgemeinen am dünnsten ist und gleichzeitig das höchste Solevolumen enthält (Grenfell & Maykut 1977), so daß

diese Bereiche potentielle Bruchzonen der Meereisdecke darstellen (Haas 1997). Aufgrund der erhöhten Lichtdurchlässigkeit stellen die Meereistümpel ferner eine wichtige indirekte Energiequelle für die Photosynthese der Eisalgen, aber auch des Phytoplanktons im darunterliegenden Ozean dar (Maykut & Grenfell 1975 in Grenfell & Maykut 1977). Nach Ebert et al. (1995) gelangt in tümpelbedeckten Gebieten etwa 50 % mehr Sonnenenergie in das Meereisinnere als in tümpelfreien Gebieten. Auch stehen Meereistümpel oft mit der Ausprägung von "Untereistümpeln" (Eicken 1994) in Zusammenhang, d. h. dem Auftreten von Schmelz- bzw. Brackwasserlinsen an der Eisunterseite, die eine hohe Produktivität aufweisen können (Gradinger 1996). Darüber hinaus leisten auch die Organismen in den Meereistümpeln analog zu den Eisalgen (Zeebe et al. 1996) durch Absorption von Sonnenlicht und Umwandlung in Wärme einen, wenn auch kleinen, Beitrag zum Abschmelzen des Meereises. Die in den Meereistümpeln gespeicherte Wärme verzögert im Herbst das Eisdickenwachstum und das Durchfrieren der Tümpel, wodurch das Habitat auch noch unter einer dicken Eisdecke zu existieren vermag. Durch das Einsinken in die Meereisoberfläche aufgrund ihrer niedrigeren Albedo verändern Meereistümpel die Topographie. Es entstehen Senken und Erhebungen (engl. "hummocks") an der Meereisoberfläche, die die Existenz "mehrjähriger" Tümpel, d. h. die Wiederentstehung eines Meereistümpels am selben Ort im nächsten Jahr, ermöglichen. Physikalische Faktoren und Biologie sind somit eng miteinander verknüpft. Es ist zu erwarten, daß das SHEBA-Projekt (Surface Heat Budget of the Arctic Ocean; Moritz et al. 1993) weitere Erkenntnisse zu physikalischen und vielleicht auch biologischen Aspekten der Meereistümpel hervorbringen wird.

#### 5.3.2 Biologische Aspekte

Die Meereistümpel ermöglichen eine planktische Lebensweise im ansonsten interstitiellen Lebensraum des Meereises. Zusammen mit den Schmelzwasserkanälen konzentrieren und kanalisieren sie das Schmelzwasser und darin enthaltene Organismen (z. B. Schneeealgen) und Stoffe aus einem großen Einzugsgebiet. Gleichzeitig erlauben sie großräumige Transporte von Organismen und Stoffen auf der Eisoberfläche, die insbesondere im Frühsommer mit dem Abfließen in das Meer verbunden sind. Hierdurch tragen sie indirekt zu Nährstoffeinträgen in den Ozean bei. Das Abfließen des Schmelzwassers in das Meer ist zunächst mit dem Abfluß von Organismen selbst verbunden und daher von Nachteil für potentielle Meereistümpelbesiedler, kann aber die Existenz und großräumige Verbreitung eines Organismenpools im marinen Milieu für die zukünftige Besiedlung weiterer Meereistümpel sichern (vgl. Kap. 5.2.3.2).



Wie in dieser Arbeit dargestellt, gehören Schneevalgen zu den frühen Besiedlern der Meereistümpel. Schneevalgen haben meist begeißelte Fortpflanzungsstadien (u. a. Hoham 1975a, 1975b; Hoham et al. 1983) und sind daher zur Vollendung ihres Lebenszyklus auf freies bzw. Schmelzwasser angewiesen. Daher sind Meereistümpel möglicherweise wichtig für die Reproduktion und Verbreitung der Schneeflora, die die Schneeeauflage des Meereises besiedelt (Gradinger & Nürnberg 1996) und die gleichzeitig eine wichtige Komponente des Nahrungsnetzes in den Meereistümpeln darstellt, da sie die Pionierbesiedler und -primärproduzenten dieses Lebensraums sind. Die Meereistümpel beeinflussen auch die Lebensbedingungen der Solekanalgemeinschaft im Eisinneren, da aufgrund der stärkeren Lichtdurchlässigkeit und des hydrostatischen Drucks im Bereich der Meereistümpel eine stärkere Aussüßung des Eises durch Schmelzwasser erfolgt als in tümpelfreien Regionen (vgl. Kap. 5.3.1).

Anhand der in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse soll im folgenden der Beitrag der Meereistümpel zur Produktion des Systems Meereis im Gebiet des Nordostgrönlandstroms abgeschätzt werden. In die Berechnungen gingen die Medianwerte der Chlorophyll- und POC-Konzentrationen ein. Auf Basis einer mittleren Flächenausdehnung der Meereistümpel von 115 m<sup>2</sup>, einer mittleren Wassertiefe von 14,3 cm (Medianwerte aller Meereistümpel) und eines durchschnittlichen POC-Gehalts der mikroskopisch ausgewerteten Stationen (n = 10) von 54,1 µg/l ergibt sich ein flächenbezogener Beitrag der Meereistümpel zum partikulären organischen Kohlenstoffgehalt des Meereises von 7,7 mg C/m<sup>2</sup> (Tab. 36). Maximal werden 27,4 mg C/m<sup>2</sup> Tümpelfläche erreicht.

Der partikuläre organische Kohlenstoffgehalt der Meereistümpel setzt sich aus der organismischen Biomasse (Bakterien, photo- und heterotrophe Eukaryota) und einem Detritus-Anteil zusammen (Tab. 36). Um die Anteile der organismischen Biomasse und des Detritus trennen zu können, wurde der Anteil des organismengebundenen Kohlenstoffs am Gesamt-POC-Gehalt wie folgt ermittelt: Die bakterielle Biomasse der Meereistümpel ergibt sich aus dem mikroskopisch bestimmten Biovolumen und liegt im Mittel bei 0,5 mg Kohlenstoff/m<sup>2</sup>, maximal bei 1,5 mg Kohlenstoff/m<sup>2</sup> Tümpelfläche. Der in der phototrophen Fraktion der Meereistümpelgemeinschaft festgelegte organische Kohlenstoffgehalt ("Algen-Kohlenstoff") läßt sich anhand der Chlorophyll *a*-Konzentrationen errechnen und beträgt im Mittel 0,2 mg C/m<sup>2</sup>, wenn ein Kohlenstoff : Chlorophyll *a*-Verhältnis von 43 zugrundegelegt wird (Tab. 36). Dieser Umrechnungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der über das Biovolumen ermittelten phototrophen Biomasse und der Chlorophyll *a*-Konzentration an Station 45 (2,6 µg C/l; 0,06 µg Chl. *a*/l). Der Faktor liegt im Rahmen der Werte, die in der Literatur verwendet werden und eine Spannweite von 20 - 200 umfassen, wobei der Umrechnungsfaktor 200 für

Tab. 36: Abschätzung des Beitrags der Algen-, Bakterien- und Protozoenbiomasse sowie von Detritus zum POC-Gehalt von Meereis-tümpeln (n = 10). Aus der Differenz zwischen dem POC-Gehalt, der Algen- und Bakterienbiomasse sowie der Biomasse der heterotrophen Eukaryota (in den Meereis-tümpeln durch Protozoen repräsentiert) ergibt sich der Detritus-Anteil am partikulären organischen Kohlenstoffgehalt. Der Abschätzung der Algenbiomasse liegt ein Kohlenstoff- zu Chlorophyll *a*-Verhältnis von 43 zugrunde (s.Text). Die bakterielle Biomasse wurde über das Biovolumen ermittelt. Die flächenbezogene Berechnung erfolgte auf Basis einer mittleren Größe von 115 m<sup>2</sup> und einer mittleren Wassertiefe von 14,3 cm

	POC-Konzentration		Algenbiomasse (C: Chl. <i>a</i> = 43)		Bakterienbiomasse		Protozoenbiomasse		Detritus	
	[µg/l]	[mg/m <sup>2</sup> ]	[µg C/l]	[mg C/m <sup>2</sup> ]	[µg C/l]	[mg C/m <sup>2</sup> ]	[µg C/l]	[mg C/m <sup>2</sup> ]	[µg C/l]	[mg C/m <sup>2</sup> ]
Median	54,1	7,7	1,5	0,2	3,2	0,5	3,0	0,4	46,4	6,6
Min.	22,4	3,2	0,4	0,1	0,4	0,1	1,2	0,2	--	--
Max.	191,7	27,4	17,2	2,5	10,5	1,5	10,5	1,5	--	--

extreme Starklichthabitate gilt (Smith & Sakshaug 1990). Als Höchstwert werden demnach im Untersuchungsgebiet 2,5 mg Algen- Kohlenstoff/m<sup>2</sup> Tümpelfläche erreicht. Aus der Differenz zwischen dem partikulären organischen Kohlenstoffgehalt und dem Algen- und bakteriellen Kohlenstoffgehalt ergibt sich als gemeinsamer Anteil der heterotrophen Eukaryota und des Detritus ein mittlerer Wert von 7,0 mg C/m<sup>2</sup> Tümpelfläche. Da die heterotrophen Eukaryota in den Meereistümpeln nach den Ergebnissen dieser Arbeit ausschließlich durch Protozoen repräsentiert werden, ist dieser Wert die Summe aus Protozoenbiomasse und Detritus.

Für die Stationen 15 und 45 wurde zusätzlich zur bakteriellen Biomasse auch die organismische Biomasse der Protisten auf Basis des mikroskopisch ermittelten Biovolumens der Zellen bestimmt. Für die Protozoenbiomasse ergaben sich Werte von 0,6 µg C/l (Station 15) und 6,4 µg C/l (Station 45). Bezogen auf die POC-Konzentration dieser Tümpel ergibt sich ein Anteil der Protozoen von 2,5 % (Station 15) bzw. 8,6 % (Station 45). Diese Anteile lassen sich als Basis für die Abschätzung der durchschnittlichen Protozoenbiomasse auch in anderen Meereistümpeln heranziehen. Danach beträgt die Protozoenbiomasse im Durchschnitt ca. 5,5 % des jeweils ermittelten POC-Gehaltes. Für die zehn betrachteten Meereistümpel ergibt sich nach dieser Abschätzung eine mittlere Protozoenbiomasse von 3,0 µg C/l (Median) bei einem Minimum von 1,2 µg C/l und Maximum von 10,5 µg C/l (Tab. 36).

Der Detritusanteil kann somit aus der Differenz zwischen dem partikulären organischen Kohlenstoffgehalt und der organismischen Biomasse berechnet werden und beträgt im Mittel 6,6 mg C/m<sup>2</sup> (Tab. 36), so daß im Durchschnitt 85,8 % des durch die POC-Messung erfaßten Kohlenstoffs in den Meereistümpeln nicht in Organismen festgelegt ist, sondern offenbar Detritus darstellt. Dieser Anteil variiert zwischen einem Minimum von 77 % und Maximum von 90 %. Bezogen auf die Tümpelfläche trägt die Biomasse der Protozoen 0,4 mg C/m<sup>2</sup> zum flächenbezogenen organismischen Kohlenstoffgehalt bei (Tab. 36).

Die Berechnungen für die Stationen 15 und 45 ergeben einen Anteil der Protozoenbiomasse von 2,5 % (Station 15) und 8,5 % (Station 45) am POC-Gehalt und zeigen gleichzeitig, daß eine saisonale Zunahme der Protozoenbiomasse erfolgt (vgl. Kap. 4.3.2). Ein Detritusanteil von >80 % muß deshalb als Näherungswert angesehen werden, da die Protozoenbiomasse zu Beginn des Sommers überschätzt, zum Ende des Sommers unterschätzt wird. Der hohe Detritusanteil der Station 15 war mikroskopisch zu erkennen, da amorphe Aggregate in einer Abundanz von  $2,4 \times 10^5/l$  beobachtet wurden. An Station 45 traten diese Aggregate

nicht mehr auf. Die Ergebnisse zeigen ferner, daß sich der tatsächliche Anteil des Detritus an der partikulären organischen Substanz nur schwer abschätzen läßt, wenn keine zusätzliche Bestimmung der organismischen Biomasse erfolgt.

Nach der vorgenommenen Berechnung der Algenbiomasse auf Basis der mittleren Chlorophyll-Konzentration (Tab. 36) ergibt sich mit 2,8 % ein sehr geringer Beitrag des Algenkohlenstoffs zum partikulären organischen Kohlenstoffgehalt der Meereistümpel. Dieses Ergebnis deutet auf eine Unterschätzung der Algenbiomasse bei der Verwendung eines Faktors von 43 hin. Würde stattdessen das von Smith & Sakshaug (1990) als Maximalwert für Starklichthabitats genannte Kohlenstoff : Chlorophyll *a*-Verhältnis von 200 verwendet, ergäbe sich mit 12,9 % ein höherer Anteil des Algen-Kohlenstoffs am POC-Gehalt. Gleichzeitig würde sich der Detritus-Anteil auf 75,6 % erniedrigen. Da der Umrechnungsfaktor von 43 das mikroskopisch ermittelte Biovolumen der phototrophen Zellen berücksichtigt, ist davon auszugehen, daß der Faktor realistisch ist. Für Eisalgen werden Faktoren zwischen 24 (Hegseth 1992; Gradinger 1998a; 1999b) und 30 verwendet (Gradinger & Zhang 1997), so daß der höhere Faktor von 43 die aufgrund der Starklichtbedingungen in den Meereistümpeln geringeren Chlorophyllkonzentrationen pro Zelle widerspiegelt. Höhere Kohlenstoffgehalte pro Algenzelle könnten auch für eine Investition von Kohlenstoffeinheiten in Lichtschutzmechanismen sprechen.

Der geringe Anteil der Algenbiomasse von 19,4 % an der organismischen Biomasse der Meereistümpel läßt sich als Indiz für Grazing-Prozesse in den Meereistümpeln interpretieren. Aufgrund der begrenzten Ressourcen im Meereistümpelwasser muß die Lebensgemeinschaft alle Ressourcen bestmöglich nutzen, umsetzen und rezyklieren. Daher können diese Ergebnisse einen Zustand widerspiegeln, in dem ein Großteil der phototrophen Biomasse der Meereistümpel als heterotrophe eukaryotische Biomasse festgelegt ist, weil der Wegfraß größer als die Neuproduktion von Algenbiomasse ist. Hierfür spricht auch der vergleichsweise hohe Anteil der Protozoen an der organismischen Biomasse (39,0 %). Den höchsten Anteil an der organismischen Biomasse der Meereistümpel bildeten die Bakterien mit 41,6 %. Dies läßt den Schluß zu, daß der hohe Detritus-Anteil in den Meereistümpeln eine wichtige Kohlenstoffquelle für die Bakterien und vermutlich auch für die Protozoen darstellt. Somit trifft die Aussage von Okolodkov (1997a) und Melnikov (1997), nach der die Meereistümpel und die schmelzwasserdominierten oberflächlichen Eisschichten Thanatozönosen, d. h. Friedhofsgemeinschaften darstellen, teilweise zu. Für Zersetzergemeinschaften typische Protozoen wie bodonide Flagellaten und Amöben wurden im Meereistümpelplankton jedoch nicht gefunden.

Ein hoher Detritusanteil in den Meereistümpeln war zunächst nicht zu erwarten, da das molare C:N-Verhältnis in der partikulären organischen Substanz der Meereistümpel bei 7,8 (Medianwert) liegt, für Detritus dagegen einen Wert von 10 und mehr annehmen würde (Lenz 1977). Danach wäre in den Meereistümpeln keine detritusdominierte Situation gegeben. Lenz (1977) gibt für die Ostsee einen Anteil von 20 - 30 % Detritus an; verglichen mit diesem Wert liegt in den Meereistümpeln ein mehr als dreifach so hoher Wert vor.

Es bleibt die Frage offen, woraus der hohe Detritus-Anteil von 85,8 % am POC-Gehalt der Meereistümpel besteht, denn außer in den "frühen" Meereistümpeln (Stationen 9, 12, 13, 15) wurden bei der mikroskopischen Untersuchung keine nennenswerten Anteile an Detritus gefunden. Auch vergehende Diatomeen waren in den meisten Tümpeln eher selten zu finden. Ein Beitrag vielzelliger Zooplankter zum vermeintlichen Detritusanteil ist nicht ausgeschlossen, aufgrund der vergleichsweise geringen Abundanzen von Beuteorganismen und des Fehlens von Metazoa auch in den oberen ausgesüßten Meereisschichten jedoch nicht wahrscheinlich (vgl. Kap. 5.3.2). Als Möglichkeit kommt das Vorkommen von TEPS (transparente extrazelluläre polymere Substanzen) in Betracht, die im Meereis (Krembs 1997; Krembs & Engel 2001) wie auch in anderen Gewässern (Alldredge et al. 1993) einen Beitrag zum organischen Kohlenstoffpool leisten. Diese partikuläre organische Substanz ist im Mikroskop nur mit speziellen Färbemethoden nachweisbar. Für das Vorkommen derartiger Substanzen spricht, daß trotz vergleichsweise geringer Zellzahlen und des klaren Wassers die Filtration der Wasserproben oft ungewöhnlich lange dauerte. Ihr Eintrag könnte über das tauende Meereis erfolgen. Denkbar ist aber auch eine Neubildung in den Tümpeln aus eingetragenen oder von der Organismen freigesetzten Stoffen unter Lichteinfluß.

Für den Vergleich der Produktion bzw. Biomasse der Meereistümpel mit der Biomasse des Meereises sind die Untersuchungen von Gradinger et al. (1999) im Packeis der Grönlandsee besonders gut geeignet, da sie zum Teil während derselben Expedition (ARK 10/1) und auf denselben Eisschollen wie die eigenen Meereistümpeluntersuchungen erfolgten. Gradinger et al. (1999) ermittelten eine die gesamte Eisdicke einbeziehende kumulative Biomasse von 195,6 mg C/m<sup>2</sup> (Tab. 37). Dieser Wert wurde nicht durch die Messung des partikulären organischen Kohlenstoffgehalts, sondern mittels mikroskopischer Bestimmung des organismischen Biovolumens bestimmt und dürfte somit keinen oder einen nur geringen Detritus-Anteil enthalten. Unter Zugrundelegung der von Friedrich (1997) für das Untersuchungsgebiet ermittelten mittleren Eisdicke von 2,70 m ergibt sich ein organismischer Kohlenstoffgehalt des Meereises (Friedrich 1997) von 7,2 mg C/m<sup>2</sup> pro Dezimeter Schichtdicke. In den Meereistümpeln beträgt der partikuläre

Tab. 37: Vergleich der Biomasse in Meereistümpeln (diese Arbeit) mit der Biomasse im Meereis der Grönlandsee nach Daten von Gradinger et al. (1999). Der mittlere partikuläre Kohlenstoffgehalt der Tümpel von 7,7 mg C/m<sup>2</sup> Tümpelfläche wurde auf eine Schichtdicke von 10 cm bezogen, um einen besseren Vergleich mit dem über die gesamte Eisdicke von 2,70 m (Friedrich 1997) ermittelten kumulativen Wert von 195,6 mg C/m<sup>2</sup> Meereisfläche von Gradinger et al. (1999) zu ermöglichen. \*: Der partikuläre organische Kohlenstoffgehalt der Meereistümpel enthält einen Detritus-Anteil, dessen Abschätzung nach der im Text beschriebenen Vorgehensweise erfolgte. Die Daten von Gradinger et al. (1999) beziehen sich ausschließlich auf organische Biomasse

Komponente	Meereistümpel		Meereis	
	Mittlerer Beitrag zum POC-Gehalt [mg C/m <sup>2</sup> ]	Biomasse pro 0,1 m Wassertiefe [mg C/m <sup>2</sup> ] / [%]	Mittlere Biomasse (Gradinger et al. 1999) [mg C/m <sup>2</sup> ]	Biomasse pro 0,1 m Schichtdicke [mg C/m <sup>2</sup> ] / [%]
<b>Algen</b>	0,2	0,2 / 2,8	84,2	3,1 / 43,1
<b>Bakterien</b>	0,5	0,3 / 6,5	60,8	2,3 / 31,9
<b>Protozoa*</b>	0,4	0,3 / 5,2	44,4	1,6 / 22,2
<b>Metazoa</b>	0,0	0,0 / -	6,2	0,2 / 2,8
<b>Summe der Organismen-Biomasse</b>	<b>1,1</b>	<b>0,8 / 14,5</b>	<b>195,6</b>	<b>7,2 / 100,0</b>
<b>Detritus</b>	<b>6,6</b>	<b>4,6 / 85,5</b>	-	- / -
<b>Gesamt-POC</b>	<b>7,7</b>	<b>5,4 / 100,0</b>	<b>195,6</b>	<b>7,2 / 100,0</b>

organische Kohlenstoffgehalt 5,4 mg C/m<sup>2</sup> pro Dezimeter Wassertiefe, die organische Biomasse aufgrund des hohen Detritusanteils jedoch nur 0,8 mg C/m<sup>2</sup> pro Dezimeter Wassertiefe. In den Meereistümpeln existiert somit im Durchschnitt 11 % der im Meereis gefundenen Organismenbiomasse, wobei zu berücksichtigen ist, daß mögliche "hot spots" der Produktivität in Meereistümpeln wie Kryokonitlöcher im Tümpelboden und Algenflocken nicht in die Untersuchungen einbezogen wurden. Im Vergleich mit der organismischen Gesamtbio­masse von 195,6 mg C/m<sup>2</sup> Meereis ohne Umrechnung auf eine einheitliche Schichtdicke ergibt sich ein mittlerer Beitrag der Meereistümpel zur organismischen Biomasse des Meereises von < 1%.

Dieses Ergebnis paßt zu den Einschätzungen anderer Autoren, die den Meereistümpeln aufgrund ihrer sehr niedrigen Chlorophyllkonzentrationen eine allgemein geringe Bedeutung zugesprochen haben (English 1961; Melnikov 1997). Die Algenbiomasse ist tatsächlich gering im Vergleich zu den Maxima, die regelmäßig in den unteren Zentimetern des Meereises erreicht werden (u. a. Hsiao 1980; Irwin 1990; Cota et al. 1991; Gosselin et al. 1997; Gradinger & Zhang 1997; Gradinger et al. 1999), aber auch im Eisinneren auftreten (Gradinger 1999b) und 3 bis 4 Größenordnungen über dem Medianwert der Algenbiomasse in den Meereistümpeln liegen können. Die Meereistümpel leisten einen geringen Beitrag von < 1 % zur integrierten Gesamtbio­masse des Meereises, was sich vermutlich auf die überaus extremen Lebensbedingungen zurückführen läßt. Dennoch sollte ihre Bedeutung nicht unterschätzt werden, wie der Vergleich mit dem Meereis bei vergleichbarer Schichtdicke zeigt. Hinzu kommt die sehr große physikalische Bedeutung der Meereistümpel, da sie zusammen mit den Schmelzwasserkanälen an der Eisoberseite einen wesentlichen Beitrag zum Abschmelzen und zur Lichtdurchlässigkeit des Meereises leisten, wie in Kap. 5.3.1 dargestellt. Somit sind die Meereistümpel integraler und wesentlicher Bestandteil des Gesamtsystems Meereis.

Die in dieser Arbeit getroffenen Aussagen und entwickelten Hypothesen zur Entwicklung und biologischen Bedeutung der Meereistümpel basieren auf den Ergebnissen aus dem Untersuchungsgebiet vor Nordostgrönland, das durch Süßwassertümpel gekennzeichnet war, und gelten für die Tümpel auf mehrjährigem und dickem einjährigem Meereis. Die Zusammensetzung, Biomasse und Entwicklung der Meereistümpelgemeinschaften kann in Gebieten mit vorwiegend einjährigem Eis oder Festeis anders aussehen, da es nach eigenen Ergebnissen und in der Literatur Hinweise darauf gibt, daß sich die Salinitätsprofile von ein- und mehrjährigem Eis unterscheiden, in Festeis höhere Biomassen als in Packeis zu erwarten sind und auch die Biomasse in den Meereistümpeln in Abhängigkeit von

der Salinität, aber auch vom Zeitpunkt der Probennahme variiert (saisonale Schwankungen). Daher könnte die biologische Bedeutung der Meereistümpel auf Festeisflächen oder in Regionen, in denen einjähriges Eis dominiert (z. B. eurasische oder kanadische Arktis), größer sein als in der vorliegenden Untersuchung für das Gebiet des Nordostgrönlandstroms festgestellt.

### 5.4 Kritische Würdigung der eingesetzten Methoden und Geräte

#### 5.4.1 Bestimmung abiotischer Parameter

Die während der ersten Expedition eingesetzte Gelelektrode zur Bestimmung des pH-Werts *in situ* war sehr träge, möglicherweise auch aufgrund der geringen Wassertemperaturen, und die Geräteanzeige "lief" eine geraume Zeit, bevor sie sich schließlich auf den Meßwert einpendelte. Als günstiger erwies sich der Einsatz einer pH-Elektrode für ionenarmes Wasser während der Folgeexpeditionen, da schneller stabile Meßwerte und damit eine höhere Genauigkeit erzielt wurden.

Probleme traten auch bei der Bestimmung der Sauerstoffkonzentrationen *in situ* auf. So wurden z. B. 17 mg O<sub>2</sub>/l (entspricht 130 % Sättigung bei einer Wassertemperatur von 0,5°C) an Station 59 gemessen. Dieser Wert wurde als Methodenartefakt durch Vereisung der Membran o. ä. angesehen, zumal die Chlorophyllkonzentrationen an dieser Station keine starke Übersättigung erwarten ließen, und in der Auswertung nicht mit berücksichtigt. Auch ist der Maximalwert von 15,8 mg Sauerstoff/l (entspricht 111 % Sättigung bei einer Wassertemperatur von 0,1°C) an Station 50 recht hoch, wenn man berücksichtigt, daß der Sauerstoffgehalt von Wasser bei einer Temperatur von 0°C und auf Meereshöhe bei 14,5 mg/l liegt (Schwoerbel 1984) und die Chlorophyllkonzentrationen im Wasser dieses Tümpels ebenfalls sehr niedrig waren.

Die Messung der Leitfähigkeit ist eine sehr empfindliche Methode und wird in der Ozeanographie gern verwendet, um daraus den Salzgehalt zu berechnen. Die Salinität des offenen Ozeans beträgt etwa 35, die des Arktischen Ozeans etwa 30 (Gerlach 1994). Bei einer Salinität von 5 liegt jedoch eine kritische Salzgehaltsgrenze. Bis zu diesem Salzgehalt kann man Brackwasser als verdünntes Meerwasser betrachten, Alkalinität und Calcium-Konzentration nehmen proportional mit dem Chlorgehalt ab. Bei geringeren Salinitäten als etwa 5 kann sich jedoch die Ionenzusammensetzung des Brackwassers in Abhängigkeit von den Eigenschaften des zugemischten Süßwassers verändern, so daß die Proportionalität nicht mehr zwingend gegeben sein muß (Gerlach 1994). Die Umrechnung von



Leitfähigkeit in Salzgehalt ergab daher in meinen Proben z. T. andere Ergebnisse als die refraktometrische Salzgehaltsbestimmung, da das Refraktometer auf die Salzzusammensetzung von Meerwasser geeicht ist. So bestimmte ich z. B. in Proben von Station 50 refraktometrisch eine Salinität von 0 bei einer Leitfähigkeit von  $175 \mu\text{S}$ , an Station 57 ebenfalls eine Salinität von 0 bei einer Leitfähigkeit von  $707 \mu\text{S}$ . Die Umrechnung von Leitfähigkeit in Salinität ergab für Station 50 einen Wert von 0,7 und für Station 57 eine Salinität von 3,1 (Zwierz, pers. Mitt. 1994). Daher erfolgte in der vorliegenden Arbeit die Angabe der Salinität auf Basis der refraktometrischen Messungen. Die Leitfähigkeit wird neben der Salinität als eigener Parameter betrachtet und als Maß für den Ionengehalt des Wassers verwendet. Im übrigen erfolgten im ersten Untersuchungsjahr keine Leitfähigkeitsmessungen, so daß sich diese Vorgehensweise allein schon aus Gründen der Vergleichbarkeit empfiehlt.

Die Lichtmessungen (PAR) in den Tümpeln wurden mit einem birnenförmigen Unterwassersensor durchgeführt, der die von allen Seiten einfallende Strahlung mißt ( $4\pi$ -Sensor). Als Referenzsensor wurde ein herkömmlicher Quantensensor verwendet, der die von oben einfallende Strahlung an der Luft mißt ( $2\pi$ -Sensor). Die Meßergebnisse sind aufgrund der unterschiedlichen Sensortypen nicht direkt vergleichbar. Um die Verhältnisse in Meereistümpeln mit denen in Landtümpeln und -seen vergleichen zu können, wurde daher das Verhältnis der jeweiligen  $4\pi$ -Meßergebnisse (Messung in Wasser mit Rundum-Sensor) zu den  $2\pi$ -Meßergebnissen (Messung an der Luft mit herkömmlichem Sensor) herangezogen.

#### **5.4.2 Bestimmung der Farbe von Meereistümpeln**

Meereistümpel erscheinen bei ihrer Beobachtung in unterschiedlichen Farben. Es lassen sich bis zu 17 Farbschattierungen von weiß über grau und blau nach grün, braun und schwarz unterscheiden (Morassutti & LeDrew 1995). Die Beschreibung der Tümpelfarben wurde von diesen Autoren so eng wie möglich an die Farb-abstufungen innerhalb des Spektrums des sichtbaren Lichts angenähert. Da die Festlegung der Farb-abstufungen insbesondere bei Mischfarben (z. B. graublau oder blaugrau) nach eigenen Erfahrungen schwierig ist, sollte bei zukünftigen Untersuchungen eine Farbtabelle zur Standardisierung der Daten Anwendung finden, um subjektive Unterschiede in der Farbwahrnehmung zu vermeiden.

#### **5.4.3 Bestimmung der Chlorophyllkonzentration**

Die Chlorophyll-Konzentrationen in den Proben wurden als Chlorophyll a-Äquivalente (im Text der Einfachheit halber als "Chlorophyll a" bezeichnet) fluorometrisch mit einem Turner Fluorometer bestimmt. Diese Methode wurde

aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit der spektrophotometrischen Methode vorgezogen, was sich aufgrund der relativ geringen Zellzahlen und Chlorophyll *a*-Konzentrationen in den Meereistümpeln auch als gerechtfertigt erwies (filtrierte Probenvolumina: 1 - 5 Liter; 1 Liter ergab in den Meereistümpeln Werte an der Nachweisgrenze). Nach Parsons et al. (1984) ist die fluorometrische Messung 5 - 10 x empfindlicher als die photometrische. Evans & O'Reilly (1983) geben sogar eine 20 x höhere Empfindlichkeit an. Enthält das Probenmaterial jedoch größere Mengen an Chlorophyll *b* oder *c*, kommt es zu Meßfehlern, da sich die Fluoreszenzspektren von Chlorophyll *a* und *b* bzw. Chlorophyll *a* und *c* überlappen. Der Fehler wird umso größer, je höher der Gehalt an Chlorophyll *b* bzw. *c* ist. Dabei wird durch Chlorophyll *b* der Chlorophyll *a*-Gehalt unterschätzt und der Phäopigmentgehalt überschätzt (Parsons et al. 1984; Arar & Collins 1992). Hohe Chlorophyll *c*-Gehalte haben eine entgegengesetzte Wirkung (Überschätzung von Chlorophyll *a*, Unterschätzung der Phäopigmente; Arar & Collins 1992). Der durch Chlorophyll *b* verursachte Fehler ist jedoch größer als im Falle von Chlorophyll *c* (Arar & Collins 1992). Auch die Abbauprodukte des Chlorophylls (Chlorophyllide, Phäophorbide) beeinträchtigen die Genauigkeit der Messung, da sie als Chlorophyll "a" bestimmt werden (Lorenzen & Jeffrey 1978). Durch die Ansäuerungsmethode (Holm-Hansen et al. 1965 in Parsons et al. 1984) läßt sich der Anteil der Phäopigmente bestimmen, so daß dieser Fehler verringert werden kann. Allerdings sollten Phäopigmentgehalte von weniger als 10 % des Gesamt-Pigmentgehalts der (Meerwasser-)Probe zu Mißtrauen Anlaß geben (Parsons et al. 1984; Welschmeyer 1994), und insbesondere bei hohen Chlorophyll *c*-gehalten können sich manchmal sogar leicht negative Phäopigmentkonzentrationen ergeben (Strickland & Parsons 1968).

In der vorliegenden Arbeit wurde die fluorometrische Bestimmung der Chlorophyll *a*-Konzentrationen zunächst nach der Methode von Holm-Hansen et al. (1965) wie in Parsons et al. (1984) und Arar & Collins (1992) beschrieben durchgeführt, d. h. die Chlorophyll-Autofluoreszenz wurde vor und nach Ansäuerung gemessen. Die daraus berechneten Phäopigmentkonzentrationen waren zum Teil sehr niedrig (100 % Chlorophyll *a*; kein Phäopigment) und lagen manchmal sogar im negativen Bereich. Da im Probenmaterial sowohl aus den Meereistümpeln als auch aus den Landtümpeln und -seen Grünalgen und teilweise auch phototrophe Dinoflagellaten auftraten und damit neben Chlorophyll *a* auch Chlorophyll *b* (Grünalgen) und *c* (Dinoflagellaten) enthalten waren, ist davon auszugehen, daß die gemessenen Chlorophyll- und Phäopigmentkonzentrationen Fehler bergen. Daher wurde auf die Angabe der Phäopigmentkonzentrationen verzichtet, und die Berechnung der Chlorophyll *a*-Konzentrationen erfolgte auf Basis der Fluoreszenz der nicht angesäuerten Proben wie in Parsons et al. (1984) für diesen Zweck beschrieben. Die Größe des Fehlers aufgrund der Anteile von Chlorophyll *b* und *c* in den Proben

läßt sich im Nachhinein nur schwer abschätzen. Im Rahmen der SCOR-Interkalibrierungstests ermittelten Lorenzen & Jeffrey (1978), daß eine bekannte Chlorophyll *a*-Konzentration in Anwesenheit von Chlorophyll *b* durch die fluorometrische Methode um 21 % unterschätzt wurde. Da Grünalgen in den Meereistümpeln eine dominierende Organismengruppe waren, könnte sich der Median der Chlorophyll *a*-Konzentration (vgl. Tab. A-10 im Anhang) in der Konsequenz von 0,04 µg/l auf 0,05 µg/l und seine Spannweite auf 0,01 - 0,48 µg/l erhöhen. Auch bei diesem Wert bliebe die Aussage, daß die Chlorophyll-Konzentrationen in Meereistümpeln niedrig sind, noch gültig, so daß die absoluten Werte der Chlorophyll *a*-Konzentrationen zwar einen Fehler beinhalten, die Kernaussage jedoch dadurch nicht verändert wird.

Ein weiterer Einfluß auf die Meßergebnisse entstand durch die unterschiedlichen Extraktionsmethoden bei der Aufarbeitung der Chlorophyll-Proben. Diese wurden gewählt, um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer Fahrteilnehmer zu gewährleisten. Wie sich im Nachhinein durch einen Methodenvergleich herausstellte (vgl. Kap. 3.2.4), könnten die Meßergebnisse der 1994 unter Verwendung einer Zelmühle extrahierten Meereistümpelproben daher um etwa 3 % niedriger liegen als die im Vorjahr ermittelten Werte. Dies ist überraschend, da durch die Zelmühle eigentlich ein verbesserter Aufschluß des Probenmaterials erreicht werden sollte. Eine Erklärung hierfür liegt nicht auf der Hand.

In Anbetracht der methodischen Schwierigkeiten wäre es bei erneuten Untersuchungen von Meereistümpeln ratsam, die Vergleichbarkeit der eigenen Ergebnisse wichtiger zu nehmen als die Möglichkeit des Vergleichs mit den Ergebnissen anderer Wissenschaftler, so wünschenswert diese auch sein mag. Zusätzlich zur herkömmlichen fluorometrischen Bestimmung sollte eine spektrophotometrische oder HPLC-Bestimmung der verschiedenen Chlorophyllarten durchgeführt werden, wobei allerdings mehrere Probenfilter gepoolt werden müßten, um eine für das Photometer ausreichend starke Extinktion zu erzielen. Auch ließe sich durch Verwendung spezieller Lampen- und Filterkombinationen im Fluorometer der Einfluß von Chlorophyll *b* auf die Messung stark verringern (Welschmeyer 1994).

#### **5.4.4 Biomasse-Umrechnungsfaktoren und Differenzierung zwischen POC und Detritus**

Der mittels C/N-Analytik bestimmte partikuläre organische Kohlenstoffgehalt der Proben enthält außer der organismischen Biomasse auch eine unbestimmte Menge Detritus (Lenz 1977). Da Phytoplankton, Zooplankton und Detritus sich in ihren molaren C : N-Verhältnissen unterscheiden, läßt sich grob abschätzen, ob eine größere Menge Detritus enthalten ist (Lenz 1977). Eine quantitative Aussage

ist jedoch nicht möglich. Die parallele Bestimmung der organismischen Biomasse über das Biovolumen und der Chlorophyll- und POC-Konzentration an den Stationen 15 und 45 ermöglichte a) die Ermittlung eines Umrechnungsfaktors von Chlorophyll-Konzentration auf Biomasse und b) eine Abschätzung der Protozoenbiomasse, wodurch die Bestimmung des Detritus-Anteils am POC-Gehalt der Meereistümpel möglich wurde. Der Umrechnungsfaktor von Biovolumen auf Bakterienkohlenstoffgehalt nach Børsheim et al. (1990) ist ein häufig eingesetzter Faktor. Die anhand dieser Umrechnungsfaktoren berechneten Biomassewerte stellen Schätzwerte dar, die die tatsächlichen Gegebenheiten bestmöglich widerspiegeln.

Generell ist anzumerken, daß die Abschätzung der Biomasse eines Lebensraums anhand der "schnellen" Parameter Chlorophyll *a*- und POC-Konzentration gerade in einem so extremen und wenig untersuchten Lebensraum wie den Meereistümpeln im Nachteil gegenüber der mikroskopischen Analyse der organismischen Biomasse ist, die allerdings einen sehr viel größeren Zeitaufwand erfordert.

#### 5.4.5 Identifizierung und systematische Einordnung der Organismen

Die Identifizierung und systematische Einordnung der Organismen erfolgte anhand des fixierten Materials. Manche Protisten können aufgrund ihrer Kleinheit und spezifischen Merkmale nur im fixierten Zustand mit Hilfe spezifischer Färbungen oder elektronenmikroskopischer Untersuchungen bis zur Art bestimmt werden, wie z. B. Ciliaten, Heliozoen und verschiedene Flagellaten (Foissner 1991; Ikävalko et al. 1996; Ikävalko & Gradinger 1997). Fixierungsartefakte können die Identifizierung von Protisten und die korrekte Abschätzung ihrer Biomasse über mikroskopische Messungen jedoch erschweren (u. a. Dragesco 1960; Steedman 1976; Taylor 1976; Hällfors et al. 1979; Burnett 1979; Klein Breteler 1985, Bloem et al. 1986). Die Wahl des Fixierungsmediums ist daher von großer Bedeutung für die Qualität der Ergebnisse. Die klassischen Fixierungsmethoden aus der Protozoologie und Zytologie sind für den großvolumigen Einsatz im Feld, insbesondere auf See, nicht geeignet. Daher beruhen die in dieser Arbeit vorgenommenen quantitativen Analysen der Lebensgemeinschaften in der Regel auf Formaldehyd-fixiertem Material. Mit dieser Fixierungsmethode waren von Mitgliedern unserer Eis-Arbeitsgruppe zuvor bereits gute Ergebnisse erzielt worden (Gradinger 1990; Gradinger & Nürnberg 1996; Gradinger et al. 1999).

Lebendbeobachtungen erleichtern die Identifizierung von Protisten außerordentlich und werden auch für Meereisuntersuchungen empfohlen (Ikävalko & Gradinger 1997), da Fixierungsartefakte vermieden werden und charakteristische Bewegungsweisen insbesondere bei Flagellaten, Ciliaten und Amöben die

systematische Einordnung dieser Organismen unterstützen (u. a. Page 1983, 1988; Larsen & Patterson 1990, 1991; Vørs 1992; Ikävalko & Gradinger 1997). Die mikroskopische Lebendbeobachtung ist jedoch sehr zeitaufwendig und für quantitative Analysen einer ausreichenden Zahl von Parallelproben nicht geeignet (u. a. Baldock 1986; Carstens 1989), sollte jedoch bei zukünftigen Untersuchungen als unterstützende Technik nach Möglichkeit mit eingesetzt werden. Die recht geringen Zellzahlen im Wasser der Meereistümpel erfordern in solchen Fällen weitere Arbeitsschritte zur Anreicherung der Zellen, z. B. die Aufkonzentration des Tümpelwassers oder den Ansatz von Anreicherungskulturen.

Die systematische Einordnung der im Untersuchungsmaterial gefundenen Organismen gestaltete sich oft schwierig, da das fixierte Material vielfach nur eine Einordnung auf Klassen- oder Ordnungsniveau zuließ. Darüber hinaus dominierten in den Meereistümpeln unter den autotrophen Vertretern begeißelte und unbegeißelte Vertreter der Chlorophyta, deren Bestimmung sehr schwierig ist, da sich sowohl viele Arten als auch die Entwicklungsstadien verschiedener Arten morphologisch sehr ähneln. Neben Lebendbeobachtungen ist daher häufig auch die Analyse der Lebenszyklen und damit die Kultivierung des Materials erforderlich, um in ausreichender Anzahl adulte Zellen zur Verfügung zu haben, anhand derer eine sichere Bestimmung erfolgen kann (Ettl 1983). Dies gilt insbesondere für Schneeealgen, denn man beginnt erst neuerer Zeit zu erkennen, daß verschiedene Gattungen von Grünalgen in Wirklichkeit verschiedene Lebensstadien ein und derselben Art sind (Hoham 1980; Hoham et al. 1983). Es ist daher zu vermuten, daß sich unter den von mir in den Süßwassertümpeln gefundenen Chlamydomonadales Schwärmer und Zygoten von Schneeealgen befanden, deren Identifizierung aber ausgesprochen schwierig ist.

#### 5.4.6 Statistische Methoden

Zum Vergleich von Stichproben wurde meist der Mediantest verwendet. Der Mediantest ersetzt nach Sachs (1993) bei Nichtnormalverteilung oder ungleichen Verteilungsformen den t-Test für unabhängige Stichproben und läßt sich auch zur Prüfung eines zeitlichen Trends verwenden. Zwar ist der U-Test aufgrund höherer Effizienz zu bevorzugen (Lozán 1992, Sachs 1993), setzt jedoch gleiche Verteilungsformen voraus, deren Beurteilung anhand der oft sehr kleinen Stichprobenumfänge von  $n = 5$  oder  $n < 5$  mit Unsicherheiten behaftet ist. Daher war der Mediantest für den Vergleich der Stichproben der wiederbesuchten Station und damit für die Untersuchung auf zeitlich bedingte Unterschiede zwischen den beiden Probenahmetagen am besten geeignet, ebenso für den Vergleich der

Meereistümpel mit den anderen in dieser Arbeit untersuchten aquatischen Lebensräumen. Sofern die statistischen Voraussetzungen gegeben waren, wurden andere Tests angewendet.

Die Beziehungen zwischen den Biomasse-Parametern der Meereistümpel und den abiotischen Parametern sowie saisonale Veränderungen dieser Parameter wurden mittels der Rangkorrelation nach Spearman untersucht, die ebenfalls keine Normalverteilung der Daten voraussetzt und als sehr robust gilt (Sachs 1993). Auf eine multivariate Analyse (z. B. Hauptkomponentenanalyse) zur Untersuchung des gemeinschaftlichen Einflusses der abiotischen Faktoren auf die Biologie der Meereistümpel wurde verzichtet, da die Parameter zeitlichen Veränderungen unterlagen, die sich teilweise wiederum untereinander beeinflusst haben dürften.

#### 5.4.7 Probenmaterial aus dem marinen Milieu

Die in den Oberflächenwasserproben der vorliegenden Untersuchung gemessenen Chlorophyll-Konzentrationen waren mit einem Median von  $0,11 \mu\text{g/l}$  zum Teil niedriger als von anderen Autoren für das Untersuchungsgebiet angegeben. So ermittelte z. B. Ritzrau (1997) im Gebiet der NEW-Polynja in der euphotischen Zone mittlere Chlorophyllkonzentrationen von  $0,47 \mu\text{g/l}$ , wobei Maximalkonzentrationen von  $2,5 - 4 \mu\text{g/l}$  erreicht wurden. Die geringeren Chlorophyllkonzentrationen im eigenen Untersuchungsmaterial sind darauf zurückzuführen, daß die dünne, Schmelzwasser-beeinflußte Oberflächenschicht beprobt wurde, die sich durch niedrigere Chlorophyllkonzentrationen von den Verhältnissen im eigentlichen Pelagial unterscheidet. Dies wird auch durch die Meßdaten von Legendre et al. (1994) während der Expedition ARK 9/2+3 belegt, die in direkter Oberflächennähe ähnlich niedrige Werte wie in der vorliegenden Arbeit, in größeren Wassertiefen dagegen oft ähnliche Werte wie Ritzrau (1997) feststellten. Ursache hierfür ist, daß in arktischen marinen Gewässern das Chlorophyll-Maximum meist nicht in Oberflächennähe, sondern zwischen dem 10 %-Lichtniveau und der unteren Grenze der lichtdurchfluteten Zone zu finden ist (Longhurst et al. 1989). Die in Kap. 4.2.2.1 dargestellten signifikanten Unterschiede zwischen den Meereistümpeln und den marinen Oberflächenwasserproben sind somit noch größer, wenn die Verhältnisse in der euphotischen Zone zugrundegelegt werden.

Für POC sind die Unterschiede zwischen der ausgesüßten Oberflächenschicht und dem Pelagial jedoch nicht so deutlich ausgeprägt. Ritzrau (1997) fand in der euphotischen Zone der NEW-Polynja eine im Vergleich zu den eigenen Werten niedrigere mittlere POC-Konzentration von  $61,9 \mu\text{g/l}$  bei einer breiteren Spannweite der Werte ( $18,1 - 278,2 \mu\text{g/l}$ ). Auf dem Venne (1994) bestimmte in der Framstraße

in den oberen 10 m im Vergleich zu den eigenen Werten etwa doppelt so hohe POC-Konzentrationen, die mit der Tiefe von 50 bis 330  $\mu\text{g/l}$  in Oberflächennähe auf Werte zwischen 50 und 90  $\mu\text{g/l}$  abnahmen. Die POC-Konzentrationen im Oberflächenwasser sind somit durchaus mit den Verhältnissen im Pelagial vergleichbar, so daß der Vergleich der Meereistümpel und anderen Lebensräume mit den marinen Oberflächenwasserproben stellvertretend für das Pelagial zulässig ist, wenn auch für einen solchen Vergleich eine größere Probenzahl und gleichmäßigere Verteilung über das Untersuchungsgebiet wünschenswert gewesen wäre. Dies gilt auch für die übrigen Vergleichsstationen.

## 5.5 Ausblick

Die Meereistümpel an der Eisoberseite sind integraler Bestandteil des Meereises und bilden ganz spezielle, dynamische Habitate innerhalb dieses Ökosystems, die besondere Anpassungen von ihren Bewohnern abfordern und mit Ausnahme der stärker salinen Meereistümpel, die im Untersuchungsgebiet selten auftraten, für marine Organismen einen unwirtlichen Lebensraum darstellen. Wie in der vorliegenden Arbeit ebenfalls gezeigt werden konnte, spricht die Ähnlichkeit mit den Lebensbedingungen und zum Teil den Bewohnern der Gletschereistümpel aus Arktis und Antarktis sowie den Schneegemeinschaften dafür, daß die Habitate an der Meereisoberseite, also an der Grenzfläche zwischen Meereis und Atmosphäre, eine Fortsetzung des terrestrischen Schnee/Gletscher-Ökosystems darstellen, wie es in polaren Breiten, aber auch in hochalpinen Lagen gefunden wird, und das eine charakteristische Besiedlung mit cryophilen Einzellern aufweist (u. a. Charcot 1910, Pollock 1970, Kol 1968, Ettl 1983). Auch Bursa (1963) und Melnikov (1997) wiesen auf das Vorkommen von Arten in Meereistümpeln hin, die an Land weit verbreitet sind.

Daher sollte das Meereis nicht als ausschließlich mariner Lebensraum betrachtet werden, sondern als Bestandteil der Kryosphäre unserer Erde und deren Fortsetzung in den marinen Bereich hinein. Immerhin sind 16,3 Mio.  $\text{km}^2$  der Erde vergletscherte Festlandsflächen, und die mittlere schneebedeckte Fläche der Erde beträgt 72,5 Mio.  $\text{km}^2$  +/- 18,2 Mio.  $\text{km}^2$  (Wilhelm 1975). Die Schneeeauflage und die oberen ausgesüßten Schichten des Meereises, damit also insbesondere die Eisoberfläche mehrjähriger Eises, bilden eine Fortsetzung der Schnee- und Gletschereishabitate und werden von Organismen besiedelt, die für diese Lebensräume typisch sind, wie z. B. *Chlamydomonas nivalis* und andere Schneeralgen sowie in Gletschereistümpeln vorkommende Organismen. In

Abhängigkeit von der Gesamtsalinität und Dicke des Eises und damit vom Eistyp sowie von anderen Faktoren, die die saisonale Entwicklung der Meereistümpel beeinflussen (z. B. Durchschmelzen der Tümpel und Meerwassereintrag) kann sich eine stärker marin bzw. durch Brackwasser geprägte Gemeinschaft mit typischen Meereis- und Meeresorganismen ausbilden. Die Meereisdecke nimmt somit eine Zwischenstellung zwischen der Schnee- und Gletscherumwelt einerseits und der marinen und eigentlichen Meereisumwelt andererseits ein. In der Schneeauflage des Meereises sowie in der schmelzwasserdominierten Zone der Meereistümpel und der ausgesüßten Oberflächenschicht des Meereises kommen vor allem die Eigenschaften und Organismen der Schnee- und Gletscherumwelt zur Ausprägung.

Zukünftige Untersuchungen sollten sich auf die taxonomische Zusammensetzung und die Produktivität der verschiedenen Oberflächengemeinschaften des arktischen Meereises (Schneegemeinschaft; schmelzwasserdominierte Meereistümpel- und Meereisgemeinschaft; brackwasserdominierte Meereistümpel- und Infiltrationsgemeinschaften) konzentrieren. Die Ermittlung von Wachstums- und Grazing-Raten würde Aufschluß über die Stoffflüsse innerhalb des Nahrungsnetzes der Meereistümpel liefern. Die Herkunft und Rolle von Detritus bzw. TEPS ist zu klären, ebenfalls die Art und Funktionsweise der vermutlich vorhandenen Lichtschutzmechanismen der Meereistümpelbewohner. Die Meereistümpelgemeinschaft könnte als Indikator für Umweltveränderungen aufgrund erhöhter UV-Strahlung dienen. Hierzu sind jedoch detaillierte Kenntnisse der taxonomischen Zusammensetzung und Physiologie der Meereistümpelorganismen einschließlich ihrer natürlichen Variabilität unerlässlich.



## 6. Literaturverzeichnis

- Aagaard, K. (1972): On the drift of the Greenland pack ice. In: Sea Ice Conference Proceedings, Reykjavik, S. 17-22. Zitiert in Diehl, S. (1991): Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*, *C. glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße. Ber. Polarforsch. 88
- Aagaard, K. & E. C. Carmack (1989): The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation. J. Geophys. Res. 94: 14485-14498
- Aagaard, K. & L. K. Coachman (1968): The East Greenland Current north of Denmark Strait: Part II. Arctic 21: 267-290. Zitiert in Diehl, S. (1991): Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*, *C. glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße. Ber. Polarforsch. 88
- Aagaard, K., J. H. Swift & E. C. Carmack (1985): Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean Seas. J. Geophys. Res. 90: 4833-4846
- Aas, E. (1984): The wavelength selectivity of light scattering in the Barents Sea. Inst. Rep. Ser. Universitetet i Oslo 54: 1-20
- Aas, E. & J. Bogen (1988): Colors of glacier water. Water Resources Res. 24: 561-565
- Ackley, S. F. (1996): Sea Ice. Encyclopedia App. Phys. 17: 81-103
- Agatha, S. (1995): Taxonomie und Ökologie ausgewählter planktischer und tychopelagischer Ciliaten (Protozoa, Ciliophora) des Speicherkoogs Dithmarschen und des Beltringharder Koogs. Dissertation, Fachbereich Biologie, Univ. Hamburg, 211 S.
- Agatha, S., N. Wilbert, M. Spindler & M. Elbrächter (1990): Euplotide Ciliates in sea ice of the Weddell Sea (Antarctica). Acta Protozool. 29: 221-228
- Agatha, S., M. Spindler & N. Wilbert (1993): Ciliated protozoa (Ciliophora) from Arctic sea ice. Acta Protozool. 32: 261-268
- Allredge, A. L., U. Passow & B. E. Logan (1993): The abundance and significance of large, transparent organic particles in the ocean. Deep-Sea Res. 40: 1131-1140
- Andersen, O. K., J. C. Goldman, D. A. Caron & M. R. Dennett (1986): Nutrient cycling in a microflagellate food chain: III. Phosphorous dynamics. Mar. Ecol. Prog. Ser. 31: 47-55
- Andreas, E. L. & S. F. Ackley (1982): On the differences in ablation seasons of Arctic and Antarctic sea ice. CRREL Report 82-33: 1-9
- Antia, A. N. (1991): Microzooplankton in the pelagic food web of the East Greenland Sea and its role in sedimentation processes. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel 33: 1-109
- Appollonio, S. (1965): Arctic marine phototrophic systems: functions of sea ice stabilization. Arctic 38: 167-173
- Arar, E. J. & G. B. Collins (1992): Method 445.0. *In vitro* determination of chlorophyll *a* and pheophytin *a* in marine and freshwater phytoplankton by fluorescence. Version 1.1. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH/Turner Designs, Sunnyvale, CA, U. S. A.
- Armitage, K. B. & H. B. House (1962): A limnological reconnaissance in the area of McMurdo Sound, Antarctica. Limnol. Oceanogr. 7: 36-41
- Assur, A. (1958): Composition of sea ice and its tensile strength. Nat. Res. C. Pub. 598: 106-138
- Auf dem Venne, H. (1994): Zur Verbreitung und ökologischen Bedeutung planktischer Ciliaten in zwei verschiedenen Meeresgebieten: Grönlandsee und Ostsee. Ber. Inst. Meereskunde, Christian-Albrechts-Univ. Kiel 262: 1-160

## 6. Literaturverzeichnis

- Azam, F., T. Fenchel, J. G. Field, J. S. Gray, L. A. Meyer-Reil & F. Thingstad (1983): The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 257-263
- Baldock, B. M. (1986): A method for enumerating protozoa in a variety of freshwater habitats. *Microb. Ecol.* 12: 187-191
- Barber, D. G. & J. Yackel (1999): The physical, radiative and microwave scattering characteristics of melt ponds on Arctic landfast sea ice. *Int. J. Remote Sensing* 20: 2069-2090
- Barry, R. G., M. C. Serreze & J. A. Maslanik (1993): The Arctic sea ice-climate system: observations and modeling. *Rev. Geophys.* 31: 397-422
- Bartsch, A. (1989): Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenbestand und Biomasse sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten. *Ber. Polarforsch.* 63: 1-105
- Beaver, J. R. & T. L. Crisman (1989): Analysis of the community structure of planktonic ciliated protozoa relative to trophic state in Florida lakes. *Hydrobiol.* 174: 177-184
- Behrenfeld, M. J., D. R. S. Lean & H. Lee II (1995): Ultraviolet-B radiation effects on inorganic nitrogen uptake by natural assemblages of oceanic plankton. *J. Phycol.* 31: 25-36
- Bergeron, G., C. Fraiken, M. Gosselin, S. Lessard, F. McGuinness & S. Pésant (1994): Biomass and primary production. In: Hirche, H.-J. & G. Kattner (Hrsg.): The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV "Polarstern" Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG "Polar Sea" cruise NEWP and the NEWLand expedition. *Ber. Polarforsch.* 142: 72-80
- Berman, T. (1991): Protozoans as agents in planktonic nutrient cycling. In: Reid, P. C., C. M. Turley & P. H. Burkil: Protozoa and their role in marine processes. Springer, Berlin: 417-429
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, M. C. Kennicutt II, R. Iturriaga, H. R. Harvey, R. W. Hoham & S. A. Macko (1993): Evidence for a photoprotective function for secondary carotenoids of snow algae. *J. Phycol.* 29: 427-434
- Bird, D. F. & J. Kalff (1986): Bacterial grazing by planktonic lake algae. *Sci.* 231: 493-495
- Bird, D. F. & J. Kalff (1987): Algal phagotrophy: regulating factors and importance relative to photosynthesis in *Dinobryon* (Chrysophyceae). *Limnol. Oceanogr.* 32: 277-284
- Blaume, F. (1992): Hochakkumulationsgebiete am norwegischen Kontinentalhang: Sedimentologische Abbilder Topographie-geführter Strömungsmuster. *Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel*, 36: 1-150
- Bloem, J., M.-J. B. Bär-Gilissen & T. E. Cappenberg (1986): Fixation, counting and manipulation of heterotrophic nanoflagellates. *Appl. Environ. Microbiol.* 52: 1266-1272
- Bockstahler, K. R. & D. W. Coats (1993): Grazing of the mixotrophic dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum* on ciliate populations of Chesapeake Bay. *Mar. Biol.* 116: 477-487
- Bodungen, B. v., M. Wunsch & H. Fürderer (1991): Sampling and analysis of suspended particles in the North Atlantic. In: Hurt, D. C. & D. W. Spencer (Hrsg.): Marine Particles: Analysis and characterization. Geophysical Monograph Series, Am. Geophys. Union, Washington DC, 63: 47-53
- Bolsenga, S. J. & H. A. Vanderploeg (1992): Estimating photosynthetically available radiation into open and ice-covered freshwater lakes from surface characteristics: a high transmittance case study. *Hydrobiol.* 243-244: 95-104
- Bolsenga, S. J., C. E. Herdendorf & D.C. Norton (1991): Spectral transmittance of lake ice from 400-850 nm. *Hydrobiol.* 218: 15-25
- Børsheim, K. Y., G. Bratbak & M. Heldal (1990): Enumeration and biomass estimation of planktonic bacteria and viruses by transmission electron microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 352-356

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Bourke, R. H., J. L. Newton, R. G. Paquette & M. Tunnicliffe (1987): Circulation and water masses of the East Greenland Shelf. *J. Geophys. Res.* 92: 6729-6740
- Brönmark, C. & L.-A. Hansson (1998): *The Biology of Lakes and Ponds*. Oxford University Press, Inc., New York
- Buck, K. R., T. G. Nielsen, B. W. Hansen, D. Gastrup-Hansen & H. A. Thomsen (1998): Infiltration phyto- and protozooplankton assemblages in the annual sea ice of Disko Island, West Greenland, spring 1996. *Polar Biol.* 20: 377-381
- Budéus, G. W. Schneider, J. Brunßen, M. Damm & R. Plugge (1994): Ship-borne physical oceanography. In: Hirche, H.-J. & G. Kattner (Hrsg.): *The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV "Polarstern" Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG "Polar Sea" cruise NEWP and the NEWLand expedition*. *Ber. Polarforsch.* 142: 16-21
- Burch, M. D. (1988): Annual cycle of phytoplankton in Ace Lake, an ice covered, saline meromictic lake. In: Ferris, J. M., H. R. Burton, G. W. Johnstone & J. A. E. Bayly (Hrsg.): *Biology of the Vestfold Hills, Antarctica*. *Hydrobiol.* 165: 59-75
- Burnett, B. R. (1979): Quantitative sampling of microbiota of the deep-sea benthos. II. Evaluation of technique and introduction to the biota of the San Diego Trough. *Trans. Amer. Micr. Soc.* 98: 233-242
- Bursa, A. (1963): Phytoplankton in coastal waters of the Arctic ocean at Point Barrow, Alaska. *Arctic* 16: 239-262
- Cadée, G. C. (1992): Trends in Marsdiep phytoplankton. *Netherlands Inst. Sea Res. Pub. Ser.* 20: 143-149
- Capriulo, G. M., E. B. Sherr & B. F. Sherr (1991): Trophic behaviour and related community feeding activities of heterotrophic marine protists. In: Reid, P. C., C. M. Turley & P. H. Burkhill: *Protozoa and their role in marine processes*. Springer, Berlin: 219-265
- Carey, A. G., Jr. (1992): The ice fauna in the shallow southwestern Beaufort Sea, Arctic Ocean. *J. Mar. Syst.* 3: 225-236
- Carey, A. G., Jr. & P. A. Montagna (1982): Arctic sea ice faunal assemblage: first approach to description and source of the underice meiofauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8: 1-8
- Carmack, E. (1990): Large-scale physical Oceanography of Polar Oceans. In: Smith, W. O., Jr.: *Polar Oceanography. Part A. Phys. Sci.*, Academic Press, San Diego: 171-222
- Carmack, E. & K. Aagaard (1973): On the deep water of the Greenland Sea. *Deep-Sea Res.* 20: 687-715. Zitiert in Richter, C.: *Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea*. *Ber. Polarforsch.* 154
- Caron, D. A., J. C. Goldman & M. R. Dennett (1986): Effect of temperature on growth, respiration, and nutrient regeneration by an omnivorous microflagellate. *Appl. Environ. Microbiol.* 52: 1340-1347
- Carr, M. R. (1994): *PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) User Manual*. Nat. Environ. Res. Council, UK
- Carstens, M. (1989): *Methoden zur Quantifizierung des Nanobenthos in feinen marinen Sedimenten*. Diplomarbeit, Inst. Hydrobiologie & Fischereiwissenschaft, Univ. Hamburg, Hamburg, 91 S.
- Catalan, J. (2001), Dep. d'Ecologia i Centre de Recerca d'Alta Muntanya/Univ. Barcelona, pers. Mitt.
- Charcot, J. (1910): *Autour du Pole Sud*. Ernest Flammarion, Paris. Deutsche Übersetzung der französischen Originalausgabe, herausgegeben von der Schwarzwald-Verlag GmbH, Freudenstadt/Éditions Henri Neveu, Paris, gedruckt 1948

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Clarke, K. R. & K. M. Warwick (1994): Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) Method Manual. Nat. Environ. Res. Council, UK
- Cleve, P. T. & A. Grunow (1880): Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. K. Sven. Vetenskapsakad. Handl. 17(2): 1. Zitiert in Horner, R. (1985): Sea ice biota. CRC press, Boca Raton
- Coachman, L. K. & K. Aagard (1974): Physical oceanography of Arctic and Subarctic seas. In: Herman, Y.: Marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas. Springer, New York: 1-72
- Conover, R. J., A. W. Herman, S. J. Prinsenberg & L. R. Harris (1986): Distribution of and feeding by the copepod *Pseudocalanus* under fast ice during the Arctic spring. Sci. 232: 1245-1247
- Conover, R. J., A. W. Bedo, A. W. Herman, E. J. H. Head, L. R. Harris & E. P.W. Horne (1988): Never trust a copepod - some observations on their behaviour in the Canadian Arctic. Bull. Mar. Sci. 43(3): 650-662
- Cota, G. F. (1985): Photoadaptation of high Arctic ice algae. Nature 315: 219-222
- Cota, G. F., L. Legendre, M. Gosselin & R. G. Ingram (1991): Ecology of bottom ice algae: I. Environmental controls and variability. J. Mar. Syst. 2: 257-277
- Cota, G. F. & R. E. H. Smith (1991a): Ecology of bottom ice algae: II. Dynamics, distributions and productivity. J. Mar. Syst. 2: 297-315
- Cota, G. F. & R. E. H. Smith (1991b): Ecology of bottom ice algae: III. Comparative physiology. J. Mar. Syst. 2: 297-315
- Cross, W. E. (1982): Under-ice biota at the Pond Inlet ice edge and in adjacent fast ice areas during spring. Arctic 35(1): 13-27
- Cullen, J. J. & M. P. Lesser (1991): Inhibition of photosynthesis by ultraviolet radiation as a function of dose and dosage rate: results for a marine diatom. Mar. Biol. 111: 183-190
- Davidson, A. T., D. Bramich, H. J. Marchant & A. McMinn (1994): Effects of UV-B irradiation on growth and survival of Antarctic marine diatoms. Mar. Biol. 119: 507-515
- Debenham, F. (1920): A new mode of transportation by ice: the raised marine muds of South Victoria Land (Antarctica). Quart. J. Geol. Soc. Lond. 75: 51-76. Zitiert in Howard-Williams, C., R. Pridmore, P. A. Broady & W. F. Vincent (1990): Environmental and biological variability in the McMurdo Ice Shelf ecosystem. In: Kerry, K. R. & G. Hempel (Hrsg.): Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation. Springer, Berlin: 23-31
- Demers, S., J.-C. Therriault & C. Descolas-Gros (1984): Biomasse et composition spécifique de la microflore des glaces saisonnières: influences de la lumière et de la vitesse de congélation. Mar. Biol. 78: 185-191
- Derksen, C., J. Piwowar, & E. LeDrew (1997): Sea-ice melt-pond fraction as determined from low level aerial photographs. Arctic and Alpine Res. 29: 345-351
- Dickie, G. (1852): Notes on the algae. In: Sutherland, P. C. (Hrsg.): Journal of a voyage in Baffin's Bay and Barrow Straits, in the years 1850-1851, performed by H. M. ships "Lady Franklin" and "Sophia", under the command of Mr. William Penny, in search of the missing crews of H. M. ships "Erebus" and "Terror". Vol. 2. Longman, Brown, Green and Longmans, London. Zitiert in Horner, R. (1985): Sea ice biota. CRC press, Boca Raton
- Dieckmann, G. S., C. Hemleben & M. Spindler (1987): Biogenic and mineral inclusions in a green iceberg from the Weddell Sea, Antarctica. Polar Biol. 7: 31-33
- Dieckmann, G. S., M. A. Lange, S. F. Ackley & J. C. Jennings, Jr. (1991): The nutrient status in sea ice of Weddell Sea during winter: effects of sea ice texture and algae. Polar Biol. 11: 449-456

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Diehl, S. (1991): Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*, *C. glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße. Ber. Polarforsch. 88: 1-113
- Döhler, G. (1984): Effects of UV-B radiation on the marine diatoms *Lauderia annulata* and *Thalassiosira rotula* grown in different salinities. Mar. Biol. 83: 247-253
- Döhler, G. & T. Buchmann (1995): Effects of UV-A and UV-B irradiance on pigments and <sup>15</sup>N-ammonium assimilation of the Haptophycean *Pavlova*. J. Plant Physiol. 146: 29-34
- Döhler, G. & F. T. Haas (1995): UV effects on chlorophylls and carotenoids of the haptophycean alga *Pavlova*. Photosynthetica 31: 157-160
- Donner, G. (1999): Untersuchungen zur Verteilung von gelöstem und partikulärem Silicat im arktischen Meereis. Diplomarbeit, Christian-Albrechts-Univ. Kiel, 69 S.
- Dragesco, J. (1960): Les ciliés mésopsammiques littoraux. Trav. St. Biol. Roscoff (N.S.)12: 1-336
- Dunbar, M. J. & J. C. Acreman (1980): Standing crops and species composition of diatoms in sea ice from Robeson Channel to the Gulf of St. Lawrence. Ophelia 19: 61-72
- Ebert, E. & J. A. Curry (1993): an intermediate one-dimensional thermodynamic sea ice model for investigating ice-atmosphere interactions. J. Geophys. Res. 98: 10085-10109
- Ebert, E., J. L. Schramm & J. A. Curry (1995): Disposition of solar radiation in sea ice and the upper ocean. J. Geophys. Res. 100: 15965-15975
- Edler, E. (1979): Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. Baltic Mar. Biol. Pub. 5: 1-38
- Ehrenberg, C. G. (1851): Über eine frische Probe der die Crimson Cliffs scharlachrot färbenden Substanz aus der Baffins-Bai und das sie begleitende kleinste Leben. Monatsber. Akad. Wiss., Berlin: 741-744
- Ehrenberg, C. G. (1853): Über neue Anschauungen des kleinsten nördlichen Polarlebens. Monatsber. Akad. Wiss., Berlin: 522. Zitiert in Horner, R. (1985): Sea ice biota. CRC press, Boca Raton, 240 S.
- Eicken, H. (1994): Structure of under-ice melt ponds in the central Arctic and their effect on the sea-ice cover. Limnol. Oceanogr. 39: 682-694
- Eicken, H., C. Haas & U. Wieschollek (1992): Physico-chemical characteristics of sea ice and snow. In: Fütterer, D. K.: ARCTIC '91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS "Polarstern" 1991. Ber. Polarforsch. 107: 22-26.
- Eicken, H., V. Alexandrov, R. Gradinger, G. Ilyin, B. Ivanov, A. Luchetta, T. Martin, K. Olsson, E. Reimnitz, R. Pác, P. Poniz & J. Weissenberger (1994): Distribution, structure and hydrography of surface melt puddles. Ber. Polarforsch. 149: 73-76
- Eicken, H., M. Lensu, M. Leppäranta, W. B. Tucker III, A. J. Gow & O. Salmela (1995): Thickness, structure and properties of level summer multi-year ice in the Eurasian sector of the Arctic Ocean. J. Geophys. Res. 100: 22697-22710
- Eicken, H., R. Gradinger, B. Ivanov, A. Makshtas & R. Pác (1996): Surface melt puddles on multi-year sea ice in the Eurasian Arctic. World Climate Research Programme WCRP-94, Proceedings of the ACSYS Conference on the Dynamics of the Arctic Climate System (Göteborg, Sweden, 7-10 November 1994), WMO/TD No. 760: 267-271
- Ekelund, N. G. A. (1992): Studies on the effects of UV-B radiation on phytoplankton of Sub-Antarctic lakes and ponds. Polar Biol. 12: 533-537
- Ekelund, N. G. A. (1993): The effect of UV-B radiation and humic substances on growth and motility of the flagellate, *Euglena gracilis*. J. Plankton Res. 15: 715-722

## 6. Literaturverzeichnis

- El Naggar, S., C. Garrity & R. O. Ramseier (1998): The modelling of sea ice melt-water ponds for the High Arctic using an airborne line scan camera, and applied to the airborne satellite special sensor microwave/imager (SSM/I). *Int. J. Remote Sensing* 19: 2373-2394
- Engelhardt, W. (1985): Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? Franckh'sche Verlags-handlung, Stuttgart
- English, T. S. (1961): Some biological oceanographic observations in the central North Polar Sea, drift station Alpha, 1957-1958. Scientific Report No. 15, Arctic Institute of North America: 1-79
- Eslake, D., R. Kirkwood, H. Burton & Z. Wang (1991): Temporal changes in zooplankton composition in a hypersaline, Antarctic lake subject to periodic seawater incursions. *Hydrobiol.* 210: 93-99
- Etkin, D. A. & R. O. Ramseier (1993): A comparison of conventional and passive microwave sea-ice datasets for Hudson Bay. *Atmosphere-Ocean* 31: 359-378
- Ettl, H. (1983): Chlorophyta I. Phytomonadina. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer (Serien-Hrsg.): Die Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 9, Gustav Fischer, Stuttgart
- Ettl, H. & G. Gärtner (1988): Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer (Serien-Hrsg.): Die Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 10, Gustav Fischer, Stuttgart
- Evans, C. A. & J. E. O'Reilly (1983): A handbook for the measurement of chlorophyll a in netplankton and nannoplankton. *BIOMASS Handbook* 9, NOAA, New Jersey
- Felip, M., B. Sattler, R. Psenner & J. Catalan (1995): Highly active microbial communities in the ice and snow cover of high mountain lakes. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 2394-2401
- Felip, M., L. Camarero & J. Catalan (1999): Temporal changes of microbial assemblages in the ice and snow cover of a high mountain lake. *Limnol. Oceanogr.* 44: 973-987
- Fenchel, T. (1982): Ecology of heterotrophic microflagellates. IV. Quantitative occurrence and importance as bacterial consumers. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9: 35-42
- Fenchel, T. & C. C. Lee (1972): Studies on ciliates associated with sea ice from Antarctica. *Arch. Protistenk.* 114: 231-236
- Fetterer, F. & N. Untersteiner (1998): Observations of melt ponds on Arctic sea ice. *J. Geophys. Res.* 103(C11): 24821-24835
- Finlay, B. J. (1982): Respiration and excretion in marine planktonic protozoa. *Ann. Inst. Océanogr., Paris* 58: 223-226
- Fjordingstad, E., K. Kemp, E. Fjordingstad & L. Vanggaard (1974): Chemical analyses of red "snow" from East-Greenland with remarks on *Chlamydomonas nivalis* (Bau.) Wille. *Arch. Hydrobiol.* 73: 70-83
- Foissner, W. (1991): Basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa. *Europ. J. Protistol.* 27: 313-330
- Forel, F. A. (1892): zitiert in Horne, A. J. & C. R. Goldman (1994): *Limnology*. McGraw Hill, New York
- Fortier, L., M. Fortier & S. Demers (1995): Zooplankton and larval fish community development: comparative study under first-year sea ice at low and high latitudes in the northern hemisphere. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 8: 11-19
- Frankenstein, G. & R. Garner (1967): Equations for determining the brine volume of sea ice from -0,5°C to -22,9°C. *J. Glaciol.* 6: 943-944
- Freitag, J. (1999): Untersuchungen zur Hydrologie des arktischen Meereises - Konsequenzen für den kleinskaligen Stofftransport. *Ber. Polarforsch.* 325: 1-150

## 6. Literaturverzeichnis

- Friedrich, C. (1997): Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises. Ber. Polarforsch. 246: 1-211
- Friedrich, C., R. Gradinger & M. Spindler (1996): The ice biota of the Greenland Sea pack ice. In: Wadhams, P., J. P. Wilkinson & S. C. S. Wells (Hrsg.): European Subpolar Ocean Programme (ESOP). Sea ice - ocean interactions. Sci. Rep. 2: 520-535
- Gade, Herman (1986): Features of fjord and ocean interaction. In: Hurdle, B. G. (Hrsg.): The Nordic Seas. Springer, New York: 183-209
- Garcia-Pichel, F. & R. W. Castenholz (1991): Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. J. Phycol. 27: 395-409
- Garcia-Pichel, F., C. E. Wingard & R. W. Castenholz (1993): Evidence regarding the UV sunscreen role of a mycosporine-like compound in the Cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. Appl. Environ. Microbiol. 59: 170-176
- Garrison D. L. & K. R. Buck (1986): Organism losses during ice melting: a serious bias in sea ice community studies. Polar Biol. 6: 237-239
- Garrity, C., S. El Naggar, A. Bochert, K. W. Asmus, V. R. Neralla & R. O. Ramseier (1991): Remote sensing of the sea in solid and liquid form. In: Krause, G. (Hrsg.): Die Expedition ARKTIS VII mit FS "Polarstern", 1990. Bericht vom Fahrtabschnitt ARK VII/2. Ber. Polarforsch. 93: 41-49
- Gascard, J.-C., C. Kergomard, P.-F. Jeannin & M. Fily (1988): Diagnostic study of the Fram Strait marginal ice zone during summer from 1983 and 1984 Marginal Ice Zone Experiment Lagrangian observations. J. Geophys. Res. 93: 3613-3641
- Gerlach, S. A. (1994): Spezielle Ökologie: Marine Systeme. Springer, Berlin
- Gibson, J. A. E., K. M. Swadling, T. M. Pitman & H. R. Burton (1997): Overwintering populations of *Mesodinium rubrum* (Ciliophora: Haptorida) in lakes of the Vestfold Hills, East Antarctica. Polar Biol. 17: 175-179
- Giese, H. (1997): Untersuchungen zur Chrom-Speziation in Meerwasser, Meereis und Schnee aus ausgewählten Gebieten der Arktis. Ber. Polarforsch. 240: 1-194
- Gleitz, M. & D. Thomas (1993): Variation in phytoplankton standing stock, chemical composition and physiology during sea-ice formation in the southeastern Weddell Sea, Antarctica. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 173: 211-230
- Gleitz, M., S. Grossmann, R. Scharek & V. Smetacek (1996): Ecology of diatom and bacterial assemblages in water associated with melting summer sea ice in the Weddell Sea, Antarctica. Antarct. Sci. 8: 135-146
- Goldmann, C. R., D. T. Mason & B. J. B. Wood (1972): Comparative study of the limnology of two small lakes on Ross Island, Antarctica. In: Llano, G. A. (Hrsg.): Antarctic Terrestrial Biology. Am. Geophys. Union, Washington DC: 1-50
- Gosselin, M., L. Legendre, S. Demers & R. G. Ingram (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., M. Levasseur, P. A. Wheeler, R. A. Horner & B. C. Booth (1997): New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean. Deep-Sea Res. II 44: 1623-1644
- Gow, A. J. & W. B. Tucker III (1990): Sea ice in the polar regions. In: Smith, W. O., Jr. (Hrsg.): Polar Oceanography. Part A, Physical Science. Academic Press, San Diego: 47-122
- Gradinger, R. (1990): Zur Bedeutung des Pico- und Nanoplanktons in polaren Regionen am Beispiel der Grönländischen See. Ber. Inst. Meereskunde. Christian-Albrechts-Univ. Kiel 196, 189 S.

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Gradinger, R. (1996): Occurrence of an algal bloom under Arctic pack ice. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 131: 301-305
- Gradinger, R. (1998a): Environmental controls of Arctic pack ice algal composition and development - a synopsis. Part A. *Habil. Christian-Albrechts-Univ. Kiel*, 82 S.
- Gradinger, R. (1998b): Life at the underside of Arctic sea-ice: biological interactions between the ice cover and the pelagic realm. *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica* 74: 53-60
- Gradinger, R. (1999a): Integrated abundance and biomass of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic pack ice. *Polar Biol.* 22: 169-177
- Gradinger, R. (1999b): Vertical fine structure of the biomass and composition of algal communities in Arctic pack ice. *Mar. Biol.* 133: 745-754
- Gradinger, R. R. & M. E. M. Baumann (1991): Distribution of phytoplankton communities in relation to the large-scale hydrographical regime in the Fram Strait. *Mar. Biol.* 111: 311-321
- Gradinger, R. & J. Ikävalko (1998): Organism incorporation into newly forming Arctic sea ice in the Greenland Sea. *J. Plankton Res.* 20: 871-886
- Gradinger, R. & D. Nürnberg (1996): Snow algal communities on Arctic pack ice floes dominated by *Chlamydomonas nivalis* (Bauer) Wille. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 9: 35-43
- Gradinger, R. & Q. Zhang (1997): Vertical distribution of bacteria in Arctic sea ice from the Barents and Laptev Seas. *Polar Biol.* 17: 448-454
- Gradinger, R., M. Spindler & D. Henschel (1991): Development of Arctic sea-ice organisms under graded snow cover. In: Sakshaug, E., C. C. E. Hopkins & N. A. Øritsland (Hrsg.): *Proceedings of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Ecology*, Trondheim, 12-16 May 1990. *Polar Res.* 10: 295-307
- Gradinger, R., C. Friedrich & M. Spindler (1999): Abundance, biomass and composition of the sea ice biota of the Greenland Sea pack ice. *Deep-Sea Res. II* 46: 1457-1472
- Grainger, E. H. (1977): The annual nutrient cycle in sea-ice. In: Dunbar, M. J. (Hrsg.): *Polar Oceans. Proceedings of the Polar Oceans Conference held at McGill University, Montreal, May 1974*. Arctic Institute of North America, Calgary, Alberta: 285-299.
- Grainger, E. H. & A. A. Mohammed (1990): High salinity tolerance in sea-ice copepods. *Ophelia* 31: 177-185
- Grainger, E. H., A. A. Mohammed & J. E. Lovrity (1985): The sea ice fauna of Frobisher Bay, Arctic Canada. *Arctic* 38: 23-30
- Gran, H. H. (1904): Diatomaceae from the ice-floes and plankton of the Arctic Ocean. In: Nansen, F. (Hrsg.): *The Norwegian North Polar Expedition 1893-1896. The Fridtjof Nansen Fund for the Advancement of Science, Jacob Dybwad, Christiania. Scientific Results, Vol. 4, Kap. 11: 1-74*
- Grashoff, K. (1983): Determination of pH. Kap. 7. In: Grashoff, K., M. Ehrhardt & K. Kremling (Hrsg.): *Methods of Seawater Analysis, 2. überarb. u. erweit. Ausg.*, Verlag Chemie, Weinheim
- Grenfell, T. C. & G. A. Maykut (1977): The optical properties of ice and snow in the Arctic basin. *J. Glaciol.* 18: 445-463
- Grossmann, S. & Gleitz, M. (1997): Primary and micro-heterotrophic productivity within ice associated habitats. In: Racher, E. (Hrsg.): *Scientific cruise report of the Arctic expedition ARK XI/1 of RV "Polarstern" in 1995*. *Ber. Polarforsch.* 226: 73-79
- Guilizzoni, P., V. Linera, M. Manca, R. Mosello, D. Ruggiu & A. Tartari (1992): Preliminary results of limnological research in Terra Nova Bay area (Antartica). *Doc. Ist. Ital. Idrobiol.* 32: 107-120
- Gulliksen, B. (1996), *Dep. Mar. Biol., Tromsø Mus./Univ. Tromsø, pers. Mitt.*



## 6. Literaturverzeichnis

---

- Gulliksen, B. & O. J. Lønne (1989): Distribution, abundance, and ecological importance of marine sympagic fauna in the Arctic. Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer 188: 133-138
- Gulliksen, B. & O. J. Lønne (1991): Sea ice macrofauna in the Antarctic and the Arctic. J. Mar. Syst. 2: 53-61
- Gutt, J. (1995): The occurrence of sub-ice algal aggregations off northeast Greenland. Polar Biol. 15: 247-252
- Haas, C. (1997): Thickness and roughness of the ice cover. In: Rachor, E. (Hrsg.): Scientific Cruise Report of the Arctic expedition ARK-XI/1 of RV "Polarstern" in 1995. Ber. Polarforsch. 226: 56-62
- Häder, D.-P. & M. A. Häder (1988): Inhibition of motility and phototaxis in the green flagellate, *Euglena gracilis*, by UV-B radiation. Arch. Microbiol. 150: 20-25
- Häder, D.-P. & M. A. Häder (1989): Effects of solar radiation on photoorientation, motility and pigmentation in freshwater *Cryptomonas*. Bot. Acta 102: 236-240
- Häder, D.-P. & R. C. Worrest (1991): Effects of enhanced solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. Photochem. and Photobiol. 53: 717-725
- Hällfors, G., T. Melvasalo, A. Niemi & H. Viljamaa (1979): Effect of different fixatives and preservatives on phytoplankton counts. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland 34: 25-34
- Hansen, B., S. Christiansen & G. Pedersen (1996): Plankton dynamics in the marginal ice zone of the central Barents Sea during spring: carbon flow and structure of the grazer food chain. Polar Biol. 16: 115-128
- Hanson (1980): The snow cover of sea ice during the Arctic Ice Dynamics Joint Experiment, 1975 to 1976. Arctic and Alpine Res. 12: 215-226
- Hansson, L. A. & H. Haakansson (1992): Diatom community response along a productivity gradient of shallow Antarctic lakes. Polar Biol. 12: 463-468
- Hegseth, E. N. (1992): Sub-ice algal assemblages of the Barents Sea: species composition, chemical composition, and growth rates. Polar Biol. 12: 485-496
- Helbling, E. W., V. Villafañe, M. Ferrario & O. Holm-Hansen (1992): Impact of natural ultraviolet radiation on rates of photosynthesis and on specific marine phytoplankton species. Mar. Ecol. Prog. Ser. 80: 89-100
- HELCOM (1983): Guidelines for the Baltic monitoring programme for the second stage. Baltic Mar. Environm. Prot. Comm., Helsinki, 1-249
- Helland-Hansen, B. & F. Nansen (1909): The Norwegian Sea. - Its physical oceanography based upon the Norwegian researches 1900-1904. Rep. Nor. Fish. Mar. Invest. 2: 1-390
- Hellum von Quillfeldt, C. (1994): Phytoplankton and ice algae: Species composition. In: Hirche, H.-J. & G. Kattner (Hrsg.): The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV "Polarstern" Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG "Polar Sea" cruise NEWP and the NEWLand expedition. Ber. Polarforsch. 142: 67-72
- Hellum von Quillfeldt, C. (1997): Distribution of diatoms in the Northeast Water Polynya, Greenland. J. Mar. Syst. 10: 211-240
- Hessen, D. O. (1993): DNA-damage and pigmentation in alpine and Arctic zooplankton as bioindicators of UV-radiation. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 482-486
- Hirche, H.-J. & G. Kattner (1994): The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV "Polarstern" Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG "Polar Sea" cruise NEWP and the NEWLand expedition. Ber. Polarforsch. 142: 1-190
- Hoham, R. W. (1973): Pleiomorphism in the snow alga, *Raphidonema nivale* Lagerh. (Chlorophyta), and a revision of the genus *Raphidonema* Lagerh. (1973). Sysis 6: 255-263

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Hoham, R. W. (1974): New findings in the life history of the snow alga, *Chlainomonas rubra* (Stein et Brooke) comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Syysis* 7: 239-247
- Hoham, R. W. (1975a): Optimum temperatures and temperature ranges for growth of snow algae. *Arctic and Alpine Res.* 7: 13-24
- Hoham, R. W. (1975b): The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas pichincha* (Chlorophyta, Volvocales). *Phycol.* 14: 213-226
- Hoham, R. W. (1980): Phytoflagellates. In: Cox, E. R.: *Phytoflagellates*. Elsevier North Holland, New York: 61-84
- Hoham, R. W. (1992): Environmental influences on snow algal microbes. Proceedings of the Western Snow Conference, Jackson, Wyoming, 14.-16.4.1992, Sixteenth Annual Meeting. Colorado State University, Fort Collins, Colorado: 78-83
- Hoham, R. W. & W. W. Mohn (1985): The optimum pH of four strains of acidophilic snow algae in the genus *Chloromonas* (Chlorophyta) and possible effects of acid precipitation. *J. Phycol.* 21: 603-609
- Hoham, R. W., S. C. Roemer & J. E. Mullet (1979): The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas brevispina* comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Phycologia* 18: 55-70
- Hoham, R. W., J. E. Mullet & S. C. Roemer (1983): The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas polyptera* comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Can. J. Bot.* 61: 2416-2429
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes & J. D. H. Strickland (1965): Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 30: 3-15
- Holt, B. & S. A. Digby (1985): Processes and imagery of first-year fast sea ice during the melt season. *J. Geophys. Res.* 90: 5045-5062
- Horne A. J. & C. R. Goldmann (1994): *Limnology*. McGraw Hill, New York
- Horner, R. (1985): *Sea ice biota*. CRC press, Boca Raton
- Horner, R. (1989): Arctic sea-ice biota. In: Herman, Y. (Hrsg.): *The Arctic seas. Climatology, Oceanography, Geology and Biology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York: 123-146
- Horner, R., E. E. Syvertsen, D. P. Thomas & C. Lange (1988): Proposed terminology and reporting units for sea ice algal assemblages. *Polar Biol.* 8: 249-253
- Horner, R., S. F. Ackley, G. S. Dieckmann, B. Gulliksen, T. Hoshiai, L. Legendre, I. A. Melnikov, W. S. Reeburgh, M. Spindler & C. W. Sullivan (1992): Ecology of sea ice biota. 1. Habitat, terminology, and methodology. *Polar Biol.* 12: 417-427
- Howard-Williams, C., R. Pridmore, M. T. Downes & W. F. Vincent (1989): Microbial biomass, photosynthesis and chlorophyll *a* related pigments in the ponds of the McMurdo Ice Shelf, Antarctica. *Antarct. Sci.* 1: 125-131
- Howard-Williams, C., R. Pridmore, P. A. Broady & W. F. Vincent (1990): Environmental and biological variability in the McMurdo Ice Shelf ecosystem. In: Kerry, K. R. & G. Hempel (Hrsg.): *Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation*. Springer, Berlin: 23-31
- Hsiao, S. I. C. (1980): Quantitative composition, distribution, community structure and standing stock of sea ice microalgae in the Canadian Arctic. *Arctic* 33: 768-793
- Hsiao, S. I. C. (1992): Dynamics of ice algae and phytoplankton in Frobisher Bay. *Polar Biol.* 12: 645-651
- Huber-Pestalozzi, G. (1902): Die Flora von Schnee und Eis. (Das "Kryoplankton"). In: Schroeter, C. (Hrsg.): *Das Pflanzenleben der Alpen*, 2nd ed. Alb. Raustein, Zürich

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Ikävalko, J. (1997) Inst. Polarökologie/Univ. Helsinki, pers. Mitt.
- Ikävalko, J. & R. Gradinger (1997): Flagellates and heliozoans in the Greenland Sea ice studied alive using light microscopy. *Polar Biol.* 17: 473-481
- Ikävalko, J., A. H. Thomsen & M. Carstens (1996): A preliminary study of NE Greenland shallow meltwater ponds with particular emphasis on loricate and scale-covered forms (Choanoflagellida, Chrysophyceae sensu lato, Synurophyceae, Heliozoa), including the descriptions of *Epipyxis thamnoides* sp. nov. and *Pseudokephyron poculiforme* sp. nov. (Chrysophyceae). *Arch. Protistenk.* 147: 29-42
- Irwin, B. D. (1990): Primary production of ice algae on a seasonally-ice-covered, continental shelf. *Polar Biol.* 10: 247-254
- Ishikawa, N. & S. Kobayashi (1985): On the internal melting phenomenon (puddle formation) in fast sea ice, East Antarctica. *Ann. Glaciol.* 6: 138-141
- Ivanov, B. & V. Alexandrov (1994): Albedo of the ice cover during late summer time and energy exchange processes. In: Fütterer, D. K. (Hrsg.): Die Expedition ARCTIC '93. Der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS "Polarstern" 1993. *Ber. Polarforsch.* 149: 47-51
- Jacobsen, B. A. (1985): Scale-bearing Chrysophyceae (Mallomonadaceae and Paraphysomonadaceae) from West Greenland. *Nord. J. Bot.* 5: 381-395
- James, M. R., R. D. Pridmore & V. J. Cummings (1995): Planktonic communities of melt ponds on the McMurdo ice shelf, Antarctica. *Polar Biol.* 15: 555-567
- Jeffrey, S. W. & G. F. Humphrey (1975): New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c1* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 165: 191-194
- Jeffries, M. O., K. Schwartz & S. Li (1997): Arctic summer sea-ice SAR signatures, melt-season characteristics, and melt-pond fractions. *Polar Rec.* 33: 101-112
- Johannes, R. E. (1965): Influence of marine protozoa on nutrient regeneration. *Limnol. Oceanogr.* 10: 434-442
- Johannessen, O. M. (1986): Brief overview of the physical oceanography. In: Hurdle, B. G. (Hrsg.): *The Nordic Seas*. Springer, New York: 103-127
- Jutzerzenka, K. v. & K. Knickmeier (1999): Chlorophyll *a* distribution in water column and sea ice during the Laptev Sea freeze-up study in autumn 1995. In: Kassens, H., H. A. Bauch, I. A. Dmitrenko, H. Eicken, H.-W. Hubberten, M. Melles, J. Thiede & L. A. Timokhov (Hrsg.): *Land ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Springer, Berlin: 153-160
- Jutzerzenka, K. v., S. Lischka, K. Meiners, Y. B. Okolodkov & Q. Zhang (1997): Characteristics and biota of small melt pools. In: Stein, R. & K. Fahl (Hrsg.): *Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV "Polarstern" in 1997*. *Ber. Polarforsch.* 255: 45-46
- Karentz, D., F. S. McEuen, M. C. Land & W. C. Dunlap (1991): Survey of mycosporine-like amino acid compounds in Antarctic marine organisms: potential protection from ultraviolet exposure. *Mar. Biol.* 108: 157-166
- Kattner, G. (1997) Alfred-Wegener-Inst. Polar- u. Meeresforsch., Bremerhaven, pers. Mitt.
- Kattner, G. & H. Becker (1991): Nutrients and organic nitrogenous compounds in the marginal ice zone of the Fram Strait. *J. Mar. Syst.* 2: 385-394
- Kattner, G., B. Hollmann, A. Michel, K.-U. Richter & M. Stürcken-Rodewald (1994): Distribution of nutrients. In: Kattner, G. & H.-J. Hirche (Hrsg.): *The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report of RV "Polarstern" Arctic Cruises ARK IX/2 and 3*. *Ber. Polarforsch.* 145: 106-188

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Kern, J. C. & A. G. Carey, Jr. (1983): The faunal assemblage inhabiting seasonal sea ice in the nearshore Arctic Ocean with emphasis on copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 159-167
- Kirst, G. O. & Wiencke, C. (1995): Ecophysiology of Polar algae. *J. Phycol.* 31: 181-199
- Klein Breteler, W. C. M. (1985): Fixation artifacts of phytoplankton in zooplankton grazing experiments. *Hydrobiological Bulletin* 19: 13-19
- Koch, L. (1945): The East Greenland ice. *Medd. Groenl.* 130: 1-373
- Kohl, J. G. & A. Nicklisch (1988): Ökophysiologie der Algen. *Akad. Ver. Berlin*. Zitiert in Sommer, U. (1994): *Planktologie*. Springer, Berlin
- Kol, E. (1968): Kryobiologie. Biologie und Limnologie des Schnees und Eises. I. Kryo-vegetation. In: Elster, H.-J. & Ohle, W.: *Die Binnengewässer*, Bd. 24. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Kol, E. & S. Euroala (1974): Red snow algae from Spitsbergen. *Astarte*: 7: 61-66
- Kolatschek, J. & A. Zatchek (1997): Spectral and integral Albedo of sea ice. *Ber. Polarforsch.* 226: 71-72
- Koldewey, K. & A. Petermann (1871): Die erste Deutsche Nordpolar-Expedition 1868. Mittheilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt über wichtige neue Erforschungen aus dem Gesamtgebiete der Geographie von Dr. A. Petermann. *Ergänzungsheft* 28. Justus Perthes Verlag Gotha GmbH, 1. Reprintauflage 1993
- Krajick, K. (2001): Field observations from the Beaufort Sea to Hudson Bay suggest that many species are floundering in a warming environment. *Sci.* 291: 424-425
- Krembs, C. (1998): The influence of the three-dimensional structure of sea-ice on the distribution and activity of the Arctic sea-ice communities. *Dissertation, Math.-Naturwiss. Fak., Christian-Albrechts-Univ. Kiel*, 246 S.
- Krembs, C. & Engel, A. (2001): Abundance and variability of microorganisms and transparent exopolymer particles across the ice-water interface of melting first-year sea ice in the Laptev Sea (Arctic). *Mar. Biol.* 138: 173-185
- Krey, J. (1974): Das Plankton. In: Magaard, L. & G. Rheinheimer (Hrsg.): *Meereskunde der Ostsee*. Springer, Berlin: 103-130
- Kriews, M., H. Giese, A. Michel & B. Hollmann (1995): Spurenmetalle und Nährstoffe im Europäischen Nordmeer. *Ber. Polarforsch.* 181: 39-47
- Kristiansen, J. (1988): Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes under eutrophic conditions. *Hydrobiol.* 161: 171-184
- Lampert, W. & U. Sommer (1993): *Limnoökologie*. Georg Thieme, Stuttgart
- Langleben, M. P. (1969): Albedo and degree of puddling of a melting cover of sea ice. *J. Glaciol.* 8: 407-412
- Langleben, M. P. (1971): Albedo of melting sea ice in the southern Beaufort Sea. *J. Glaciol.* 10: 101-104
- Larsen, J. & D. J. Patterson (1990): Some flagellates (Protista) from tropical marine sediments. *J. Nat. Hist.* 24: 801-937
- Larsen, J. & D. J. Patterson (1991): The diversity of heterotrophic euglenids. In: Patterson, D. J. & J. Larsen (Hrsg.): *The biology of free-living heterotrophic flagellates*. Clarendon Press, Oxford: 205-217
- Laval-Peuto, M. (1991): Endosymbiosis in the protozoa - session summary. In: Reid, P. C., C. M. Turley & P. H. Burkill (Hrsg.): *Protozoa and their role in marine processes*. Springer, Berlin: 143-160

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Laybourn-Parry, J. & H. Marchant (1992): The microbial plankton of freshwater lakes in the Vestfold Hills, Antarctica. *Polar Biol.* 12: 405-410
- Laybourn-Parry, J., M. R. James, D. M. McKnight, J. Prisco, S. A. Spaulding & R. Shiel (1997): The microbial plankton of Lake Fryxell, southern Victoria Land, Antarctica during the summers of 1992 and 1994. *Polar Biol.* 17: 54-61
- Lee, J. J., E. B. Small, D. H. Lynn & E. C. Bovee (1985a): Some techniques for collecting, cultivating and observing protozoa. In: Lee, J. J., S. H. Hutner & E. C. Bovee (Hrsg.): An illustrated guide to the Protozoa. Society of Protozoologists, Lawrence, Kansas: 1-7
- Lee, J. J., S. H. Hutner & E. C. Bovee (1985b): An illustrated guide to the Protozoa. Society of Protozoologists, Lawrence, Kansas
- Legendre, L., M. Gosselin, S. Pesant, S. Lessard, C. Fraikin, F. McGuinness & G. Bergeron (1994): Pigments concentrations in the water column. *Ber. Polarforsch.* 145: 189-228
- Lenz, J. (1977): Seston and its main components. In: Rheinheimer, G. (Hrsg.): Microbial ecology of a brackish water environment. Springer, Berlin: 37-60
- Leppäranta, M. & T. Manninen (1988): The brine and gas content of sea ice with attention to low salinities and high temperatures. *Finn. Inst. Mar. Res. Int. Rep.* 2: 1-14
- Lichti-Federovich, S. (1980): Diatom Flora of red snow from Isbjørneø, Carey Øer, Greenland. *Nova-Hedwigia* 33 (1-2): 395-431
- Ling, H. U. & R. D. Seppelt (1990): Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica. *Mesotaenium berggrenii* (Zygnematales, Chlorophyta) the alga of grey snow. *Antarct. Sci.* 2: 143-148
- Lizotte, M. P., T. R. Sharp & J. C. Prisco (1996): Phytoplankton dynamics in the stratified water column of Lake Bonney, Antarctica. I. Biomass and productivity during the winter-spring transition. *Polar Biol.* 16: 155-162
- Lochte, K. & V. Smetacek (1995): Was steuert die Produktivität des Planktons im Südpolarmeer? In: Hempel, I. & G. Hempel (Hrsg.): Biologie der Polarmeere. Gustav Fischer, Jena: 104-115
- Longhurst, A. R., T. Platt, W. G. Harrison, E. J. H. Head, A. W. Herman, E. Horne, R. J. Conover, W. K. W. Li, D. V. Subba Rao, D. Sameoto, J. C. Smith & R. E. H. Smith (1989): Biological oceanography in the Canadian High Arctic. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 188: 80-89
- Lønne, O. J. & B. Gulliksen (1989): Size, age and diet of polar cod, *Boreogadus saida* (Lepechin 1773), in ice covered waters. *Polar Biol.* 9: 187-191
- Lorenzen C.J. & S. W. Jeffrey (1978): Determination of chlorophyll in seawater. Report of intercalibration tests sponsored by SCOR and carried out in September - October 1978 by C.J. Lorenzen and S.W. Jeffrey. *Unesco Technical Papers in Marine Science* 35, 20 S.
- Lozán, J. L. (1992): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. Pareys Studentexte 74. Paul Parey, Berlin
- Lozán, J. L. (1995): STATEASY Version 3.5 plus. Statistisches Computer-Programm für wissenschaftliche Arbeiten, Hamburg
- Maeda, M. (1986): An illustrated guide to the species of the families Halteriidae and Strobilidiidae (Oligotrichida, Ciliophora), free-swimming protozoa common in the marine environment. *Bull. Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo* 21: 1-67
- Makshtas, A. P. & I. A. Podgorny (1996): Calculation of melt pond albedos on Arctic sea ice. *Polar Res.* 15: 43-52
- Marchant, H. J. (1982): Snow algae from the Australian Snowy Mountains. *Phycol.* 21: 178-184

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Martin, T. (1996): Sea Ice Drift in the East Greenland Current. In: Wadhams, P., J. P. Wilkinson & S. C. S. Wells (Hrsg.): European Subpolar Ocean Programme (ESOP): Sea ice - ocean interactions. Sea Ice Group, Scott Polar Res. Inst., Cambridge: 59-71
- Martin, T. & P. Wadhams (1996): Ice fluxes within the Greenland Sea and their variability. In: Wadhams, P., J. P. Wilkinson & S. C. S. Wells (Hrsg.): European Subpolar Ocean Programme (ESOP): Sea ice - ocean interactions. Sea Ice Group, Scott Polar Res. Inst., Cambridge: 72-82
- Maykut, G. A. (1985): The ice environment. In: Horner, R. (1985): Sea-ice biota. CRC Press, Boca Raton: 21-82
- McConville, M. J. & R. Wetherbee (1983): The bottom-ice microalgal community from annual ice in the inshore waters of east Antarctica. J. Phycol. 19: 431-439
- McInnes, S. J. & J. C. Ellis-Evans (1990): Micro-invertebrate community structure within a maritime Antarctic lake. Proc. NIPR Symp. Polar. Biol. 3: 179-189
- Meguro, H. (1962): Plankton ice in the Antarctic ocean. Antarct. Rec. 14: 1192-1199
- Meguro, H., K. Ito & H. Fukushima (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
- Meister, F. (1930): Mission du "Pourquoi pas?" en 1929 sous le Commandement du Dr. J. B. Charcot. Diatomées récoltées par R.-Ph. Dollfus en glace flottante. Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., 2. Ser., 2: 329. Zitiert in Horner, R. (1985): Sea ice biota. CRC press, Boca Raton
- Melles, M. (1994): Alfred-Wegener-Institut f. Polar- und Meeresforsch., Potsdam, pers. Mitt.
- Melles, M., A.M. Akimov, M. Diepenbroek, O. Goerke, H. Grobe, G. Müller & F. Niessen (1995): Lacustrine Sedimentology. In: Hubberten, H.-W. (Hrsg.): Die Expedition ARKTIS-X/2 mit FS "Polarstern" 1994. Ber. Polarforsch. 174: 53-62
- Melnikov, I. A. (1980): zitiert in Melnikov, I. A. (1997): The Arctic sea ice ecosystem. Gordon and Breach Science Publishers/Overseas Publishers Association Amsterdam B. V., Niederlande
- Melnikov, I. A. (1989): Ecology of Arctic Ocean cryopelagic fauna. In: Herman, Y. (Hrsg.): The Arctic Seas. Climatology, oceanography, geology and biology. Von Noskand Reinhold Company, New York: 235-247
- Melnikov, I. A. (1997): The Arctic sea ice ecosystem. Gordon and Breach Science Publishers/Overseas Publishers Association Amsterdam B. V., Niederlande
- Melnikov, I. A. & L. L. Bondarchuk (1987): Ecology of mass accumulations of colonial diatom algae under drifting Arctic ice. Oceanology 27: 233-236
- Meunier, A. (1910): Microplankton des Mers de Barents et de Kara. Duc D'Orléans, Campagne Arctique de 1907, Imprimerie Scientifique Charles Bulens, Editeur, Bruxelles, Bd. 1
- Mock, T. & Gradinger, R. (1999): Determination of Arctic ice algal production with a new *in situ* incubation technique. Mar. Ecol. Prog. Ser. 177: 15-26
- Moestrup, Ø. & H. A. Thomsen (1980): Preparation of shadow-cast whole mounts. In: Gantt, E. (Hrsg.): Handbook of phycological methods. Cambridge: 385-391
- Morassutti, M. P. & E. F. LeDrew (1995): Melt pond dataset for use in sea-ice and climate-related studies. Inst. For Space and Terrestrial Sci., Dep. Geography, University of Waterloo, Ontario, Can. N2L 3G1
- Morassutti, M. P. & E. F. LeDrew (1996): Albedo and depth of melt ponds on sea ice. Int. J. Climatol. 16: 817-838
- Moritz, R. E., J. A. Curry, A. S. Thorndike & N. Untersteiner (Hrsg.) (1993): SHEBA, a research program on the surface heat budget of the Arctic Ocean. Result of the NSF

## 6. Literaturverzeichnis

---

ARCSS Workshop on Clouds, Radiation, and surface energy balance over the Arctic Ocean, Orlando, FL, February 8-10, 1993. ARCSS OAI Science Management Office, Polar Science Center, University of Washington, Seattle

Nansen, F. (1897): In Nacht und Eis. Brockhaus, Leipzig

Nansen, F. (1906): Protozoa on the ice-floes of the North Polar Sea. In: Nansen, F. (Hrsg.): The Norwegian North Polar Expedition 1893-1896. The Fridtjof Nansen Fund for the Advancement of Science, Jacob Dybwad, Christiania. Scientific Results, Vol. 5, Kap. 16: 1-22.

Nazintsev, Y. L. (1964): Teplovoi balans poverkhnosti mnogoletnego ledianogo pokrova v tsentral'noi Arktike (The heat balance of the surface of the multiyear ice cover in the central Arctic, in Russian). Tr. Arkt. Antarkt. Nauchno Issled. Inst. 267: 110-126. Zitiert in Barry, R. G., M. C. Serreze & J. A. Maslanik (1993): The Arctic sea ice-climate system: observations and modeling. Rev. Geophys. 31: 397-422

Nelson, D. M. & P. Treguer (1992): Role of silicon as a limiting nutrient to Antarctic diatoms: evidence from kinetic studies in the Ross Sea ice-edge zone. Mar. Ecol. Prog. Ser. 80: 255-264

Nürnberg, D., D. K. Fütterer, F. Niessen, N. Nørgaard-Pedersen, C. J. Schubert, R. F. Spielhagen & M. Wahsner (1995): The depositional environment of the Laptev Sea continental margin: preliminary results from the R/V POLARSTERN ARK IX/4 cruise. Polar Res. 14: 43-53

Okolodkov, Y. B. (1992): Cryopelagic flora of the Chukchi, East Siberian and Laptev Seas. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 5: 28-43

Okolodkov, Y. B. (1993): Algae in the annual sea ice at Hooker Island, Franz Josef Land, in august 1991. Polish Polar Res. 14: 25-32

Okolodkov, Y. B. (1996a): Vertical distribution of algae and nutrients in the first-year ice from the east Siberian Sea in May 1987. Russian Arctic 7: 34-40

Okolodkov, Y. B. (1996b): Biodiversity of planktonic and sea-ice algae. In: Falk-Petersen, S. & H. Hop (Hrsg.): Ecological processes in the marginal ice-zone in the northern Barents Sea. Norsk Polarinstitut Rapportserie 93: 31-44

Okolodkov, Y. B. (1997a): Algae in melt pools. In: Stein, R. & K. Fahl (Hrsg.): Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of "Polarstern" in 1997. Ber. Polarforsch. 255: 52-53

Okolodkov, Y. B. (1997b): Sea-ice algae. In: Stein, R. & K. Fahl (Hrsg.): Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of "Polarstern" in 1997. Ber. Polarforsch. 255: 47-48

Okolodkov, Y. B. (1997c): Phytoplankton: Studies on the biodiversity, taxonomy, community comparison and biogeography. In: Stein, R. & K. Fahl (Hrsg.): Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of "Polarstern" in 1997. Ber. Polarforsch. 255: 47-48

Okolodkov, Y. (1998) Komarov Botanical Institute, USSR Academy of Sciences, St. Petersburg & M. Elbrächter, Biologische Anstalt Helgoland, Litoralstation Sylt, pers. Mitt.

Onstott, R. G. & S. P. Gogineni (1985): Active microwave measurements of Arctic sea ice under summer conditions. J. Geophys. Res. 90: 5035-5044

Østrup, E. (1895): Marine Diatomeer fra Østgrønland. Medd. Groenl. 18: S. 395. Zitiert in Horner, R. (1985): Sea ice biota. CRC press, Boca Raton

Ott, J. (1988): Meereskunde. Ulmer, Stuttgart

Overpeck, J., K. Hughen, D. Hardy, R. Bradley, R. Case, M. Douglas, B. Finney, K. Gajewski, G. Jacoby, A. Jennings, S. Lamoureux, A. Lasca, G. MacDonald, J. Moore, M. Retelle, S. Smith, A. Wolf & G. Zielinski (1997): Arctic environmental change of the last four centuries. Sci. 278: 1251-1256

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Page, F. C. (1983): Marine Gymnamoebae. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge
- Page, F. C. (1988): A new key to freshwater and soil gymnamoebae. Freshwater Biol. Assoc., Ambleside, Cumbria, U.K.
- Paige, R. A. (1968): Sub-surface melt pools in the McMurdo ice shelf, Antarctica. J. Glaciol. 7: 511-516
- Palibine, J. (1903-1906): Résultats botaniques du voyage à océan glacial sur le bateau brise-glace "ERMAK" pendant l'été de l'année 1901. Petersburg
- Pankow, H. (1990): Ostsee-Algenflora. Gustav Fischer Verlag, Jena
- Paquette, R. G., R. H. Bourke, J. F. Newton & W. F. Perdue (1985): The East Greenland Polar Front in autumn. J. Geophys. Res. 90: 4866-4882
- Paranjape, M. A. (1988): Microzooplankton in Lancaster Sound (eastern Canadian Arctic) in summer: biomass and distribution. Deep-Sea Res. 35: 1547-1563
- Parker, B. C., A. T. Mikell & G. M. Simmons, Jr. (1983): Strategies for growth and survival of Antarctic oasis lake biota. Antarct. J. XVIII 5: 220-221
- Parry (1828): zitiert in Kol, E. & S. Euroala (1974): Red snow algae from Spitsbergen. Astarte 7: 61-66
- Parslow, J. S., G. J. Doucette, F. J. R. Taylor & P. J. Harrison (1986): Feeding by the zooflagellate *Pseudobodo* sp. on the picoplanktonic prasinomonad *Micromonas pusilla*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 29: 237-246
- Parsons T.R., Y. Maita & C.M. Lalli (1984): A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford
- Perovich, D. K. (1991): Seasonal changes in sea ice optical properties during fall freeze-up. Cold Reg. Sci. Technol. 19: 261-273
- Perovich, D. K. (1994): Light reflection from sea ice during the onset of melt. J. Geophys. Res. 99: 3351-3359
- Perovich, D. K. (1996): The optical properties of sea ice. CRREL Monograph 96-1. US Army Corps of Engineers, Cold Regions Res. and Engineering Lab.: 1-25
- Perovich, D. K. & W. B. Tucker III (1997): Arctic sea ice conditions and the distribution of solar radiation during summer. Ann. Glaciol. 25: 445-450
- Perovich, D. K., C. S. Roesler & W. S. Pegau (1998): Variability in Arctic sea ice optical properties. J. Geophys. Res. 103: 1193-1208
- Perriss, S. J., J. Laybourn-Parry & H. J. Marchant (1995): Widespread occurrence of populations of the unique autotrophic ciliate *Mesodinium rubrum* (Ciliophora: Haptorida) in brackish and saline lakes of the Vestfold Hills (Antarctica). Polar Biol. 15: 423-428
- Petz, W., W. Song & N. Wilbert (1995): Taxonomy and ecology of the ciliate fauna (Protozoa, Ciliophora) in the endopagial and pelagial of the Weddell Sea, Antarctica. Stapfia 40: 1-223
- Podgorny, I. A. & T. C. Grenfell (1996): Partitioning of solar energy in melt ponds from measurements of pond albedo and depth. J. Geophys. Res. 101: 22737-22748
- Pollock, R. (1970): What colours the mountain snow? Sierra Club Bull. 4: 18-20
- Poltermann, M. (1996): Biologische und ökologische Untersuchungen zur kryopelagischen Amphipodenfauna des arktischen Meereises. Dissertation, Univ. Bremen, 166 S.
- Popovsky, J. & L. A. Pfiester (1990): Dinophyceae (Dinoflagellida). In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer (Serien-Hrsg.): Die Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 6, Gustav Fischer, Jena



## 6. Literaturverzeichnis

---

- Porter, K. G. & Y. S. Feig (1980): The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25: 943-948
- Pounder, E. R. (1965): *Physics of ice*. Pergamon Press, Oxford
- Putt, M. & D. K. Stoecker (1989): An experimentally determined carbon: volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1097-1103
- Quadfasel, D., J.-C. Gascard & K.-P. Koltermann (1987): Large-scale oceanography in Fram Strait during the 1984 Marginal Ice Zone Experiment. *J. Geophys. Res.* 92: S. 6719-6728
- Ramseier, R. O., A. Bochert, S. El Naggar, C. Garrity, S. Geiger, T. König & U. Lahmann (1994): Remote Sensing. In: Hirche, H.-J. & G. Kattner: The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV "Polarstern" Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG "Polar Sea" cruise NEWP and the NEWLand expedition. *Ber. Polarforsch.* 142: 28-55
- Ramseier, R. O., E. Bauerfeind, C. Garrity & I. D. Walsh (1997): Seasonal variability of sediment trap collections in the North East Water Polynya. Part 1: sea-ice parameters and particle flux. *J. Mar. Syst.* 10: 359-369
- Reitmeier, S. (1994): Untersuchungen zur Verbreitung, zur Biomasse und zum Grazing des Mikrozooplanktons in polaren Gewässern. *Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel* 48: 1-114
- Remane, A. & C. Schlieper (1971): *Biology of Brackish Water*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart/John Wiley & Sons, Inc., New York
- Ritzrau, W. (1997): Pelagic microbial activity in the Northeast Water polynya, summer 1992. *Polar Biol.* 17: 259-267
- Røen, U. I. (1962): Studies on freshwater Entomostraca in Greenland II. Localities, ecology, and geographical distribution of the species. C. A. Reitzels Forlag, København
- Rogers, C. K., G. A. Lawrence & P. F. Hamblin (1995): Observations and numerical simulation of a shallow ice-covered midlatitude lake. *Limnol. Oceanogr.* 240: 374-385
- Sachs, L. (1993): *Statistische Methoden. Planung und Auswertung*. 7. überarb. Auflage. Springer, Berlin
- Sandberg, S. & E. N. Hegseth (1996): Primary production. Kap. 5.1.1. In: Falk-Petersen, S. & H. Hop (Hrsg.): *Ecological processes in the marginal ice-zone of the northern Barents Sea. ICE-BAR 1995, Cruise report*. Norsk Polarinstitutt Rapportserie 93, Tromsø: 25-39
- Sanders, R. W., D. A. Caron & U.-G. Berninger (1992): Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters: an inter-ecosystem comparison. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 86: 1-14
- Schneider, W. & G. Budéus (1994): The North East Water polynya (Greenland Sea). I. A physical concept of its generation. *Polar Biol.* 14: 1-9
- Schneider, W. & G. Budéus (1995): On the generation of the Northeast Water Polynya. *J. Geophys. Res.* 100: 4269-4286
- Schwoerbel, J. (1984): *Einführung in die Limnologie*. 5. Aufl., Gustav Fischer, Stuttgart
- Sharp, T. R. & J. C. Prisco (1991): Rates of primary production and growth for phytoplankton in Lake Bonney. *Antarct. J. U. S.* 26: 225
- Sherr, B. F., E. B. Sherr & T. Berman (1983): Grazing, growth, and ammonium excretion rates of a heterotrophic microflagellate fed with four species of bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 45: 1196-1201
- Sherr, E. B., F. Rassoulzadegan & B. F. Sherr (1989): Bacterivory by pelagic choreotrichous ciliates in coastal waters of the NW Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 55: 235-240

## 6. Literaturverzeichnis

- Shirshov (1935): zitiert in Melnikov, I. A. (1997): The Arctic sea ice ecosystem. Gordon and Breach Science Publishers/Overseas Publishers Association Amsterdam B. V., Niederlande
- Sime-Ngando, T., K. Juniper & S. Demers (1993): Ice-brine extracted microzooplankton assemblage from Lake Saroma (Hokkaido, Japan). The Eighth International Symposium on Okhotsk Sea and Sea-Ice and Polar-Ice Extent. Workshop Abstracts. Okhotsk Sea and Cold Ocean Res. Assoc., Momkitsu, Japan
- Sime-Ngando, T., K. Juniper & S. Demers (1997a): Ice-brine and planktonic microheterotrophs from Saroma-ko Lagoon, Hokkaido (Japan): quantitative importance and trophodynamics. *J. Mar. Syst.* 11: 149-161
- Sime-Ngando, T., M. Gosselin, S. K. Juniper & M. Levasseur (1997b): Changes in sea-ice phagotrophic microprotists (20-200 µm) during the spring algal bloom, Canadian Arctic Archipelago. *J. Mar. Syst.* 11: 163-172
- Small, E. B. & D. H. Lynn (1985): Phylum Ciliophora, Doflein, 1901. S. 393-575. In: Lee, J. J., S. H. Hutner, E. C. Bovee (Hrsg.): An illustrated guide to the protozoa. Soc. Protozool., Kansas, U.S. A.
- Smith, R. E. H., W. G. Harrison, L. R. Harris & A. W. Herman (1990): Vertical fine structure of particulate matter and nutrients in sea ice of the high Arctic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1348-1355
- Smith, W. O. Jr. & E. Sakshaug (1990): Polar Phytoplankton. Kap. 9 In: Smith, W. O. Jr. (Hrsg.): Polar Oceanography. Part B - Chemistry, Biology and Geology. Academic Press, Inc., San Diego: 477-525
- Smol, J. P., D. F. Charles & D. R. Whitehead (1984): Mallomonadacean (Chrysophyceae) assemblages and their relationships with limnological characteristics in 38 Adirondack (New York) lakes. *Can. J. Bot.* 62: 911-923
- Søgaard Andersen, F. (1946): East Greenland lakes as habitats for chironomid larvae. *Medd. Groenl.* 100, 10. Zitiert in Røen, U. I. (1962): Studies on freshwater Entomostraca in Greenland II. Localities, ecology, and geographical distribution of the species. C. A. Reitzels Forlag, København
- Sommer, U. (1991): The application of the Droop-model of nutrient limitation to natural populations of phytoplankton. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 791-794. Zitiert in Sommer, U. (1994): Planktologie. Springer, Berlin
- Sommer, U. (1994): Planktologie. Springer, Berlin
- Song, W. & N. Wilbert (1995): Benthische Ciliaten des Süßwassers. 156-168. In: Röttger, R. (Hrsg.): Praktikum der Protozoologie. Gustav Fischer, Stuttgart
- Spindler, M. (1990): A comparison of Arctic and Antarctic sea ice and the effects of different properties on sea ice biota. In: Bleil, U. & J. Thiede (Hrsg.): Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. Kluwer Academic Publishers, Netherlands: 173-186
- Spindler, M. (1994): Notes on the biology of sea ice in the Arctic and Antarctic. *Polar Biol.* 14: 319-324
- Spindler, M. (1996): On the salinity tolerance of the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* from Antarctic sea ice. *Proceed. NIPR Symp. Polar Biol.* 9: 85-91
- Spindler, M. & G. S. Dieckmann (1991): Das Meereis als Lebensraum. *Spektrum d. Wiss.*: 48-57
- Starmach, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer (Hrsg.): Die Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 10. Gustav Fischer, Stuttgart
- Steedman, H. F. (1976): General and applied data on formaldehyde fixation and preservation of marine zooplankton. In: Steedman, H. F. (Hrsg.): Zooplankton fixation and preservation.

## 6. Literaturverzeichnis

---

- UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology No. 4, UNESCO Press, Paris: 103-154
- Steffen, K. (1986): Atlas of the Sea Ice Types Deformation Processes and Openings in the Ice. North Water Project. Zürcher Geographische Schriften Heft 20. Lang, H., Ohmura, A. & D. Steiner (Hrsg.): Geographisches Institut der Eidg. Technischen Hochschule Zürich, Verlag der Fachvereine, Zürich
- Stoecker, D. K. (1991): Mixotrophy in marine planktonic ciliates: physiological and ecological aspects of plastid-retention by oligotrichs. In: Reid, P. C., C. M. Turley & P. H. Burkill (Hrsg.): Protozoa and their role in marine processes. Springer, Berlin: 161-179
- Stoecker, D. K., K. R. Buck & M. Putt (1992): Changes in the sea-ice brine community during the spring-summer transition, McMurdo Sound, Antarctica. 1. Photosynthetic protists. Mar. Ecol. Prog. Ser. 84: 265-278
- Strathmann, R. R. (1967): Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. Limnol. Oceanogr. 12: 411-418
- Strickland, J. D. H. & T. R. Parsons (1968): A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Res. Boards Can. Bull. 167, Ottawa
- Suren, A. (1990): Microfauna associated with algal mats in melt ponds of the Ross Ice Shelf. Polar Biol. 10: 329-335
- Sutherland, P. C. (1852): Journal of a voyage in Baffin's Bay and Barrow Strait, in the years 1850-1851, performed by H. M. ships "Lady Franklin" and "Sophia", under the command of Mr. William Penny, in search of the missing crews of H. M. ships "Erebus" and "Terror". Longman, Brown, Green and Longmans, London, Vol. 2, 869 S.
- Swift, J. H. (1986): The Arctic waters. In: Hurdle, B. G. (Hrsg.): The Nordic seas. Springer, New York: 129-153
- Swithinbank, C. (1970): Ice movement in the McMurdo Sound area of Antarctica. Proc. Int. Symp. Antarctic Glaciological Exploration, Hannover, New Hampshire, USA, 472-482. Zitiert in Howard-Williams, C., R. Pridmore, P. A. Broady & W. F. Vincent (1990): Environmental and biological variability in the McMurdo Ice Shelf ecosystem. In: Kerry, K. R. & G. Hempel (Hrsg.): Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation. Springer, Berlin: 23-31
- Syvertsen, E. E. (1991): Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. In: Sakshaug, E., C. C. E. Hopkins & N. A. Øritsland (Hrsg.): Proceedings of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Res. 10: 277-287
- Takahashi, Y. (1960): On the puddles of Lützow-Horn Bay. Proceedings of the Symposium on Antarctic Meteorology. Pergamon Press, New York: 321-332
- Taylor, F. J. R. (1976): Flagellates. In: Steedman, H. F. (Hrsg.): Zooplankton fixation and preservation. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology No. 4, UNESCO Press, Paris: 259-267
- Taylor, G. T. (1982): The role of pelagic heterotrophic protozoa in nutrient cycling: a review. Ann. Inst. Océanogr., Paris 58: 227-241
- Thiede, J. (1988): Scientific cruise report of Arctic expedition ARK IV/3. Ber. Polarforsch. 43: 1-88
- Thiel, H. (1966): Quantitative Untersuchungen über die Meiofauna des Tiefseebodens. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., Sonderbd. 2: 131-147
- Thomas, W. H. (1972): Observations on snow algae in California. J. Phycol. 8: 1-9
- Thomas, J. A. & V. B. Kuechle (1982): Melt pools as natural experimental arenas for acoustical studies. Antarct. J. U. S. 17: 187

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Thomas, D. N., R. J. Lara, H. Eicken, G. Kattner & A. Skoog (1995): Dissolved organic matter in Arctic multi-year sea ice during winter: major components and relationship to ice characteristics. *Polar Biol.* 15: 477-483
- Thomsen, H. A. (1982): Planktonic choanoflagellates from Disko Bugt, West Greenland, with a survey of the marine nanoplankton of the area. *Medd. Groenl., Biosc.* 8: 1-35
- Thomsen, H. A. & J. B. Østergaard (1994): Biodiversity, succession and spatial coverage of nanoplankton. In: Hirche, H.-J. & G. Kattner (Hrsg.): The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV "Polarstern" Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG "Polar Sea" cruise NEWP and the NEWLand expedition. *Ber. Polarforsch.* 142: 60-64.
- Thomsen, H. A., K. R. Buck, P. A. Bolt & D. L. Garrison (1990): Fine structure and biology of *Cryothecomonas* gen. Nov. (Protista incertae sedis) from the ice biota. *Can. J. Zool.* 69: 1048-1070
- Toudal, L. & H. Valeur (1996): Ice extent in the Greenland Sea 1978 - 1995. In: Wadhams, P., J. P. Wilkinson & S. C. S. Wells (Hrsg.): European Subpolar Ocean Programme (ESOP): Sea ice - ocean interactions. *Sea Ice Group, Scott Polar Res. Inst., Cambridge*: 104-124
- Tucker III, W. B., A. J. Gow, D. A. Meese, H. W. Bosworth & E. Reimnitz (1999): Physical characteristics of summer sea ice across the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.* 104: 1489-1504
- Untersteiner, N. (1961): On the mass and heat budget of Arctic sea ice. *Arch. Met. Geoph. Biokl. A.* 12: 151-182
- Untersteiner, N. (1988): On the ice and heat balance in Fram Strait. *J. Geophys. Res.* 93: 527-531
- Usachev, P. J. (1938): Biological analysis of ice-floes. *C. R. Dokl. Acad. Sci.* 19, USSR
- Usachev, P. J. (1946): Biological indicators of the origin of ice-floes in the Kara-Sea and of Brothers Laptev and the Straits of the Franz-Josef-Land Archipelago. *Trudy Instituta Okeanologii AN SSSR, Tom 1*: 113-150
- Usachev, P. J. (1949): The microflora of polar ice. *Acad. Nauk USSR, Trudy Inst. Oceanol.* 3: 216-259
- Vanhöffen, F. (1893): Frühlingsleben in Nordgrönland. *Verh. Ges. Erdk. Berl.* Zitiert in Horner, R. (1985): *Sea ice biota*. CRC press, Boca Raton
- Vanhöffen, F. (1897): Fauna und Flora Grönlands. *Grönland-Exped. Ges. Erdk. Berl.* 1891-1893, Bd. II. Zitiert in Horner, R. (1985): *Sea ice biota*. CRC press, Boca Raton
- Vézina, S. & W. F. Vincent (1997): Arctic cyanobacteria and limnological properties of their environment: Bylot Island, Northwest Territories, Canada (73°N, 80°W). *Polar Biol.* 17: 523-534
- Vincent, W. F. (1988): Snow and ice ecosystems. In: Vincent, W. F. (Hrsg.): *Microbial ecosystems of Antarctica*. Cambridge University Press, Cambridge: 6-25
- Vincent, W. F. & M. R. James (1996): Biodiversity in extreme aquatic environments: lakes, ponds and streams of the Ross Sea sector, Antarctica. *Biodiversity and Conservation* 5: 1451-1471
- Vincent, W. F., J. A. E. Gibson, R. Pienitz, V. Villeneuve, P. A. Broady, P. B. Hamilton & C. Howard-Williams (2000): Ice shelf microbial ecosystems in the High Arctic and implications for life on snowball Earth. *Naturwissenschaften* 87: 137-141
- Vinje, T. E. (1977a): Sea ice conditions in the European sector of the marginal seas of the Arctic, 1966-75. *Norsk Polarinst. Aarbøk* 1975: 163-174
- Vinje, T. E. (1977b): Sea ice conditions in 1976. *Norsk Polarinst. Aarbok* 1976: 309-316

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Vinje, T. E. (1978): Sea ice conditions and drift of Nimbus-6 buoys in 1977. Norsk Polarinst. Aarbok 1977: 283-292
- Vinje, T. E. & Ø. Finnekasa (1986): The ice transport through the Fram Strait. Skr. Nor. Polarinst. 186: 1-39. Zitiert in Carmack, E. (1990): Large-scale physical Oceanography of Polar Oceans. In: Smith, W. O., Jr. & O. Walker: Polar Oceanography. Part A. Phys. Sci., Academic Press, San Diego: 171-222
- Visbeck, M. (1993): Konvektion im offenen Ozean. Interpretation von Beobachtungen aus der Grönlandsee und dem westlichen Mittelmeer. Ber. Inst. Meereskunde 237, 187 S.
- Vollenweider, R. W. (1968): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris
- Vørs, N. (1992): Heterotrophic amoebae, flagellates and heliozoa from the Tvärminne area, Gulf of Finland, in 1988-1990. Ophelia 36: 1-109
- Wadhams, P. (1981): The ice-cover in the Greenland and Norwegian Seas. Rev. Geophys. Space Phys. 19: 345-393
- Wadhams, P. (1983): Sea-ice thickness distribution in Fram Strait. Nature 305: 108-111
- Wadhams, P. (1986): The ice cover. In: Hurdle, B. G. (Hrsg.): The Nordic seas. Springer, New York: 21-84
- Wadhams, P. (1992): Sea ice thickness distribution in the Greenland Sea and Eurasian Basin, May 1987. J. Geophys. Res. 97: 5331-5348
- Wawrik, F. (1978): Algologische und oekologische Ergebnisse der Eisschluß- und Eisbruch-Exkursionen aus Teichen des nördlichen Waldviertels (Niederösterreich). Nova Hedwigia 30: 851-867
- Wawrik, F. (1979): Planktonvegetations in the ponds of the northern Waldviertel during periods of closing and breaking of ice 1977/78. Arch. Protistenk. 122: 247-266
- Weeks, W. F. (1986): The physical properties of the sea ice cover. In: Hurdle, B. G. (Hrsg.): The Nordic Seas. Springer, New York: 87-100
- Weeks, W. F. & S. F. Ackley (1986): The growth, structure and properties of sea ice. In: Untersteiner, N. (Hrsg.): The geophysics of sea ice. NATO ASI B146, New York: 9-164
- Weissenberger, J. (1992): Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meereises. Ber. Polarforsch. 111: 1-159
- Welschmeyer, N. A. (1994): Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and pheopigments. Limnol. Oceanogr. 39(8): 1985-1992
- Werner, I. (1997): Ecological studies on the Arctic under-ice habitat - colonization and processes at the ice-water interface. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 70: 1-167
- Werner, I. & Lindemann, F. (1997): Video observations of the underside of arctic sea ice - features and morphology on medium and small scales. Polar Res. 16: 27-36
- Weslawski, J. M., S. Kwásniewski, J. Wiktor & M. Zajaczkowski (1993): Observations on the fast ice biota in the fjords of Spitsbergen. Pol. Polar Res. 14: 331-343
- Wharton, R. A., Jr., W. C. Vinyard, B. C. Parker, G. M. Simmons, Jr. & K. G. Seaburg (1985): Algae in cryoconite holes on Canada Glacier in southern Victoria Land, Antarctica. Phycol. 20: 208-211
- Whiteside, M. C., J. P. Bradbury & S. J. Tarapchak (1980): Limnology of the Klutlan Moraines, Yukon Territory, Canada. Quat. Res. 14: 130-148

## 6. Literaturverzeichnis

---

- Wickham, S. & M. Carstens (1998): Effects of ultraviolet-B radiation on two arctic microbial food webs. *Aquat. Microb. Ecol.* 16: 163-171
- Wiktor, J., J. M. Weslawski, P. Wieczorek, M. Zajaczkowski & Y. B. Okolodkov (1998): Phytoplankton and suspensions in relation to the freshwater in Arctic coastal marine ecosystems. *Polish Polar Res.* 19: 219-234
- Wilhelm, F. (1975): *Schnee- und Gletscherkunde*. Walter de Gruyter, Berlin
- Williamson, C. E., H. E. Zagarese, P. C. Schulze, B. R. Hargreaves & J. Seva (1994): The impact of short-term exposure to UV-B radiation on zooplankton communities in north temperate lakes. *J. Plankton Res.* 16: 205-218
- Wittmann, W. I. & J. J. Schule (1966): Comments on the mass budget of Arctic pack ice. In: Fletcher, J. O. (Hrsg.): *Proceedings of a Symposium on the Arctic Heat Budget and Atmospheric Circulation*. Rept. RM-5233-NSF, The Rand Corp., Santa Monica, Calif.: 215-246
- WMO (World Meteorological Organization) (1970): *WMO Sea-Ice Nomenclature, Terminology, Codes and Illustrated Glossary*. Rep. WMO/DMM/BMO No. 259, TP 145. World Meteorol. Org., Geneva
- Wollenburg, J. (1993): Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht. *Ber. Polarforsch.* 127: 1-159
- Zatchek, A. & A. Darovskikh (1997): Thermal conditions of open and frozen melt puddles. In: Rachor, E. (Hrsg.): *Scientific cruise report of the Arctic expedition ARK XI/1 of RV "Polarstern" in 1995*. *Ber. Polarforsch.* 226: 48-55
- Zeebe, R. E., H. Eicken, D. H. Robinson, D. Wolf-Gladrow & G. S. Dieckmann (1996): Modelling the heating and melting of sea ice through light absorption by microalgae. *J. Geophys. Res.* 101: 1163-1181
- Zhang, Q., K. Meiners, K. v. Juterzenka & S. Lischka (1997): Sea-Ice: Ecological Studies. In: Stein, R. & D. Fahl (Hrsg.): *Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV "Polarstern" in 1997*. *Ber. Polarforsch.* 255: 38-40
- Zündorf, I. & D.-P. Häder (1991): Biochemical and spectroscopic analysis of UV effects in the marine flagellate *Cryptomonas maculata*. *Arch. Microbiol.* 156: 405-411
- Zwierz, M. (1994) Alfred-Wegener-Inst. Polar- und Meeresforsch., Bremerhaven; pers. Mitt.

## 7. Danksagung

Die Ergebnisse dieser Arbeit entstanden im Rahmen eines Forschungsprojekts der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Kennziffer Sp 377/2-2.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Spindler für die Vergabe des Themas und die Betreuung dieser Arbeit. Herrn Prof. Dr. Rolf Gradinger danke ich für die Hilfestellung bei der Planung und Durchführung der praktischen Arbeiten und für seine Diskussionsbereitschaft, der auch große Entfernungen nichts anhaben konnten (Dank nach Fairbanks!).

Weiterhin danke ich den Fahrleitern der Expeditionen ARK IX/3 und ARK X, Herrn Dr. H.-J. Hirche, Herrn Dr. E. Fahrbach und Herrn Dr. H.-W. Hubberten, durch deren Kooperation eine Vielzahl von Stationen beprobt werden konnte. Den Kapitänen Herrn Greve und Herrn Allers und der Mannschaft von F/S Polarstern bin ich für ihre Hilfsbereitschaft, die gute Zusammenarbeit und die gute Atmosphäre an Bord sehr dankbar, ebenso den Piloten und Mitarbeitern der Fa. Wasserthal, Hamburg, mit deren Helikoptern fast alles möglich war. Der Seesediment-Arbeitsgruppe um Martin Melles, AWI Potsdam, danke ich für die Gelegenheit zur Beprobung von Landtümpeln und -seen während ARK X/2. Herr Melles stellte mir die Tiefenangaben der Seen zur Verfügung. Erik Born, Kopenhagen, verdanke ich das Probenmaterial der Stationen 75, 76, 78 und 83. Rolf Gradinger brachte mir Probenmaterial von der Festeisnase (Station 62) mit. Weiterhin danke ich allen Helfern auf der Scholle und an Bord, ohne deren tatkräftige Unterstützung viele Daten nicht entstanden wären.

Mein besonderer Dank gilt Caren Garrity und Rene Ramseier sowie Eddy Bauerfeind und Marita Krumbholz, die mich - als Neuling und "Kuckucksei" - auf meiner ersten Polarstern-Expedition unter ihre Fittichen nahmen. Frau Garrity und Herr Ramseier sorgten dafür, daß ich während der ersten Expedition 48 Stationen beproben konnte und während der zahlreichen Helikopterflüge einen Eindruck von der Anzahl und Vielfalt der Tümpel und vom Eisregime erhielt. Ebenso danke ich Stephen Wickham für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und gute Stimmung während ARK X/2 (busy little beavers at work!).

Gerhard Kattner, AWI Bremerhaven, und seiner Arbeitsgruppe, insbesondere Andreas Michel, Klaus-Uwe Richter und Beate Hollmann, danke ich für die Messung der zahlreichen Nährstoffproben. Sven Reitmeier, SFB 313 bin ich für die Messung der Chlorophyll- und POC-Proben von ARK X dankbar. Sabine Agatha, Institut für Frischwasser- und Abwasserbiologie, Hamburg danke ich für ihr offenes Ohr und die praktischen Ratschläge. Sie führte mich in die Wilbertsche Methode der Protargolfärbung von Ciliaten ein und untersuchte die taxonomische

## 7. Danksagung

---

Zusammensetzung der Ciliatenfauna ausgewählter Stationen von ARK X. Johanna Ikkävalko, Universität Helsinki/IPÖ Kiel stellte TEM-Präparate aus Material von Station 64 her und bestätigte anhand dieser Präparate meine Identifizierung des abundanten Flagellaten als *Pyramimonas* sp.. Yuri Okolodkov, Botanisches Institut der Russischen Akademie der Wissenschaften, St. Petersburg gab mir einen Überblick über die russischsprachige Schmelzwassertümpel-Literatur. Verschiedene Kollegen warfen einen wohlwollenden und oft ratlosen Blick auf meine UFOs - vielen Dank an Rita Horner, Kurt Buck, Diane Stoecker, Malte Elbrächter, Yuri Okolodkov, Ron Hoham und Hartmut Arndt.

Weiterhin ganz herzlichen Dank an Brigitte Borkowitz, Jutta Buschbom und Nadja Ziebarth, die bei der Expeditionsvorbereitung, Literaturbeschaffung und -eingabe und anderen Arbeiten halfen. Frank Lindemann unterstützte mich bei der Erstellung der Stationskarten. Die Kolleginnen und Kollegen vom IPÖ halfen mit Anregung, Kritik und aufbauenden Worten und sorgten für die gute Atmosphäre im Institut. Die guten Geister Frank-Peter Rapp und Werner Dzomla gaben technischen und fototechnischen Beistand. Ohne die Mädels aus dem 1. Stock wäre das IPÖ-Leben nur halb so schön gewesen. Karen v. Juterzenka und Iris Werner übten konstruktive Kritik am ersten Entwurf der Arbeit, versorgten mich auf dem roten Sofa mit Kaffee, weißen Mäusen und Ratschlägen und in letzter Minute mit noch fehlender Literatur. Michaela Mayer half ganz wesentlich beim Durchhalten auf den letzten Metern und widmete sich dem Literaturverzeichnis. Euch allen ganz herzlichen Dank!

Ohne große Worte lieben Dank an meine Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben, und an Karsten Pellnitz für seine unendliche Geduld und unermüdliche Unterstützung in der nicht enden wollenden Endphase. Die Zeit mit Dir ist die schönste in meinem Leben - danke!



Tab. A-1: Liste der 1993 und 1994 beprobten Meereistümpel sowie der Vergleichsstationen. Für die Angabe des Tags des Jahres wurden die Kalendertage von 1 bis 365 durchnummeriert. KFJ = Keyser Franz Joseph-Fjord; KO = Kong Oscar-Fjord

Station Nr.	Datum	Tag des Jahres	Position		Lokation	Eis- oder Probentyp	Expedition
			Grad N	Grad W			
1	29.06.93	180	76°44,2	08°16,7	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
2	29.06.93	180	76°44,2	08°16,7	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
3	29.06.93	180	76°44,2	08°16,7	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
4	29.06.93	180	76°52,1	08°59,5	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
5	29.06.93	180	76°52,1	08°59,5	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
6	02.07.93	183	78°01,0	16°36,3	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
7	02.07.93	183	78°01,0	16°36,3	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
8	02.07.93	183	78°01,0	16°36,3	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
9	05.07.93	186	80°27,7	13°40,1	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
10	05.07.93	186	80°27,7	13°40,1	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
11	05.07.93	186	80°27,7	13°40,1	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
12	06.07.93	187	80°30,4	10°34,4	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
13	06.07.93	187	80°30,4	10°34,4	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
14	06.07.93	187	80°30,4	10°34,4	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
15	07.07.93	188	80°30,9	10°34,7	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
16	07.07.93	188	80°29,1	10°15,5	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
17	07.07.93	188	80°29,1	10°15,5	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
18	07.07.93	188	80°29,1	10°15,5	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
19	07.07.93	188	80°28,1	09°59,9	Treibeis	einjährig dick	ARK 9/3
20	07.07.93	188	80°28,1	09°59,9	Treibeis	einjährig dick	ARK 9/3
21	07.07.93	188	80°28,1	09°59,9	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
22	08.07.93	189	80°02,8	06°46,0	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
23	09.07.93	190	80°28,2	04°37,4	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
24	09.07.93	190	80°02,7	04°40,7	Treibeis	einjährig	ARK 9/3
25	09.07.93	190	80°02,7	04°40,7	Treibeis	einjährig dick	ARK 9/3
26	09.07.93	190	80°02,7	04°40,7	Treibeis	einjährig dick	ARK 9/3
27	13.07.93	194	79°53,2	12°42,9	Treibeis	einjährig	ARK 9/3
28	15.07.93	196	80°57,0	15°46,9	Gletscher	Gletschereis	ARK 9/3
29	15.07.93	196	80°57,0	15°46,9	Gletscher	Gletschereis	ARK 9/3
30	15.07.93	196	81°17,8	10°56,6	Festeis	ein- o. zweijährig	ARK 9/3
31	15.07.93	196	81°17,8	10°56,6	Festeis	ein- o. zweijährig	ARK 9/3

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A-1: Fortsetzung

Station Nr.	Datum	Tag des Jahres	Position		Lokation	Eis- oder Probenotyp	Expedition
			Grad N	Grad W			
32	16.07.93	197	81°18,6	11°31,2	Festeis	ein- o. zweijährig	ARK 9/3
33	21.07.93	202	80°58,9	14°39,8	Landsee (ohne Namen)	Landsee	ARK 9/3
34	22.07.93	203	80°07,7	16°55,3	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
35	25.07.93	206	80°26,4	16°44,7	Gletscher	Gletschereis	ARK 9/3
36	25.07.93	206	80°34,4	16°50,0	Festeis	einjährig o. älter	ARK 9/3
37	25.07.93	206	80°34,4	16°50,0	Festeis	einjährig o. älter	ARK 9/3
38	27.07.93	208	79°50,5	05°30,1	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
39	27.07.93	208	79°47,8	05°34,0	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
40	28.07.93	209	79°13,4	03°28,7	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
41	28.07.93	209	79°10,6	03°30,7	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
42	28.07.93	209	79°10,3	03°29,7	Treibeis	zweijährig	ARK 9/3
43	28.07.93	209	79°10,3	03°29,7	Wake, Framstraße	Meerwasser	ARK 9/3
44	29.07.93	210	78°47,9	10°01,0	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
45	29.07.93	210	78°45,2	10°50,2	Treibeis	mehrfährig	ARK 9/3
46	31.07.93	212	78°29,4	04°54,1	Treibeis	einjährig dick	ARK 9/3
47	31.07.93	212	78°32,3	04°57,8	Treibeis	einjährig mitteldick	ARK 9/3
48	31.07.93	212	78°41,5	06°09,1	Treibeis	einjährig dick	ARK 9/3
50	14.07.94	195	75°34,0	12°08,0	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
51	14.07.94	195	75°34,0	12°08,0	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
52	16.07.94	197	74°56,4	12°24,2	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
53	16.07.94	197	74°56,4	12°24,2	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
54	16.07.94	197	74°56,4	12°24,2	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
55	19.07.94	200	75°00,3	12°55,2	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/1
56	19.07.94	200	75°00,3	12°55,2	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/1
57	22.07.94	203	75°02,9	12°27,1	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/1
58	24.07.94	205	74°29,0	11°37,8	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
59	24.07.94	205	74°29,0	11°37,8	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
60	05.08.94	217	78°58,0	05°02,0	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/1
61	07.08.94	219	79°00,0	06°46,0	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/1
62	07.08.94	219	79°20,1	16°20,8	Festeis (Eisnase)	mehrfährig	ARK 10/1
63	09.08.94	221	78°58,0	03°14,0	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1
64	10.08.94	222	78°47,7	03°50,8	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/1

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A-1: Fortsetzung

Station Nr.	Datum	Tag des Jahres	Position		Lokation	Eis- oder Probenotyp	Expedition
			Grad N	Grad W			
65	21.08.94	233	74°57,5	10°19,2	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/2
66	23.08.94	235	75°03,5	18°46,1	Potsdam Pond	Landtümpel	ARK 10/2
67	26.08.94	238	74°15,0	20°05,0	Festeis	einjährig o. älter	ARK 10/2
68	27.08.94	239	73°09,0	18°37,7	Treibeis	ein- bis zweifährig	ARK 10/2
69	27.08.94	239	73°09,0	18°37,7	Treibeis	ein- bis zweifährig	ARK 10/2
70	29.08.94	241	75°03,5	18°46,1	Potsdam Pond	Landtümpel	ARK 10/2
71	01.09.94	244	73°19,3	25°10,5	Noa Sø	Landsee	ARK 10/2
72	01.09.94	244	73°19,3	25°10,5	"Muskox Pond"	Landtümpel	ARK 10/2
73	03.09.94	246	73°09,5	16°28,4	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/2
74	03.09.94	246	73°09,5	16°28,4	Treibeis	einjährig dick	ARK 10/2
75	09.09.94	252	72°21,0	22°30,0	Festeis	einjährig o. älter	ARK 10/2
76	12.09.94	255	72°24,0	22°28,3	Festeis	einjährig o. älter	ARK 10/2
77	14.09.94	257	72°43,5	22°29,4	Basalt Sø	Landsee	ARK 10/2
78	14.09.94	257	72°21,2	22°31,3	Festeis	einjährig o. älter	ARK 10/2
79	16.09.94	259	72°10,7	21°46,1	Treibeis	mehrfährig	ARK 10/2
80	24.09.94	267	72°02,8	29°02,5	Gletscher	Gletschereis	ARK 10/2
81	25.09.94	268	71°00,4	24°32,0	Eisberg	Gletschereis	ARK 10/2
82	26.09.94	269	72°02,8	29°02,5	Gletscher	Gletschereis	ARK 10/2
83	26.09.94	269	71°46,9	27°36,8	Eisberg	Gletschereis	ARK 10/2
84	28.08.94	240	74°47,3	17°38,0	vor Shannon Ø	Meerwasser	ARK 10/2
85	04.09.94	247	73°26,4	25°11,1	KFJ-Fjord	Meerwasser	ARK 10/2
86	10.09.94	253	72°51,6	24°35,1	KO-Fjord	Meerwasser	ARK 10/2
87	11.09.94	254	72°14,3	23°23,8	KO-Fjord	Meerwasser	ARK 10/2
88	11.09.94	254	72°23,4	24°07,9	KO-Fjord	Meerwasser	ARK 10/2

8. Tabellenanhang

Tab. A-2.a: Morphometrische Daten der untersuchten Meereistümpel. Die mittleren Wassertiefen (Medianwerte aus n Einzelmessungen) und die Spannweiten der Werte sind angegeben. \*: Tiefenmessungen konnten nicht über den gesamten Durchmesser des Gewässers erfolgen, mittlere Tiefe dieser Stationen daher als Schätzwert angegeben. k. M. = keine Messung; n. b. = nicht berechnet; \*\*: maximale Tiefe eines Schmelzlochs

Station Nr.	Wassertiefe			Flächenausdehnung			Wasserfläche [m <sup>2</sup> ]	Wasservolumen [m <sup>3</sup> ]
	Mittlere Tiefe [cm]	Spannweite [cm]	n Einzelmess.	Max. Länge [m]	Max. Breite [m]	Umfang [m]		
1	10	10 - 10	2	3	2	10	6	0,6
2	10	7 - 15	25	17	9	43	153	15
3	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.	n. b.
4	9	2 - 28	48	52	34	140	1389	126
5	10	10 - 11	25	110	80	410	6912	691
6	10	10 - 10	2	2	1	6	2	0,2
7	7	3 - 13	10	7	3	23	16	1
8	13	10 - 15	10	50	50	170	1964	245
9	9	2 - 17	31	18	17	58	289	26
10	11	3 - 20	37	28	11	75	215	24
11	7	3 - 12	9	4	2	15	6	0,4
12	7	3 - 12	21	8	3	27	18	1
13	10	0 - 20	91	64	60	ca. 220	6033	615
14	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.	n. b.
15	20	0 - 37	85	55	36	236	820	165
16	6	3 - 10	4	7	3	13	15	1
17	6	0 - 13	34	28	15	80	420	25
18	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.	n. b.
19*	45	44 - >150**	5	15	6	42	90	41
20	6	2 - 11	22	12	7	35	356	21
21	6	2 - 15	33	21	9	50	189	11
22	5	2 - 7	9	5	4	24	9	0,4
23	13	5 - 20	41	39	32	210	1248	167
24	8	5 - 20	9	6	3	15	13	1
25	4	2 - 10	20	13	6	40	71	3
26	5	3 - 8	3	1	1	3	0,6	0,03
27	6	2 - 11	8	4	3	17	12	1
30*	30	15 - 45	10	50	50	ca. 250	2500	750
31	17	12 - 19	8	6	1	12	5	1
32	8	0 - 20	91	46	13	175	598	46
34	26	10 - 42	82	48	12	397	225	58
36	3	0 - 10	6	2	2	7	4	0,11
37	5	1 - 20	9	9	5	33	45	2
38*	18	15 - 20	2	>100	4	k. M.	n. b.	n. b.
39	18	15 - 20	2	>250	3	k. M.	n. b.	n. b.
40	25	18 - 40	3	30	5	ca. 140	118	30
41	30	20 - 40	5	>250	4	k. M.	n. b.	n. b.
42	18	15 - 20	2	25	2	65	39	7
44	16	5 - 30	42	28	11	87	359	56
45	10	3 - 24	70	27	16	>120	304	31
46	12	11 - 12	3	87	43	444	2939	353
47	20	19 - 20	3	32	18	97	302	60
48*	50	20 - 55	10	205	130	ca. 650	20934	10467
49	-	-	-	-	-	-	-	-
50	9	0 - 30	60	30	16	96	377	30
51	k. M.	k. M.	k. M.	12	11	38	104	n. b.
52	14	1 - 25	28	18	8	55	113	16
53	15	3 - 20	23	13	8	41	82	12
54	15	3 - 20	2	10	3	k. M.	24	4
55	16	5 - 24	16	9	5	25	37	6
56*	11	3 - 16	8	30	6	70	146	16
57*	22	6 - 33	9	29	8	k. M.	182	39

Fortsetzung auf der nächsten Seite

8. Tabellenanhang

Tab. A-2.a: Fortsetzung

Station Nr.	Wassertiefe			Flächenausdehnung			Wasserfläche [m <sup>2</sup> ]	Wasservolumen [m <sup>3</sup> ]
	Mittlere Tiefe [cm]	Spannweite [cm]	n Einzel-mess.	Max. Länge [m]	Max. Breite [m]	Umfang [m]		
58	9	0 - 40	29	30	17	111	377	45
59	16	2 - 23	11	12	11	39	104	17
60	10	0 - 19	34	17	16	57	214	22
61	18	0 - 26	109	74	8	124	570	103
62*	30	30 - 30	1	40	4	ca. 84	110	33
63	21	7 - 50	65	45	18	112	629	130
64	21	14 - 50	49	41	19	100	612	128
65	20	0 - 30	31	17	11	55	148	30
67*	20	20 - 20	1	12	10	ca. 40	94	19
68	22	8 - 30	39	24	15	64	283	62
69*	23	23 - 23	1	6	4	17	19	4
73	33	32 - 35	3	12	10	36	50	16
74*	30	30 - 30	1	8	3	20	19	6
75*	35	35 - 35	1	5	5	ca. 15	20	7
76*	63	63 - 63	1	7	4	18	22	14
78*	63	63 - 63	1	10	5	25	39	25
79	42	40 - 45	3	15	3	ca. 40	35	16
<b>Median</b>	14					<b>Median</b>	115	18
<b>Min.</b>	3					<b>Min.</b>	1	0,03
<b>Max.</b>	63					<b>Max.</b>	20934	10467
<b>n gesamt</b>	64					<b>n gesamt</b>	62	62

8. Tabellenanhang

Tab. A-2.b: Morphometrische Daten der 1993 und 1994 untersuchten Vergleichsstationen (Schmelzwassertümpel auf Gletschern oder Eisbergen, Landseen, Meerwasser). Die mittleren Wassertiefen (Medianwerte aus n Einzelmessungen) und die Spannweiten der Werte sind angegeben. Wasserfläche und -volumen wurden aus den morphometrischen Daten errechnet.  
\*: Tiefenmessungen konnten nicht über den gesamten Durchmesser des Gewässers erfolgen, mittlere Tiefe dieser Stationen daher als Schätzwert angegeben. Station 43: großflächig durchgeschmolzene Rinne im Eis; Station 29: Schmelzwasser-Gletscherbach;  
k. M. = keine Messung; n. b. = nicht berechnet

Stationen auf Gletschern und Eisbergen.  
Ein Gletschertümpel wurde zweimal beprobt (Station 80: 24.9.94; identisch mit Station 82 vom 26.09.94)

Station Nr.	Standort	Wassertiefe				Flächenausdehnung			
		Mittlere Tiefe [cm]	Spannweite [cm]	Max. Tiefe [m]	n	Max. Länge [m]	Max. Breite [m]	Umfang [m]	Wasserfläche [m <sup>2</sup> ]
28	Gletscher	12	9 - 15	0,15	8	4,0	1,0	9	3
29*	Gletscher	30	30 - 30	0,30	2	n. b.	0,4	n. b.	n. b.
35	Gletscher	8	0 - 15	0,15	34	27,0	6,0	81	127
80*, 82*	Gletscher	80	60 - 120	1,20	2	36	13	95	368
81*	Eisberg	15	15 - 15	0,15	1	4	1,5	ca. 10	5
83*	Eisberg	29	27 - 30	0,30	2	6	4	ca. 16	19

Stationen an Land (max. Wassertiefen, Länge und Breite der Stationen 66 - 71 und 77 nach Melles et al. (1995). Die mittlere Tiefe und deren Spannweite beziehen sich auf unvollständige Tiefenprofile und sind als Minimalwerte anzusehen. Der Potsdam Pond wurde am 23.8.94 (Station 66) und am 28.8.94 (Station 70) beprobt.

Station Nr.	Name des Landtümpels o. -sees	Wassertiefe				Flächenausdehnung			
		Mittlere Tiefe [cm]	Spannweite [cm]	Max. Tiefe [m]	n	Max. Länge [m]	Max. Breite [m]	Umfang [m]	Wasserfläche [km <sup>2</sup> ]
33*	Landtümpel Nr.1	37	1 - 65	0,65	40	666	407	2.220	0,21
66*, 70*	Potsdam Pond	70	2 - 70	0,70	10	1.300	400	k. M.	0,26
71*	Noa Sø	n. b.	n. b.	120	5	4.300	2.200	k. M.	6,50
72*	Muskox Pond	44	1 - 70	0,70	10	ca. 150	ca. 120	k. M.	0,01
77*	Basalt Sø	n. b.	n. b.	21		2.200	900	k. M.	1,56

Oberflächenwasserproben aus dem marinen Milieu (aus ca. 0 - 20 cm). Angabe der Wassertiefen gemäß Poldat-System von F/S Polarstern

Station Nr.	Region	Wassertiefe				Flächenausdehnung			
		Mittlere Tiefe [cm]	Spannweite [cm]	Max. Tiefe [m]	n	Max. Länge [m]	Max. Breite [m]	Umfang [m]	Wasserfläche [km <sup>2</sup> ]
84	bei Shannon Ø	n. b.	k. M.	329	.1	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.
85	Keyser Franz Joseph-Fjord	n. b.	k. M.	475	1	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.
86	Kong Oscar-Fjord	n. b.	k. M.	321	1	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.
87	Kong Oscar-Fjord	n. b.	k. M.	380	1	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.
88	Kong Oscar-Fjord	n. b.	k. M.	412	1	k. M.	k. M.	k. M.	n. b.

Tab. A-3.a: Wassertemperaturen, pH-Werte und Salzgehalte der in 1993 und 1994 untersuchten Meereislümpel.  
 Angegeben sind die Medianwerte und Spannweiten von n Einzelmessungen. k. M. = keine Messung

Station Nr.	Temperatur [°C]			pH-Wert			Salinität		
	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
1	0,1		1	5,5		1	>0 <0,5		1
2	0,1		1	5,5		1	0		1
3	k. M.		k. M.	k. M.		k. M.	k. M.		k. M.
4	0,2	0,0 - 0,3	2	6,1	5,7 - 7,2	3	0	0 - 0	3
5	k. M.		k. M.	k. M.		k. M.	k. M.		k. M.
6	0,1		1	6,7		1	0		1
7	0,0		1	6,7	6,7 - 6,7	3	0	0 - 0	3
8	0,0		1	6,8	6,7 - 6,8	3	0	0 - 0	3
9	0,2		1	6,7	6,6 - 6,8	2	0	0 - 0	2
10	0,3		1	6,5	6,4 - 6,6	3	0	0 - 0	3
11	0,3		1	6,4		1	0		1
12	0,2	0,1 - 0,3	3	6,5	6,1 - 6,5	3	0	0 - 0	3
13	0,4	0,1 - 0,4	3	5,5	5,6 - 5,8	3	0	0 - 0	3
14	0,4		1	5,7		1	0		1
15	0,8	0,2 - 0,9	5	6,7	6,2 - 7,5	4	0	0 - 0	5
16	0,4	0,3 - 0,4	2	6,0	5,9 - 6,1	2	0	0 - 0	2
17	0,6	0,6 - 0,6	2	6,1	6,0 - 6,1	2	0	0 - 0	2
18	0,6		1	7,4		1	0		1
19	0,9	0,9 - 0,9	2	6,7	6,6 - 7,0	3	0	0 - 0	3
20	0,2		1	6,6		1	0		1
21	0,2	0,0 - 0,4	2	6,3	6,2 - 6,4	2	0	0 - 0	2
22	0,0		1	6,9		1	0		1
23	0,6	0,3 - 0,8	2	7,1	7,1 - 7,1	2	0	0 - 0	2
24	0,1	0,1 - 0,1	2	6,7		1	0		1
25	0,1		1	7,3		1	0		1
26	0,1		1	7,3		1	0		1
27	0,7		1	6,8		1	0		1
30	0,2		1	6,0		1	0		1
31	0,0		1	5,9		1	0		1
32	0,7	0,7 - 0,7	2	6,9	6,8 - 7,1	2	0	0 - 0	2
34	1,6	1,0 - 2,3	4	7,2	7,2 - 7,2	4	>0 <0,5	>0 <0,5	3
36	0,2		1	7,9		1	2		1
37	0,1		1	8,1		1	1		1

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A-3.a: Fortsetzung

Station Nr.	Temperatur [°C]		n	pH-Wert		n	Salinität		n
	Median	Spannweite		Median	Spannweite		Median	Spannweite	
38	0,8		1	7,0		1	0		1
39	0,4		1	7,2		1	0		1
40	0,5	0,3 - 0,7	2	7,3	7,2 - 7,3	2	1	1 - 1	2
41	-0,3		1	7,7		1	8		1
42	0,3	0,3 - 0,3	3	8,1	8,0 - 8,1	3	>0 <0,5		1
44	0,3	0,2 - 0,4	2	6,9	6,9 - 6,9	2	0	0 - 0	2
45	0,3	0,2 - 0,4	4	6,9	6,9 - 7,5	3	1,5	1,5 - 1,5	4
46	0,1	0,0 - 0,2	2	7,4		1	1		1
47	0,2	0,2 - 0,2	2	7,3		1	0		1
48	1,1	1,0 - 1,2	3	7,4		1	0		1
50	0,1	0,1 - 0,2	3	5,9	5,9 - 6,0	3	0	0 - 0	4
51	0,1	0,1 - 0,1	2	5,7	5,7 - 5,7	2	0	0 - 0	4
52	0,2	0,1 - 0,3	3	5,6	5,5 - 5,7	3	0	0 - 0	4
53	0,2		1	5,4		1	0	0 - 0	2
54	0,1		1	6,0		1	0	0 - 0	2
55	0,0	0,0 - 0,0	3	5,8	5,8 - 5,8	3	0	0 - 0	3
56	0,5	0,0 - 0,5	3	8,4	8,4 - 8,4	3	16	14 - 23,5	5
57	0,0	0,0 - 0,0	4	6,8	6,7 - 7,1	4	0	0 - 0	4
58	-0,1	-0,2 - 0,1	3	6,3	6,3 - 6,4	3	0	0 - 0	4
59	0,5	0,5 - 0,5	2	6,1	6,0 - 6,1	2	0	0 - 0	2
60	0,2	0,2 - 0,4	3	6,9	6,8 - 6,9	3	>1,5 <2	>1,5 <2,0	2
61	0,4	0,2 - 1,9	5	6,7	6,5 - 6,8	3	>0 <0,5	>0 <0,5	3
62	0,0		1	6,6	5,5 - 6,8	3	0	0 - 0	2
63	-0,1	-0,2 - 0,3	3	6,7	6,6 - 6,7	3	0,5	0,5 - 0,5	2
64	-0,6	-0,6 - 0,4	3	8,4	8,3 - 8,4	3	22	20 - 25	5
65	0,2	0,0 - 0,2	5	6,5	6,4 - 6,5	5	0	0 - 0	4
67	-0,1	-0,6 - 0,1	5	8,6	8,5 - 8,6	5	22	22 - 22	2
68	0,6	0,2 - 0,8	5	6,9	6,6 - 6,9	3	>1,5 <2,0	>1,5 <2,0	2
69	0,0		1	6,7		1	>0 <0,5	>0 <0,5	2
73	0,2	0,1 - 0,3	3	7,0	7,0 - 7,3	3	1,5	1 - 2	2
74	0,2	0,2 - 0,2	2	6,8	6,8 - 6,9	2	1,5	1,5 - 1,5	2
75	0,0		1	k. M.		1	0	0 - 0	2
76	0,0		1	6,0		1	0	0 - 0	2
78	0,0		1	k. M.		1	0	0 - 0	2
79	0,2		1	6,7		1	0	0 - 0	3
<b>Median</b>	<b>0,2</b>			<b>6,7</b>			<b>0</b>		
<b>Spannweite</b>	<b>-0,6 bis +1,6</b>			<b>5,4 - 8,6</b>			<b>0 - 22</b>		
<b>n</b>	<b>66</b>			<b>64</b>			<b>66</b>		

306



Tab. A-3.b: Wassertemperaturen, pH-Werte und Salzgehalte der in 1993 und 1994 untersuchten Vergleichsstationen (Meerwasser, Tümpel auf Eisbergen oder Gletschern, Landtümpel oder -seen). Bei Mehrfachmessungen sind außer den Mittelwerten die Spannweiten der Werte angegeben. k. M. = keine Messung. \*: Derselbe Gletscher- bzw. Landtümpel wurde nach wenigen Tagen nochmals beprobt. Daher wurden in diesen Fällen die Meßwerte beider Probennahmetage zusammengefasst und der Berechnung des Medians zugrundegelegt.

Station Nr.	Standort	Temperatur [°C]			pH-Wert			Salinität		
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
28	Gletscher	0,1	0,0 - 0,2	3	6,1		1	0		1
29	Gletscher	0,2	0,2 - 0,2	2	6,2		1	0		1
36	Gletscher	0,6	0,6 - 0,6	2	5,9	5,9 - 6,0	2	0		1
80, 82	Gletscher*	0,0	0,0 - 0,0	3	5,6	5,5 - 5,8	3	0	0 - 0	4
81	Eisberg	0,1		1	7,9		1	31	31 - 31	2
83	Eisberg	0,1		1	8,7		1	0	0 - 0	2
Gletschertümpel (n = 4):										
Median		0,2			6,0			0		
Spannweite		0,0 - 0,6			5,6 - 6,2			0 - 0		
Eisbergtümpel (n = 2):										
Median		0,1			8,3			31,0		
Spannweite		0,1 - 0,1			7,9 - 8,7			0 - 31		
Station Nr.	Name des Landtümpels o. -sees	Temperatur [°C]			pH-Wert			Salinität		
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
33	Landtümpel Nr. 1	9,7	9,7 - 9,7	2	8,5	8,3 - 8,6	3	0	0 - 0	3
66, 70	Potsdam Pond*	4,6	3,9 - 6,4	8	7,2	6,9 - 7,2	8	0	0 - 0	8
71	Noa Sø	5,4	4,4 - 5,9	3	7,4	7,4 - 7,4	3	0	0 - 0	2
72	Muskox Pond	7,6	7,5 - 7,6	2	8,6	8,6 - 8,6	3	0	0 - 0	2
77	Basalt Sø	4,0	3,7 - 4,5	4	7,2	7,0 - 7,2	4	0	0 - 0	2
Median (n = 6)		5,4			7,4			0		
Spannweite		4,0 - 9,7			7,2 - 8,6			0 - 0		
Station Nr.	Meerwasserproben Standort	Temperatur [°C]			pH-Wert			Salinität		
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
43	Framstraße	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	1	k. M.	1
84	bei Shannon Ø	0,0		1	8,2		1	31		1
86	Keyser Franz Joseph-Fjord	3,8		1	7,6		1	29,5	29,5 - 29,5	2
86	Kong Oscar-Fjord	3,9	0,1	2	8,2	8,20 - 8,20	2	25,5	25,5 - 25,5	2
87	Kong Oscar-Fjord	0,3	0,1	2	8,2	8,22 - 8,22	2	>25<25,5	>25<25,5	2
88	Kong Oscar-Fjord	2,7	0,1	2	8,1	8,14 - 8,15	2	25,5	25,5 - 25,5	2
Median		2,7			8,2			25,5		
Spannweite		0,0 - 3,9			7,6 - 8,2			1 - 31		
n		5			5			6		

Tab. A-4.a: Leitfähigkeiten und Sauerstoffgehalte der Meereistümpel (nur Daten aus 1994; Expeditionen ARK 10/1 und 10/2). Angegeben sind die Medianwerte aus n Einzelmessungen sowie deren Spannweiten. An den mit einem Sternchen gekennzeichneten Stationen konnten die Messungen erst an Bord durchgeführt werden (ca. 1 - 2 Std. nach Probennahme).

Station Nr.	Leitfähigkeit (µS/cm)			Sauerstoff (mg/l)		
	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
50	178	162 - 186	3	13,0	12,4 - 15,8	3
51	99	92 - 105	2	13,6	13,4 - 13,8	2
52	105	105 - 105	3	13,4	13,4 - 13,5	3
53	34		1	13,6	13,6 - 13,6	1
54	149		1	13,2	13,6 - 13,6	1
55	113	112 - 116	3	13,2	12,7 - 13,5	3
56	23500	21100 - 29200	3	13,8	13,8 - 14,7	3
57	708	648 - 764	4	13,8	12,8 - 14,3	3
58	448	299 - 455	3	14,3	13,4 - 14,8	3
59	191	189 - 192	2	k. M.		k. M.
60	3350	3230 - 3530	3	13,0	13,0 - 13,0	3
61	1057	980 - 1114	3	12,6	12,5 - 12,8	3
62*	366	351 - 378	3	11,9	11,9 - 12,6	3
63	1133	1088 - 1184	3	13,8	13,5 - 13,9	3
64	30200	28500 - 35000	3	12,9	12,7 - 13,1	3
65	628	619 - 647	5	12,8	12,6 - 13,0	5
67	33700	31900 - 34900	5	13,5	13,4 - 13,6	2
68	1818	1756 - 2190	3	12,7	12,3 - 13,3	6
69	1185		1	12,9		1
73	1916	1712 - 3140	3	11,7	9,8 - 12,4	3
74	2335		1	12,2		1
75	k. M.		k. M.	k. M.		k. M.
76*	98		1	14,3		1
78	k. M.		k. M.	k. M.		k. M.
79	818	814 - 822	2	13,2		1
<b>Median</b>	628			13,2		
<b>Spannweite</b>	13 - 33700			11,7 - 14,3		
<b>n</b>	23			22		

Tab. A-4.b: Leitfähigkeiten und Sauerstoffgehalte der 1994 untersuchten Vergleichsstationen (Meerwasser, Tümpel auf Eisbergen oder Gletschern, Landtümpel oder -seen). Angegeben sind die Medianwerte aus n Einzelmessungen sowie deren Spannweiten. k. M. = keine Messung. \*: Derselbe Gletscher- bzw. Landtümpel wurde nach wenigen Tagen nochmals beprobt. Daher wurden in diesen Fällen die Meßwerte beider Probennahmetage zusammengenommen und der Berechnung des Medians zugrunde gelegt.

**Stationen auf Gletschern und Eisbergen**

Station Nr.	Standort	Leitfähigkeit (µs/cm)			Sauerstoff (mg/l)		
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
80, 82	Gletscher*	16	10 - 22	2	13,9	13,9 - 13,9	2
81	Eisberg	55500		1	15,1		1
83	Eisberg	161		1	14,4		1

**Stationen an Land**

Station Nr.	Name des Landtümpels o. -sees	Leitfähigkeit (µs/cm)			Sauerstoff (mg/l)		
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
66, 70	Potsdam Pond*	28	25 - 32	11	12,5	11,9 - 12,7	11
71	Noa Sø	71	70 - 71	3	12,7	12,2 - 12,3	3
72	Muskox Pond	338	337 - 340	3	12,2	12,2 - 12,2	3
77	Basalt Sø	42	41 - 42	3	12,0	12,0 - 12,1	3
<b>Median</b>		56			12,4		
<b>Spannweite</b>		28 - 338			12,0 - 12,7		
<b>n</b>		4			4		

**Stationen mit Oberflächenwasserproben (Meerwasser)**

Station Nr.	Standort	Leitfähigkeit (µs/cm)			Sauerstoff (mg/l)		
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n
43	Framstraße	k. M.		0	k. M.		0
84	bei Shannon Ø	45300		1	13,9		1
85	Keyser Franz Joseph-Fjord	45450	45400 - 45500	2	13,7	13,6 - 13,8	2
86	Kong Oscar-Fjord	35800	35700 - 35900	2	13,7	13,7 - 13,7	2
87	Kong Oscar-Fjord	39850	39800 - 39900	2	14,6	14,5 - 14,6	2
88	Kong Oscar-Fjord	39700	39400 - 40000	2	13,6	13,5 - 13,6	2
<b>Median</b>		39850			13,7		
<b>Spannweite</b>		35800-45450			13,6-14,6		
<b>n</b>		5			5		

Tab. A-5.a: pH-Werte, Salinität und Leitfähigkeit von Schneeproben aus der unmittelbaren Umgebung von Meereisstützpunkten. Angegeben sind die Medianwerte und Spannweiten aus n Einzelmessungen für die einzelnen Stationen sowie der Median und dessen Spannweite aller Stationen zusammengefasst. k. M. = keine Messung

Station Nr.	pH-Wert		Salinität		Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	
	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite
12 Schnee	6,1	6,1 - 6,2	0	0 - 0	k. M.	0
50 Schnee	6,3		0		9	1
52 Schnee	6,0		0		5	1
55 Schnee	6,1		0		11	1
58 Schnee	k. M.		0		15	1
64 Schnee	5,3		0		15	1
68 Schnee	5,9	5,5 - 6,3	0	0 - 0	9	8,8 - 9,8
79 Schnee	6,6	6,5 - 6,6	0	0 - 0	8	7,7 - 8,3
Median	6,1		0		9	
Spannweite	5,3 - 6,6		0 - 0		5 - 15	
n	7		8		7	

Tab. A-5.b: pH-Wert, Salinität und Leitfähigkeit in individuellen Eiskernen aus der Tümpelumgebung. N-Kerne wurden neben den Meereistümpeln, T-Kerne aus dem Tümpelboden entnommen. Die Angabe des Tiefenhorizonts bezieht sich auf den Abstand von der Meeresoberfläche. k. M. = keine Messung

Station	Tiefenhorizont	pH-Wert		Salinität		Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	
		N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern
57	0-10 cm	6,1		0,0		248	
57	10-20 cm	6,4		0,0		462	
57	20-30 cm	6,6		0,5		1272	
57	30-40 cm	6,6	5,7	1,0	0,0	2080	118
57	40-50 cm	6,8	6,0	1,8	0,0	2940	181
57	50-60 cm	k. M.	6,20	k. M.	0,0	k. M.	291
57	60-70 cm	k. M.	6,20	k. M.	0,0	k. M.	319
57	70-80 cm	k. M.	6,40	k. M.	0,0	k. M.	413
57	80-90 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	0-10 cm	5,8		0,0		75	
58	10-20 cm	5,6		0,0		43	
58	20-30 cm	5,7	5,8	0,0	0,0	84	257
58	30-40 cm	6,1	6,3	0,3	0,3	401	613
58	40-50 cm	6,1	6,7	0,3	1,0	556	2010
58	50-60 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	60-70 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	70-80 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	80-90 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
60	0-10 cm	5,9		0,0		421	
60	10-20 cm	6,3		0,0		558	
60	20-30 cm	6,5		0,5 - 1		1207	
60	30-40 cm	6,4	6,8	1,0	0,5 - 1	1855	1453
60	40-50 cm	7,0	6,9	1,5	1,0	2430	1566
60	50-60 cm	7,1	7,0	1,5	1,0	2870	1860
60	60-70 cm	7,3	6,9	2,0	1,0	3590	1813
60	70-80 cm	k. M.	7,0	k. M.	1,5	k. M.	2280
61	0-10 cm	6,4		0,0		376	
61	10-20 cm	6,2		0,0		365	
61	20-30 cm	6,4		0 - 0,5		767	
61	30-40 cm	6,7		0,5		1417	
61	40-50 cm	6,9		1,0		1818	
61	50-60 cm	7,1	7,8	1,5	0,5 - 1	2310	1346
61	60-70 cm	7,0	6,8	1,5	0,5 - 1	2950	1562
61	70-80 cm	k. M.	7,2	k. M.	1,5	k. M.	2580
61	80-90 cm	k. M.	7,2	k. M.	2,0	k. M.	3860
61	90-100 cm	k. M.	7,4	k. M.	2,5 - 3	k. M.	4700
68	0-10 cm	5,4		0,0		92	
68	10-20 cm	4,9		0,0		192	
68	20-30 cm	5,3		0,5		823	
68	30-40 cm	6,6		0,5		1226	
68	40-50 cm	5,4		1,0		2080	
68	50-60 cm	7	5,5	1,5	0 - 0,5	2430	592
68	60-70 cm	7	5,9	1,5	0 - 0,5	2310	760
68	70-80 cm	6,8	6,3	1,5	0,5	1784	1272
68	80-90 cm	6,2	k. M.	0,5 - 1	k. M.	1533	k. M.
68	90-100 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.

Tab. A-6.a: Nährstoffkonzentrationen der 1993 und 1994 untersuchten Meereistümpel. Angegeben sind die Medianwerte aus n Einzelmessungen sowie deren Spannweiten für die einzelnen Tümpel, weiterhin der Median und dessen Spannweite für alle Meereistümpel zusammengefasst. k. M. = keine Messung

Station Nr.	Nitrat (µmol/l)		Nitrit (µmol/l)		Ammonium (µmol/l)		Silikat (µmol/l)		Phosphat (µmol/l)		n
	Median	Spannweit	Median	Spannweit	Median	Spannweit	Median	Spannweit	Median	Spannweit	
1	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
2	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
3	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
4	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
5	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
6	0,33		0,01		0,32		0,20		0,04		1
7	0,18	0,2 - 0,2	0,02	0,0 - 0,0	0,15	0,1 - 0,2	0,20	0,2 - 0,2	0,04	0,0 - 0,0	3
8	0,32	0,3 - 0,3	0,02	0,0 - 0,0	0,22	0,2 - 0,3	0,20	0,2 - 0,2	0,04	0,0 - 0,0	2
9	0,72	0,6 - 0,8	0,02	0,0 - 0,0	0,21	0,2 - 0,2	0,17	0,1 - 0,2	0,00	0,0 - 0,1	3
10	0,93	0,8 - 1,0	0,02	0,0 - 0,0	0,31	0,3 - 0,3	0,17	0,2 - 0,2	0,04	0,0 - 0,1	3
11	2,40		0,05		0,94		0,17		0,05		1
12	0,90	0,9 - 2,3	0,04	0,0 - 0,1	0,70	0,3 - 0,7	0,24	0,0 - 0,5	0,06	0,0 - 0,1	3
13	2,10	1,9 - 2,1	0,03	0,0 - 0,0	0,85	0,8 - 0,9	0,19	0,2 - 0,2	0,03	0,0 - 0,0	3
14	k. M.		k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
15	1,30	1,2 - 1,3	0,00	0,0 - 0,0	1,04	1,0 - 1,1	0,11	0,1 - 0,2	0,04	0,0 - 0,1	4
16	0,32	0,3 - 0,3	k. M.	k. M.	0,11	0,1 - 0,1	0,06	0,1 - 0,1	0,02	0,0 - 0,0	2
17	2,03	1,9 - 2,2	k. M.	k. M.	0,81	0,8 - 0,8	0,29	0,3 - 0,3	0,01	0,0 - 0,0	2
18	1,98		0,03		0,85		0,23		0,04		1
19	1,36	1,3 - 1,4	0,03	0,0 - 0,0	0,60	0,6 - 1,4	0,22	0,2 - 0,3	0,00	0,0 - 0,4	3
20	0,61		0,02		0,24		0,12		0,02		1
21	0,31	0,3 - 0,3	0,03	0,0 - 0,0	0,21	0,2 - 0,2	0,20	0,2 - 0,2	0,05	0,0 - 0,1	2
22	0,54		0,02		0,35		0,15		0,02		1
23	0,32	0,2 - 0,4	0,03	0,0 - 0,0	0,24	0,2 - 0,2	0,09	0,1 - 0,1	0,03	0,0 - 0,0	2
24	0,03		0,03		0,11		0,46		0,07		1
25	0,02		0,03		0,07		0,25		0,05		1
26	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
27	0,95	0,4 - 1,5	0,03	0,0 - 0,0	0,13	0,1 - 0,2	0,90	0,8 - 1,0	0,06	0,1 - 0,1	2
30	0,41	0,4 - 0,4	0,02	0,0 - 0,0	0,32	0,3 - 0,3	0,12	0,1 - 0,1	0,03	0,0 - 0,0	2
31	0,52		0,03		0,39		0,13		0,05		1
32	0,66	0,7 - 0,7	0,03	0,0 - 0,0	0,21	0,2 - 0,2	0,22	0,2 - 0,2	0,02	0,0 - 0,0	2
34	0,02	0,0 - 0,0	0,00	0,0 - 0,0	0,17	0,1 - 0,3	0,07	0,0 - 0,1	0,13	0,1 - 0,2	3
36	0,04	0,0 - 0,1	0,04	0,0 - 0,0	0,30	0,2 - 0,4	0,81	0,8 - 0,8	0,10	0,1 - 0,1	2
37	0,01	0,0 - 0,0	0,11	0,1 - 0,1	0,42	0,4 - 0,4	1,13	1,0 - 1,2	0,24	0,2 - 0,3	2
38	0,00	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	0,20	0,2 - 0,2	0,20	0,2 - 0,3	0,10	0,0 - 0,1	3
39	0,00	0,0 - 0,0	0,02	0,0 - 0,0	0,37	0,3 - 0,5	0,74	0,7 - 0,8	0,39	0,1 - 0,7	3
40	0,01	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	0,35	0,3 - 0,4	1,35	1,3 - 1,4	0,08	0,1 - 0,1	3

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A-6.a: Fortsetzung

Station Nr.	Nitrat (µmol/l)		Nitrit (µmol/l)		Ammonium (µmol/l)		Silikat (µmol/l)		Phosphat (µmol/l)		n
	Median	Spannweit	Median	Spannweit	Median	Spannweit	Median	Spannweit	Median	Spannweit	
41	0,01	0,0 - 0,0	0,04	0,0 - 0,0	0,91	0,8 - 1,1	3,30	3,0 - 3,6	0,15	0,1 - 0,2	2
42	0,01		0,01		0,23		0,63		0,06		1
44	0,09	0,0 - 0,2	0,01	0,0 - 0,0	0,21	0,2 - 0,2	0,09	0,1 - 0,1	0,05	0,0 - 0,1	3
45	0,15	0,1 - 0,2	0,03	0,0 - 0,0	0,21	0,2 - 0,2	0,25	0,1 - 0,5	0,07	0,1 - 0,1	3
46	0,44	0,4 - 0,5	0,04	0,0 - 0,0	0,53	0,3 - 0,8	0,22	0,1 - 0,3	0,13	0,0 - 0,2	3
47	0,51	0,5 - 0,5	0,03	0,0 - 0,0	0,82	0,7 - 0,9	0,10	0,1 - 0,1	0,10	0,1 - 0,1	3
48	0,68	0,7 - 0,7	0,02	0,0 - 0,0	0,21	0,2 - 0,2	0,30	0,2 - 0,4	0,06	0,0 - 0,1	3
50	0,13	0,1 - 0,1	0,03	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	2
51	0,18	0,1 - 0,2	0,03	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,05	0,1 - 0,1	3
52	0,08	0,1 - 0,2	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,02	0,0 - 0,0	3
53	0,17		0,01		k. M.	k. M.	0,01		0,01		1
54	0,05		0,01		k. M.	k. M.	0,01		0,01		1
55	0,03	0,0 - 0,0	0,03	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,03	0,0 - 0,0	0,06	0,1 - 0,1	2
56	0,35	0,2 - 0,6	0,05	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	0,69	0,0 - 1,4	0,10	0,0 - 0,2	2
57	0,12	0,0 - 0,2	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,05	0,0 - 0,1	10
58	0,29	0,2 - 0,3	0,03	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,12	0,0 - 0,2	0,08	0,1 - 0,1	2
59	0,10	0,1 - 0,1	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,06	0,1 - 0,1	2
60	0,33	0,3 - 0,4	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	2,41	2,4 - 2,5	0,07	0,1 - 0,1	2
61	0,08	0,1 - 0,1	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,87	0,8 - 1,1	0,01	0,0 - 0,0	3
62	0,02	0,0 - 0,0	0,03	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,10	0,1 - 0,1	0,01	0,0 - 0,0	2
63	0,22	0,2 - 0,2	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,17	0,2 - 0,2	0,02	0,0 - 0,0	2
64	0,21	0,0 - 0,4	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	6,55	6,3 - 7,2	0,12	0,0 - 0,3	4
65	0,46	0,4 - 0,5	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	1,48	1,4 - 1,6	0,04	0,0 - 0,0	2
67	0,00	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	3,31	3,2 - 3,4	0,28	0,3 - 0,3	2
68	0,08	0,1 - 0,1	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,21	0,2 - 0,2	0,01	0,0 - 0,0	2
69	0,14	0,1 - 0,2	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,26	0,3 - 0,3	0,12	0,1 - 0,2	2
73	0,29	0,2 - 0,3	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,67	0,6 - 0,9	0,04	0,0 - 0,0	3
74	0,28	0,3 - 0,3	0,05	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	0,83	0,8 - 0,9	0,06	0,1 - 0,1	2
75	0,49	0,5 - 0,5	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,35	0,3 - 0,4	0,05	0,0 - 0,1	2
76	0,22		0,05		k. M.	k. M.	0,46		0,05		1
78	0,20	0,2 - 0,2	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,11	0,0 - 0,2	0,03	0,0 - 0,0	2
79	2,12	2,1 - 2,2	0,05	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	0,59	0,5 - 0,7	0,03	0,0 - 0,0	2
<b>Median</b>	0,28		0,03		0,31		0,20		0,05		
<b>Spannweit</b>	0,0 - 2,4		0,00 - 0,11		0,1 - 1,0		0,0 - 6,5		0,00 - 0,39		
<b>n</b>	61		59		36		61		61		

313

Tab. A-6.b: Nährstoffkonzentrationen der 1993 und 1994 untersuchten Vergleichsstationen (Tümpel auf Eisbergen oder Gletschern, Landseen, Meerwasser). Bei Mehrfachmessungen sind außer den Medianwerten aus n Einzelmessungen deren Spannweiten angegeben. k. M. = keine Messung. \*: Derselbe Gletscher- bzw. Landtümpel wurde nach einigen Tagen nochmals beprobt. Daher wurden in diesen Fällen die Meßwerte beider Probennahmetage zusammengenommen und der Berechnung des Medians zugrundegelegt.

Station Nr.	Lokation	Nitrat (µmol/l)		Nitrit (µmol/l)		Ammonium (µmol/l)		Silikat (µmol/l)		Phosphat (µmol/l)		n
		Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	
28	Gletscher	1,34	1,3 - 1,4	0,04	0,0 - 0,0	0,72	0,6 - 0,8	0,15	0,2 - 0,2	0,05	0,0 - 0,1	2
29	Gletscher	1,89		0,03		0,83		0,12		0,03		1
35	Gletscher	0,60	0,5 - 2,6	0,02	0,0 - 0,1	1,20	0,6 - 2,3	0,20	0,2 - 0,3	0,40	0,0 - 0,7	3
80, 82	Gletscher*	0,03	0,0 - 0,1	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,10	0,0 - 0,1	0,01	0,0 - 0,0	3
81	Eisberg	0,48	0,5 - 0,5	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	5,20	5,2 - 5,2	0,49	0,5 - 0,5	2
83	Eisberg	0,22	0,2 - 0,2	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	37,54	25,9 - 49,2	0,01	0,0 - 0,0	2
Gletschertümpel: Median		0,97		0,03		0,83		0,14		0,04		
Spannweite		0,0 - 1,9		0,01 - 0,04		0,7 - 1,2		0,1 - 0,2		0,01 - 0,40		
n		4		4		3		4		4		
Eisbergtümpel: Median		0,35		0,02		k. M.		21,37		0,25		
Spannweite		0,2 - 0,5		0,01 - 0,02		k. M.		5,2 - 37,5		0,01 - 0,49		
n		2		2		0		2		2		
Station Nr.	Name des Landtümpels o. -sees	Nitrat (µmol/l)		Nitrit (µmol/l)		Ammonium (µmol/l)		Silikat (µmol/l)		Phosphat (µmol/l)		n
		Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	
33	Landtümpel Nr. 1	0,37	0,3 - 0,4	0,03	0,0 - 0,0	0,29	0,2 - 0,4	22,90	20,3 - 34,0	0,08	0,0 - 0,2	3
66, 70	Potsdam Pond*	0,06	0,0 - 0,1	0,07	0,1 - 0,1	k. M.	k. M.	0,78	0,7 - 0,8	0,07	0,1 - 0,1	6
71	Noa Sø	3,28	3,3 - 3,3	0,05	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	28,76	28,7 - 28,8	0,04	0,0 - 0,0	2
72	Muskox Pond	0,04	0,0 - 0,1	0,06	0,1 - 0,1	k. M.	k. M.	49,74	49,7 - 49,8	0,04	0,0 - 0,0	2
77	Basalt Sø	0,08	0,1 - 0,1	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	55,14	55,0 - 55,2	0,19	0,0 - 0,4	2
Landtümpel und -seen: Median		0,08		0,05		0,29		28,76		0,07		
Spannweite		0,0 - 3,3		0,03 - 0,07		0,2 - 0,4		0,8 - 55,1		0,04 - 0,19		
n		5		5		1		5		5		
Station Nr.	Meerwasserproben Lokation	Nitrat (µmol/l)		Nitrit (µmol/l)		Ammonium (µmol/l)		Silikat (µmol/l)		Phosphat (µmol/l)		n
		Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	
43	Framstraße	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
84	bei Shannon Ø	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	0
85	Keyser Franz Joseph-Fjord	0,02		0,02		k. M.	k. M.	5,10		0,35		2
86	Kong Oscar-Fjord	0,05	0,0 - 0,1	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	5,66	5,7 - 5,7	0,36	0,4 - 0,4	2
87	Kong Oscar-Fjord	0,00	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	4,69	4,7 - 4,7	0,34	0,3 - 0,3	2
88	Kong Oscar-Fjord	0,00	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	5,06	5,0 - 5,1	0,36	0,3 - 0,4	2
Meerwasserproben: Median		0,01		0,01		k. M.		5,08		0,36		
Spannweite		0,0 - 0,1		0,01 - 0,02		k. M.		4,7 - 5,7		0,34 - 0,36		
n		4		4		0		4		4		



Tab. A-6.c: Nährstoffkonzentrationen von Schneeproben aus der unmittelbaren Umgebung von Schmelzwässertümpeln auf Meereis (Stationen 12; 50-65; 67-79) und Gletschern (Stationen 28 u. 35) bzw. Landseen (Station 66). Angegeben sind die Medianwerte und Spannweiten aus n Einzelmessungen für die jeweiligen Stationen sowie Median und dessen Spannweite aller Stationen zusammengefasst. k. M. = keine Messung

Station Nr.	Nitrat [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Nitrit [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Ammonium [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Silikat [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Phosphat [ $\mu\text{mol/l}$ ]		n
	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	Median	Spannweite	
12 Schnee	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
28 Schnee	0,69	0,6 - 0,8	0,05	0,0 - 0,1	0,66	0,6 - 0,7	0,20	0,2 - 0,2	0,09	0,1 - 0,1	2
35 Schnee	0,10		0,08		0,77		0,10		0,13		1
50 Schnee	0,27	0,1 - 0,4	0,02	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	2
52 Schnee	1,32		0,03		k. M.	k. M.	0,01		0,05		1
55 Schnee	0,40		0,07		k. M.	k. M.	0,01		0,06		1
57 Schnee	k. M.		k. M.		k. M.	k. M.	k. M.		k. M.		k. M.
58 Schnee	0,12		0,07		k. M.	k. M.	0,01		0,09		2
60 Schnee	0,15		0,04		k. M.	k. M.	0,01		0,04		1
61 Schnee	0,03	0,0 - 0,0	0,06	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,03	0,0 - 0,0	2
63 Schnee	0,29	0,2 - 0,5	0,04	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,02	0,0 - 0,0	3
64 Schnee	0,46	0,2 - 1,1	0,04	0,0 - 0,0	k. M.	k. M.	0,01	0,0 - 0,0	0,01	0,0 - 0,0	3
65 Schnee	0,13		0,07		k. M.	k. M.	0,90		0,05		1
66 Schnee	0,18	0,1 - 0,3	0,06	0,1 - 0,1	k. M.	k. M.	0,52	0,5 - 0,6	0,07	0,0 - 0,1	2
68 Schnee	0,57	0,5 - 0,7	0,06	0,1 - 0,1	k. M.	k. M.	0,46	0,3 - 0,8	0,06	0,1 - 0,1	3
73 Schnee	0,03	0,0 - 0,0	0,04	0,0 - 0,1	k. M.	k. M.	2,23	2,1 - 2,4	0,37	0,3 - 0,4	2
79 Schnee	0,42	0,4 - 0,5	0,07	0,1 - 0,1	k. M.	k. M.	0,50	0,5 - 0,5	0,13	0,1 - 0,1	2
Median	0,27		0,06		0,80		0,01		0,06		
Spannweite	0,0 - 1,3		0,0 - 0,1		0,7 - 0,8		0,0 - 2,2		0,0 - 0,4		
n	15		15		2		15		15		

**Tab. A-6.d: Nährstoffkonzentrationen in individuellen Eiskernen aus der Tümpelumgebung.**  
**N-Kerne wurden neben den Meereistümpeln, T-Kerne aus dem Tümpelboden ent-**  
**nommen. Die Angabe des Tiefenhorizonts bezieht sich auf den Abstand von der**  
**Meereisoberfläche. k. M. = keine Messung**

Station	Tiefen- horizont	Nitrat [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Nitrit [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Silikat [ $\mu\text{mol/l}$ ]		Phosphat [ $\mu\text{mol/l}$ ]	
		N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern
57	0-10 cm	0,11		0,04		0,01		0,03	
57	10-20 cm	0,10		0,04		0,03		0,04	
57	20-30 cm	0,15		0,04		0,01		0,04	
57	30-40 cm	0,07	0,11	0,03	0,05	0,01	0,01	0,06	0,13
57	40-50 cm	0,06	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,09	0,08
57	50-60 cm	k. M.	0,33	k. M.	0,04	k. M.	0,01	k. M.	0,11
57	60-70 cm	k. M.	3,96	k. M.	0,07	k. M.	0,03	k. M.	0,11
57	70-80 cm	k. M.	2,12	k. M.	0,07	k. M.	0,02	k. M.	0,11
57	80-90 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	0-10 cm	0,06		0,04		0,01		0,02	
58	10-20 cm	0,14		0,04		0,01		0,04	
58	20-30 cm	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,29	0,06	0,10
58	30-40 cm	0,02	0,10	0,03	0,06	0,22	0,96	0,04	0,09
58	40-50 cm	0,03	0,05	0,03	0,03	0,25	1,92	0,04	0,10
58	50-60 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	60-70 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	70-80 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
58	80-90 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
60	0-10 cm	0,05		0,04		0,17		0,01	
60	10-20 cm	0,16		0,04		0,24		0,01	
60	20-30 cm	0,11		0,03		0,75		0,01	
60	30-40 cm	0,23	0,15	0,03	0,04	1,13	0,63	0,11	0,17
60	40-50 cm	0,09	0,11	0,04	0,04	1,29	0,68	0,02	0,06
60	50-60 cm	0,07	0,15	0,03	0,04	1,21	0,73	0,03	0,07
60	60-70 cm	0,10	0,14	0,03	0,03	1,21	0,79	0,04	0,06
60	70-80 cm	k. M.	0,16	k. M.	0,04	k. M.	0,78	k. M.	0,07
60	80-90 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
61	0-10 cm	0,17		0,04		0,06		0,01	
61	10-20 cm	0,02		0,03		0,10		0,01	
61	20-30 cm	0,10		0,03		0,55		0,11	
61	30-40 cm	0,04		0,03		0,98		0,04	
61	40-50 cm	0,08		0,03		1,17		0,02	
61	50-60 cm	0,07	0,11	0,03	0,03	1,16	0,21	0,02	0,19
61	60-70 cm	0,06	0,06	0,03	0,03	1,25	0,45	0,03	0,02
61	70-80 cm	k. M.	0,07	k. M.	0,03	k. M.	0,65	k. M.	0,01
61	80-90 cm	k. M.	0,06	k. M.	0,03	k. M.	0,50	k. M.	0,04
61	90-100 cm	k. M.	0,07	k. M.	0,03	k. M.	0,45	k. M.	0,01
68	0-10 cm	0,78		0,07		0,41		0,21	
68	10-20 cm	0,74		0,08		0,23		0,11	
68	20-30 cm	0,75		0,08		0,27		0,20	
68	30-40 cm	0,58		0,08		0,33		0,10	
68	40-50 cm	0,83		0,07		0,51		0,18	
68	50-60 cm	0,70	0,21	0,08	0,07	0,51	0,27	0,11	0,12
68	60-70 cm	0,51	0,19	0,08	0,08	0,53	0,27	0,21	0,10
68	70-80 cm	0,46	0,21	0,07	0,07	0,50	0,35	0,14	0,12
68	80-90 cm	0,38	k. M.	0,08	k. M.	0,47	k. M.	0,12	k. M.

Tab. A-7.a: Chlorophyllgehalte, organische Kohlenstoffgehalte (POC) und organische Stickstoffgehalte (PON) in den Meereistümpeln. Angegeben sind die Medianwerte aus n Einzelmessungen sowie deren Spannweiten. Das POC:PON-Verhältnis wurde aus den Medianwerten errechnet. Die Chlorophyllgehalte wurden als Chlorophyll a-Äquivalentkonzentrationen bestimmt. k. M. = keine Messung

Station Nr.	Chl. a-Äquiv. [µg/l]			POC [µg/l]			PON [µg/l]			C:N (mol.)
	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median
1	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
2	0,01	0,01 - 0,01	2	21,3		1	5,0		1	4,9
3	k. M.		0	21,8		1	3,1		1	8,2
4	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
5	0,02		1	50,2		1	4,1		1	14,4
6	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
7	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
8	0,04	0,03 - 0,04	4	28,2	22,6 - 35,8	4	3,4	3,1 - 4,7	4	9,7
9	0,02	0,02 - 0,03	2	22,4		1	3,1		1	8,5
10	0,02	0,02 - 0,03	2	17,7	16,1 - 19,3	2	2,7	2,7 - 2,8	2	7,5
11	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
12	0,02	0,02 - 0,03	2	37,0	23,8 - 50,2	2	10,4	3,1 - 17,8	2	4,1
13	0,01	0,01 - 0,01	4	26,6	26,6 - 27,8	3	3,7	2,3 - 4,2	3	8,3
14	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
15	0,03	0,03 - 0,05	5	24,2	21,0 - 34,3	5	3,2	2,2 - 4,3	5	8,9
16	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
17	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
18	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
19	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
20	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
21	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
22	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
23	0,07	0,05 - 0,09	4	84,0	69,4 - 89,8	4	14,0	10,6 - 24,5	4	7,0
24	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
25	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
26	k. M.	k. M.	0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
27	0,40	0,38 - 0,42	4	161,5	147,6 - 176,1	4	24,4	20,7 - 27,0	4	7,7
30	0,07	0,05 - 0,08	2	33,5	25,1 - 41,9	2	7,6	7,4 - 7,8	2	5,1
31	k. M.	k. M.	0	64,0		1	20,4		1	3,7
32	0,02	0,02 - 0,07	5	41,9	32,8 - 68,6	4	6,0	4,6 - 7,2	4	8,2
34	0,03	0,03 - 0,04	5	50,7	38,7 - 57,9	5	6,6	4,7 - 7,7	5	9,0
36	0,04	0,04 - 0,05	2	124,4	116,8 - 131,9	2	18,3	18,3 - 18,4	2	7,9

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A-7.a: Fortsetzung

Station Nr.	Chl. a-Aquiv. [µg/l]			POC [µg/l]			PON [µg/l]			C:N (mol.)
	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median
37	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
38	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
39	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
40	0,06	0,05 - 0,06	4	105,3	88,9 - 120,7	2	15,8	14,8 - 16,8	2	7,8
41	0,12	0,11 - 0,12	2	142,1		1	24,3		1	6,8
42	0,01	0,01 - 0,01	2	30,0		1	2,6		1	13,7
44	0,08	0,07 - 0,10	4	139,6	99,9 - 140,9	3	19,9	5,3 - 22,9	3	8,2
45	0,06	0,03 - 0,07	5	74,3	61,0 - 112,9	5	11,8	7,7 - 19,3	5	7,4
46	0,01	0,01 - 0,01	2	69,1	67,1 - 71,2	2	8,3	7,5 - 9,0	2	9,7
47	0,04	0,04 - 0,04	2	97,5	88,1 - 106,9	2	13,6	10,8 - 16,4	2	8,4
48	0,06	0,05 - 0,06	2	76,1	65,3 - 86,9	2	15,4	7,4 - 23,4	2	5,8
50	0,03	0,03 - 0,03	2	60,6	50,9 - 70,3	2	5,3	4,6 - 6,1	2	13,2
51	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
52	0,01	0,01 - 0,01	3	39,0	36,7 - 41,2	2	4,8	4,6 - 5,0	2	9,4
53	0,01		1	81,3		1	9,7		1	9,8
54	0,02		1	95,7		1	9,4		1	11,9
55	0,03	0,03 - 0,03	2	86,8	67,3 - 106,2	2	8,6	6,6 - 10,7	2	11,7
56	0,03	0,01 - 0,04	2	159,0	157,9 - 160,1	2	19,3	18,9 - 19,7	2	9,6
57	0,07	0,01 - 0,16	7	107,3	91,2 - 135,2	4	14,7	12,2 - 15,1	4	8,5
58	0,14	0,02 - 0,15	3	108,0	104,4 - 120,4	4	10,2	9,5 - 11,6	4	12,3
59	0,05	0,02 - 0,09	2	88,8		1	10,4		1	9,9
60	0,10	0,08 - 0,10	4	109,8	93,5 - 136,1	5	13,4	11,5 - 14,8	5	9,6
61	0,15	0,13 - 0,16	3	113,2	81,6 - 119,8	6	13,6	10,1 - 15,7	6	9,7
62	0,30	0,29 - 0,36	3	286,5	208,3 - 302,5	3	49,1	41,1 - 54,4	3	6,8
63	0,09	0,07 - 0,10	5	75,7	56,8 - 100,4	5	10,3	7,4 - 12,8	5	8,6
64	0,21	0,14 - 1,75	5	191,7	164,2 - 310,1	3	29,2	22,2 - 43,3	3	7,7
65	0,08	0,07 - 0,09	3	120,0	106,5 - 134,8	4	12,0	10,9 - 15,0	4	11,7
67	0,02	0,02 - 0,03	4	124,4	118,9 - 143,4	3	17,0	16,3 - 21,1	3	8,6
68	0,02	0,02 - 0,03	4	86,1	71,8 - 100,4	2	10,9	8,7 - 13,1	2	9,2
69	0,03		1	312,8		1	25,5		1	14,3
73	0,02	0,01 - 0,02	3	76,4	62,5 - 90,3	2	10,1	9,0 - 11,2	2	8,8
74	0,03	0,03 - 0,03	2	154,6	153,4 - 155,7	2	22,2	22,0 - 22,5	2	8,1
75	0,10	0,10 - 0,11	2	300,0		1	31,2		1	11,2
76	0,36		1	140,0		1	25,0		1	6,5
78	0,05	0,04 - 0,05	2	163,8		1	29,0		1	6,6
79	0,02	0,02 - 0,03	2	71,1	69,3 - 72,9	2	10,8	10,7 - 10,9	2	7,7
<b>Median</b>	0,04			85,1			10,9			7,8
<b>Spannweite</b>	0,01 - 0,40			17,7 - 312,8			2,6 - 49,1			3,7 - 14,4
<b>n</b>	46			48			48			48

Tab. A-7.b: Chlorophyllkonzentrationen, organische Kohlenstoff- (POC) und organische Stickstoffkonzentrationen (PON) der 1993 und 1994 untersuchten Vergleichsstationen (Tümpel auf Gletschern oder Eisbergen, Landseen, Meerwasser). Angegeben sind die Medianwerte aus n Einzelmessungen sowie deren Spannweiten. Die Chlorophyllkonzentrationen wurden als Chlorophyll a-Äquivalente bestimmt. k. M. = keine Messung; C:N (mol.) = POC : PON, molar. \*: Derselbe Gletscher- bzw. Landtümpel wurde nach wenigen Tagen nochmals beprobt. Daher wurden in diesen Fällen die Meßwerte beider Probennahmetage zusammengekommen und der Berechnung des Medians zugrundegelegt.

Station Nr.	Lokation	Chl. a-Äquiv. [ $\mu\text{g/l}$ ]			POC [ $\mu\text{g/l}$ ]			PON [ $\mu\text{g/l}$ ]			C:N (mol.) Median
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	
28	Gletscher	0,04	0,02 - 0,04	2	83,9	52,5 - 115,3	2	16,0	14,2 - 17,9	2	6,1
29	Gletscher	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
35	Gletscher	0,05	0,03 - 0,08	4	121,3	90,4 - 677,6	4	14,8	12,2 - 15,7	4	9,6
80, 82	Gletscher*	0,03	0,03 - 0,03	3	171,6	145,4 - 271,3	3	22,1	20,3 - 31,3	3	9,1
81	Eisberg	0,01	0,01 - 0,02	2	413,8		1	55,8		1	8,6
83	Eisberg	0,00	0,00 - 0,00	5	1960,6		1	122,1		1	18,7
Gletschertümpel: Median		0,04			121,3			16,0			9,1
Spannweite		0,03 - 0,05			83,9 - 171,6			14,8 - 22,1			6,1 - 9,6
n		3			3			3			3
Eisbergtümpel: Median		0,01			1187,2			89,0			13,7
Spannweite		0,00 - 0,01			413,8 - 1960,6			55,8 - 122,1			8,6 - 18,7
n		2			2			2			2
Station Nr.	Name des Landtümpels o. -sees	Chl. a-Äquiv. [ $\mu\text{g/l}$ ]			POC [ $\mu\text{g/l}$ ]			PON [ $\mu\text{g/l}$ ]			C:N (mol.) Median
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	
33	Landtümpel Nr. 1	0,23	0,13 - 0,41	5	221,4	162,5 - 473,5	6	26,0	16,4 - 57,7	6	9,9
66, 70	Potsdam Pond*	0,24	0,17 - 1,08	9	426,8	376,1 - 543,7	12	67,9	59,1 - 78,0	12	7,7
71	Noa Sø	0,50	0,48 - 0,52	6	76,2	65,3 - 97,8	8	11,1	9,7 - 13,4	8	8,0
72	Muskox Pond	1,10	1,07 - 1,15	4	280,5	280,5 - 300,2	3	35,1	32,8 - 35,9	3	9,3
77	Basalt Sø	0,92	0,86 - 0,97	2	253,8		1	32,5		1	9,1
Landtümpel und -seen: Median		0,50			253,8			32,5			9,1
Spannweite		0,23 - 1,10			76,2 - 426,8			11,1 - 67,9			7,7 - 9,9
n		5			5			5			5
Station Nr.	Meerwasserproben Lokation	Chl. a-Äquiv. [ $\mu\text{g/l}$ ]			POC [ $\mu\text{g/l}$ ]			PON [ $\mu\text{g/l}$ ]			C:N (mol.) Median
		Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	Median	Spannweite	n	
43	Framstraße	k. M.		0	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
84	vor Shannon Ø	0,06		1	k. M.		0	k. M.		0	k. M.
85	Keyser Franz Joseph-Fjord	0,33		1	132,9		1	20,9		1	7,4
86	Kong Oscar-Fjord	0,09	0,09 - 0,10	2	69,0		1	9,7		1	8,3
87	Kong Oscar-Fjord	0,13		1	79,7		1	9,4		1	9,9
88	Kong Oscar-Fjord	0,11		1	93,9		1	11,2		1	9,8
Meerwasserproben: Median		0,11			86,8			10,5			9,1
Spannweite		0,06 - 0,33			69,0 - 132,9			9,4 - 20,9			7,4 - 9,9
n		5			4			4			4

## 8. Tabellenanhang

Tab. A-7.c: Chlorophyll-, POC- und PON-Konzentrationen in individuellen Eiskernen aus der Tümpelumgebung. N-Kerne wurden neben den Meereistümpeln, T-Kerne aus dem Tümpelboden entnommen. Die Angabe des Tiefenhorizonts bezieht sich auf den Abstand von der Meeresoberfläche.

Station	Tiefenhorizont	Chl. a-Äquiv. [ $\mu\text{g/l}$ ]		POC [ $\mu\text{g/l}$ ]		PON [ $\mu\text{g/l}$ ]	
		N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern	N-Kern	T-Kern
60	0-10 cm	0,11		k. M.		k. M.	
60	10-20 cm	0,07		626,2		57,9	
60	20-30 cm	0,05		459,4		38,3	
60	30-40 cm	0,03	0,02	438,2	k. M.	47,6	k. M.
60	40-50 cm	0,05	0,01	388,1	k. M.	32,4	k. M.
60	50-60 cm	0,04	0,01	369,2	k. M.	28,2	k. M.
60	60-70 cm	0,03	0,01	254,9	260,6	20,4	23,3
60	70-80 cm	k. M.	0,01	k. M.	760,0	k. M.	65,7
60	80-90 cm	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.
61	0-10 cm	0,06		803,6		70,4	
61	10-20 cm	0,18		269,1		22,6	
61	20-30 cm	0,07		269,1		19,2	
61	30-40 cm	0,04		228,3		17,6	
61	40-50 cm	0,06		285,3		19,9	
61	50-60 cm	0,04	0,12	313,9	275,2	20,5	23,7
61	60-70 cm	0,06	0,05	306,2	141,2	19,9	18,5
61	70-80 cm	k. M.	0,06	k. M.	111,0	k. M.	13,4
61	80-90 cm	k. M.	0,05	k. M.	119,0	k. M.	13,1
61	90-100 cm	k. M.	0,06	k. M.	136,1	k. M.	10,8
68	0-10 cm	0,03		807,2		111,0	
68	10-20 cm	0,01		561,3		67,5	
68	20-30 cm	0,00		744,8		104,3	
68	30-40 cm	0,01		522,1		70,1	
68	40-50 cm	0,00		845,6		90,6	
68	50-60 cm	0,01	0,01	1771,0	663,1	295,1	110,2
68	60-70 cm	0,02	0,01	871,8	556,1	124,9	82,0
68	70-80 cm	0,02	0,01	658,0	630,5	86,6	100,5
68	80-90 cm	0,02	k. M.	1007,2	k. M.	176,5	k. M.

Tab. A-8: Quantitative Zusammensetzung der mikrobiellen Planktongemeinschaft von 10 Meereistümpeln, einem Gletschertümpel (Station 35) und einem Landtümpel (Station 33) und einer Schneeprobe von Station 9. Individuenzahlen/ Tümpelwasser bzw. Schnee an Station sind Medianwerte aus n=3, an Station 64 aus n=5 Parallelproben. k. D. = keine Daten; (+) = leere Hülle o. vergehende Zelle; + = gefunden, aber nicht quantifiziert; ar. Mittel = arithmetisches Mittel; \* = bei kolonialen Chrysophyceen Individuenzahl angegeben

TAXON	STATION (MEEREISTÜMPEL)												VERGLEICHSHABITAT				
	8 [n/l]	9 [n/l]	12 [n/l]	13 [n/l]	15 [n/l]	27 [n/l]	45 [n/l]	63 [n/l]	64 [n/l]	79 [n/l]	Median [n/l]	Min. [n/l]	Max. [n/l]	ar. Mittel [n/l]	35 [n/l]	33 [n/l]	9 Schnee [n/l]
Chlamydomonadales	5,32E+03	1,27E+03	5,44E+03	4,42E+03	-	6,42E+04	4,55E+03	6,40E+04	3,27E+03	1,01E+03	4,49E+03	0	6,42E+04	1,53E+04	5,03E+04	2,83E+03	4,58E+03
Prasinophyceae	-	-	-	-	-	-	5,44E+02	-	8,43E+04	-	0	0	8,43E+04	8,48E+03	-	3,33E+04	-
Chrysophyceae*	-	(+)	-	-	-	1,50E+04	3,77E+03	7,46E+03	4,26E+03	3,47E+01	1,74E+01	0	1,50E+04	3,05E+03	-	3,56E+04	-
Haptophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0,00E+00	0	-	-	-
Euglenophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0,00E+00	0	-	2,00E+01	-
Cryptophyceae	-	-	-	-	-	-	-	5,50E+03	3,46E+03	-	0	0	5,50E+03	8,96E+02	-	3,50E+04	-
Indet. phototr. Zellen																	
div. coccale Z. <5 µm	2,55E+04	2,52E+05	1,52E+04	1,13E+06	7,25E+04	6,20E+04	7,38E+03	6,42E+03	4,57E+04	-	3,56E+04	0	1,13E+06	1,62E+05	-	1,26E+06	-
PNAN Typ A	-	6,15E+03	7,24E+03	9,70E+02	-	-	-	-	-	-	0	0	7,24E+03	1,44E+03	1,71E+04	-	-
runde/ovale Z. >5 µm	3,13E+03	-	3,62E+03	2,52E+03	6,38E+02	1,44E+05	1,75E+02	-	4,27E+03	1,78E+03	2,15E+03	0	1,44E+05	1,61E+04	1,68E+04	-	-
div. PNAN*	1,74E+04	6,36E+02	-	-	-	8,54E+04	1,71E+04	2,45E+04	4,60E+04	4,17E+02	8,87E+03	0	8,54E+04	1,91E+04	3,74E+03	8,73E+03	-
div. PMF	-	-	-	-	-	-	-	1,07E+03	-	-	0	0	1,07E+03	1,07E+02	-	-	-
Bacillariophyceae	(+)	(+)	(+)	-	(+)	(+)	(+)	1,98E+03	7,43E+04	(+)	0	0	7,43E+04	7,63E+03	-	2,69E+04	-
Dinophyceae																	
div. phototrophe	-	9,93E+02	-	-	-	1,41E+03	2,92E+03	1,26E+04	2,35E+04	6,94E+01	5,31E+02	0	2,35E+04	4,15E+03	-	2,81E+04	-
div. heterotrophe*	3,39E+02	-	-	-	-	5,33E+03	4,19E+04	1,49E+04	9,80E+02	1,82E+03	6,60E+02	0	4,19E+04	6,53E+03	-	6,00E+01	-
Andere Algentypen	-	+	-	-	-	-	7,50E+01	-	-	-	0	0	7,50E+01	7,50E+00	1,21E+02	8,79E+03	-
Ciliophora																	
Oligotrichida:																	
Strombidium spp.	7,75E+02	-	-	-	-	1,25E+02	1,91E+02	8,00E+01	2,94E+02	1,94E+03	1,03E+02	0	1,94E+03	3,41E+02	-	-	-
div. Oligo-/Choreo-trichida	2,82E+02	-	-	-	-	1,67E+01	1,25E+02	2,00E+01	4,20E+01	3,47E+02	1,84E+01	0	3,47E+02	8,33E+01	-	4,57E+02	-
Haptorida	5,56E+00	-	-	-	-	4,17E+01	5,10E+01	-	1,46E+02	1,03E+02	2,78E+00	0	1,46E+02	3,48E+01	-	-	-
Sonstige	1,39E+01	-	-	-	-	-	6,70E+01	-	-	-	0	0	6,70E+01	8,09E+00	-	5,73E+02	-
Sarcomastigophora																	
Lobosea:																	
Heliozoa: diverse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	1,30E+03	-
Zoomastigophorea*:																	
HNAN	9,36E+03	-	3,62E+03	-	8,88E+03	2,64E+04	1,93E+05	1,01E+04	3,67E+04	1,50E+04	9,73E+03	0	1,93E+05	3,03E+04	2,50E+04	3,95E+04	-
HMF	4,17E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	42	4	7,51E+02	-	-
Choanoflagellida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	+	-

Fortsetzung s. nächste Seite

Tab. A-8: Fortsetzung

TAXON	STATION (MEEREISTÜMPEL)											VERGLEICHSHABITAT					
	8 [n/l]	9 [n/l]	12 [n/l]	13 [n/l]	16 [n/l]	27 [n/l]	46 [n/l]	63 [n/l]	64 [n/l]	79 [n/l]	Median [n/l]	Min. [n/l]	Max. [n/l]	ar. Mittel [n/l]	35 [n/l]	33 [n/l]	9 Schnee [n/l]
Protista incertae sedis <i>Cryptosporidium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	0	0	0	0	-	-	-
<b>Andere heterotrophe Eukaryota</b>																	
zylindrische Zellen ("Propagules")	-	-	4,74E+05	4,42E+04	-	-	-	-	-	-	0	0	4,74E+05	5,18E+04	-	-	-
runde o. ovale Zellen	9,30E+03	8,48E+02	1,81E+03	3,88E+02	-	-	-	2,20E+02	-	1,39E+02	1,79E+02	0	9,30E+03	1,27E+03	7,81E+04	-	-
spindelförmige Zellen	-	2,81E+04	1,38E+05	3,51E+04	-	-	-	-	-	-	0	0	1,38E+05	2,01E+04	1,38E+05	-	-
sonstige Zellen	7,44E+02	4,24E+02	-	1,29E+03	4,35E+02	4,16E+03	7,38E+02	2,07E+04	3,80E+03	5,90E+02	7,41E+02	0	2,07E+04	3,29E+03	3,62E+02	1,29E+04	-
<b>Fungi</b>																	
<i>Chionaster bicornis</i>	-	-	1,21E+05	3,88E+03	-	-	-	-	-	-	0	0	1,21E+05	1,25E+04	-	-	-
<b>METAZOA</b>	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	+	-
<b>SUMME EUKARYOTA</b>	7,22E+04	2,90E+05	7,70E+05	1,22E+06	8,25E+04	4,09E+05	2,73E+05	1,70E+05	3,31E+05	2,33E+04		2,33E+04	1,22E+06	3,64E+05	3,30E+05	1,50E+06	4,58E+03
<b>MEDIANWERT EUKARYOTA (Gesamtabundanz der Meereistümpel):</b>											2,82E+05			3,64E+05			
<b>BAKTERIEN</b>																	
Kokken	4,43E+07	2,21E+07	3,22E+07	6,13E+06	3,29E+07	9,89E+07	2,34E+07	8,29E+06	4,68E+07	7,94E+06	2,78E+07	6,13E+06	9,89E+07	3,23E+07	6,31E+07	1,57E+09	k. D.
Stäbchen	1,64E+06	5,61E+06	1,17E+07	3,87E+06	6,55E+05	1,94E+07	3,19E+07	2,62E+07	3,66E+07	1,57E+08	1,55E+07	6,55E+05	1,57E+08	2,95E+07	3,99E+06	2,85E+08	k. D.
Stäbchen >3 µm inkl. <i>Caulobacter</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	9,81E+07	k. D.
Cyanobakterien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	1,71E+03	k. D.
Fäden >>3 µm Länge	-	-	-	-	-	-	1,02E+05	-	5,47E+05	-	0	0,00E+00	5,47E+05	6,49E+04	-	1,04E+07	k. D.
<b>SUMME PROKARYOT</b>	4,59E+07	2,77E+07	4,39E+07	1,00E+07	3,36E+07	1,18E+08	5,54E+07	3,45E+07	8,39E+07	1,65E+08		1,00E+07	1,65E+08	6,18E+07	6,71E+07	1,96E+09	k. D.
<b>MEDIANWERT PROKARYOTA (Gesamtabundanz der Meereistümpel):</b>											4,33E+07			6,18E+07			
<b>SONSTIGES</b>																	
Aggregate	-	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	+	-					-	-	-
Fäden und "Stangen"	-	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-					-	-	-

(+): vorhanden, aber nicht lebend (insbes. Diatomeen)

+: mindestens 1x gesehen, nicht quantifiziert oder in mindestens einer der Parallelproben (Stationen 8, 64) aufgetreten, d. h. n = >0

Zoomastigophorea\*: ohne heterotrophe Dinophyceae und Euglenophyceae

Cyanobakterien: Anzahl der Ketten angegeben



Tab. A-9.a: Organismische Biomasse an Station 15

Station 16		Biomasse					Faktoren					1 µm³ = 0,3 pg C (Bakterien)					1 µm³ = 0,14 pg C (Eukaryota)				
Zeittyp / Größenklasse [µm]		<2	2-5	5-20	20-50	50-100	>100	Summe			<2	2-5	5-20	20-50	50-100	>100	Summe				
<b>MKROALGEN</b>																					
Chlamydomonadaceae		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Chlamydomonas spp.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Carteria spp. veget. Zellen		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Chloromonas spp.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
andere Chlamydomonaden		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Prasinophyceae</b>																					
Pyramimonas sp.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Micromonas sp.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Tetraselmis sp.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
andere Prasinophyceen		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Chrysophyceae</b>																					
Dinobryon spp.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Chrysochloris kurze Form		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
Chrysochloris lange Form		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
andere Chrysophyceen		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Haptophyceae</b>																					
		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Euglenophyceae</b>																					
phototroph		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
heterotroph		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Cryptophyceae</b>																					
		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Indet. phototrophe Zellen</b>																					
div. coccale Zellen		4,61E+03	7,10E+04	1,67E+04	9,97E+04	9,97E+04	-	1,92E+05		-	-	-	-	-	-	-	-				
Typ "Tannenzapfen"		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
runde Z. kl. K.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
runde Z. mt. K.		-	-	1,88E+05	9,97E+04	-	-	2,87E+05		-	-	-	-	-	-	-	-				
runde Z. gr. K.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
div. ovale Z.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Bacillariophyceae</b>																					
permathe Diatomeen		-	-	-	-	n. b.	-	n. b.		-	-	-	-	-	-	-	n. b.				
centrale Diatomeen		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	n. b.				
kettentbildende centrale Diat.		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Dinophyceae</b>																					
div. phototrophe		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
cf. Dinoflagellata, Typ A		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
div. heterotrophe		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Andere Mikroalgen</b>																					
		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-				
<b>Anmerkungen:</b>																					
n. b.: Biomasse nicht berechnet, da vergehende Zellen ohne Chlorophyll-Autofluoreszenz (Diatomeen) oder amorphes Material (Aggregate)																					

Tab. A-9.b: Organismische Biomasse an Station 45

Station 45 Biomasse Faktoren 1 µm³ = 0,3 pg/C (Bakterien)

Zeittyp \ Größenklasse [µm]	Faktoren 1 µm³ = 0,3 pg/C (Bakterien)						Summe pg C/l
	<2	2-5	5-20	20-50	50-100	>100	
<b>MIKROALGEN</b>	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l
Chlamydomonadales spp.	-	-	2,65E+05	-	-	-	2,65E+05
Carteria spp., veget. Zellen	-	-	3,97E+05	-	-	-	3,97E+05
Chloromonas spp.	-	-	-	-	-	-	-
cf. Carteria/Foriella	-	-	-	-	-	-	-
andere Chlamydomonadales	-	-	-	-	-	-	-
<b>Prasinophyceae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pyramimonas</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-
<i>Micromonas</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetraselmis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-
andere Prasinophyceen	-	7,91E+04	-	-	-	-	7,91E+04
<b>Chrysophyceae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinobryon</i> spp.	-	-	7,77E+04	-	-	-	7,77E+04
Chrysoykos kurze Form	-	-	-	9,91E+03	-	-	9,91E+03
Chrysoykos lange Form	-	-	-	-	-	-	-
andere Chrysophyceen	-	-	-	-	-	-	-
<b>Haptophyceae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Euglenophyceae</b>	-	-	-	-	-	-	-
phototroph	-	-	-	-	-	-	-
heterotroph	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cryptophyceae</b>	-	-	-	-	-	-	-
Indet. phototrophe Zellen	-	-	-	-	-	-	-
div. coccale Zellen	-	5,92E+03	-	-	-	-	5,92E+03
Typ "Tannenzapfen"	-	-	-	-	-	-	-
runde Z. kl. K.	-	-	1,83E+03	-	-	-	1,83E+03
runde Z. mtl. K.	-	-	-	-	-	-	-
runde Z. gr. K.	-	-	-	-	-	-	-
div. ovale Z.	-	-	-	-	-	-	-
div. PNAN	-	6,10E+04	8,74E+05	-	-	-	9,35E+05
div. Flagellaten	-	-	-	-	-	-	-
<b>Bacillariophyceae</b>	-	-	-	-	-	-	-
pennate Diatomeen	-	-	+	-	-	-	+
centrale Diatomeen	-	-	-	-	-	-	-
kettenbildende centrale Diat.	-	-	-	-	-	-	-
<b>Dinophyceae</b>	-	-	1,29E+05	7,34E+03	-	-	1,36E+05
div. phototrophe	-	-	-	-	-	-	-
Typ A, phototroph	-	-	1,54E+05	-	-	-	1,54E+05
div. heterotrophe	-	-	-	-	-	-	-
Typ B, heterotroph	-	-	-	-	-	-	-
Typ C, heterotroph	-	-	-	1,48E+05	-	-	1,48E+05
<b>Andere Mikroalgen</b>	-	-	-	-	7,21E+05	-	7,21E+05

1 µm³ = 0,14 pg C (Eukaryota)

Zeittyp \ Größenklasse [µm]	Faktoren 1 µm³ = 0,14 pg C (Eukaryota)						Summe pg C/l
	<2	2-5	5-20	20-50	50-100	>100	
<b>PROTOZOEN</b>	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l	pg C/l
<b>Ciliophora: Oligotrichida</b>	-	-	-	9,14E+03	1,66E+06	-	1,67E+06
<i>Strombidium</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-
Typ Lohmanniella/Leegardiella	-	-	-	-	-	-	-
andere oligotriche Cil.	-	-	-	6,29E+03	1,22E+06	-	1,23E+06
<b>Ciliophora: Choreotrichida</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ciliophora: Haptorida</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lacymania</i> sp.	-	-	-	-	2,26E+05	3,59E+05	5,81E+05
<i>Dilidium</i> sp. *	-	-	-	-	2,26E+05	-	2,26E+05
<i>Mesodinium rubrum</i>	-	-	-	-	-	-	-
andere haptoride C.	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ciliophora: Sonstige</b>	-	-	-	-	7,28E+05	-	7,28E+05
<b>Amoebida</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Gymnamoebae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Protista incertae sedis</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyathocomonas</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-
<b>FUNGI</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chonostes bicornis</i>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Andere heterotrophe Euk.</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Propagules</b>	-	-	9,37E+05	3,43E+05	-	-	1,28E+06
heterotrophe Nanoflag.	-	-	-	-	-	-	-
diff. rd. Z. kl. K.	-	-	-	-	-	-	-
rd. Z., Schuppen?	-	-	-	-	-	-	-
runde Zellen	-	-	-	-	-	-	-
ovale Zellen	-	-	-	-	-	-	-
Spindeln	-	-	-	-	-	-	-
sonstige Zellen	-	-	-	9,74E+04	1,83E+03	5,73E+05	6,72E+05
<b>RUHESTADIEN</b>	-	-	-	-	-	-	-
Ruhestadien: Dinophyceae	-	-	-	-	-	-	-
Ruhestadien: Diatomaceae	-	-	-	-	-	-	-
Ruhestadien: andere	-	-	-	-	-	-	-
<b>BAKTERIEN</b>	-	-	-	-	-	-	-
Kokken	9,93E+04	-	-	-	-	-	9,93E+04
Stäbchen	1,09E+06	-	-	-	-	-	1,09E+06
Cyanobakterien	-	-	-	-	-	-	-
Fäden >2 µm Länge	-	-	3,00E+04	-	-	-	3,00E+04
<b>SONSTIGES</b>	-	-	-	-	-	-	-
Aggregate	-	-	-	-	-	-	-
Fäden und "Stangen"	-	-	-	-	-	-	-

Tab. A-10: Abundanzen in einer Eisprobe aus dem Tümpelboden von Station 9  
Station 9 Boden

Zelltyp / Größenklasse	<2 µm	2-5 µm	5-20 µm	20-50 µm	50-100 µm	>100 µm	Summe
<b>MIKROALGEN</b>							
Chlamydomonadales	-	-	-	-	-	-	-
Chlamydomonas spp.	-	-	-	-	-	-	-
Carteria spp., veget. Zellen	-	-	-	-	-	-	-
Chloromonas spp.	-	-	-	-	-	-	-
andere Chlamydomonadales	-	-	-	-	-	-	-
<b>Prasinophyceae</b>							
Pyramimonas sp.	-	-	-	-	-	-	-
Micromonas sp.	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrella sp.	-	-	-	-	-	-	-
andere Prasinophyceen	-	-	-	-	-	-	-
<b>Chrysophyceae</b>							
Dinobryon spp.	-	-	-	-	-	-	-
Chrysolykos kurze Form	-	-	-	-	-	-	-
Chrysolykos lange Form	-	-	-	-	-	-	-
andere Chrysophyceen	-	-	-	-	-	-	-
<b>Haptophyceae</b>							
Euglenophyceae	-	-	-	-	-	-	-
phototroph	-	-	-	-	-	-	-
heterotroph	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cryptophyceae</b>							
indet. phototrophe Zellen	2,15E+06	3,04E+06	-	-	-	-	5,19E+06
div. coccale Zellen	-	-	-	-	-	-	-
Typ "Tannenzapfen"	-	-	-	-	-	-	-
runde Z. kl. K.	-	-	7,04E+02	-	-	-	7,04E+02
runde Z. mtl. K.	-	-	-	-	-	-	-
runde Z. gr. K.	-	-	-	-	-	-	-
div. ovale Z.	-	-	-	-	-	-	-
div. runde Zellen	-	5,35E+04	1,41E+03	-	-	-	5,49E+04
<b>Bacillariophyceae</b>							
pennate Diatomeen	-	-	-	-	-	-	-
centrale Diatomeen	-	-	-	-	-	-	-
kettenbildende centrale Dia	-	-	-	-	-	-	-
<b>Dinophyceae</b>							
div. phototrophe	-	7,04E+02	2,60E+02	-	-	-	9,64E+02
cf. Dinoflagellata, Typ A	-	-	2,00E+02	-	-	-	2,00E+02
div. heterotrophe	-	-	1,20E+02	-	-	-	1,20E+02
<b>Andere Mikroalgen</b>							
Probe enthielt auffällig viel gelb fluoreszierenden "Schluzz"							
<b>ANMERKUNGEN:</b>							

Zelltyp / Größenklasse	<2 µm	2-5 µm	5-20 µm	20-50 µm	50-100 µm	>100 µm	Summe
<b>PROTOZOEN</b>							
Ciliophora: Oligotrichida	-	-	-	-	-	-	-
Strombidium spp.	-	-	-	-	-	-	-
Typ Lohmaniella/Leagardiell	-	-	-	-	-	-	-
andere oligotriche Cil.	-	-	-	-	-	-	-
Ciliophora: Choreotrichida	-	-	-	-	-	-	-
Ciliophora: Haptorida	-	-	-	-	-	-	-
Lacrymaria sp.	-	-	-	-	-	-	-
Didinium sp.	-	-	-	-	-	-	-
Mesodinium rubrum	-	-	-	-	-	-	-
andere haptoride C.	-	-	-	-	-	-	-
Ciliophora: Sonstige	-	-	-	-	-	-	-
Lobosea	-	-	-	-	-	-	-
Amoebida	-	-	-	-	-	-	-
Protista Incertae sedis	-	-	-	-	-	-	-
Cryothecomonas sp.	-	-	-	-	-	-	-
<b>FUNGI</b>							
cf. Chionaster nivalis	-	-	-	-	-	-	-
<b>Andere heterotrophe Euk.</b>							
Propagules	-	-	-	-	-	-	-
heterotrophe Nanoflag.	-	-	-	-	-	-	-
diff. rd. Z. kl. K.	-	-	-	-	-	-	-
rd. Z., Schuppen?	-	-	-	-	-	-	-
runde Zellen	-	-	6,00E+01	-	-	-	6,00E+01
ovale Zellen	-	3,52E+03	-	-	2,00E+01	-	3,54E+03
Spindeln	-	-	-	-	-	-	-
sonstige Zellen*	-	-	-	2,40E+02	-	-	2,40E+02
<b>RUHESTADIEN</b>							
Ruhestadien: Chrysophyceae	-	-	2,11E+03	7,24E+02	-	-	2,83E+03
Ruhestadien: Dinophyceae	-	-	-	2,00E+01	-	-	2,00E+01
Ruhestadien: Diatomaceae	-	-	6,56E+04	1,35E+04	7,04E+02	-	7,97E+04
Ruhestadien: andere(†)	-	-	-	-	-	-	-
<b>BAKTERIEN</b>							
Kokken	8,88E+07	-	-	-	-	-	8,88E+07
Stäbchen	2,36E+07	-	-	-	-	-	2,36E+07
Cyanobakterien	-	-	-	-	-	-	-
<b>SONSTIGES</b>							
Aggregate	-	-	-	-	-	-	-
Fäden und "Stangen"	-	-	-	-	-	-	-

## Folgende Hefte der Reihe „Berichte zur Polarforschung“ sind bisher erschienen:

- **Sonderheft Nr. 1/1981** – „Die Antarktis und ihr Lebensraum“  
Eine Einführung für Besucher – Herausgegeben im Auftrag von SCAR
- **Heft Nr. 1/1982** – „Die Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 2/1982** – „Deutsche Antarktis-Expedition 1980/81 mit FS ‚Meteor‘“  
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Liste der Zooplankton- und Mikronektonnetzfüge  
zusammengestellt von Norbert Klages
- **Heft Nr. 3/1982** – „Digitale und analoge Krill-Echolot-Rohdatenerfassung an Bord des Forschungsschiffes ‚Meteor‘“ (im Rahmen von FIBEX 1980/81, Fahrtabschnitt ANT III), von Bodo Morgenstern
- **Heft Nr. 4/1982** – „Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
Liste der Planktonfänge und Lichtstärkemessungen  
zusammengestellt von Gerd Hubold und H. Eberhard Drescher
- **Heft Nr. 5/1982** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982“  
by G. Hempel and R. B. Heywood
- **Heft Nr. 6/1982** – „Antarktis-Expedition 1981/82 (Unternehmen ‚Eiswarte‘)“  
zusammengestellt von Gode Gravenhorst
- **Heft Nr. 7/1982** – „Marin-Biologisches Begleitprogramm zur Standorterkundung 1979/80 mit MS ‚Polar-sirke‘ (Pre-Site Survey)“ – Stationslisten der Mikronekton- und Zooplanktonfänge sowie der Bodenfischerei  
zusammengestellt von R. Schneppenheim
- **Heft Nr. 8/1983** – „The Post-Fibex Data Interpretation Workshop“  
by D. L. Cram and J.-C. Freytag with the collaboration of J. W. Schmidt, M. Mall, R. Kresse, T. Schwinghammer
- **Heft Nr. 9/1983** – „Distribution of some groups of zooplankton in the inner Weddell Sea in summer 1979/80“  
by I. Hempel, G. Hubold, B. Kaczmaruk, R. Keller, R. Weigmann-Haass
- **Heft Nr. 10/1983** – „Fluor im antarktischen Ökosystem“ – DFG-Symposium November 1982  
zusammengestellt von Dieter Adelung
- **Heft Nr. 11/1983** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982 (II)“  
Data of micronekton and zooplankton hauls, by Uwe Piatkowski
- **Heft Nr. 12/1983** – „Das biologische Programm der ANTARKTIS-I-Expedition 1983 mit FS ‚Polarstern‘“  
Stationslisten der Plankton-, Benthos- und Grundschieppnetzfüge und Liste der Probennahme an Robben und Vögeln, von H. E. Drescher, G. Hubold, U. Piatkowski, J. Plötz und J. Voß
- **Heft Nr. 13/1983** – „Die Antarktis-Expedition von MS ‚Polarbjörn‘ 1982/83“ (Sommerkampagne zur Atka-Bucht und zu den Kraul-Bergen), zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Sonderheft Nr. 2/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition von FS ‚Polarstern‘ (Kapstadt, 20. Januar 1983 – Rio de Janeiro, 25. März 1983)“, Bericht des Fahrtleiters Prof. Dr. Gotthilf Hempel
- **Sonderheft Nr. 3/1983** – „Sicherheit und Überleben bei Polarexpeditionen“  
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 14/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition (ANTARKTIS I) von FS ‚Polarstern‘ 1982/83“  
herausgegeben von Gotthilf Hempel
- **Sonderheft Nr. 4/1983** – „On the Biology of Krill *Euphausia superba*“ – Proceedings of the Seminar and Report of the Krill Ecology Group, Bremerhaven 12. - 16. May 1983, edited by S. B. Schnack
- **Heft Nr. 15/1983** – „German Antarctic Expedition 1980/81 with FRV ‚Walther Herwig‘ and RV ‚Meteor‘“ – First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Data of micronekton and zooplankton hauls  
by Uwe Piatkowski and Norbert Klages
- **Sonderheft Nr. 5/1984** – „The observatories of the Georg von Neumayer Station“, by Ernst Augstein
- **Heft Nr. 16/1984** – „FIBEX cruise zooplankton data“  
by U. Piatkowski, I. Hempel and S. Rakusa-Suszczewski
- **Heft Nr. 17/1984** – Fahrtbericht (cruise report) der ‚Polarstern‘-Reise ARKTIS I, 1983“  
von E. Augstein, G. Hempel und J. Thiede
- **Heft Nr. 18/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht von den Fahrtabschnitten 1, 2 und 3, herausgegeben von D. Fütterer
- **Heft Nr. 19/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht vom Fahrtabschnitt 4, Punta Arenas-Kapstadt (Ant-II/4), herausgegeben von H. Köhnen
- **Heft Nr. 20/1984** – „Die Expedition ARKTIS II des FS ‚Polarstern‘ 1984, mit Beiträgen des FS ‚Valdivia‘ und des Forschungsflugzeuges ‚Falcon 20‘ zum Marginal Ice Zone Experiment 1984 (MIZEX)“  
von E. Augstein, G. Hempel, J. Schwarz, J. Thiede und W. Weigel
- **Heft Nr. 21/1985** – „Euphausiid larvae in plankton from the vicinity of the Antarctic Peninsula, February 1982“ by Sigrid Marschall and Elke Mizdalski
- **Heft Nr. 22/1985** – „Maps of the geographical distribution of macrozooplankton in the Atlantic sector of the Southern Ocean“ by Uwe Piatkowski
- **Heft Nr. 23/1985** – „Untersuchungen zur Funktionsmorphologie und Nahrungsaufnahme der Larven des Antarktischen Krills *Euphausia superba* Dana“ von Hans-Peter Marschall

- Heft Nr. 24/1985** – „Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel Südshetlandinseln/ Antarktika. Deutsche physiogeographische Forschungen in der Antarktis. – Bericht über die Kampagne 1983/84“ von Dietrich Barsch, Wolf-Dieter Blümel, Wolfgang Flügel, Roland Mäusbacher, Gerhard Stäblein, Wolfgang Zick
- **Heft Nr. 25/1985** – „Die Expedition ANTARKTIS III mit FS ‚Polarstern‘ 1984/1985“ herausgegeben von Gotthilf Hempel.
  - **Heft Nr. 26/1985** – “The Southern Ocean”; A survey of oceanographic and marine meteorological research work by Hellmer et al.
  - **Heft Nr. 27/1986** – „Spätpleistozäne Sedimentationsprozesse am antarktischen Kontinentalhang vor Kapp Norvegia, östliche Weddell-See“ von Hannes Grobe
  - Heft Nr. 28/1986** – „Die Expedition ARKTIS III mit ‚Polarstern‘ 1985 mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer, herausgegeben von Rainer Gersonde
  - **Heft Nr. 29/1986** – „5 Jahre Schwerpunktprogramm ‚Antarktisforschung‘ der Deutschen Forschungsgemeinschaft.“ Rückblick und Ausblick. Zusammengestellt von Gotthilf Hempel, Sprecher des Schwerpunktprogramms
  - Heft Nr. 30/1986** – “The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station for 1981 and 1982“ by Marianne Gube and Friedrich Obleitner
  - **Heft Nr. 31/1986** – „Zur Biologie der Jugendstadien der Notothenioidei (Pisces) an der Antarktischen Halbinsel“ von A. Kellermann
  - **Heft Nr. 32/1986** – „Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86“ mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer, herausgegeben von Dieter Fütterer
  - Heft Nr. 33/1987** – „Die Expedition ANTARKTIS-IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86 – Bericht zu den Fahrtabschnitten ANT-IV/3-4“ von Dieter Karl Fütterer
  - Heft Nr. 34/1987** – „Zoogeographische Untersuchungen und Gemeinschaftsanalysen an antarktischen Makroplankton“ von U. Piatkowski
  - Heft Nr. 35/1987** – „Zur Verbreitung des Meso- und Makrozooplanktons in Oberflächenwasser der Weddell See (Antarktis)“ von E. Boysen-Ennen
  - Heft Nr. 36/1987** – „Zur Nahrungs- und Bewegungsphysiologie von *Salpa thompsoni* und *Salpa fusiformis*“ von M. Reinke
  - Heft-Nr. 37/1987** – “The Eastern Weddell Sea Drifting Buoy Data Set of the Winter Weddell Sea Project (WWSP)” 1986 by Heinrich Hoeber und Marianne Gube-Lenhardt.
  - Heft Nr. 38/1987** – “The Meteorological Data of the Georg von Neumayer Station for 1983 and 1984“ by M. Gube-Lenhardt
  - Heft Nr. 39/1987** – „Die Winter-Expedition mit FS ‚Polarstern‘ in die Antarktis (ANT V/1-3)“ herausgegeben von Sigrid Schnack-Schiel
  - Heft Nr. 40/1987** – “Weather and Synoptic Situation during Winter Weddell Sea Project 1986 (ANT V/2) July 16 - September 10, 1986“ by Werner Rabe
  - Heft Nr. 41/1988** – „Zur Verbreitung und Ökologie der Seegurken im Weddellmeer (Antarktis)“ von Julian Gutt
  - Heft Nr. 42/1988** – “The zooplankton community in the deep bathyal and abyssal zones of the eastern North Atlantic“ by Werner Beckmann
  - **Heft Nr. 43/1988** – “Scientific cruise report of Arctic Expedition ARK IV/3“ Wissenschaftlicher Fahrtbericht der Arktis-Expedition ARK IV/3, compiled by Jörn Thiede
  - **Heft Nr. 44/1988** – “Data Report for FV ‚Polarstern‘ Cruise ARK IV/1, 1987 to the Arctic and Polar Fronts“ by Hans-Jürgen Hirche
  - Heft Nr. 45/1988** – „Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis)“ von Joachim Voß
  - Heft Nr. 46/1988** – “Meteorological and Oceanographic Data of the Winter-Weddell-Sea Project 1986 (ANT V/3)“ by Eberhard Fahrbach
  - Heft Nr. 47/1988** – „Verteilung und Herkunft glazial-mariner Gerölle am Antarktischen Kontinentalrand des östlichen Weddellmeeres“ von Wolfgang Oskierski
  - Heft Nr. 48/1988** – „Variationen des Erdmagnetfeldes an der GvN-Station“ von Arnold Brodscholl
  - **Heft Nr. 49/1988** – „Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton“ von Wilhelm Hagen
  - **Heft Nr. 50/1988** – „Die gezeitenbedingte Dynamik des Ekström-Schelfeises, Antarktis“ von Wolfgang Kobarg
  - Heft Nr. 51/1988** – „Ökomorphologie nototheniider Fische aus dem Weddellmeer, Antarktis“ von Werner Ekau
  - Heft Nr. 52/1988** – „Zusammensetzung der Bodenfauna in der westlichen Fram-Straße“ von Dieter Piepenburg
  - **Heft Nr. 53/1988** – „Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis) im Jan./Febr. 1985“ von Eva-Maria Nöthig
  - Heft Nr. 54/1988** – „Die Fischfauna des östlichen und südlichen Weddellmeeres: geographische Verbreitung, Nahrung und trophische Stellung der Fischarten“ von Wiebke Schwarzbach
  - Heft Nr. 55/1988** – “Weight and length data of zooplankton in the Weddell Sea in austral spring 1986 (Ant. V/3)“ by Elke Mizdalski
  - Heft Nr. 56/1989** – “Scientific cruise report of Arctic expeditions ARK IV/1, 2 & 3“ by G. Krause, J. Meinke und J. Thiede

- Heft Nr. 57/1989** – „Die Expedition ANTARKTIS V mit FS ‚Polarstern‘ 1986/87“  
Bericht von den Fahrtabschnitten ANT V/4-5 von H. Miller und H. Oerter
- \* **Heft Nr. 58/1989** – „Die Expedition ANTARKTIS VI mit FS ‚Polarstern‘ 1987/88“  
von D. K. Fütterer
  - Heft Nr. 59/1989** – „Die Expedition ARKTIS V/1a, 1b und 2 mit FS ‚Polarstern‘ 1988“  
von M. Spindler
  - Heft Nr. 60/1989** – „Ein zweidimensionales Modell zur thermohalinen Zirkulation unter dem Schelfeis“  
von H. H. Hellmer
  - Heft Nr. 61/1989** – „Die Vulkanite im westlichen und mittleren Neuschwabenland, Vestfjella und Ahlmannryggen, Antarktika“ von M. Peters
  - \* **Heft Nr. 62/1989** – „The Expedition ANTARKTIS VII/1 and 2 (EPOS I) of RV ‚Polarstern‘  
in 1988/89“, by I. Hempel
  - Heft Nr. 63/1989** – „Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse  
sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten“ von Annette Bartsch
  - Heft Nr. 64/1989** – „Meteorological Data of the G.-v.-Neumayer-Station (Antarctica)“ by L. Helmes
  - Heft Nr. 65/1989** – „Expedition Antarktis VII/3 in 1988/89“ by I. Hempel, P. H. Schalk, V. Smetacek
  - Heft Nr. 66/1989** – „Geomorphologisch-glaziologische Detailkartierung  
des arid-hochpolaren Borgmassivet, Neuschwabenland, Antarktika“ von Karsten Brunk
  - Heft Nr. 67/1990** – „Identification key and catalogue of larval Antarctic fishes“,  
edited by Adolf Kellermann
  - Heft Nr. 68/1990** – „The Expedition Antarktis VIII/4 (Epos leg 3) and VII/5 of RV ‚Polarstern‘ in 1989“,  
edited by W. Arntz, W. Ernst, I. Hempel
  - Heft Nr. 69/1990** – „Abhängigkeiten elastischer und rheologischer Eigenschaften des Meereises vom  
Eisgefüge“, von Harald Hellmann
  - \* **Heft Nr. 70/1990** – „Die beschalten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des  
Weddellmeeres, Antarktis“, von Stefan Hain
  - Heft Nr. 71/1990** – „Sedimentologie und Paläomagnetik an Sedimenten der Maudkuppe (Nordöstliches  
Weddellmeer)“, von Dieter Cordes
  - Heft Nr. 72/1990** – „Distribution and abundance of planktonic copepods (Crustacea) in the Weddell Sea  
in summer 1980/81“, by F. Kurbjeweit and S. Ali-Khan
  - Heft Nr. 73/1990** – „Zur Frühdiagenese von organischem Kohlenstoff und Opal in Sedimenten des südlichen  
und östlichen Weddellmeeres“, von M. Schlüter
  - Heft Nr. 74/1990** – „Expeditionen ANTARKTIS-VIII/3 und VIII/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1989“  
von Rainer Gersonde und Gotthilf Hempel
  - Heft Nr. 75/1991** – „Quartäre Sedimentationsprozesse am Kontinentalhang des Süd-Orkey-Plateaus im  
nordwestlichen Weddellmeer (Antarktis)“, von Sigrun Grünig
  - Heft Nr. 76/1990** – „Ergebnisse der faunistischen Arbeiten im Benthos von King George Island  
(Südshetlandinseln, Antarktis)“, von Martin Rauschert
  - Heft Nr. 77/1990** – „Verteilung von Mikroplankton-Organismen nordwestlich der Antarktischen Halbinsel  
unter dem Einfluß sich ändernder Umweltbedingungen im Herbst“, von Heinz Klöser
  - Heft Nr. 78/1991** – „Hochauflösende Magnetostratigraphie spätquartärer Sedimente arktischer  
Meeresgebiete“, von Norbert R. Nowaczyk
  - Heft Nr. 79/1991** – „Ökophysiologische Untersuchungen zur Salinitäts- und Temperaturtoleranz  
antarktischer Grünalgen unter besonderer Berücksichtigung des  $\beta$ -Dimethylsulfoniumpropionat  
(DMSP) - Stoffwechsels“, von Ulf Karsten
  - Heft Nr. 80/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“,  
herausgegeben von Jörn Thiede und Gotthilf Hempel
  - Heft Nr. 81/1991** – „Paläoglaziologie und Paläozeanographie im Spätquartär am Kontinentalrand des  
südlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Martin Melles
  - Heft-Nr. 82/1991** – „Quantifizierung von Meeresseigenschaften: Automatische Bildanalyse von  
Dünnschnitten und Parametrisierung von Chlorophyll- und Salzgehaltsverteilungen“, von Hajo Eicken.
  - Heft Nr. 83/1991** – „Das Fließen von Schelfeisen - numerische Simulationen  
mit der Methode der finiten Differenzen“, von Jürgen Determann
  - Heft Nr. 84/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII/1-2, 1989 mit der Winter Weddell Gyre Study  
der Forschungsschiffe ‚Polarstern‘ und ‚Akademik Fedorov‘“, von Ernst Augstein,  
Nikolai Bagriantsev und Hans Werner Schenke
  - Heft Nr. 85/1991** – „Zur Entstehung von Unterwassereis und das Wachstum und die Energiebilanz  
des Meereises in der Atka Bucht, Antarktis“, von Josef Kipfstuhl
  - \* **Heft Nr. 86/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht vom  
Fahrtabschnitt ANT-VIII/5“, von Heinz Miller und Hans Oerter
  - Heft Nr. 87/1991** – „Scientific cruise reports of Arctic expeditions ARK VI/1-4 of RV ‚Polarstern‘  
in 1989“, edited by G. Krause, J. Meincke & H. J. Schwarz
  - Heft Nr. 88/1991** – „Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*,  
*C. glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße“, von Sabine Diehl

- Heft Nr. 89/1991** – „Detaillierte seismische Untersuchungen am östlichen Kontinentalrand des Weddell-Meereres vor Kapp Norvegia, Antarktis“, von Norbert E. Kaul
- Heft Nr. 90/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-VIII/6-7“, herausgegeben von Dieter Karl Fütterer und Otto Schrems
- Heft Nr. 91/1991** – “Blood physiology and ecological consequences in Weddell Sea fishes (Antarctica)“, by Andreas Kunzmann
- Heft Nr. 92/1991** – „Zur sommerlichen Verteilung des Mesozooplanktons im Nansen-Becken, Nordpolarmeer“, von Nicolai Mumm
- Heft Nr. 93/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII mit FS ‚Polarstern‘, 1990. Bericht vom Fahrtabschnitt ARK VII/2“, herausgegeben von Gunther Krause
- Heft Nr. 94/1991** – „Die Entwicklung des Phytoplanktons im östlichen Weddellmeer (Antarktis) beim Übergang vom Spätwinter zum Frühjahr“, von Renate Scharek
- Heft Nr. 95/1991** – „Radioisotopenstratigraphie, Sedimentologie und Geochemie jungquartärer Sedimente des östlichen Arktischen Ozeans“, von Horst Bohrmann
- Heft Nr. 96/1991** – „Holozäne Sedimentationsentwicklung im Scoresby Sund, Ost-Grönland“, von Peter Marienfeld
- Heft Nr. 97/1991** – „Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte von Heimefrontfjella (Westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Joachim Jacobs
- Heft Nr. 98/1991** – „Zur Besiedlungsgeschichte des antarktischen Schelfes am Beispiel der Isopoda (Crustacea, Malacostraca)“, von Angelika Brandt
- \* **Heft Nr. 99/1992** – “The Antarctic ice sheet and environmental change: a three-dimensional modelling study“, by Philippe Huybrechts
- \* **Heft Nr. 100/1992** – „Die Expeditionen ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1990/91“ herausgegeben von Ulrich Bathmann, Meinhard Schulz-Baldes, Eberhard Fahrbach, Victor Smetacek und Hans-Wolfgang Hubberten
- Heft Nr. 101/1992** – „Wechselbeziehungen zwischen Schwermetallkonzentrationen (Cd, Cu, Pb, Zn) im Meerwasser und in Zooplanktonorganismen (Copepoda) der Arktis und des Atlantiks“, von Christa Pohl
- Heft Nr. 102/1992** – „Physiologie und Ultrastruktur der antarktischen Grünalge *Prasiola crispa* ssp. *antarctica* unter osmotischem Stress und Austrocknung“, von Andreas Jacob
- \* **Heft Nr. 103/1992** – „Zur Ökologie der Fische im Weddellmeer“, von Gerd Hubold
- Heft Nr. 104/1992** – „Mehrkanaelige adaptive Filter für die Unterdrückung von multiplen Reflexionen in Verbindung mit der freien Oberfläche in marinen Seismogrammen“, von Andreas Rosenberger
- Heft Nr. 105/1992** – “Radiation and Eddy Flux Experiment 1991 (REFLEX I)“, von Jörg Hartmann, Christoph Koltmeier und Christian Wamser
- Heft Nr. 106/1992** – „Ostracoden im Epipelagial vor der Antarktischen Halbinsel - ein Beitrag zur Systematik sowie zur Verbreitung und Populationsstruktur unter Berücksichtigung der Saisonalität“, von Rüdiger Kock
- \* **Heft Nr. 107/1992** – „ARCTIC '91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, von Dieter K. Fütterer
- Heft Nr. 108/1992** – „Dehnungsbeben an einer Störungszone im Ekström-Schelfeis nördlich der Georg-von-Neumayer-Station, Antarktis. – Eine Untersuchung mit seismologischen und geodätischen Methoden“, von Uwe Nixdorf.
- \* **Heft Nr. 109/1992** – „Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Michael Weber.
- \* **Heft Nr. 110/1992** – „Sedimentfazies und Bodenwasserstrom am Kontinentalhang des norwestlichen Weddellmeeres“, von Isa Brehme.
- Heft Nr. 111/1992** – „Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meereises“, von Jürgen Weissenberger.
- Heft Nr. 112/1992** – „Zur Taxonomie von rezenten benthischen Foraminiferen aus dem Nansen Becken, Arktischer Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft Nr. 113/1992** – „Die Expedition ARKTIS VIII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, herausgegeben von Gerhard Kattner.
- \* **Heft Nr. 114/1992** – „Die Gründungsphase deutscher Polarforschung, 1865 - 1875“, von Reinhard A. Krause.
- Heft Nr. 115/1992** – “Scientific Cruise Report of the 1991 Arctic Expedition ARK VIII/2 of RV ‚Polarstern‘ (EPOS II)“, by Eike Rachor.
- Heft Nr. 116/1992** – “The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station (Antarctica) for 1988, 1989, 1990 and 1991“, by Gert König-Langlo.
- Heft Nr. 117/1992** – „Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der zentralen Heimefrontfjella (westliches Dronning Maud Land / Antarktis)“, von Peter Schulze.
- Heft Nr. 118/1993** – „Die mafischen Gänge der Shackleton Range / Antarktika: Petrographie, Geochemie, Isotopengeochemie und Paläomagnetik“, von Rüdiger Hotten.
- \* **Heft Nr. 119/1993** – „Gefrierschutz bei Fischen der Polarmeere“, von Andreas P. A. Wöhrmann.
- \* **Heft Nr. 120/1993** – “East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea - its Significance for Arctic Sea-Ice Formation and Transpolar Sediment Flux“, by D. Dethleff, D. Nürnberg, E. Reimnitz, M. Saarlo and Y. P. Sacchenko. – “Expedition to Novaja Zemlja and Franz Josef Land with RV. ‚Dainie Zelentsy‘“, by D. Nürnberg and E. Groth.

- **Heft Nr. 121/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Michael Spindler, Gerhard Dieckmann und David Thomas
- Heft Nr. 122/1993** – „Die Beschreibung der Korngestalt mit Hilfe der Fourier-Analyse: Parametrisierung der morphologischen Eigenschaften von Sedimentpartikeln“, von Michael Diepenbroek.
- **Heft Nr. 123/1993** – „Zerstörungsfreie hochauflösende Dichteuntersuchungen mariner Sedimente“, von Sebastian Gerland.
- Heft Nr. 124/1993** – „Umsatz und Verteilung von Lipiden in arktischen marinen Organismen unter besonderer Berücksichtigung unterer trophischer Stufen“, von Martin Graeve.
- Heft Nr. 125/1993** – „Ökologie und Respiration ausgewählter arktischer Bodenfischarten“, von Christian F. von Dorrien.
- Heft Nr. 126/1993** – „Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartier anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen“, von Ulrich Zielinski
- **Heft Nr. 127/1993** – „Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht“, von Ingo Wollenburg.
- Heft Nr. 128/1993** – “Cruise ANTARKTIS X/3 of RV ‘Polarstern’: CTD-Report“, von Marek Zwierz.
- Heft Nr. 129/1993** – „Reproduktion und Lebenszyklen dominanter Copepodenarten aus dem Weddellmeer, Antarktis“, von Frank Kurbjewweit
- Heft Nr. 130/1993** – „Untersuchungen zu Temperaturregime und Massenhaushalt des Filchner-Ronne-Schelfeises, Antarktis, unter besonderer Berücksichtigung von Anfrier- und Abschmelzprozessen“, von Klaus Grosfeld
- Heft Nr. 131/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/5 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Rainer Gersonde
- Heft Nr. 132/1993** – „Bildung und Abgabe kurzketziger halogenierter Kohlenwasserstoffe durch Makroalgen der Polarregionen“, von Frank Laturnus
- Heft Nr. 133/1994** – “Radiation and Eddy Flux Experiment 1993 (*REFLEX II*)“, by Christoph Kottmeier, Jörg Hartmann, Christian Wamser, Axel Bochert, Christof Lüpkes, Dietmar Freese and Wolfgang Cohrs
- **Heft Nr. 134/1994** – “The Expedition ARKTIS-IX/1“, edited by Hajo Eicken and Jens Meincke
- Heft Nr. 135/1994** – „Die Expeditionen ANTARKTIS X/6-8“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek, Hein de Baar, Eberhard Fahrbach und Gunter Krause
- Heft Nr. 136/1994** – „Untersuchungen zur Ernährungsökologie von Kaiserpinguinen (*Aptenodytes forsteri*) und Königspinguinen (*Aptenodytes patagonicus*)“, von Klemens Pütz
- **Heft Nr. 137/1994** – „Die kältezoische Vereisungsgeschichte der Antarktis“, von Werner U. Ehrmann
- Heft Nr. 138/1994** – „Untersuchungen stratosphärischer Aerosole vulkanischen Ursprungs und polarer stratosphärischer Wolken mit einem Mehrwellenlängen-Lidar auf Spitzbergen (*79° N, 12° E*)“, von Georg Beyerle
- Heft Nr. 139/1994** – „Charakterisierung der Isopodenfauna (Crustacea, Malacostraca) des Scotia-Bogens aus biogeographischer Sicht: Ein multivariater Ansatz“, von Holger Winkler.
- Heft Nr. 140/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS X/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Peter Lemke
- Heft Nr. 141/1994** – „Satellitenaltimetrie über Eis – Anwendung des GEOSAT-Altimeters über dem Ekströmisen, Antarktis“, von Clemens Heidland
- Heft Nr. 142/1994** – “The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV ‘Polarstern’ Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG ‘Polar Bear’ cruise NEWP and the NEWLand expedition“, edited by Hans-Jürgen Hirche and Gerhard Kattner
- Heft Nr. 143/1994** – „Detaillierte refraktionsseismische Untersuchungen im inneren Scoresby Sund Ost-Grönland“, von Notker Fechner
- Heft Nr. 144/1994** – “Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens, Hans-Wolfgang Hubberten, Sergey M. Pryamikov and Rüdiger Stein
- **Heft Nr. 145/1994** – “The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report of RV ‚Polarstern‘ Arctic Cruises IX/2 and 3“, edited by Gerhard Kattner and Hans-Jürgen Hirche.
- Heft Nr. 146/1994** – “Radiation Measurements at the German Antarctic Station Neumayer 1982 - 1992“, by Torsten Schmidt and Gerd König-Langlo.
- Heft Nr. 147/1994** – „Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell- Meer / Antarktis“, von Christian Hübscher.
- **Heft Nr. 148/1994** – “The expeditions NORILSK/TAYMYR 1993 and BUNGER OASIS 1993/94 of the AWI Research Unit Potsdam“, edited by Martin Melles.
- \*\* **Heft Nr. 149/1994** – „Die Expedition ARCTIC ‘93. Der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1993“, herausgegeben von Dieter K. Fütterer.
- Heft Nr. 150/1994** – „Der Energiebedarf der Pygoscelis-Pinguine: eine Synopse“, von Boris M. Culik.
- Heft Nr. 151/1994** – “Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens and Valeriy Y. Karpiv.
- Heft Nr. 152/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS-X mit FS ‚Polarstern‘ 1992. Bericht von den Fahrtabschnitten / ANT-X / 1a und 2“, herausgegeben von Heinz Miller.
- Heft Nr. 153/1994** – „Aminosäuren und Huminstoffe im Stickstoffkreislauf polarer Meere“, von Ulrike Hubberten.
- Heft Nr. 154/1994** – “Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea“, by Claudio Richter.



- Heft Nr. 155/1995** – „Benthos in polaren Gewässern“, herausgegeben von Christian Wiencke und Wolf Arntz.
- Heft Nr. 156/1995** – “An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes and mixing coefficients”, by Reiner Schlitzer.
- Heft Nr. 157/1995** – „Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden“, von Kirsten Fahl.
- **Heft Nr. 158/1995** – „Die Deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis“, von Cornelia Lüdecke.
  - **Heft Nr. 159/1995** – “The distribution of  $\delta^{18}\text{O}$  in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters”, by Dorothea Bauch.
  - **Heft Nr. 160/1995** – „Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen“, von Gerhard Schmiedl.
  - Heft Nr. 161/1995** – „Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros sp.* und *Navicula sp.* unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin“, von Jürgen Nothnagel.
  - Heft Nr. 162/1995** – „Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße“, von Thomas Letzig.
  - Heft Nr. 163/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94“, herausgegeben von Rainer Gersonde.
  - Heft Nr. 164/1995** – „Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis“, von Thomas Frederichs.
  - Heft Nr. 165/1995** – „Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern“, von Georg Hanke.
  - Heft Nr. 166/1995** – „Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer“, von Holger Fischer.
  - **Heft Nr. 167/1995** – „Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik“, von Hans-Stefan Niebler
  - Heft Nr. 168/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS XII mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT XII/1 und 2“, herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer
  - Heft Nr. 169/1995** – „Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinterern auf einer antarktischen Forschungsstation“, von Hans Wortmann
  - Heft-Nr. 170/1995** – DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften -- Geologie und Geophysik der Antarktis.
  - Heft Nr. 171/1995** – „Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimfrontfjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Wilfried Bauer.
  - Heft Nr. 172/1995** – „Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen“, von Holger Mandler.
  - Heft Nr. 173/1995** – „Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand – P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane“, von Stefan Matzer.
  - Heft Nr. 174/1995** – “The Expedition ARKTIS-X/2 of RV ‚Polarstern‘ in 1994“, edited by Hans-W. Hubberten
  - Heft Nr. 175/1995** – “Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994“, edited by Christine Siegert and Gmitry Bolshiyarov.
  - **Heft Nr. 176/1995** – “Russian-German Cooperation: Laptev Sea System“, edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.
  - Heft Nr. 177/1995** – „Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität“, von Carsten J. Schubert
  - Heft Nr. 178/1995** – “Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV ‚Polarstern‘ in 1995: CTD-Report“, by Jüri Sildam.
  - Heft Nr. 179/1995** – „Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftanzeiger im Arktischen Ozean“, von Jutta Wollenburg.
  - Heft Nr. 180/1995** – „Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor“, von Wolfgang J. Bonn.
  - Heft Nr. 181/1995** – „Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
  - Heft Nr. 182/1995** – “Laptev Sea System: Expeditions in 1994“, edited by Heidemarie Kassens.
  - Heft Nr. 183/1996** – „Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften“, von Uwe Bergmann.
  - Heft Nr. 184/1996** – “Distribution and dynamics of inorganic nitrogen compounds in the troposphere of continental, coastal, marine and Arctic areas“, by Maria Dolores Andrés Hernández.
  - Heft Nr. 185/1996** – „Verbreitung und Lebensweise der Aphroditen und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddellmeer und im Lazarevmeer (Antarktis)“, von Michael Stiller.
  - Heft Nr. 186/1996** – “Reconstruction of Late Quaternary environmental conditions applying the natural radionuclides  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  and  $^{238}\text{U}$ : A study of deep-sea sediments from the eastern sector of the Antarctic Circumpolar Current System“, by Martin Frank.
  - Heft Nr. 187/1996** – “The Meteorological Data of the Neumayer Station (Antarctica) for 1992, 1993 and 1994“, by Gert König-Langlo and Andreas Herber.
  - Heft Nr. 188/1996** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.
  - Heft Nr. 189/1996** – „Die Expedition ARKTIS-VII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe

**Heft Nr. 190/1996** – "Cruise report of the Joint Chilean-German-Italian Magellan ‚Victor Hensen‘ Campaign in 1994", edited by Wolf Arntz and Matthias Gorny.

**Heft Nr. 191/1996** – „Leitfähigkeits- und Dichtemessung an Eisbohrkernen“, von Frank Wilhelms.

**Heft Nr. 192/1996** – „Photosynthese-Charakteristika und Lebensstrategie antarktischer Makroalgen“, von Gabriele Weykam.

**Heft Nr. 193/1996** – „Heterogene Reaktionen von N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und Hbr und ihr Einfluß auf den Ozonabbau in der polaren Stratosphäre“, von Sabine Seisel.

**Heft Nr. 194/1996** – „Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata)“, von Corinna Dahm.

**Heft Nr. 195/1996** – „Die planktische Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis“, von Doris Berberich.

**Heft Nr. 196/1996** – „Untersuchungen zum Beitrag chemischer und dynamischer Prozesse zur Variabilität des stratosphärischen Ozons über der Arktis“, von Birgit Heese

**Heft Nr. 197/1996** – "The Expedition ARKTIS-XI/2 of 'Polarstern' in 1995", edited by Gunther Krause.

**Heft Nr. 198/1996** – „Geodynamik des Westantarktischen Riftsystems basierend auf Apatit-Spaltspuranalysen“, von Frank Lisker.

**Heft Nr. 199/1996** – "The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report on CTD Measurements of RV 'Polarstern' Cruises ARKTIS IX/2 and 3", by Gerion Budéus and Wolfgang Schneider.

**Heft Nr. 200/1996** – "Stability of the Thermohaline Circulation in analytical and numerical models", by Gerrit Lohmann.

**Heft Nr. 201/1996** – „Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove (King George-Insel, Antarktis)“, von Katrin Iken.

**Heft Nr. 202/1996** – „Zur Verbreitung und Respiration ökologisch wichtiger Bodentiere in den Gewässern um Svalbard (Arktis)“, von Michael K. Schmid.

**Heft Nr. 203/1996** – „Dynamik, Rauhgigkeit und Alter des Meereises in der Arktis – Numerische Untersuchungen mit einem großskaligen Modell“, von Markus Harder.

**Heft Nr. 204/1996** – „Zur Parametrisierung der stabilen atmosphärischen Grenzschicht über einem antarktischen Schelfeis“, von Dörthe Handorf.

**Heft Nr. 205/1996** – "Textures and fabrics in the GRIP ice core, in relation to climate history and ice deformation", by Thorsteinn Thorsteinsson.

**Heft Nr. 206/1996** – „Der Ozean als Teil des gekoppelten Klimasystems: Versuch der Rekonstruktion der glazialen Zirkulation mit verschiedenen komplexen Atmosphärenkomponenten“, von Kerstin Fieg.

**Heft Nr. 207/1996** – „Lebensstrategien dominanter antarktischer Oithonidae (Cyclopoida, Copepoda) und Oncaeidae (Poecilostomatoida, Copepoda) im Bellingshausenmeer“, von Cornelia Metz.

**Heft Nr. 208/1996** – „Atmosphäreinfluß bei der Fernerkundung von Meereis mit passiven Mikrowellenradiometern“, von Christoph Oelke.

**Heft Nr. 209/1996** – „Klassifikation von Radarsatellitendaten zur Meereiserkennung mit Hilfe von Line-Scanner-Messungen“, von Axel Bochert.

**Heft Nr. 210/1996** – „Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna“, von Kathrin Kunzmann.

**Heft Nr. 211/1996** – "Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1995 and the Expedition KOLYMA 1995", by Dima Yu. Bolshiyarov and Hans-W. Hubberten.

**Heft Nr. 212/1996** – "Surface-sediment composition and sedimentary processes in the central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin", by Ruediger Stein, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Kirsten Fahl.

**Heft Nr. 213/1996** – „Gonadenentwicklung und Eiproduktion dreier *Calanus*-Arten (Copepoda): Freilandbeobachtungen, Histologie und Experimente“, von Barbara Niehoff

**Heft Nr. 214/1996** – „Numerische Modellierung der Übergangszone zwischen Eisschild und Eisschelf“, von Christoph Mayer.

**Heft Nr. 215/1996** – „Arbeiten der AWI-Forschungsstelle Potsdam in Antarktika, 1994/95“, herausgegeben von Ulrich Wand.

**Heft Nr. 216/1996** – „Rekonstruktion quartärer Klimaänderungen im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres anhand von Radiolarien“, von Uta Brathauer.

**Heft Nr. 217/1996** – „Adaptive Semi-Lagrange-Finite-Elemente-Methode zur Lösung der Flachwassergleichungen: Implementierung und Parallelisierung“, von Jörn Behrens.

**Heft Nr. 218/1997** – "Radiation and Eddy Flux Experiment 1995 (REFLEX III)", by Jörg Hartmann, Axel Bochert, Dietmar Freese, Christoph Kottmeier, Dagmar Nagel and Andreas Reuter.

**Heft Nr. 219/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS-XII mit FS ‚Polarstern‘ 1995. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XII/3, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.

**Heft Nr. 220/1997** – „Ein Beitrag zum Schwerfeld im Bereich des Weddellmeeres, Antarktis. Nutzung von Altimetermessungen des GEOSAT und ERS-1“, von Tilo Schöne.

**Heft Nr. 221/1997** – „Die Expeditionen ANTARKTIS-XIII/1-2 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1995/96“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Mike Lukas und Victor Smetacek.

**Heft Nr. 222/1997** – "Tectonic Structures and Glaciomarine Sedimentation in the South-Eastern Weddell Sea from Seismic Reflection Data", by László Oszkó.

**Heft Nr. 223/1997** – „Bestimmung der Meereisdicke mit seismischen und elektromagnetisch-induktiven Verfahren“, von Christian Haas.

**Heft Nr. 224/1997** – „Troposphärische Ozonvariationen in Polarregionen“, von Silke Wessel.

**Heft Nr. 225/1997** – „Biologische und ökologische Untersuchungen zur kryopelagischen Amphipodenfauna des arktischen Meereises“, von Michael Poltermann.

**Heft Nr. 226/1997** – “Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XI/1 of RV ‘Polarstern’ in 1995“, edited by Eike Rachor.

**Heft Nr. 227/1997** – „Der Einfluß kompatibler Substanzen und Kryoprotektoren auf die Enzyme Malatdehydrogenase (MDH) und Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase (G6P-DH) aus *Acrosiphonia arcta* (Chlorophyta) der Arktis“, von Katharina Kück.

**Heft Nr. 228/1997** – „Die Verbreitung epibenthischer Mollusken im chilenischen Beagle-Kanal“, von Katrin Linse.

**Heft Nr. 229/1997** – „Das Mesozooplankton im Laptevmeer und östlichen Nansen-Becken - Verteilung und Gemeinschaftsstrukturen im Spätsommer“, von Hinrich Hanssen.

**Heft Nr. 230/1997** – „Modell eines adaptierbaren, rechnergestützten, wissenschaftlichen Arbeitsplatzes am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung“, von Lutz-Peter Kurdelski

**Heft Nr. 231/1997** – „Zur Ökologie arktischer und antarktischer Fische: Aktivität, Sinnesleistungen und Verhalten“, von Christopher Zimmermann

**Heft Nr. 232/1997** – „Persistente chlororganische Verbindungen in hochantarktischen Fischen“, von Stephan Zimmermann

**Heft Nr. 233/1997** – „Zur Ökologie des Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP)-Gehaltes temperierter und polarer Phytoplanktongemeinschaften im Vergleich mit Laborkulturen der Coccolithophoride *Emiliana huxleyi* und der antarktischen Diatomee *Nitzschia lecoointe*“, von Doris Meyerdierks.

**Heft Nr. 234/1997** – „Die Expedition ARCTIC ‘96 des FS ‚Polarstern‘ (ARK XIII) mit der Arctic Climate System Study (ACSYS)“, von Ernst Augstein und den Fahrteilnehmern.

**Heft Nr. 235/1997** – „Polonium-210 und Blei-210 im Südpolarmeer: Natürliche Tracer für biologische und hydrographische Prozesse im Oberflächenwasser des Antarktischen Zirkumpolarstroms und des Weddellmeeres“, von Jana Friedrich

**Heft Nr. 236/1997** – “Determination of atmospheric trace gas amounts and corresponding natural isotopic ratios by means of ground-based FTIR spectroscopy in the high Arctic“, by Arndt Meier.

**Heft Nr. 237/1997** – “Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR/SEVERNAYA ZEMLYA 1996“, edited by Martin Melles, Birgit Hagedorn and Dmitri Yu. Bolshiyarov

**Heft Nr. 238/1997** – “Life strategy and ecophysiology of Antarctic macroalgae“, by Iván M. Gómez.

**Heft Nr. 239/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS XIII/4-5 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1996“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach und Dieter Gerdes.

**Heft Nr. 240/1997** – „Untersuchungen zur Chrom-Speziation in Meerwasser, Meereis und Schnee aus ausgewählten Gebieten der Arktis“, von Heide Giese.

**Heft Nr. 241/1997** – “Late Quaternary glacial history and paleoceanographic reconstructions along the East Greenland continental margin: Evidence from high-resolution records of stable isotopes and ice-rafted debris“, by Seung-Il Nam.

**Heft Nr. 242/1997** – “Thermal, hydrological and geochemical dynamics of the active layer at a continuous permafrost site, Taymyr Peninsula, Siberia“, by Julia Boike.

**Heft Nr. 243/1997** – „Zur Paläoozeanographie hoher Breiten: Stellvertreterdaten aus Foraminiferen“, von Andreas Mackensen.

**Heft Nr. 244/1997** – “The Geophysical Observatory at Neumayer Station, Antarctica, Geomagnetic and seismological observations in 1995 and 1996“, by Alfons Eckstaller, Thomas Schmidt, Viola Graw, Christian Müller and Johannes Røgenhagen.

**Heft Nr. 245/1997** – „Temperaturbedarf und Biogeographie mariner Makroalgen - Anpassung mariner Makroalgen an tiefe Temperaturen, von Bettina Bischoff-Bäsmann.

**Heft Nr. 246/1997** – „Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises“, von Christine Friedrich.

**Heft Nr. 247/1997** – „Entstehung und Modifizierung von marinen gelösten organischen Substanzen“, von Berit Kirchoff.

**Heft Nr. 248/1997** – “Laptev Sea System: Expeditions in 1995“, edited by Heidemarie Kassens.

**Heft Nr. 249/1997** – “The Expedition ANTARKTIS XIII/3 (EASIZ I) of RV ‘Polarstern’ to the eastern Weddell Sea in 1996“, edited by Wolf Arntz and Julian Gutt.

**Heft Nr. 250/1997** – „Vergleichende Untersuchungen zur Ökologie und Biodiversität des Mega-Epibenthos der Arktis und Antarktis“, von Adreas Starmans.

**Heft Nr. 251/1997** – „Zeitliche und räumliche Verteilung von Mineralvergesellschaftungen in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans und ihre Nützlichkeit als Klimaindikatoren während der Glazial/Interglazial-Wechsel“, von Christoph Vogt.

**Heft Nr. 252/1997** – „Solitäre Ascidien in der Potter Cove (King George Island, Antarktis). Ihre ökologische Bedeutung und Populationsdynamik“, von Stephan Kühne.

**Heft Nr. 253/1997** – “Distribution and role of microprotozoa in the Southern Ocean“, by Christine Klaas.

**Heft Nr. 254/1997** – „Die spätquartäre Klima- und Umweltgeschichte der Bunge-Oase, Ostantarktis“, von Thomas Kulbe

**Heft Nr. 255/1997** – “Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV ‘Polarstern’ in 1997”, edited by Ruediger Stein and Kirsten Fahl.

**Heft Nr. 256/1998** – „Das Radionuklid Tritium im Ozean: Meßverfahren und Verteilung von Tritium im Südatlantik und im Weddellmeer“, von Jürgen Sültenfuß.

**Heft Nr. 257/1998** – „Untersuchungen der Saisonalität von atmosphärischem Dimethylsulfid in der Arktis und Antarktis“, von Christoph Kleefeld.

**Heft Nr. 258/1998** – „Bellingshausen- und Amundsenmeer: Entwicklung eines Sedimentationsmodells“, von Frank-Oliver Nitsche.

**Heft Nr. 259/1998** – “The Expedition ANTARKTIS-XIV/4 of RV ‘Polarstern’ in 1997“, by Dieter K. Fütterer.

**Heft Nr. 260/1998** – „Die Diatomeen der Laptevsee (Arktischer Ozean): Taxonomie und biogeographische Verbreitung“, von Holger Cremer

**Heft Nr. 261/1998** – „Die Krustenstruktur und Sedimentdecke des Eurasischen Beckens, Arktischer Ozean: Resultate aus seismischen und gravimetrischen Untersuchungen“, von Estella Weigelt.

**Heft Nr. 262/1998** – “The Expedition ARKTIS-XIII/3 of RV ‘Polarstern’ in 1997“, by Gunther Krause.

**Heft Nr. 263/1998** – „Thermo-tektonische Entwicklung von Oates Land und der Shackleton Range (Antarktis) basierend auf Spaltspuranalysen“, von Thorsten Schäfer.

**Heft Nr. 264/1998** – „Messungen der stratosphärischen Spurengase ClO, HCl, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O und OH mittels flugzeuggetragener Submillimeterwellen-Radiometrie“, von Joachim Urban.

**Heft Nr. 265/1998** – „Untersuchungen zu Massenhaushalt und Dynamik des Ronne Ice Shelves, Antarktis“, von Astrid Lambrecht.

**Heft Nr. 266/1998** – “Scientific Cruise Report of the Kara Sea Expedition of RV ‘Akademic Boris Petrov’ in 1997“, edited by Jens Matthiessen and Oleg Stepanets.

**Heft Nr. 267/1998** – „Die Expedition ANTARKTIS-XIV mit FS ‚Polarstern‘ 1997. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XIV/3“, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.

**Heft Nr. 268/1998** – „Numerische Modellierung der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Meereis in der arktischen Eisrandzone“, von Gerit Birnbaum.

**Heft Nr. 269/1998** – “Katabatic wind and Boundary Layer Front Experiment around Greenland (KABEG '97)“, by Günther Heinemann.

**Heft Nr. 270/1998** – “Architecture and evolution of the continental crust of East Greenland from integrated geophysical studies“, by Vera Schindwein.

**Heft Nr. 271/1998** – “Winter Expedition to the Southwestern Kara Sea - Investigations on Formation and Transport of Turbid Sea-Ice“, by Dirk Dethleff, Per Loewe, Dominik Weiel, Hartmut Nies, Gesa Kuhlmann, Christian Bahe and Gennady Tarasov.

**Heft Nr. 272/1998** – „FTIR-Emissionsspektroskopische Untersuchungen der arktischen Atmosphäre“, von Edo Becker.

**Heft Nr. 273/1998** – „Sedimentation und Tektonik im Gebiet des Agulhas Rückens und des Agulhas Plateaus („SETA-RAP“)“, von Gabriele Uenzelmann-Neben.

**Heft Nr. 274/1998** – “The Expedition ANTARKTIS XIV/2“, by Gerhard Kattner.

**Heft Nr. 275/1998** – „Die Auswirkung der ‘NorthEastWater’-Polynya auf die Sedimentation von NO-Grönland und Untersuchungen zur Paläo-Ozeanographie seit dem Mittelweichsel“, von Hanne Notholt.

**Heft Nr. 276/1998** – „Interpretation und Analyse von Potentialfelddaten im Weddellmeer, Antarktis: der Zerfall des Superkontinents Gondwana“, von Michael Studinger.

**Heft Nr. 277/1998** – „Koordiniertes Programm Antarktisforschung“. Berichtskolloquium im Rahmen des Koordinierten Programms „Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“, herausgegeben von Hubert Miller.

**Heft Nr. 278/1998** – „Messung stratosphärischer Spurengase über Ny-Ålesund, Spitzbergen, mit Hilfe eines bodengebundenen Mikrowellen-Radiometers“, von Uwe Raffalski.

**Heft Nr. 279/1998** – “Arctic Paleo-River Discharge (APARD). A New Research Programme of the Arctic Ocean Science Board (AOSB)“, edited by Ruediger Stein.

**Heft Nr. 280/1998** – „Fernerkundungs- und GIS-Studien in Nordostgrönland“ von Friedrich Jung-Rothenhäusler.

**Heft Nr. 281/1998** – „Rekonstruktion der Oberflächenwassermassen der östlichen Laptevsee im Holozän anhand von aquatischen Palynomorphen“, von Martina Kunz-Pirrung.

**Heft Nr. 282/1998** – “Scavenging of <sup>231</sup>Pa and <sup>230</sup>Th in the South Atlantic: Implications for the use of the <sup>231</sup>Pa/<sup>230</sup>Th ratio as a paleoproductivity proxy“, by Hans-Jürgen Walter.

**Heft Nr. 283/1998** – „Sedimente im arktischen Meereis - Eintrag, Charakterisierung und Quantifizierung“, von Frank Lindemann.

**Heft Nr. 284/1998** – „Langzeitanalyse der antarktischen Meereisbedeckung aus passiven Mikrowellendaten“, von Christian H. Thomas.

**Heft Nr. 285/1998** – „Mechanismen und Grenzen der Temperaturanpassung beim Pierwurm *Arenicola marina* (L.)“, von Angela Sommer.

**Heft Nr. 286/1998** – „Energieumsätze benthischer Filtrierer der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Jens Kowalke.

**Heft Nr. 287/1998** – “Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Research from the Barents Sea up to the Laptev Sea“, edited by Eike Rachor.

**Heft Nr. 288/1998** – „Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens“, von Ulrich Wutzke.

**Heft Nr. 289/1998** – “Retrieval of Atmospheric Water Vapor Content in Polar Regions Using Spaceborne Microwave Radiometry”, by Jungang Miao.

**Heft Nr. 290/1998** – „Strukturelle Entwicklung und Petrogenese des nördlichen Kristallingürtels der Shackleton Range, Antarktis: Proterozoische und Ross-orogene Krustendynamik am Rand des Ostantarktischen Kratons“, von Axel Brommer.

**Heft Nr. 291/1998** – „Dynamik des arktischen Meereises - Validierung verschiedener Rheologieansätze für die Anwendung in Klimamodellen“, von Martin Kreyscher.

**Heft Nr. 292/1998** – „Anthropogene organische Spurenstoffe im Arktischen Ozean, Untersuchungen chlorierter Biphenyle und Pestizide in der Laptevsee, technische und methodische Entwicklungen zur Probenahme in der Arktis und zur Spurenstoffanalyse“, von Sven Utschakowski.

**Heft Nr. 293/1998** – „Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte der Schirmacher Oase und des Wohlthat Massivs (Ostantarktika)“, von Markus Julius Schwab.

**Heft Nr. 294/1998** – „Besiedlungsmuster der benthischen Makrofauna auf dem ostgrönländischen Kontinentalhang“, von Klaus Schnack.

**Heft Nr. 295/1998** – „Gehäuseuntersuchungen an planktischen Foraminiferen hoher Breiten: Hinweise auf Umweltveränderungen während der letzten 140.000 Jahre“, von Harald Hommers.

**Heft Nr. 296/1998** – “Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/1 of RV 'Polarstern' in 1997”, edited by Michael Spindler, Wilhelm Hagen and Dorothea Stübing.

**Heft Nr. 297/1998** – „Radiometrische Messungen im arktischen Ozean - Vergleich von Theorie und Experiment“, von Klaus-Peter Johnsen.

**Heft Nr. 298//1998** – “Patterns and Controls of CO<sub>2</sub> Fluxes in Wet Tundra Types of the Taimyr Peninsula, Siberia - the Contribution of Soils and Mosses”, by Martin Sommerkorn.

**Heft Nr. 299/1998** – “The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica. Synopsis of research performed within the frame of the Argentinean-German Cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station (King George Island, Antarctica, 1991 - 1997)”, by Christian Wiencke, Gustavo Ferreyra, Wolf Arntz & Carlos Rinaldi.

**Heft Nr. 300/1999** – “The Kara Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' 1997: First Results of a Joint Russian-German Pilot Study”, edited by Jens Matthiessen, Oleg V. Stepanets, Ruediger Stein, Dieter K. Fütterer, and Eric M. Galimov.

**Heft Nr. 301/1999** – “The Expedition ANTARKTIS XV/3 (EASIZ II)”, edited by Wolf E. Arntz and Julian Gutt.

**Heft Nr. 302/1999** – „Sterole im herbstlichen Weddellmeer (Antarktis): Großräumige Verteilung, Vorkommen und Umsatz“, von Anneke Mühlebach.

**Heft Nr. 303/1999** – „Polare stratosphärische Wolken: Lidar-Beobachtungen, Charakterisierung von Entstehung und Entwicklung“, von Jens Biele.

**Heft Nr. 304/1999** – „Spätquartäre Paläoumweltbedingungen am nördlichen Kontinentalrand der Barents- und Kara-See. Eine Multi-Parameter-Analyse“, von Jochen Knies.

**Heft Nr. 305/1999** – “Arctic Radiation and Turbulence Interaction Study (ARTIST)”, by Jörg Hartmann, Frank Albers, Stefania Argentini, Axel Bochert, Ubaldo Bonafé, Wolfgang Cohrs, Alessandro Conidi, Dietmar Freese, Teodoro Georgiadis, Alessandro Ippoliti, Lars Kaleschke, Christof Lüpkes, Uwe Maixner, Giangiuseppe Mastrantonio, Fabrizio Ravegnani, Andreas Reuter, Giuliano Trivellone and Angelo Viola.

**Heft Nr. 306/1999** – “German-Russian Cooperation: Biogeographic and biostratigraphic investigations on selected sediment cores from the Eurasian continental margin and marginal seas to analyze the Late Quaternary climatic variability”, edited by Robert R. Spielhagen, Max S. Barash, Gennady I. Ivanov, and Jörn Thiede.

**Heft Nr. 307/1999** – „Struktur und Kohlenstoffbedarf des Makrobenthos am Kontinentalhang Ostgrönlands“, von Dan Sæller.

**Heft Nr. 308/1999** – “ARCTIC '98: The Expedition ARK-XIV/1a of RV 'Polarstern' in 1998”, edited by Wilfried Jokat.

**Heft Nr. 309/1999** – „Variabilität der arktischen Ozonschicht: Analyse und Interpretation bodengebundener Millimeterwellenmessungen“, von Björn-Martin Sinnhuber.

**Heft Nr. 310/1999** – „Rekonstruktion von Meereisdrift und terrigenem Sedimenteintrag im Spätquartär: Schwermineralassoziationen in Sedimenten des Laptev-See-Kontinentalrandes und des zentralen Arktischen Ozeans“, von Marion Behrends.

**Heft Nr. 311/1999** – „Parameterisierung atmosphärischer Grenzschichtprozesse in einem regionalen Klimamodell der Arktis“, von Christoph Abegg.

**Heft Nr. 312/1999** – „Solare und terrestrische Strahlungswechselwirkung zwischen arktischen Eisflächen und Wolken“, von Dietmar Freese.

**Heft Nr. 313/1999** – “Snow accumulation on Ekströmsen, Antarctica”, by Elisabeth Schlosser, Hans Oerter and Wolfgang Graf.

**Heft Nr. 314/1999** – „Die Expedition ANTARKTIS XV/4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1998“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.

**Heft Nr. 315/1999** – “Expeditions in Siberia in 1998”, edited by Volker Rachold.

**Heft Nr. 316/1999** – „Die postglaziale Sedimentationsgeschichte der Laptevsee: schwermineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen“, von Bernhard Peregovich.

**Heft-Nr. 317/1999** – „Adaption an niedrige Temperaturen: Lipide in Eisdiatomeen“, von Heidi Lehmal.

**Heft-Nr. 318/1999** – „Effiziente parallele Lösungsverfahren für elliptische partielle Differentialgleichungen in der numerischen Ozeanmodellierung“, von Natalja Rakowsky.

**Heft-Nr. 319/1999** – “The Ecology of Arctic Deep-Sea Copepods (Euchaetidae and Aetideidae). Aspects of their Distribution, Trophodynamics and Effect on the Carbon Flux”, by Holger Auel.

**Heft-Nr. 320/1999** – “Modellstudien zur arktischen stratosphärischen Chemie im Vergleich mit Meßdaten”, von Veronika Eyring.

**Heft-Nr. 321/1999** – “Analyse der optischen Eigenschaften des arktischen Aerosols”, von Dagmar Nagel.

**Heft-Nr. 322/1999** – “Messungen des arktischen stratosphärischen Ozons: Vergleich der Ozonmessungen in Ny-Ålesund, Spitzbergen, 1997 und 1998”, von Jens Langer.

**Heft-Nr. 323/1999** – “Untersuchung struktureller Elemente des südöstlichen Weddellmeeres / Antarktis auf der Basis mariner Potentialfelddaten”, von Uwe F. Meyer.

**Heft-Nr. 324/1999** – “Geochemische Verwitterungstrends eines basaltischen Ausgangsgesteins nach dem spätpleistozänen Gletscherrückzug auf der Taimyrhalbinsel (Zentralsibirien) - Rekonstruktion an einer sedimentären Abfolge des Lama Sees”, von Stefanie K. Harwart.

**Heft-Nr. 325/1999** – “Untersuchungen zur Hydrologie des arktischen Meereises - Konsequenzen für den kleinskaligen Stofftransport”, von Johannes Freitag.

**Heft-Nr. 326/1999** – “Die Expedition ANTARKTIS XIV/2 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1998”, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.

**Heft-Nr. 327/1999** – “Gemeinschaftsanalytische Untersuchungen der Harpacticoidenfauna der Magellanregion, sowie erste similaritätsanalytische Vergleiche mit Assoziationen aus der Antarktis”, von Kai Horst George.

**Heft-Nr. 328/1999** – “Rekonstruktion der Paläo-Umweltbedingungen am Laptev-See-Kontinentalrand während der beiden letzten Glazial/Interglazial-Zyklen anhand sedimentologischer und mineralogischer Untersuchungen”, von Claudia Müller.

**Heft-Nr. 329/1999** – “Räumliche und zeitliche Variationen atmosphärischer Spurengase aus bodengebundenen Messungen mit Hilfe eines Michelson interferometers”, von Justus Notholt.

**Heft-Nr. 330/1999** – “The 1998 Danish-German Excursion to Disko Island, West Greenland”, edited by Angelika Brandt, Helge A. Thomsen, Henning Heide-Jørgensen, Reinhard M. Kristensen and Hilke Ruhberg.

**Heft-Nr. 331/1999** – “Poseidon” Cruise No. 243 (Reykjavik - Greenland - Reykjavik, 24 August - 11 September 1998): Climate change and the Viking-age fjord environment of the Eastern Settlement, sw Greenland”, by Gerd Hoffmann, Antoon Kuijpers, and Jörn Thiede.

**Heft-Nr. 332/1999** – “Modeling of marine biogeochemical cycles with an emphasis on vertical particle fluxes”, by Regina Usbeck.

**Heft-Nr. 333/1999** – “Die Tanaidaceenfauna des Beagle-Kanals und ihre Beziehungen zur Fauna des antarktischen Festlandssockels”, von Anja Schmidt.

**Heft-Nr. 334/1999** – “D-Aminosäuren als Tracer für biogeochemische Prozesse im Fluß-Schelf-Ozean-System der Arktis”, von Hans Peter Fitznar.

**Heft-Nr. 335/1999** – “Ökophysiologische Ursachen der limitierten Verbreitung reptanter decapoder Krebse in der Antarktis”, von Markus Frederich.

**Heft-Nr. 336/1999** – “Ergebnisse der Untersuchung des grönländischen Inlandeises mit dem elektromagnetischen Reflexionsverfahren in der Umgebung von NGRIP”, von Fidan Göktaş.

**Heft-Nr. 337/1999** – “Paleozoic and mesozoic tectono-thermal history of central Dronning Maud Land, East Antarctica, – evidence from fission-track thermochronology”, by Stefanie Meier.

**Heft-Nr. 338/1999** – “Probleme hoher Stoffwechselraten bei Cephalopoden aus verschiedenen geographischen Breiten”, von Susanne Zielinski.

**Heft-Nr. 339/1999** – “The Expedition ARKTIS XV/1”, edited by Gunther Krause.

**Heft-Nr. 340/1999** – “Microbial Properties and Habitats of Permafrost Soils on Taimyr Peninsula, Central Siberia”, by Nicolé Schmidt.

**Heft-Nr. 341/1999** – “Photoacclimation of phytoplankton in different biogeochemical provinces of the Southern Ocean and its significance for estimating primary production”, by Astrid Bracher.

**Heft-Nr. 342/1999** – “Modern and Late Quaternary Depositional Environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea”, edited by Ruediger Stein, Kirsten Fahl, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Gennady Tarasov.

**Heft-Nr. 343/1999** – “ESF-IMPACT Workshop/Oceanic impacts: mechanisms and environmental perturbations, 15-17 April 1999 in Bremerhaven”, edited by Rainer Gersonde and Alexander Deutsch.

**Heft-Nr. 344/1999** – “Die Klimageschichte der hohen nördlichen Breiten seit dem mittleren Miozän: Hinweise aus sedimentologischen-tonmineralogischen Analysen (ODP Leg 151, zentrale Framstraße)”, von Amelie Winkler.

**Heft-Nr. 345/1999** – “Kurzfristige Klimaschwankungen im Scotiameer und Ergebnisse zur Kalbungsgeschichte der Antarktis während der letzten 200000 Jahre”, von Annette Hofmann.

**Heft-Nr. 346/2000** – “Glazialmarine Sedimentationsentwicklung am westantarktischen Kontinentalrand im Amundsen- und Bellingshausenmeer - Hinweise auf Paläoumweltveränderungen während der quartären Klimazyklen”, von Claus-Dieter Hillenbrand.

**Heft-Nr. 347/2000** – “Zur Ökologie des Phytoplanktons im arktischen Laptevmeer - ein jahreszeitlicher Vergleich”, von Kirsten Tuschling.

**Heft-Nr. 348/2000** – “Untersuchungen zum Fettstoffwechsel des Südlichen See-Elefanten (*Mirounga leonina* L.) in der Antarktis”, von Sven Ramdohr.

**Heft-Nr. 349/2000** – „Licht- und Temperatureinfluß auf den enzymatischen Oxidationsschutz der antarktischen Eisdiatomee *Entomoneis kufferathii Manguin*“, von Raimund Schriek.

**Heft-Nr. 350/2000** – „Die Expedition ARKTIS XV/3 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1999“, herausgegeben von Ursula Schauer.

**Heft-Nr. 351/2000** – “Dissolution kinetics of biogenic silica in marine environments”, by Dirk Rickert.

**Heft-Nr. 352/2000** – „Geometrie und Kinematik des tertiären Deckenbaus im West Spitzbergen Falten- und Überschiebungsgürtel, Brøggerhalvøya, Svalbard“, von Kerstin Saalmann.

**Heft-Nr. 353/2000** – „Zur Ökologie der Benthos-Foraminiferen der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Michaela Mayer.

**Heft-Nr. 354/2000** – “Expeditions in Siberia in 1999”, edited by Volker Rachold.

**Heft-Nr. 355/2000** – „Temperaturrekonstruktion im Tropischen Atlantik für das Letzte Glaziale Maximum: CLIMAP neu betrachtet“, von Carsten Porthun.

**Heft-Nr. 356/2000** – „Niederfrequente Variabilität großräumiger atmosphärischer Zirkulationsstrukturen in spektralen Modellen niederer Ordnung“, von Antje Weisheimer.

**Heft-Nr. 357/2000** – “Late Quaternary paleoclimatic reconstructions along the Eurasian continental margin”, by Hans Peter Kleiber.

**Heft-Nr. 358/2000** – “Holocene environmental history of East Greenland - evidence from lake sediments”, by Bernd Wagner.

**Heft-Nr. 359/2000** – “Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Ecology of the White Sea with Emphasis on its Deep Basin”, edited by Eike Rachor.

**Heft-Nr. 360/2000** – “Scientific Cruise Report of the Joint Russian-German Kara-Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' in 1999”, edited by Ruediger Stein and Oleg Stepanets.

**Heft-Nr. 361/2000** – “Planktic foraminifer ecology and stable isotope geochemistry in the Arctic Ocean: implications from water column and sediment surface studies for quantitative reconstructions of oceanic parameters.”, by Renate Volkmann.

**Heft-Nr. 362/2000** – „Eisbohrkernuntersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität von Temperatur und Niederschlagsrate im Spätholozän in Nordgrönland“, von Matthias Schwager.

**Heft-Nr. 363/2000** – „Benthische Peracarida (Crustacea, Malacostraca) des arktischen Mellemfjordes, West-Grönland“, von Anne-Nina Lörz.

**Heft-Nr. 364/2000** – „Die Expeditionen ANTARKTIS XVI/3-4 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1999“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek und Manfred Reinke.

**Heft-Nr. 365/2000** – “Organic carbon in Late Quaternary sediments: Responses to paleoenvironmental changes in the Laptev and Kara seas (Arctic Ocean)”, by Bettina Boucsein.

**Heft-Nr. 366/2000** – „Flugzeuggestützte Topographie- und Schweremessung: Meßsystem und Anwendung auf die Region Framstraße, Spitsbergen und Nordostgrönland“, von Tobias Boebel.

**Heft-Nr. 367/2000** – „Messung dielektrischer Eigenschaften polarer Eiskerne“, von Frank Wilhelms.

**Heft-Nr. 368/2000** – “The Expedition ARKTIS-XV/2 of RV 'Polarstern' in 1999”, edited by Wilfried Jokat.

**Heft-Nr. 369/2000** – „Interpretation seismischer und gravimetrischer Daten des Weddellmeeres, Antarktis“, von Johannes Rogenhagen.

**Heft-Nr. 370/2000** – „Struktureigenschaften und Nahrungsbedarf der Zoobenthosgemeinschaften im Bereich des Lomonossowrückens im Arktischen Ozean“, von Hendrik Deubel.

**Heft-Nr. 371/2000** – „Die Rolle der Schneebedeckung für die Kryptogamen-Vegetation in der maritimen Antarktis (Potter-Halbinsel), King George Island“, von Jana Barbro Winkler.

**Heft-Nr. 372/2000** – “Biodiversity of the Weddell Sea: macrozoobenthic species (demersal fish included) sampled during the expedition ANT XIII/3 (EASIZ I) with RV 'Polarstern'”, edited by Julian Gutt, Boris I. Sirenko, Wolf E. Arntz, Igor S. Smirnov, and Claude De Broyer.

**Heft-Nr. 373/2000** – „Benthische Foraminiferen im Boreas-Becken, Grönlandsee: Verbreitung und paläo-ozeanographische Rekonstruktionen für die letzten 450.000 Jahre“, von Sabine Magnus.

**Heft-Nr. 374/2000** – „Scherwellendoppelbrechungsanalyse von Registrierungen der Stationen des seismologischen Netzwerkes an der Neumayer Station, Antarktis: Seismische Anisotropie und die tektonische Entwicklung des Kontinentalrandes Queen Maud Lands“, von Christian Müller.

**Heft-Nr. 375/2000** – "Effects of enhanced UV-radiation on photosynthesis of Arctic/cold-temperate macroalgae", by Kai Bischof.

**Heft-Nr. 376/2000** – „Saisonalität und kurzperiodische Variabilität des Seesalz-Aerosols und des bodennahen Ozons in der Antarktis (Neumayer-Station) unter Berücksichtigung der Meereisbedeckung“, von Jörg Hofmann.

**Ab dem Heft-Nr. 377 erscheint die Reihe unter dem Namen:**

**„Berichte zur Polar- und Meeresforschung“**

**Heft-Nr. 377/2000** – „Rekrutierungsmuster ausgewählter Wattfauna nach unterschiedlich strengen Wintern“ von Matthias Strasser.

**Heft-Nr. 378/2001** – „Der Transport von Wärme, Wasser und Salz in den Arktischen Ozean“, von Boris Cisewski.

**Heft-Nr. 379/2001** – „Analyse hydrographischer Schnitte mit Satellitenaltimetrie“, von Martin Losch.

**Heft-Nr. 380/2001** – „Die Expeditionen ANTARKTIS XVI/1-2 des Forschungsschiffes POLARSTERN 1998/1999“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach und Saad El Naggar.

**Heft-Nr. 381/2001** – „UV-Schutz- und Reparaturmechanismen bei antarktischen Diatomeen und *Phaeocystis antarctica*“, von Lieselotte Riegger.

**Heft-Nr. 382/2001** – "Age determination in polar Crustacea using the autofluorescent pigment lipofuscin", by Bodil Bluhm.

**Heft-Nr. 383/2001** – „Zeitliche und räumliche Verteilung, Habitatspräferenzen und Populationsdynamik benthischer Copepoda Harpacticoida in der Potter Cove (King George Island, Antarktis)", von Gritta Veit-Köhler.

**Heft-Nr. 384/2001** – „Beiträge aus geophysikalischen Messungen in Dronning Maud Land, Antarktis, zur Auffindung eines optimalen Bohrpunktes für eine Eiskerntiefbohrung“, von Daniel Steinhage.

**Heft-Nr. 385/2001** – „Actinium-227 als Tracer für Advektion und Mischung in der Tiefsee“, von Walter Geibert.

**Heft-Nr. 386/2001** – „Messung von optischen Eigenschaften troposphärischer Aerosole in der Arktis“, von Rolf Schumacher.

**Heft-Nr. 387/2001** – „Bestimmung des Ozonabbaus in der arktischen und subarktischen Stratosphäre“, von Astrid Schulz.

**Heft-Nr. 388/2001** – "Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000: The Expedition LENA 2000", edited by Volker Rachold and Mikhail N. Grigoriev.

**Heft-Nr. 389/2001** – "The Expeditions ARKTIS XVI/1 and ARKTIS XVI/2 of the Rearch Vessel ‚Polarstern‘ in 2000", edited by Gunther Krause and Ursula Schauer.

**Heft-Nr. 390/2001** – "Late Quaternary climate variations recorded in North Atlantic deep-sea benthic ostracodes", by Claudia Didié.

**Heft-Nr. 391/2001** – "The polar and subpolar North Atlantic during the last five glacial-interglacial cycles", by Jan P. Helmke.

**Heft-Nr. 392/2001** – „Geochemische Untersuchungen an hydrothermal beeinflussten Sedimenten der Bransfield Straße (Antarktis)", von Anke Dählmann.

**Heft-Nr. 393/2001** – "The German-Russian Project on Siberian River Run-off (SIRRO): Scientific Cruise Report of the Kara-Sea Expedition 'SIRRO 2000' of RV ‚Boris Petrov‘ and first results", edited by Ruediger Stein and Oleg Stepanets.

**Heft-Nr. 394/2001** – „Untersuchungen der Photooxidantien Wasserstoffperoxid, Methylhydroperoxid und Formaldehyd in der Troposphäre der Antarktis ", von Katja Riedel.

**Heft-Nr. 395/2001** – "Role of benthic cnidarians in the energy transfer processes in the Southern Ocean marine ecosystem (Antarctica)", by Covadonga Orejas Saco del Valle.

**Heft-Nr. 396/2001** – "Biogeochemistry of Dissolved Carbohydrates in thew Arctic", by Ralph Engbrodt.

**Heft-Nr. 397/2001** – "Seasonality of marine algae and grazers of an Antarctic rocky intertidal, with emphasis on the role of the limpet *Nacilla concinna* Strebel (Gastropoda: Patellidae)", by Dohong Kim.

**Heft-Nr. 398/2001** – "Polare Stratosphärenwolken und mesoskalige Dynamik am Polarwirbelrand", von Marion Müller.

**Heft-Nr. 399/2001** – "North Atlantic Deep Water and Antarctic Bottom Water: Their Interaction and Influence on Modes of the Global Ocean Circulation", by Holger Brix.

**Heft-Nr. 400/2001** – "The Expeditions ANTARKTIS XVIII/1-2 of the Research Vessel 'Polarstern' in 2000", edited by Victor Smetacek, Ulrich Bathmann, Saad El Naggar.

**Heft-Nr. 401/2001** – "Variabilität von CH<sub>2</sub>O (Formaldehyd) - untersucht mit Hilfe der solaren Absorptionsspektroskopie und Modellen", von Torsten Albrecht.

**Heft-Nr. 402/2001** – "The Expedition ANTARKTIS XVII/3 (EASIZ III) of RV 'Polarstern' in 2000", edited by Wolf E. Arntz and Thomas Brey.

**Heft-Nr. 403/2001** – "Mikrohabitatansprüche benthischer Foraminiferen in Sedimenten des Südatlantiks", von Stefanie Schumacher.

**Heft-Nr. 404/2002** – "Die Expedition ANTARKTIS XVII/2 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 2000", herausgegeben von Jörn Thiede und Hans Oerter.

**Heft-Nr. 405/2002** – "Feeding Ecology of the Arctic Ice-Amphipod *Gammarus wilkitzkii*. Physiological, Morphological and Ecological Studies", by Carolin E. Arndt.

**Heft-Nr. 406/2002** – "Radiolarienfauna im Ochotskischen Meer - eine aktuopaläontologische Charakterisierung der Biozönose und Taphozönose", von Anja Nimmergut.

**Heft-Nr. 407/2002** – "The Expedition ANTARKTIS XVIII/5b of the Research Vessel 'Polarstern' in 2001", edited by Ulrich Bathmann.

**Heft-Nr. 408/2002** – "Siedlungsmuster und Wechselbeziehungen von Seepocken (Cirripedia) auf Muschelbänken (*Mytilus edulis* L.) im Wattenmeer", von Christian Buschbaum.

**Heft-Nr. 409/2002** – "Zur Ökologie von Schmelzwassertümpeln auf arktischem Meereis - Charakteristika, saisonale Dynamik und Vergleich mit anderen aquatischen Lebensräumen polarer Regionen", von Marina Carstens.

\* vergriffen / out of print.

\*\* nur noch beim Autor / only from the author.