

**Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen
und Herbivoren in der Potter Cove
(King-George-Insel, Antarktis)**

**Trophic Relations between Macroalgae
and Herbivores in Potter Cove
(King George Island, Antarctica)**

Katrin Iken

Katrin Iken

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Postfach 12 01 61
Columbusstraße
D - 27568 Bremerhaven

Die vorliegende Arbeit ist die im wesentlichen unveränderte Fassung einer Dissertation, die in der Sektion Biologie I bei Prof. Dr. W. Arntz angefertigt und 1995 dem Fachbereich 2 (Biologie/Chemie) der Universität Bremen vorgelegt wurde.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	IV
SUMMARY	VI
1. Einleitung.....	1
2. Untersuchungsgebiet	4
2.1 Geographische Lage	4
2.2 Topographie	4
2.3 Hydrographie	6
2.4 Zonierung antarktischer Makroalgen	6
2.5 Zeitpunkt und Ort der Probennahmen	7
3. Nahrungsbeziehungen zwischen Herbivoren und Makroalgen:	
Wer frißt was?	10
3.1 Material und Methoden	11
3.1.1 Algen-Netzproben	11
3.1.2 Magenanalysen zur Identifizierung von Herbivoren	12
3.1.2.1 <i>Nacella concinna</i>	12
3.1.2.2 <i>Laevilacunaria antarctica</i>	13
3.1.2.3 Nereidae	15
3.1.2.4 <i>Gondogeneia antarctica</i>	16
3.1.2.5 <i>Bovallia gigantea</i>	17
3.1.2.6 <i>Plakarthrium punctatissimum</i>	18
3.1.2.7 <i>Odontaster validus</i>	18
3.1.2.8 <i>Notothenia neglecta</i>	19
3.2 Ergebnisse	24
3.2.1 Algen-Netzproben	24
3.2.2 Auswahl der Tiere für Nahrungsanalysen	32
3.2.3 Nahrungsanalysen	33
3.2.3.1 <i>Nacella concinna</i>	33
3.2.3.2 <i>Laevilacunaria antarctica</i>	37
3.2.3.3 Nereidae	40
3.2.3.4 <i>Gondogeneia antarctica</i>	41
3.2.3.5 <i>Bovallia gigantea</i>	46
3.2.3.6 <i>Plakarthrium punctatissimum</i>	47
3.2.3.7 <i>Odontaster validus</i>	48
3.2.3.8 <i>Notothenia neglecta</i>	50
3.2.4 Nahrungsbeziehungen	64
3.3 Diskussion	66
3.3.1 Methodendiskussion.....	66
3.3.1.1 Algen-Netzproben	66

3.3.1.2 Nahrungsanalysen	67
3.3.2 Nahrungsbeziehungen von Makroalgen und Herbivoren	76
3.3.2.1 Algen-Netzproben	76
3.3.2.2 Herbivoren-Spektrum	78
3.3.2.3 Trophische Interaktionen	80
4. Konsumtion von <i>Laevilacunaria antarctica</i>	95
4.1 Material und Methoden	97
4.1.1 Probennahme und Hälterung von <i>L. antarctica</i>	97
4.1.2 Einteilung in Größenklassen bei <i>L. antarctica</i>	97
4.1.3 Probennahme und Hälterung der Makroalgen	98
4.1.4 Fratests zur Bestimmung der Konsumtion	99
4.1.5 Abundanz von <i>L. antarctica</i> und relative Biomasseanteile einzelner Makroalgenarten	100
4.1.6 Berechnung der Konsumtion von <i>L. antarctica</i>	101
4.2 Ergebnisse	105
4.2.1 Mittleres Kotballengewicht pro Größenklasse	105
4.2.2 Egestion und Konsumtion	106
4.2.3 Gesamtkonsumtion von <i>L. antarctica</i> an Makroalgen im Eu- und Sublitoral des Peon 1	111
4.3 Diskussion	119
4.3.1 Methodendiskussion	119
4.3.1.1 Bestimmung der Konsumtion	119
4.3.1.2 Auswahl der Untersuchungsorganismen	121
4.3.1.3 Fraexperimente zur Bestimmung der Konsumtion von <i>L. antarctica</i>	122
4.3.2 Konsumtion von <i>L. antarctica</i> an verschiedenen Makroalgenarten	123
4.3.3 Vergleich der Konsumtion von <i>L. antarctica</i> mit anderen Gastropoden	123
5. Fraschutzmechanismen bei antarktischen Makroalgen	127
5.1 Material und Methoden	128
5.1.1 C/N-Analyse	128
5.1.2 Veraschung	129
5.1.3 Chemische Analyse von Algenextrakten	129
5.1.4 Fraexperimente mit homogenisierten Algen	134
5.2 Ergebnisse	136
5.2.1 C/N-Verhältnis	136
5.2.2 Organischer Gehalt von Makroalgen	139
5.2.3 Chemische Analyse von Sekundärmetaboliten in Algenextrakten	141
5.2.4 Fraexperimente zur Überprüfung struktureller Fraschutzmechanismen von Makroalgen	147

5.3 Diskussion	149
5.3.1 Methodendiskussion.....	149
5.3.2 Fraßschutzmechanismen	150
5.3.2.1 Nährwert antarktischer Makroalgen	151
5.3.2.2 Sekundärmetabolite in antarktischen Makroalgen	155
6. Abschlußdiskussion	160
7. Literaturverzeichnis	166
8. Anhang	189
Danksagung	206

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Bedeutung der Makroalgen für das Nahrungsnetz eines antarktischen Flachwassersystems untersucht. Die Arbeiten wurden in der Potter Cove auf der King George-Insel, der Hauptinsel der der Antarktischen Halbinsel vorgelagerten Süd-Shetland-Inseln, durchgeführt. Die Schwerpunkte lagen dabei auf der qualitativen und quantitativen Erfassung der Makroalgen in der Nahrung wichtiger pflanzenfressender Tiere (Herbivore). Außerdem standen Fragen nach möglichen Fraßschutzmechanismen der Algen im Vordergrund.

Folgende Ergebnisse lassen sich aus den Untersuchungen zusammenfassen:

- Makroalgen können - entgegen dem bisherigen Wissen über Nahrungsnetze in antarktischen Gewässern - in Flachwassersystemen der Antarktis einen entscheidenden Anteil an der Nahrung von Herbivoren haben. Magenanalysen und Fraßexperimente zeigten, daß Gastropoden, Amphipoden, Polychaeten, Isopoden und Fische, möglicherweise auch Echinodermen, als Herbivore an Makroalgen fressen.
- Neben Generalisten, die eine Vielzahl von Algenarten als Nahrungsquelle nutzen (z.B. *Laevilacunaria antarctica* (Gastropoda) und *Gondogeneia antarctica* (Amphipoda)), haben sich bei einigen Herbivoren auch Spezialisierungen auf wenige Algenarten herausgebildet (z.B. *Nacella concinna* (Gastropoda) und *Plakarthrium punctatissimum* (Isopoda)). An dem Fisch *Notothenia neglecta* konnte exemplarisch gezeigt werden, daß deutliche Futterpräferenzen vorliegen und aus den verfügbaren Ressourcen einzelne Algenarten selektiert werden. Der Fraß von Herbivoren an Makroalgen ist deshalb nicht als zufällig, sondern als ein fester Bestandteil des gesamten Nahrungsgefüges zu beurteilen.
- Quantitative Fraßuntersuchungen an der Schnecke *Laevilacunaria antarctica* an Makroalgen ergaben eine durchschnittliche Konsumtion von ca. 23 mg FG·J⁻¹·Ind.⁻¹. Eine Abschätzung der flächenbezogenen Gesamtkonsumtion verschiedener evertabrater Herbivorer in der Potter Cove ergibt einen Wert von ca. 500 g FG·m⁻²·J⁻¹. Offensichtlich kann der Einfluß von Herbivoren auf eine Makroalgen-gesellschaft durch den Wegfraß von Algenmaterial erheblich sein.
- Da die Herbivoren nicht an allen Makroalgenarten in der Potter Cove gleich intensiv fraßen, wurden Untersuchungen über einen möglichen Fraßschutz der Algen durchgeführt. Die Fraßresistenzen der untersuchten antarktischen Algenarten beruhen nach den vorliegenden Ergebnissen vor allem auf äußeren strukturellen Eigenschaften

Zusammenfassung

der Algen, wie z.B. der Thallushärte. Weder der Nährwert (charakterisiert durch das C/N-Verhältnis und den Aschegehalt) noch chemische Inhaltsstoffe (Sekundärmetabolite wie Polyphenole oder Terpene) der Algen haben einen signifikanten Einfluß auf den Herbivorenfraß.

- Im Vergleich zu anderen antarktischen Flachwassersystemen spielen in der Potter Cove (King George-Insel) die benthischen Primärproduzenten eine besonders wichtige Rolle als Nahrungsquelle für die Fauna. Der Grund dafür liegt offensichtlich in der unterschiedlichen Verfügbarkeit der Primärproduzenten als Nahrung: Die Biomasse des Makrophytobenthos liegt zwar in einer vergleichbaren Größenordnung wie in anderen Flachwassergebieten (z.B. Signy Island), die Biomasse - und vermutlich auch die Produktion - der pelagialen Primärproduzenten ist in der Potter Cove jedoch deutlich geringer.

SUMMARY

The significance of macroalgae for the benthic food web of an antarctic marine shallow water ecosystem was investigated. The study was carried out in Potter Cove at King George Island, the main island of the South Shetland Islands. Main topics of this work were the qualitative and quantitative significance of macroalgae as food for important herbivores. Furthermore, possible defense mechanisms of antarctic macroalgae against animal feeding were analyzed.

The main results of this study can be summarized as follows:

- Benthic marine macroalgae contribute significantly to the diet of herbivores in the Potter Cove. Gut content analyses and feeding experiments proved several gastropods, amphipods, polychaetes, isopods, fishes, and possibly also echinoderms, to be herbivores feeding mainly on macroalgae.
- Besides general herbivores, which are feeding on a great variety of algae species (e.g. the snail *Laevilacunaria antarctica* and the amphipod *Gondogeneia antarctica*), other species such as the limpet *Nacella concinna* and the isopod *Plakarthrium punctatissimum* are more specialized in their diet on macroalgae. A food selection analysis was conducted for the fish *Notothenia neglecta*: Comparison between available and used algal species showed a clear preference for some and a rejection for other macroalgal species by this fish. This indicates that algae are not eaten by accident but on purpose by herbivores and that macroalgae thus form an important component of the trophic web in this ecosystem.
- For the snail *Laevilacunaria antarctica* the consumption on macroalgae was quantified. Mean consumption was about $23 \text{ mg WW}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{ind}^{-1}$. A rough estimation of the total per area consumption of several invertebrate herbivores in Potter Cove led to a mean value of about $500 \text{ g WW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Obviously the influence of herbivores on macroalgae communities can be considerable.
- Because general herbivores were found to feed unequally on all available macroalgal species, possible defense mechanisms of antarctic macroalgae against animal feeding were analyzed. The resistance of algae against animal feeding is mainly based on structural features of the macroalgae such as the thallus toughness. Neither the nutritional value (characterized by C/N ratio and ash content of the algae) nor chemical compounds (secondary metabolites such as polyphenolics and terpenoids) play a significant role as antifeedants in antarctic macrophytes.

Summary

- Compared to other antarctic shallow water ecosystems, in Potter Cove (King George Island) benthic primary producers play an important role as a food resource for the fauna. The reason is probably the different availability of primary production as food: Although the biomass of the macrophytobenthos in Potter Cove is comparable to that of other antarctic shallow water systems (e.g. Signy Island), the biomass - and hence the production - of the pelagic primary producers is notably lower.

1. Einleitung

Bei der Untersuchung mariner Ökosysteme bildet der Energiefluß von den Primärproduzenten zu den Konsumenten im Rahmen einer Nahrungskette einen wichtigen Schwerpunkt. Die Primärproduzenten des Pelagials, das Phytoplankton, bilden vor allem eine wichtige Nahrungsgrundlage für pelagische Herbivore, stehen durch Sedimentationsprozesse aber auch dem Zoobenthos zur Verfügung. Benthische Primärproduzenten wie Makroalgen und das Mikrophytobenthos sind auf Flachwassergebiete angewiesen, in denen die euphotische Zone bis auf den Meeresgrund reicht. Makroalgen kommen zwar auf nur 0,1% der Fläche der Weltmeere vor, sie haben jedoch einen Anteil von 10% an der gesamten pelagischen marinen Primärproduktion (KREMER 1981). Makroalgen liefern damit einen entscheidenden Anteil an organischer Substanz, die als lebendes oder zersetztes Material als Nahrung in einem Ökosystem zur Verfügung steht (BRANCH & GRIFFITHS 1986, CASTILLA 1985, MANN 1988).

In der Antarktis lag der Schwerpunkt der bisherigen Untersuchungen über Nahrungsbeziehungen zwischen Primärproduzenten und Konsumenten in den Schelfmeeren, in denen das Phytoplankton die Basis der Nahrungsketten bildet (CLARKE 1985). Die ersten Untersuchungen über den primären Energieeintrag ergaben das Bild einer kurzen, aber sehr produktiven Primärproduktionsphase einer von großen Diatomeen dominierten Phytoplankton-Gemeinschaft (SMETACEK et al. 1990), welche der Ausgang für kurze Nahrungsketten ist (z.B. Phytoplankton - Krill - Wale). Mittlerweile wurde dieses Bild der "typischen antarktischen Nahrungskette" revidiert. Abhängig von den hydrographischen Bedingungen können sich verschiedene pelagische Phytoplankton-Gemeinschaften ausbilden können (SMETACEK et al. 1990, SCHALK et al. 1993). Diese Gemeinschaften unterscheiden sich stark in ihrer Artenzusammensetzung und ihrer Produktivität: Flagellatengemeinschaften sind charakterisiert durch geringe Primärproduktionsraten. Sowohl die Biomasse als auch die Konsumtionsraten der beweidenden Herbivoren (vor allem Copepoden) sind gering. Von großen Diatomeen dominierte Phytoplankton-Gemeinschaften dagegen weisen hohe Primärproduktionsraten auf. Vor allem große Krillschwärme beweideten diese Gemeinschaften intensiv (SCHALK et al. 1993). Trotzdem bleibt weiterhin das Bild bestehen, in dem antarktische Systeme ihren primären Energieeintrag fast ausschließlich aus dem Pelagial beziehen (SCHALK et al. 1993).

Einleitung

Benthische Primärproduzenten wie Makroalgen und benthische Diatomeen in schelfeisfreien Flachwassergebieten, wie sie in der Antarktis vor allem an den Küstenregionen der Antarktischen Halbinsel zu finden sind, standen bisher nicht im Blickpunkt. Wie schon bei den Schelfmeeren, stand auch in den meisten Untersuchungen dieser Gebiete der Nahrungseintrag aus dem Pelagial im Vordergrund. Aus diesen Flachwassergebieten sind jedoch auch dichte Makroalgenbestände bekannt (DELACA & LIPPS 1976, MOE & DELACA 1976, HEYWOOD & WHITAKER 1984, SKOTTSBERG 1941), deren Untersuchungen sich bisher jedoch auf die Bearbeitung der Taxonomie und der Lebenszyklen konzentrierten (CLAYTON & WIENCKE 1990, WIENCKE & CLAYTON 1990). In neuerer Zeit werden auch physiologische Fragen zum Licht-, Salzgehalts- und Temperaturbedarf der Algen bearbeitet (KARSTEN et al. 1991a, b, KIRST & WIENCKE 1994, THOMAS & WIENCKE 1991, WIENCKE 1990a, b, WIENCKE & TOM DIECK 1989, WIENCKE et al. 1993). Die Bedeutung dieser Makroalgen als Nahrungsquelle wurde bisher aber kaum untersucht. Zwar sind Makroalgen als Nahrungskomponenten verschiedener Benthosorganismen bekannt (BARRERA-ORO & CASAUX 1990, BRAND 1980, RICHARDSON 1977), eine umfassende Untersuchung qualitativer und quantitativer Aspekte der Makroalgen als Nahrungsquelle fehlt jedoch bislang.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die Stellung der Makroalgen im trophischen System eines antarktischen Flachwassergebiets zu charakterisieren. In der Potter Cove (King George-Insel, Süd-Shetland-Inseln) bilden Makroalgen einen wichtigen Teil des Benthos (KLÖSER et al. 1994b). Von verschiedenen Benthosorganismen, die mit antarktischen Makroalgen assoziiert vorkommen, soll im Rahmen dieser Arbeit die Nahrungszusammensetzung anhand von Mageninhaltsanalysen und Fraßexperimenten untersucht werden. Dabei sollen sowohl die gefressenen Makroalgenarten als auch ihre relativen Anteile an der Gesamtnahrung erfaßt werden. Im Fall der Fischart *Notothenia neglecta* wird durch die Anwendung eines Futter-Präferenz-Index untersucht, ob einzelne Algenarten aus dem verfügbaren Artenspektrum als Nahrung selektiert werden. Durch die Bestimmung der Konsumtion der Schnecke *Laevilacunaria antarctica* soll der Fraß von Herbivoren an Makroalgen quantitativ erfaßt werden. Es wird außerdem geprüft, ob antarktische Makroalgen vor dem Fraß durch Herbivore geschützt sind. Dazu werden verschiedene Möglichkeiten eines Fraßschutzes der Algen untersucht und diskutiert.

Insgesamt standen folgende übergeordnete Fragen im Vordergrund dieser Arbeit:

- 1) Welche Makroalgen werden von welchen Tieren als Nahrungsquelle genutzt? Sind die untersuchten Herbivorenarten Generalisten oder Spezialisten?**
- 2) In welcher Größenordnung liegt der Wegfraß lebender Makroalgen durch Herbivore?**
- 3) Werden die verschiedenen Makroalgen unterschiedlich von den Herbivoren gefressen? Welche Gründe lassen sich dafür in Hinblick auf die Algen finden (z.B. Fraßschutz)?**

Zur besseren Übersicht werden diese Fragen in drei aufeinanderfolgenden Kapiteln dieser Arbeit behandelt (Kap.3-5). Am Ende (Kap.6) steht eine übergreifende Diskussion, in der die Bedeutung von Makroalgen im Nahrungsnetz der Potter Cove mit anderen antarktischen und temperierten Flachwassersystemen verglichen wird.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Geographische Lage

Die Antarktische Halbinsel liegt zwischen dem 60. und 70. Grad westlicher Länge und ist vom südamerikanischen Festland, getrennt durch die Drake-Passage, ca. 1000 km entfernt. An der Halbinsel wurde der Kontinentalschelf nicht durch die Last des Inlandeises auf größere Tiefen abgesenkt, wie es an vielen anderen Küstenregionen der Antarktis, z.B. im Weddellmeer, der Fall ist (ANDERSON et al. 1983). Die Küstenregionen der Antarktischen Halbinsel und der ihr vorgelagerten Inseln sind durch teilweise vergletscherte Vulkansockel geprägt, die sich als anstehender Fels oder Geröllfelder ins Meer hineinziehen.

Die King George-Insel ist die größte Insel der Süd-Shetland-Inseln, eine der Antarktischen Halbinsel ca. 100 km westlich vorgelagerten Inselgruppe. Die King George-Insel weist zwei in süd-östlicher Richtung zur Bransfield Straße hin geöffnete große Fjorde auf: Die Maxwell Bay und die Admiralty Bay. An diesen liegen die meisten der auf der King George-Insel angesiedelten Forschungs-Stationen.

In der Potter Cove, einer Seitenbucht der Maxwell Bay, liegt an der Südseite die argentinische Station "Jubany" mit dem angegliederten deutschen "Dallmann-Labor" ($62^{\circ} 14' S, 58^{\circ} 40' W$) (Abb.2.1).

2.2 Topographie

Der innere Teil der Potter Cove ist durch eine Schwelle in ca. 30 m Tiefe von der äußeren Bucht getrennt. Diese innere Bucht ist durch einen Weichboden charakterisiert, der durch Ablagerung von Gletschersedimenten entstanden ist. Die äußere Potter Cove hat bei einer Breite von etwa 5 km ca. $3,5 \text{ km}^2$ Fläche und erreicht eine maximale Tiefe von fast 90 m. Die beiden Küstenseiten der äußeren Potter Cove sind durch felsigen oder steinigen Untergrund charakterisiert, unterscheiden sich aber in ihrer Topographie sehr voneinander. Die sich nach Südosten hin öffnende Seite ist durch großflächige, langsam abfallende Plateaus gekennzeichnet, aus denen vereinzelt große Felsen herausragen. Auf Höhe der Felsnase "Peñon 1" am südlichen Strand befindet sich ein felsiger Gezeitenraum. In diesem Felswatt kommt es ungefähr alle 14 Tage für etwa drei Tage zu einem extremen Niedrigwasser, während in der Zwischenzeit nur ein geringer Tidenhub zu verzeichnen ist. Die Fläche des Eulitorals beträgt ca. 150 m^2 und wird an der

Untersuchungsgebiet

südlichen Seite und frontal zur Seeseite hin von aufragenden Felsrippen geschützt. Hinter den schützenden Felsrippen auf der Seeseite liegt ein sublitorales, felsiges Plateau auf 3-6 m Tiefe. Weiter seewärts wird dort der Boden sandig-steinig und fällt in größere Tiefen ab.

Auf der nördlichen Seite der äußeren Bucht ist die Küste relativ steil. Der Boden ist bis in eine Tiefe von 15 m durch große Felsbrocken oder anstehenden Fels gekennzeichnet. In größerer Tiefe geht der Grund in steiniges grobsandiges Gebiet über.

Im Winter werden die Küsten durch die Ausbildung von Meereis beeinflusst. Im Sommer reiben angespülte kleinere Eisbrocken im Eu- und Sublitoral an der Südküste über die ebene Felsfläche. Die Nordseite dagegen ist mehr dem Aufprall großer Eisberge ausgesetzt, die von der Maxwell Bay hereintreiben.

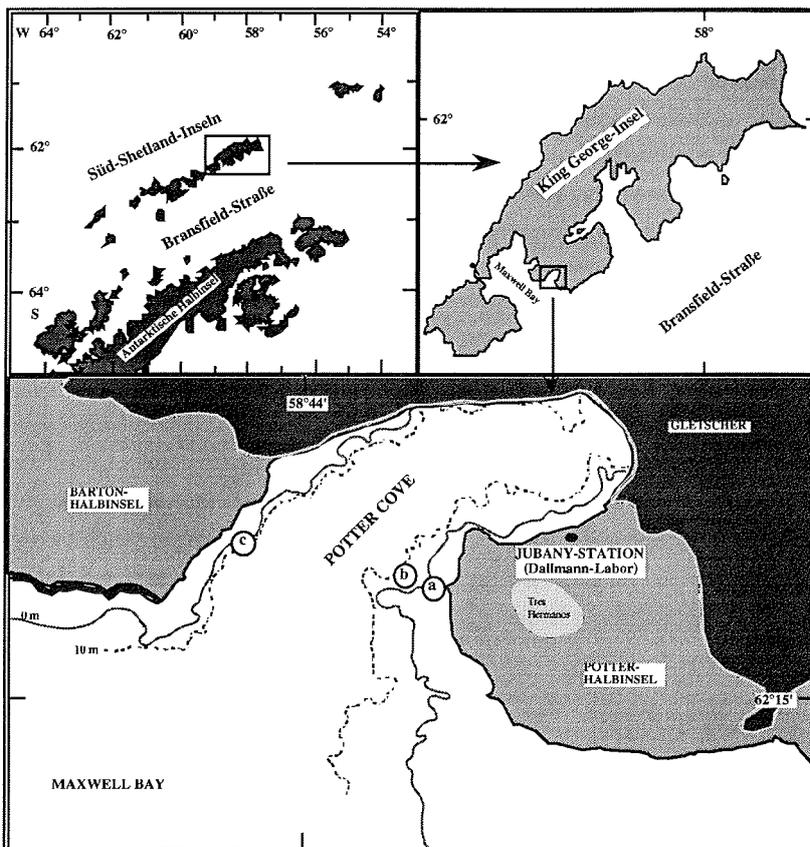


Abb.2.1: Geographische Lage des Untersuchungsgebiets, der Potter Cove. Die Punkte a, b, und c bezeichnen die Probenahmegebiete in der äußeren Potter Cove.
a: Gezeitenraum, b: Sublitoral Peñon I, c: Sublitoral Peñon de Pesca

2.3 Hydrographie

In die Bransfield-Straße, die ca. 100 km breite Wasserstraße zwischen den Süd-Shetland-Inseln und der Antarktischen Halbinsel, fließen zwei verschiedene Wassermassen ein: Aus südwestlicher Richtung strömt relativ warmes salzarmes Oberflächenwasser aus der Bellingshausen-See in die Bransfield-Straße, während sie von nordwestlicher Richtung aus mit kaltem salzreichem Wasser aus der Weddell See gespeist wird, welches durch den Antarktischen Sund einströmt (CHANG et al. 1990, HEYWOOD 1985). Lokal kommt es zu Vermischungen dieser beiden Wassermassen; generell strömt jedoch das Wasser aus der Bellingshausen-See an der südöstlichen Küste der Süd-Shetland-Inseln entlang nordwestwärts, während das Weddell-Wasser entlang der Küste der Antarktischen Halbinsel südwärts strömt.

Die Maxwell Bay ist direkt zur Bransfield-Straße hin geöffnet und ist von ihr durch eine tiefgelegene Schwelle getrennt, so daß Wasser von dort ungehindert in die Maxwell Bay einfließen kann (CHANG et al. 1990). In der Maxwell Bay zirkuliert das Wasser erst entlang der südlichen Küste (Nelson-Insel) und fließt dann durch die verschiedenen Seitenbuchten (Colins Bay, Marian Cove, Potter Cove) an der Nordküste, bevor es die Maxwell Bay wieder verläßt (CHANG et al. 1990). Auf diesem Weg ist die Potter Cove die letzte Bucht, die durchflossen wird, und das Wasser ist zu dieser Zeit bereits mit den Sedimenten von Gletscherabflüssen anderer Buchten befrachtet (HONG et al. 1991).

Die kleinskaligen hydrographischen Verhältnisse innerhalb der Potter Cove werden hauptsächlich von den Windverhältnissen bestimmt (KLÖSER et al. 1994a, YANG & DEUK 1993). Die beiden vorherrschenden Windrichtungen sind West und Ost; sie beeinflussen unterschiedlich die Hydrographie in der Bucht. Östliche Winde treiben das sedimentbeladene Oberflächenwasser aus der Bucht hinaus, wodurch ein Auftrieb des klaren Tiefenwassers innerhalb der Bucht entsteht. Westliche Winde dagegen drücken das Oberflächenwasser in die Bucht hinein, der Abfluß wird blockiert und es kommt zu einem Wasserstau am Ende der Bucht. Dadurch sinkt das Oberflächenwasser im inneren Teil der Bucht ab und fließt bodennah langsam ab (KLÖSER et al. 1994a, ROESE et al. 1993, SCHLOSS et al. 1994a).

2.4 Zonierung antarktischer Makroalgen

Makroalgen sind in der Antarktis fast ausschließlich aus der Westantarktis bekannt. Schon früh wurde qualitativ eine typische Tiefenzonierung der Algen beschrieben (CHUNG et al. 1994, ETCHEVERRY 1983, HEYWOOD & WHITAKER 1984, KLÖSER et al. 1994b, MOE & DELACA 1976, NEUSHUL 1965, PICKEN 1985, SKOTTSBERG 1941,

ZIELINSKI 1981, 1990). Auch einige Versuche der quantitativen Erfassung der antarktischen Algenflora wurden unternommen (DELACA & LIPPS 1976, MILLER & PEARSE 1991, RICHARDSON 1979). Alle diese Untersuchungen ergaben ein weitgehend übereinstimmendes Bild einer dreistufigen Tiefenzonierung antarktischer Makroalgen: In der oberen "Eisabriebzone" herrschen annuelle (einjährige) oder pseudoperennierende (ein Teil des Thallus degeneriert im Winter) Algen vor. Im mittleren Teil dominieren *Desmarestia spec.* (meist *D. anceps*), welche in größerer Tiefe von *Himantothallus grandifolius*, vermischt mit einigen Rotalgenarten, abgelöst werden. Neueren Untersuchungen von KLÖSER et al. (in Vorb.) zufolge können diese Verhältnisse je nach Exposition, Steigung und Bodenbeschaffenheit der Gebiete stark variieren.

2.5 Zeitpunkt und Ort der Probennahmen

Während zweier Südsommer, einmal von Anfang Dezember 1992 bis Mitte Februar 1993 und einmal von Mitte Oktober 1993 bis Ende Februar 1994, wurden in Jubany, King George-Insel, Probennahmen und Aquariexperimente durchgeführt.

Die Probennahmen erfolgten in Küstenbereichen, in denen ein ausgeprägtes Makrophytobenthos zu finden war: Hauptuntersuchungsgebiete waren der Gezeitenraum (Abb.2.1-a) und das dahinter liegende flache Sublitoral an der Südküste (Peñon 1, Abb.2.1-b) sowie die steilen Hartböden der Nordküste der äußeren Potter Cove (Peñon de Pesca, Abb.2.1-c).

Die Bestimmung der Algen erfolgte nach LAMB & ZIMMERMANN (1977) und mit der Unterstützung von Dr. C. Wiencke (Alfred-Wegener-Institut). Bei der Taxonomie und makroskopischen Bestimmung antarktischer Makroalgen sind noch immer einige Fragen offen. Nach Beginn dieser Arbeit konnten einige neuere Erkenntnisse nicht mehr berücksichtigt werden. Es ist deshalb anzumerken, daß die Rotalgen *Iridaea cordata* und *Notophycus fimbriatus* sowie die Arten *Neuroglossum ligulatum* und *Myriogramme manginii* im Rahmen dieser Arbeit nicht unterschieden werden konnten; sie werden im folgenden immer als *I. cordata* und *N. ligulatum* bezeichnet.

Der Gezeitenraum (Peñon 1) (Abb.2.1-a) läßt sich in drei unterschiedliche Zonen einteilen: Eine ringförmige Randzone, die bei Niedrigwasser für einige Stunden ganz trockenfällt. Im Zentrum des Eulitorals befinden sich Gezeitentümpel, die auch bei Ebbe noch mit einer geringen Wasserschicht bedeckt sind. Zudem gibt es einzelne tiefer gelegene Bereiche, die dauernde Wasserbedeckung haben und auch bei Niedrigwasser im offenen Wasseraustausch mit dem Meer stehen. Eigene Messungen in verschiedenen Gezeitentümpeln zeigten, daß Temperatur und Salzgehalt während der Tiden erheblich

Untersuchungsgebiet

schwanken können. So stellte ich z.B. Temperaturschwankungen zwischen 3 - 12 °C und Salinitätsschwankungen von 28,4 - 34,3 ‰ innerhalb weniger Stunden fest.

Im Gezeitenraum herrschen annuelle oder pseudoperennierende Algen vor. Diese Arten sind an den starken Eiseinfluß im Winter besonders gut angepaßt. *Adenocystis utricularis* und *Monostroma hariotii* wachsen auf den Randflächen des Gezeitenraums. Ihr sackartiger Thallus ist wassergefüllt, wodurch sie einige Zeit Trockenheit überstehen können. In den Gezeitentümpeln, die immer mit einer geringen Wasserschicht bedeckt sind, herrschen *Palmaria decipiens* und *M. hariotii* vor. *Iridaea cordata* und *Curdiea racovitzae* wachsen hauptsächlich in den Bereichen, die ständigen Wasseraustausch haben. Überall auf den Felsen sind außerdem großflächig Krustenrotalgen zu finden.

Das Sublitoral (Peñon 1) (Abb.2.1, Punkt b) hat als ein fast ebenes Felsplateau keine Tiefenstufen, weshalb keine typische Vertikalzonierung der Algen zu finden ist. Das Gebiet wird von den Braunalgen *Desmarestia menziesii* und *Ascoseira mirabilis* und einigen Rotalgen (*Iridaea cordata*, *Gigartina skottsbergii*, *Curdiea racovitzae*, *Palmaria decipiens*, *Neuroglossum ligulatum*) dominiert (KLÖSER et al. in Vorb.). Als Epiphyten auf anderen Makroalgen sind *Monostroma hariotii*, *Adenocystis utricularis* und *Geminocarpus geminatus* häufig.

Ein Gebiet mit einer ausgeprägten Tiefenzonierung der Algen ist das Sublitoral (Peñon de Pesca) an der Nordküste der äußeren Potter Cove (Abb.2.1, Punkt c). Das Algenvorkommen entspricht den in Kapitel 3.4 beschriebenen klassischen dreigeteilten Algenzonen. Die oberen 5m werden von Rotalgen dominiert. Auch die Braunalgen *Ascoseira mirabilis*, *Phaeurus antarcticus* und *Desmarestia menziesii* und die Grünalge *Monostroma hariotii* sind häufig. Zwischen ca. 5 und 15m ist ein *Desmarestia anceps*-Gürtel ausgeprägt, wobei Rotalgen einen Unterwuchs bilden oder auch fleckenhaft ganze Flächen besiedeln können. Ab ca. 15m Tiefe wird *D. anceps* von *Himantothallus grandifolius* abgelöst, einer an extremes Schwachlicht angepaßten Braunalge. Sie ist vor allem zusammen mit der Rotalge *Plocamium cartilagineum* gemeinschaftsbildend.

In Tab.2.1 sind die Makroalgenarten aufgelistet, die in dieser Arbeit vorwiegend bearbeitet wurden. Aufgelistet sind außerdem wichtige ökologische und morphologische Eigenschaften der Algenarten.

Tab.2.1: Ökologische und morphologische Eigenschaften der Algenarten, die in dieser Arbeit vorwiegend bearbeitet wurden. Die Tiefenangaben sind eigene Beobachtungen und beziehen sich auf die Tiefen, in denen die Arten am häufigsten zu finden sind. Bei den Angaben der Thallusgröße bezeichnet L. = Länge des Thallus, H. = Gesamthöhe bei verzweigten Arten und Ø = Durchmesser des Thallus.

<u>Alge</u>	<u>Verbreitung</u>	<u>Tiefe</u>	<u>Lebensalter</u>	<u>Thallusstruktur</u>	<u>Thallusgröße</u>
<u>CHLOROPHYTA</u>					
<i>Monostroma hariotii</i> Gain 1911	endemisch-antarktisch	0-5m	1-jährig	flächig-sackartig	bis 20cm L.
<u>RHODOPHYTA</u>					
<i>Curdiea racovitzae</i> Hariot 1900	endemisch-antarktisch	0-10m	1-2 jährig	ledrig	bis 60cm Ø
<i>Georgiella confluens</i> (Reinsch) Kylin 1956	endemisch-antarktisch	5-15m	1-2 jährig	verzweigt, solide	bis 20cm H.
<i>Gigartina skottsbergii</i> Setchell & Gardner 1936	antarktisch kalt-temperiert	5-25m	1-2 jährig	ledrig	bis 50cm Ø
<i>Iridaea cordata</i> (Turner) Bory 1826	antarktisch kalt-temperiert	0-10m	1-2 jährig	ledrig	bis 50cm Ø
<i>Krustenrotalge</i>	endemisch-antarktisch	0-5m	mehrfährig	krustenförmig	
<i>Neuroglossum ligulatum</i>	endemisch-antarktisch	0-15m	pseudoperennierend	flächig-verzweigt	bis 30cm H.
<i>Palmaria decipiens</i> (Reinsch) Ricker 1987	endemisch-antarktisch	0-10m	pseudoperennierend	flächig-ledrig	bis 50cm L.
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linné) Dixon 1967	(ant)arktisch kalt-temperiert	5-30m	1-2 jährig ?	verzweigt, solide	bis 20cm H.
<u>PHAEOPHYTA</u>					
<i>Adenocystis utricularis</i> (Bory) Skottsberg 1907	antarktisch kalt-temperiert	0-5m	1-jährig	ledrig-sackartig	bis 5cm L.
<i>Ascoseira mirabilis</i> Skottsberg 1907	endemisch-antarktisch	0-10m	mehrfährig	ledrig	bis 1m L.
<i>Desmarestia anceps</i> Montagne 1842	endemisch-antarktisch	5-25m	mehrfährig	verzweigt, solide	bis 4m H.
<i>Desmarestia antarctica</i> Moe & Silva 1989	endemisch-antarktisch	0-10m	1-jährig	ledrig-verzweigt	bis 1,5m H.
<i>Desmarestia menziesii</i> Agardh 1848	antarktisch (kalt-temperiert?)	0-15m	mehrfährig	verzweigt, solide	bis 2m H.
<i>Geminocarpus geminatus</i> (Hooker & Harvey) Skottsberg 1907	antarktisch kalt-temperiert	0-5m	1-jährig	fädig, einreihig	bis 5cm L.
<i>Himantothallus grandifolius</i> (Gepp & Gepp) Zinova 1958	endemisch-antarktisch	10-30m	mehrfährig	ledrig	bis 20m L.

3. Nahrungsbeziehungen zwischen Herbivoren und Makroalgen: Wer frißt was?

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Frage nach den qualitativen trophischen Interaktionen zwischen den Primärproduzenten "Makroalgen" und den Konsumenten "Herbivore" im antarktischen Flachwassersystem Potter Cove: Welche Makroalgen werden von welchen Tieren als Nahrungsquelle genutzt?

Im Gegensatz zu terrestrischen Ökosystemen, in denen sich Herbivore ausschließlich von pflanzlicher Substanz ernähren, kann der Begriff "Herbivore" in der marinen Ökologie weiter gefaßt werden. Nach HAY & STEINBERG (1992) werden im marinen Bereich auch Omnivore, deren Nahrung einen entscheidenden Anteil an Pflanzenmaterial aufweist und die dieses auch gezielt als Futter aufnehmen, z.T. als Herbivore bezeichnet. Algen müssen also nicht die einzige Nahrungsquelle dieser Tiere darstellen.

Das Wissen über Herbivore und ihre Bedeutung in antarktischen Ökosystemen ist mit Ausnahme von Phytoplanktonfressern gering (u.a. HEMPEL 1985, SCHNACK 1985). Über Makroalgen als Nahrung ist lediglich aus einigen autökologischen Untersuchungen antarktischer Benthosorganismen bekannt, daß sie Bestandteile des Mageninhalts oder des Nahrungsspektrums bilden können. Zur Bedeutung einzelner Algenarten in der Nahrung verschiedener Tiere gibt es fast keine Angaben, ebensowenig wie Informationen über Freßraten an Makroalgen.

In diesem Kapitel wird Aufschluß darüber gegeben, welche Tiere in der Potter Cove mit Makroalgen assoziiert vorkommen. Zur Untersuchung dieser Makroalgen-Epifauna-Assoziationen wurden Probennahmen von Algen samt der darauf befindlichen Fauna vorgenommen (s. Kap.3.1.1). Die Frage, welche dieser assoziiert lebenden Tiere auch herbivor sind, d.h. an den Makroalgen fressen, wurde mit Nahrungsanalysen und Aquariexperimenten beantwortet (s. Kap. 3.1.2).

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Algen-Netzproben

Zur Beantwortung der Frage, welche Tiere mit welchen Makroalgenarten assoziiert leben, wurden "Algen-Netzproben" von abundanten Algenarten genommen. Dazu wurde über einzelne Algenspezies jeweils ein Netz aus feinem Gardinestoff (Maschenweite < 0,2 mm) gestülpt; damit wurden auch die Tiere, die sich auf den Algen aufhielten, erfaßt. Von den Algen wurden je nach Größe der Arten und Individuen ein oder mehrere Exemplare in einem Netz gesammelt. Die 12 beprobten Algenarten (Tab.3.1) stammten aus den zuvor beschriebenen drei Probennahmegebieten (s. Kap.2, Abb.2.1). Im Gezeitenraum wurden die Proben kurz vor Niedrigwasser genommen, solange die Algen noch von Wasser überspült waren. In den beiden sublitoralen Gebieten wurden die Algen von Tauchern in die Probennetze gesammelt. Im Labor wurden für jede Algenprobe sowohl das Gesamtfrischgewicht der Algen als auch die Gesamtbioasse (beides in Gramm) der Tiere bestimmt. Die Tiere wurden in 90%igem Alkohol fixiert und nach Arten, Gattungen oder Großgruppen sortiert.

Es wurden folgende Parameter für die einzelnen Tierarten oder -gruppen bestimmt:

- 1) die Anzahl
- 2) der prozentuale Anteil an der Gesamtanzahl der Tiere pro Algenprobe
- 3) die Biomasse (g Frischgewicht)
- 4) der prozentuale Anteil an der Gesamtbioasse der Tiere pro Algenprobe

Tab.3.1: Algen-Netzproben verschiedener eu- und sublitoraler Makroalgen.

Algenart	Bezeichnung	Datum	Ort	Tiefe (m)
<i>Monostrroma hariotii</i>	Mono A	21.01.93	Eulitoral Peñon 1	0,5
<i>Monostrroma hariotii</i>	Mono B	03.02.93	Eulitoral Peñon 1	0,5
<i>Iridaea cordata</i>	Iri A	09.01.93	Eulitoral Peñon 1	1
<i>Iridaea cordata</i>	Iri B	09.01.93	Sublitoral Peñon 1	3
<i>Iridaea cordata</i>	Iri C	08.01.93	Sublitoral Peñon 1	4
<i>Gigartina skottsbergii</i>	Gig A	08.01.93	Sublitoral Peñon 1	3
<i>Palmaria decipiens</i>	Pal A	09.01.93	Eulitoral Peñon 1	1
<i>Georgiella confluens</i>	Georg A	08.01.93	Sublitoral Peñon 1	3
<i>Georgiella confluens</i>	Georg B	09.01.93	Sublitoral Peñon 1	2
<i>Plocamium cartilagineum</i>	Ploc A	09.01.93	Sublitoral Peñon 1	2
<i>Plocamium cartilagineum</i>	Ploc B	08.01.93	Sublitoral Peñon 1	3
<i>Adenocystis utricularis</i>	Adeno A	03.02.93	Eulitoral Peñon 1	0,5
<i>Phaeurus antarcticus</i>	Phae A	09.01.93	Sublitoral Peñon 1	3
<i>Ascoseira mirabilis</i>	Asco A	09.01.93	Sublitoral Peñon 1	2
<i>Ascoseira mirabilis</i>	Asco B	08.01.93	Sublitoral Peñon de Pesca	3
<i>Desmarestia menziesii</i>	D. men A	09.01.93	Sublitoral Peñon de Pesca	5
<i>Desmarestia menziesii</i>	D. men B	09.01.93	Sublitoral Peñon de Pesca	3
<i>Desmarestia anceps</i>	D. anc A	08.01.93	Sublitoral Peñon de Pesca	5
<i>Himantothallus grandifolius</i>	Him A	16.01.93	Sublitoral Peñon de Pesca	10
<i>Himantothallus grandifolius</i>	Him B	03.02.93	Sublitoral Peñon de Pesca	12
<i>Himantothallus grandifolius</i>	Him C	03.02.93	Sublitoral Peñon de Pesca	25

3.1.2 Magenanalysen zur Identifizierung von Herbivoren

Zur Bestimmung des Nahrungsspektrums der Tiere, die mit Makroalgen assoziiert leben, wurden Magenanalysen durchgeführt. Entscheidungskriterien für die Auswahl der zu untersuchenden Arten waren eine hohe Präsenz der Arten sowie ein hoher Anteil an der Gesamtbioasse bzw. der Gesamtanzahl der Tiere pro Netzprobe. Außerdem sollte mit dem Spektrum der untersuchten Tierarten auch ein ökomorphologischer (Bau der Mundwerkzeuge und anderer Extremitäten) und systematischer Querschnitt der vorkommenden Benthosorganismen abgedeckt werden.

Zusätzlich wurden zwei Tierarten in meine Nahrungsuntersuchungen mit einbezogen, die in den Algenproben nicht vertreten waren. Es handelte sich dabei um den Fisch *Notothenia neglecta* und den Seestern *Odontaster validus*. Von diesen Arten war durch Literaturdaten und eigene Tauchbeobachtungen bekannt, daß sie in Makroalgenbeständen häufig sind und Algen fressen können.

Die Anzahl der Tiere, die aus den Netzproben für die Magenanalysen zur Verfügung standen, war in machen Fällen gering. Deshalb wurden von den wichtigsten Arten (*Nacella concinna*, *Gondogeneia antarctica*) noch zusätzlich Tiere aufgesammelt und untersucht. In der Regel waren klare Trends in der Nahrungszusammensetzung bei allen Arten erkennbar.

Die Methode der Magenanalyse war bei den verschiedenen Tierarten gemäß ihrer Morphologie unterschiedlich. Im weiteren wird für die einzelnen untersuchten Arten beschrieben, wie die jeweiligen Magenanalysen durchgeführt wurden.

3.1.2.1 *Nacella concinna* Strebel 1908. (Gastropoda)

Die Art wurde mit dem "FAO Species Identification Sheet Vol.I, Southern Ocean" (FISCHER & HUREAU 1985a) bestimmt. Die Schale ist radial leicht gerippt und hat eine bräunliche Farbe. Weißliche Flecken auf der Schale entstehen durch das Überwachsen mit Krustenrotalgen. Die Innenseite der Schale ist braun-perlmutterglänzend. Die untersuchten Tiere hatten eine Länge zwischen 1,5 und 3,5 cm. Nur die von der Braunalge *Himantothallus grandifolius* aus 15 m Tiefe abgesammelten Tiere hatten eine Länge von 4,5 bis 6 cm. Das Hauptverbreitungsgebiet der Napfschnecken ist der Gezeitenraum bis ins obere Sublitoral (0-5 m), sie kommen aber regelmäßig bis in eine Tiefe von ca. 20 m vor. In der Literatur werden sogar Vorkommen bis zu 110 m angegeben (FISCHER & HUREAU 1985a).

Es wurden Magenanalysen an 24 Individuen aus Netzproben fünf verschiedener Algenarten durchgeführt (s. Tab.3.2). Dazu wurde den in 90%igem Alkohol fixierten

Tieren die Schale entfernt und danach der Eingeweidesack vom Fuß gelöst. Am fixierten Material ließen sich die verschiedenen Gewebe leicht voneinander trennen und der gesamte Magen-Darmtrakt herauspräparieren. Der Inhalt von Magen und Darm wurde mikroskopisch untersucht. Dabei wurden die einzelnen Nahrungskomponenten soweit wie möglich differenziert und die enthaltenen Makroalgen wenn möglich bis zur Art bestimmt. Eine Bestimmung der Algenarten war in einigen Fällen anhand von intakten Zellstrukturen möglich. Wenn eine genaue Bestimmung der Makroalgen nicht mehr möglich oder nicht sicher war, wurden sie in Großgruppen (Rot-, Grün- und Braunalgen) zusammengefaßt. Bei den gefundenen Diatomeen wurde bei einem gehäuften Vorkommen möglichst die Gattung bestimmt (nach MEDLIN & PRIDDLE 1990, NEWELL & NEWELL 1973).

Für eine Quantifizierung der einzelnen Nahrungskomponenten wurden ihre prozentualen Volumenanteile an der Gesamtnahrung pro Tier abgeschätzt.

Zusätzlich zu den Napfschnecken aus den Netzproben wurden noch jeweils ca. 10 Tiere von fünf verschiedenen Substrattypen gesammelt, die sich durch Freilandbeobachtungen als typische Lebensräume von *N. concinna* erwiesen hatten:

- 1) *Ascoseira mirabilis* (Eulitoral, 15.01.1993)
- 2) Krustenrotalgen auf Fels (Eulitoral, 15.01.1993)
- 3) augenscheinlich blanker Fels (Eulitoral, 15.01.1993)
- 4) eine mit diversen Makroalgen bewachsene Felsrinne (Sublitoral Peñon1, 3m, 15.01.1993)
- 5) *Himantothallus grandifolius* (Peñon de Pesca, 15m, 21.12.1994)

Alle Individuen von *H. grandifolius*, auf denen Nacellen vorkamen, waren dicht mit Diatomeenbüscheln bewachsen. Auf *H. grandifolius* ohne Epiphytenbewuchs waren keine Napfschnecken zu finden.

3.1.2.2 *Laevilacunaria antarctica* Martens 1885 (Gastropoda)

Das Gehäuse von *L. antarctica* ist spiralig gewunden, der Schalendurchmesser ist größer als die Schalenhöhe. Die Schale hat eine dunkelbraune, im Licht z.T. leicht rötlich schimmernde Farbe, das hornige Operculum ist bräunlich-durchsichtig. Auffällig am lebenden Tier ist, daß der Mantelrand über den hinteren Schalenrand geschoben wird, so daß die Schale zu fast einem Drittel von der schwarzen Mantelhaut bedeckt sein kann. Der Schalendurchmesser der Tiere reicht von ca. 1,5 mm bei frisch

geschlüpften Tieren bis hin zu 7 mm bei den Adulten. Die hauptsächliche Verbreitung der Schnecken findet sich in Signy Island im Eu- und oberen Sublitoral bis zu 12 m Tiefe (PICKEN 1979). Dies gilt auch für die Potter Cove, sie kommen jedoch auch regelmäßig in größeren Tiefen bis 30 m vor (eigene Beobachtungen).

Aufgrund ihrer geringen Größe ist eine Präparation des Verdauungstrakts von *L. antarctica* für Nahrungsanalysen sehr kompliziert und unverhältnismäßig zeitaufwendig. Deshalb wurden bei dieser Schneckenart Analysen des Kots lebender Tiere durchgeführt und keine direkten Magenanalysen an fixiertem Material aus den Algen-Netzproben.

Zur Identifizierung der Algenarten, an denen die Schnecken fressen, wurden Aquariexperimente durchgeführt: Für die Experimente wurden lebende Schnecken von 3 bis 6 mm Schalendurchmesser im Eu- und Sublitoral gesammelt. Die Größe (Breite) der Schnecken wurde bei Aufsicht auf den Mündungsbereich vom äußeren Mündungsrand bis zum gegenüberliegenden äußeren Rand der Schalenwindung gemessen (vgl. Kap.4.1.2).

Im Labor wurde *L. antarctica* in Aquarien gehältert. Die Wassertemperatur in den Aquarien wurde zwischen 1° und 3° Celsius gehalten, und die Tiere konnten sich für 5-7 Tage akklimatisieren. Während dieser Zeit wurden sie in den Becken alle zwei Tage mit frischen Makroalgen verschiedener Arten als Futter versorgt.

Zur Versuchsvorbereitung wurden die Schnecken in ein gesäubertes Aquarium mit filtriertem (GF/F-Filter) Seewasser ohne Algenmaterial gesetzt und für 24 Stunden hungern gelassen. Für die Versuche wurden je 8 Individuen in runde 0,5 l Glasaquarien mit filtriertem Seewasser gesetzt. Pro Versuchsansatz wurde ein ca. 10x10 cm großes Stück Alge dazugegeben. Um Gewebe aus vergleichbaren physiologischen Zuständen einzusetzen, stammten die Algenstücke bei flächigen Algen aus der Thallusmitte und bei verzweigten Arten aus den peripheren Bereichen. Ein Versuchsansatz blieb als Blindprobe ohne Algenzugabe. Die Tiere verblieben für eine Versuchsdauer von 24 Stunden in den Aquarien. Danach wurden die Algenstücke und die Schnecken aus den Gefäßen entfernt.

Insgesamt wurde für folgende 8 Makroalgenarten (jeweils 10 Parallelproben) getestet, ob sie von *L. antarctica* gefressen werden:

Monostroma hariotii, *Iridaea cordata*, *Palmaria decipiens*, *Plocamium cartilagineum*, *Adenocystis utricularis*, *Ascoseira mirabilis*, *Desmarestia menziesii*, *Himantothallus grandifolius*.

Der Kot von *L. antarctica* liegt in ovalen einzelnen Bällchen vor. Quetschpräparate dieser Kotbällchen wurden mikroskopisch qualitativ untersucht. Damit ließen sich Bestandteile des Kots, insbesondere Diatomeenschalen und Makroalgenfragmente, unterscheiden. Die Bestimmung der Makroalgen war oft sehr schwierig, da

Zellstrukturen beim Fressen durch die Radula der Schnecken weitestgehend zerstört wurden.

Nach der 24-stündigen Hungerphase vor dem Experiment produzierten die Schnecken nur noch sehr geringe Mengen Kot. Es konnte deshalb davon ausgegangen werden, daß die im Kot gefundenen Algenfragmente ausschließlich von den im Experiment getesteten Algenarten stammten. Als Maß für den Algenfraß wurden somit die pro Zeiteinheit produzierten Kotballen gezählt. Die Anzahl der Kotballen in der Blindprobe wurde als Korrekturfaktor von den Versuchsansätzen abgezogen.

Die Anzahl der pro Zeiteinheit produzierten Kotballen ist nur dann ein geeignetes Maß für den Fraß an Makroalgen, wenn die Größe der Kotballen unabhängig von der Nahrung ist. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde der Durchmesser der Kotballen an einem automatischen Bildanalysesystem (VIDS) gemessen. Bei der Vermessung wurde für jeden Kotballen in 10°-Schritten 36 mal der Durchmesser bestimmt und daraus der mittlere Durchmesser berechnet. Die mittleren Durchmesser der Kotballen aus Versuchen mit unterschiedlichen Algenarten wurden dann mit einer Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede getestet. Ein Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte nach Bonferroni/Dunn bzw. Games-Howell zeigte, welche Algenarten zu signifikant unterschiedlichen Kotballen-Größen führten.

4.1.2.3 Nereidae (Polychaeten)

Die Polychaetenart, die in den Algen-Netzproben am häufigsten war, konnte bisher nicht taxonomisch bestimmt werden. Sie konnte nur in die Familie der Nereidae eingeordnet werden (Dr. M. Stiller, pers. Mitt.). Eine Art, die subantarktisch weit verbreitet in Flachwasser- und Gezeitenbereichen vorkommt, ist *Neanthes kerguelensis* (McIntosh) 1885. Es konnte bisher nicht eindeutig bestimmt werden, ob es sich bei den mir vorliegenden Polychaeten um diese Art handelt, da das Bestimmungsmerkmal "Paragnathen auf dem Maxillarring des Proboscis" (HARTMAN 1964) nicht sicher erkennbar war. Es wird deshalb im folgenden weiterhin von Nereidae gesprochen.

Die Nereiden aus den vorliegenden Proben haben eine rötlich-braune Körperfarbe. Die hellbraunen Parapodien sind stark blasig aufgetrieben und tragen je einen kurzen kegelförmigen Rücken- bzw. Bauchcirrus. Am Kopf sind 4 Augen und 4 Paar gleichlange Fühlercirren mit weißlichen Spitzen ausgebildet. Die Cirren sind ca. 2,5 mal so lang wie der Kopf. Die Größe (Länge) der gefundenen Tiere reichte von 0,5 bis 2,5 cm.

Die Nereiden kamen hauptsächlich im Makrophytobenthos des oberen Sublitorals bis in eine Tiefe von 5 m vor. Vereinzelt wurden sie aber noch bis in 10 m Tiefe gefunden.

Die Tiere sind aufgrund ihres Habitus' und ihrer Färbung deutlich erkennbar und konnten von anderen Polychaetenarten in den Proben sicher getrennt werden.

An diesen Nereiden aus den Algen-Netzproben wurden Nahrungsanalysen durchgeführt (s. Tab.3.2), indem die Tiere ventral mit einer feinen Schere geöffnet und der Darmtrakt freigelegt wurde. Die Nahrungspartikel konnten dann aus dem Darm entfernt, auf Objektträger übertragen und unter dem Mikroskop untersucht werden.

Zur Quantifizierung wurden die Anteile einzelner Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung abgeschätzt. Dies war sehr gut möglich, da die Polychaeten mit ihren Kiefern Stücke aus der Nahrung herauschneiden, die fast immer gleich groß sind. Somit konnte für eine Abschätzung der einzelnen Nahrungskomponenten in vielen Fällen auch deren Anzahl zur Hilfe genommen werden.

3.1.2.4 *Gondogeneia antarctica* Chevreux 1906 (Amphipoda)

Bei der Bestimmung von *G. antarctica*, einer häufigen Amphipodenart im Gezeitenraum und oberen Sublitoral, war mir Dr. M. Rauschert (Alfred-Wegener-Institut, Potsdam) behilflich. Im lebenden Zustand ist die Art leicht an einem dorsalen hellen Strich über die gesamte Körperlänge zu erkennen. Die restliche Körperfärbung ist meist grau. Die Metasomsegmente sind dorsal leicht gewellt, jedoch nicht zu Fortsätzen ausgezogen. Die untersuchten Tiere hatten eine Größe von 1-2 cm.

Nahrungsanalysen wurden an Tieren aus den verschiedenen Algen-Netzproben durchgeführt (s. Tab.3.2). Zum Vergleich des Nahrungsspektrums wurden auch einige Tiere bearbeitet, die nicht direkt von Algen abgesammelt wurden, sondern aus dem Freiwasser im Bereich des Eulitorals bei Hochwasser gekeschert wurden.

Zur Präparation des Darmtraktes der Amphipoden wurde bei den Tieren eine Körperseite geöffnet. Der Darmtrakt wurde herauspräpariert und auf einem Objektträger für die mikroskopische Untersuchung ausgebreitet. Magen und Darm sind bei Amphipoden nicht deutlich voneinander getrennt, daher wurde der gesamte Verdauungstrakt in die Nahrungsanalyse einbezogen. Da die Gesamtfüllung des Verdauungssystems mit Nahrung sehr stark zwischen den einzelnen Individuen schwankte, wurde in einem ersten Schritt die prozentuale Füllung mit Nahrung vom Pharynx bis zum After festgestellt. Der Füllwert wurde nach einer "Achtel-Skala" bestimmt. Dafür wird der Verdauungstrakt optisch in 1/8-Abschnitte eingeteilt (0, 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1) und der gefüllte Anteil abgeschätzt. Für eine optische Abschätzung eignet sich eine solche Einteilung sehr gut, da dabei von einer bestimmten Strecke immer die Hälfte genommen werden kann.

Im zweiten Schritt wurde der Darminhalt mikroskopisch untersucht und die Volumenanteile der einzelnen Nahrungskomponenten am Gesamtvolumen abgeschätzt. Dabei wurden vor allem die Makroalgen, wenn möglich, anhand der erhaltenen Zellstrukturen bestimmt. Nur wenige Algenstücke konnten bis zur Art identifiziert werden, meist wurde nur zwischen Chlorophyta, Rhodophyta und Phaeophyta unterschieden. Der Anteil tierischer Nahrung und Diatomeen wurde nicht weiter differenziert. Nicht mehr näher zu bestimmende Anteile wurden als "unidentifizierbare organische Substanz" zusammengefaßt.

Im Anschluß an die Einzelanalyse der Nahrungskomponenten wurden die Prozentwerte der Einzelkomponenten mit dem Darmfüllwert korrigiert. Dazu wurden die Einzelanteile der Nahrungskomponenten bei jedem Individuum mit dem jeweiligen Darmfüllwert aus der Achtel-Skala multipliziert.

Ein Beispiel soll diese Zusammenhänge verdeutlichen:

Bei einem vollständig gefüllten Darm, der nur Makroalgen beinhaltet, beträgt der Gesamtfüllwert des Darms 1 und der Einzelanteil Algen 100%. Bei einem nur zu 1/8 gefüllten Darm, in dem ebenfalls nur Makroalgen zu finden sind, beträgt deren Anteil nur noch 12,5% (Rechnung: $100\% \cdot 1/8 = 12,5\%$).

3.1.2.5 *Bovallia gigantea* Pfeffer 1888 (Amphipoda)

B. gigantea ist eine durch ihre Form und Farbe auffällige Amphipodenart (Bestimmung nach CHEVREUX 1906). Die Metasomsegmente sind dorsal zu dornenartigen Fortsätzen ausgezogen, die Augen sind länglich-nierenförmig. *B. gigantea* ist intensiv orangerot gefärbt und kann bis zu 4 cm lang werden. Die Art ist auf Hartsubstraten von 0-25 m Tiefe häufig.

Es wurden an insgesamt 22 Tieren aus den Algen-Netzproben Magenanalysen durchgeführt (s. Tab.3.2). Ebenso wie bei *G. antarctica* wurde eine Körperseite der Tiere geöffnet, der Darmtrakt wurde herauspräpariert und der Darminhalt für eine mikroskopische Untersuchung auf einem Objektträger ausgebreitet. Eine Bestimmung der Darmfüllung wie bei der anderen Amphipodenart war bei dieser Art sehr schwierig, weil durch eine schlechtere Fixierung die Nahrung nicht als kompakter Ballen vorlag, sondern sich über den ganzen Darm verteilte. Deshalb wurden für diese Art nur die Volumenanteile der einzelnen Nahrungskomponenten am Gesamtvolumen der Nahrung bestimmt.

3.1.2.6 *Plakarthrium punctatissimum* (Pfeffer 1887) (Isopoda)

Die Bestimmung der Isopoden erfolgte durch Dr. A. Brandt (Institut für Polarökologie, Kiel). Eine mit den Makroalgen assoziiert gefundene Isopodenart wurden als *P. punctatissimum* bestimmt (WILSON et al. 1976). Die Tiere haben einen stark abgeflachten, dorsal leicht konvex geformten Körper. Marginale Platten bilden einen flachen Ring um den gesamten Körper und geben ihm in der Aufsicht eine ovale Form. Der Kopf ist mit zwei großen Augen ausgestattet. Die Pleomeren sind vollständig miteinander verwachsen. Die Färbung ist hellgrau bis durchsichtig, kann aber auch bis dunkelbraun reichen. Die gefundenen Tiere hatten eine Länge von 3 bis 5 mm.

P. punctatissimum wurde nur auf Makroalgen im oberen Sublitoral bis 5 m Tiefe gefunden.

Von den alkoholfixierten Tieren wurde die dünne, ventrale Cutikulaschicht sehr vorsichtig abpräpariert und das darunter liegende Nervensystem mit einer Pinzette vorsichtig weggezupft. Der nun frei zugängliche Darm wurde vollständig herausgenommen und in einen Wassertropfen auf dem Objektträger überführt.

Die einzelnen Nahrungskomponenten wurden mikroskopisch bestimmt. Dabei wurde in erster Linie eine Unterscheidung in Diatomeen und Makroalgen vorgenommen. Eine weitergehende Bestimmung der Makroalgen auf die Art war in den meisten Fällen wegen der nur sehr kleinen Nahrungspartikel und der schlecht erhaltenen Zellstrukturen nicht möglich. Bei der geringen Größe und der schwierigen Präparation der Tiere ist eine Quantifizierung der Nahrungskomponenten nur mit hohem Aufwand möglich; daher wurde nur die qualitative Nahrungszusammensetzung bestimmt.

3.1.2.7 *Odontaster validus* Koehler 1906 (Asteroidea)

Die Bestimmung des Seesterns *O. validus* erfolgte nach BRANCH et al. (1993). Der Körper ist kompakt mit kurzen Armen, die Arm-Zwischenräume sind nicht tief eingeschnitten. Die aborale Körperoberfläche ist dicht mit kleinen Kalksäulen, sog. Paxillen, besetzt (BRANCH et al. 1993, SIEG & WÄGELE 1990), wodurch sie "pelzig" wirkt. Die Tiere haben meist eine intensiv rote Färbung, können aber auch rosa bis beige sein.

Die Körpergröße (ohne Arme) der untersuchten Tiere lag zwischen 1,1 und 4,2 cm.

O. validus kam in den Netzproben nicht vor, ist aber sowohl in der Maxwell Bay (RAUSCHERT 1991) als auch in anderen antarktischen Gebieten, z.B. McMurdo Sound, im Sublitoral vor allem in Tiefen ab 10 m häufig (DAYTON et al. 1974, DEARBORN 1977, McCLINTOCK et al. 1988).

Im Sublitoral am Peñon de Pesca ist *O. validus* häufig zu finden. Von Dipl. Biol. S. Kühne (Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven) wurden mir 19 Individuen zur Verfügung gestellt, die er dort im Januar 1994 in einer Tiefe von 10-30 m gesammelt hatte. Die Tiere waren in 4%igem Formalin fixiert.

Die Individuen wurden gewogen (g Frischgewicht), und die Größe wurde bestimmt. Dazu wurden pro Tier drei Messungen des Körperdurchmessers zwischen den Armen durchgeführt und daraus das arithmetrische Mittel gebildet.

Für die Magenanalysen erwies es sich als praktischer, die Tiere von der Oralseite anstatt - wie meist üblich - von der Aboralseite aus zu öffnen. Dazu wurde die aufgeschnittene Bauchdecke vorsichtig abgehoben, und die Verbindung vom Mund zum Magen wurde durchtrennt. Der Magen war damit direkt zugänglich, ohne daß weitere Gewebe entfernt werden mußten.

Der Magen bildet über den Armbasen 5 sackartige Ausstülpungen, die innen stark eingefaltet sind. Mit einer Pipette wurde der gesamte Mageninhalt aus dem Zentralteil und den Ausstülpungen des Magens abgesaugt. Danach wurden die Mageninhalte mikroskopisch untersucht.

Eine Quantifizierung des Mageninhaltes war nur eingeschränkt möglich: Die Tiere waren nur ungenügend fixiert, und es konnte somit nicht ausgeschlossen werden, daß erstens ein Großteil der Nahrung vor der endgültigen Fixierung noch verdaut wurde, zweitens vor der Fixierung Mageninhalt erbrochen und drittens bei der Präparation durch zerfaserndes Magengewebe nicht der gesamte Mageninhalt erfaßt wurde. Deshalb wurde auf ein von SWYNNERTON & WORTHINGTON (1940) für Fischmagenuntersuchungen erstelltes Klassifizierungs-System zurückgegriffen. Dabei wird die relative Häufigkeit der Einzelkomponenten in ein System von "sehr häufig" bis "in Spuren" eingeordnet:

- +++ = sehr häufig
- ++ = häufig
- + = regelmäßig
- o = vereinzelt
- = in Spuren

3.1.2.8 *Notothenia neglecta* Nybelin 1951 (Pisces)

Die Tiere wurden mit Hilfe von Lic. R.J. Casaux und Lic. E.R. Barrera-Oro (Instituto Antartico Argentino, Buenos Aires) gefangen und anhand des "FAO Species Identification Sheet, Vol. II, Southern Ocean" (FISCHER & HUREAU 1985b) bestimmt. Die Art besitzt einen breiten abgeflachten Vorderkörper, der in einen schmalen hohen Hinterkörper übergeht. Das Maul ist breit mit wulstigen Lippen und besitzt zwei Reihen scharfer Zähne. Bestimmungsmerkmale zur Unterscheidung von anderen Notothenia-

Arten sind verschiedene morphometrische Beziehungen und die Anzahl der Strahlen in der zweiten Rückenflosse. Die Färbung ist sehr variabel, adulte *N. neglecta* sind dunkelbraun mit schwarzen, gelben und grünlichen Flecken, Jungtiere sind rotorange. Die Größe der untersuchten Tiere schwankte zwischen 16 und 45 cm.

An dem als benthophag eingestuften Fisch *N. neglecta* sind bereits Nahrungsanalysen durchgeführt worden (siehe auch CASAUX et al. 1990, BARRERA-ORO & CASAUX 1990, GRÖHSLER 1992, LINKOWSKI et al. 1983, BURCHETT et al. 1983, RICHARDSON 1975). In Untersuchungen über Nahrungspräferenzen dieser Fischart zeigte sich bereits ein hoher Algenanteil an der Nahrung (vor allem bei BARRERA-ORO et al. 1990 und CASAUX et al. 1990). In allen Untersuchungen wurden Makroalgen jedoch nicht weiter differenziert und auch nicht in die Berechnungen der "food-indices" miteinbezogen, so daß sich keine Aussagen über das Algenspektrum und die Bedeutung einzelner Algenarten ableiten lassen.

Von Lic. R.J. Casaux und Lic. E.R. Barrera-Oro (Instituto Antartico Argentino, Buenos Aires) wurden mir insgesamt 176 Fische aus ihren Fängen aus dem Zeitraum vom 18.11.1993 bis zum 6.2.1994 zur Verfügung gestellt. Die Tiere wurden mit Stellnetzen in einer Tiefe bis zu 30m gefangen. Die Netze waren im Sublitoral am Peñon de Pesca (s. Abb.2.1) ausgebracht.

Von den Fischen wurde direkt nach dem Fang die Gesamtlänge und das Gewicht bestimmt. Dann wurden die Mägen herauspräpariert und in 96%igem Alkohol fixiert. Zur besseren Fixierung des Mageninhalts wurden zusätzlich in jeden Magen vorsichtig 20 ml Alkohol injiziert.

Im Labor wurde eine gravimetrische Nahrungsanalyse durchgeführt. Dazu wurde der Mageninhalt zuerst nach tierischen und pflanzlichen Anteilen getrennt und beide Anteile wurden gewogen (g FG). Der Algenanteil wurde dann weiter aufgearbeitet: Die einzelnen Algenfragmente wurden gewogen (g FG) und anhand von Querschnittspräparaten mikroskopisch bis zur Art bestimmt (LAMB & ZIMMERMANN 1977). Algenmaterial, das nicht bestimmt werden konnte, wurde unter "unidentifizierte pflanzliche Substanz" zusammengefaßt.

Bei der Auswertung wurde zuerst der Gesamtanteil der Makroalgen an der Nahrung berechnet. Durch eine Korrelation von Algennahrung und Fischgewicht wurde außerdem eine mögliche Größenabhängigkeit der Ernährung der Fische geprüft, d.h. ob nur Fische bis oder ab einer bestimmten Größe Algen fressen.

Dann wurde der relative Anteil einzelner Algenarten am Algenanteil der Nahrung pro Fisch bestimmt. Die relativen Anteile einzelner Arten wurden für die vier Sammelmonate verglichen.

In einem zweiten Teil der Auswertung wurde das Algen-Nahrungsspektrum von *N. neglecta* mit der Verfügbarkeit der natürlich vorkommenden Ressourcen verglichen, d.h. die Nahrungspräferenz der Tiere für einzelne Algenarten geprüft. Dies wurde anhand des von STRAUSS (1979) beschriebenen "Linear Food Selection Index" durchgeführt.

a) theoretischer Hintergrund

Die Methode nach STRAUSS (1979) testet die Hypothese (Nullhypothese), daß alle verfügbaren Nahrungskomponenten mit gleicher Präferenz genutzt werden. Der "Linear Food Selection Index" L ist ein relatives Maß für die Präferenz verschiedener Nahrungskomponenten durch die untersuchte Tierart.

Der Index L für die Präferenz wird als die Differenz zwischen dem relativen Anteil der Nahrungskomponente i im Tier (r_i) und dem relativen Anteil der gleichen Komponente i im verfügbaren Benthos (p_i) berechnet:

$$L = r_i - p_i$$

Die Werte für L reichen von -1 bis 1, wobei positive L -Werte eine Präferenz und negative L -Werte eine Vermeidung der Nahrungskomponente indizieren.

b) Anwendung

Dieser Vergleich von Nutzung und Verfügbarkeit nach STRAUSS (1979) wurde für die zuvor analysierten Fische durchgeführt. Es wurden jedoch die Fische ausgeschlossen, die entweder einen ganz leeren Magen oder keine Algen im Magen hatten. Insgesamt wurden damit 146 Fische in die Berechnungen zur Futterpräferenz einbezogen.

Die Vergleichsdaten "verfügbares Makrophytobenthos" stellte mir Lic. M. L. Quartino (Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires) zur Verfügung. Diese Daten basierten auf 4 Tiefentranssekten am Peñon de Pesca, die zwischen dem 26.12.1993 und dem 3.2.1994 genommen wurden. Durch Taucher wurde pro Transekt in 4 Tiefenstufen (5 m, 10 m, 15 m, 20 m) je dreimal eine 0,25 m²-Fläche abgesammelt. Im Labor wurden die Algenarten und deren Frischgewichte in Gramm bestimmt. Für die Berechnung des "Linear Food Selection Index" wurden die vier Tiefenstufen in jedem Transekt zusammengefaßt, da eine solche Auflösung der Daten nach der Tiefe für die untersuchten Fische nicht vorlag. Pro Transekt wurde also ein Tiefenspektrum von 5-20 m abgedeckt.

Die zu untersuchenden Nahrungskomponenten waren die verschiedenen Makroalgenarten. Die relativen Anteile der Algenarten wurden in den einzelnen Fischmägen und in den vier Transekten bestimmt. Für jeden Fisch wurde für alle Algenarten die Differenz

L zwischen dem relativen Anteil am Mageninhalt und dem an der Benthosprobe gebildet. Die Daten der Benthosprobe waren dabei für alle Fische gleich, da alle Fische aus dem selben Gebiet kamen.

Für die statistische Analyse standen damit pro Algenart 146 L-Werte aus den untersuchten Fischen zur Verfügung. Ein Problem dieser Datenbasis für die statistische Auswertung war, daß für die Algenarten, die von den Fischen überhaupt nicht gefressen wurden, alle 146 Werte für L gleich waren. Das bedeutet, daß die Varianzen für die Mittelwerte dieser L-Werte gleich Null waren. Damit war die Analyse der Daten über eine Varianzanalyse nicht möglich. Auch statistische Tests, die auf Ranganalysen basieren (z.B. t-Test nach Kruskal-Wallis mit Mittelwerttest nach Nemenyi), waren wenig aussagekräftig, da sich für die gleichen Werte von L auch gleiche Rangdaten ergaben und der Anteil der Bindungen (gleiche Ränge) zu hoch für statistische Tests war.

Das Problem wurde gelöst, indem ein künstliches "Rauschen" auf die L-Werte gelegt und damit geringe Varianzen erzeugt wurden, die eine statistische Prüfbarkeit mittels einer Varianzanalyse (ANOVA mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%) möglich machten. Von den ökologischen Zusammenhängen her betrachtet, ist es den Fischen theoretisch möglich, an allen untersuchten Algenarten zu fressen. Weil diese Grundvoraussetzung gegeben ist, ist das künstliche Rauschen erlaubt. Es handelte sich dabei um ein normalverteiltes Rauschen mit einem Mittelwert von Null und einer Standardabweichung in der Höhe des Meßfehlers der einzelnen Algengewichtbestimmungen in den Fischmägen (Meßfehler: 0,0002). Dieses Rauschen bzw. die erzeugten Varianzen veränderten das Endergebnis der Analyse nicht, sie machten sie nur rechnerisch möglich.

Die L-Werte wurden vor der ANOVA nach Box-Cox transformiert (SOKAL & ROHLF 1981, S.423 ff), wobei $l=0,25$ in diesem Fall die beste Annäherung an die Normalverteilung brachte. Die Transformation eines Wertes Y nach Box-Cox erfolgt nach der Gleichung:

$$Y' = (Y^l - 1) / l \quad (\text{für } l \neq 0)$$

Mit dem Post-Hoc-Test nach Games-Howell wurden signifikante Unterschiede (95%iges Signifikanzniveau) zwischen den Präferenzen für einzelne Algenarten getestet.

In Tabelle 3.2 ist dargestellt, an wievielen Tieren aus welchen Algen-Netzproben Magananalysen durchgeführt wurden:

Tab.3.2: Tierarten, an denen Magenanalysen durchgeführt wurden und die Anzahlen untersuchter Individuen aus den jeweiligen Algen-Netzproben.

Algen-Netzprobe	<i>N. concinna</i>	<i>G. antarctica</i>	<i>B. gigantea</i>	Nereidae	<i>P. punctatissimum</i>
Mono A					
Mono B		10			
Iri A		5	1	1	
Iri B		5			4
Iri C	3				5
Gig A	2	5	4	3	9
Pal A					
Georg A				5	
Georg B		5	1		
Ploc A		5			
Ploc B			1	9	
Adeno A		5			
Phae A		5		7	
Asco A	5	2	1		6
Asco B	5				6
D. men A	4	10	4	8	2
D. men B	4		5	7	
D. anc A		5	5	9	
Him A					
Him B		2			
Him C	1				6
Summe	24	64	22	49	38

3.2 Ergebnisse

Im folgenden werden zuerst die Ergebnisse der Auswertung der Algen-Netzproben (Kap. 3.2.1 & 3.2.2) darstellt, bevor ich auf die Ergebnisse der einzelnen Magenuntersuchungen eingehe (Kap. 3.2.3). Am Ende des Kapitels werden die Ergebnisse zu den Makroalgen-Herbivoren-Interaktionen noch einmal zusammengefaßt (Kap. 3.2.4).

3.2.1 Algen-Netzproben

Es wurden 21 Algen-Netzproben von insgesamt 12 verschiedenen Algenarten untersucht (Tab.3.1). Tabelle 3.3 faßt die in den einzelnen Algen-Netzproben gefundenen Tiere zusammen.

Die Bestimmung aller Tierarten war aufgrund der lückenhaften Bestimmungsliteratur sehr schwierig, war aber auch nicht das Hauptziel dieser Arbeit. Deshalb habe ich versucht, die häufigsten Vertreter bis zur Art zu bestimmen und die anderen Arten in Gruppen zusammengefaßt (z.B. Gastropoda, Amphipoda).

Sofern sich anhand des Habitus und eindeutiger morphologischer Besonderheiten einzelne Gastropoden-Arten unterscheiden, aber nicht bestimmen ließen, sind in Tab.3.3 deren Anzahl in Klammern hinter der Sammelgruppe angegeben. Eine solche Unterscheidung war bei den Polychaeten und den Amphipoden nicht oder nur vereinzelt möglich, da eine Einteilung in verschiedene Arten aufgrund eines besonders auffälligen äußeren Merkmals bei diesen Gruppen nur selten möglich ist. Vor allem in der Gruppenangabe "Amphipoden (mix.)" in Tab.3.3 sind eine ganze Reihe verschiedener Arten zusammengefaßt, vor allem auch viele sehr kleine Arten (z.B. Stenotoidae), die nur von Spezialisten bestimmt werden können.

Bei der Muschelart *Lissarca miliaris* (BRANCH et al. 1991) erwies es sich als nicht sinnvoll, die Anzahl der Tiere zu bestimmen. Die Tiere kamen vielfach in sehr großen Mengen vor, in manchen Netzproben weit über 1000 Individuen, sie waren jedoch z.T. sehr klein (<1 mm) und konnten nicht alle aus den Proben aussortiert werden. Damit wäre die Bestimmung der Anzahl der Tiere sehr zeitaufwendig, aber trotzdem nicht korrekt gewesen. Es wurde deshalb ausschließlich das Frischgewicht der Tiere bestimmt, bei dem der Verlust einiger kleiner Individuen keine erkennbare Verfälschung der Werte ausmacht.

Tab.3.3: Auflistung der Tiere, die in Algen-Netzproben mit den jeweiligen Makroalgen assoziiert vorgefunden wurden. Für die einzelnen Tierarten bzw. -gruppen werden die Anzahl, der prozentuale Anteil an der Gesamtanzahl pro Probe, die Biomasse (g FG) und der prozentuale Anteil an der Gesamtbioasse angegeben. Bei *Lissarca miliaris* bedeutet "+" in der Spalte Anzahl, daß dieses Taxon vorkommt.

***Monostroma hariatii* (Mono A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	1	0,8	0,0011	0,3
Gastropoda (mind. 3 Arten)	73	56,2	0,1746	45,2
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	42	32,3	0,1999	51,7
Polychaeta (mix.)	12	9,2	0,0031	0,8
Amphipoda (mix.)	2	1,5	0,0078	2,0
Summe	130		0,3865	

***Monostroma hariatii* (Mono B):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
<i>Lissarca miliaris</i>	(+)		0,0001	0,0
Gastropoda (mind. 3 Arten)	251	60,2	1,1061	32,3
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	18	4,3	0,3513	10,3
Polychaeta (mix.)	12	2,9	0,0160	0,5
Amphipoda (mix.)	82	19,7	0,5017	14,6
<i>Gondogeneia antarctica</i>	54	12,9	1,4504	42,3
Summe	417		3,4256	

***Iridaea cordata* (Iri A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	5	3,5	0,0934	1,4
<i>Lissarca miliaris</i>	+		3,4228	50,8
Gastropoda	70	49,6	0,1092	1,6
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	34	24,1	0,5601	8,3
Polychaeta (mix.)	4	2,8	0,0185	0,3
Nereidae (1 Art)	7	5,0	0,2912	4,3
Amphipoda (mix.)	2	1,4	0,0080	0,1
<i>Gondogeneia antarctica</i>	18	12,8	1,0817	16,1
<i>Bovallia gigantea</i>	1	0,7	1,1471	17,0
Summe	141		6,7320	

***Iridaea cordata* (Iri B):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	13	4,1	0,0978	1,2
<i>Lissarca miliaris</i>	+		0,1655	2,0
Gastropoda (mind. 2 Arten)	10	3,2	0,0381	0,5
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	45	14,3	0,8158	10,0
Polychaeta (mix.)	9	2,9	0,0310	0,4
Nereidae (1 Art)	9	2,9	0,5553	6,8
Amphipoda (mix.)	83	26,4	0,3565	4,4
<i>Gondogeneia antarctica</i>	141	44,9	6,1132	74,7
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	4	1,3	0,0084	0,1
Summe	314		8,1816	

***Iridaea cordata* (Iri C):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	3	2,9	0,0973	1,5
<i>Lissarca miliaris</i>	+		1,0250	15,4
Gastropoda (mind. 2 Arten)	3	2,9	1,9370	29,2
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	5	4,8	0,1172	1,8
<i>Nacella concinna</i>	3	2,9	2,8203	42,5
Polychaeta (mix.)	2	1,9	0,0097	0,1
Nereidae (1 Art)	5	4,8	0,2380	3,6
Amphipoda (mix.)	3	2,9	0,0073	0,1
<i>Gondogeneia antarctica</i>	3	2,9	0,1694	2,6
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	78	74,3	0,2217	3,3
Summe	105		6,6429	

***Gigartina skottsbergii* (Gig A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	21	6,4	1,2071	7,1
<i>Lissarca miliaris</i>	+		7,0341	41,4
Gastropoda (mind. 2 Arten)	12	3,7	1,2788	7,5
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	31	9,5	0,6348	3,7
<i>Nacella concinna</i>	2	0,6	1,8761	11,0
Polychaeta (mix.)	21	6,4	0,1226	0,7
Nereidae (1 Art)	7	2,1	0,3166	1,9
Amphipoda (mix.)	20	6,1	0,0518	0,3
<i>Gondogeneia antarctica</i>	8	2,5	0,4316	2,5
<i>Bovallia gigantea</i>	8	2,5	3,1567	18,6
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	196	60,1	0,8926	5,2
Summe	326		17,0028	

***Palmaria decipiens* (Palm A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Gastropoda	3	37,5	0,0167	21,6
Polychaeta (mix.)	5	62,5	0,0605	78,4
Summe	8		0,0772	

***Georgiella confluens* (Georg A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	34	4,2	0,2910	0,9
<i>Lissarca miliaris</i>	+		27,3139	86,6
Gastropoda (mind. 2 Arten)	413	51,5	0,9461	3,0
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	9	1,1	0,1224	0,4
Polychaeta (mix.)	126	15,7	0,3628	1,1
Nereidae (1 Art)	69	8,6	0,8284	2,6
Amphipoda (mix.)	65	8,0	0,4622	1,4
<i>Gondogeneia antarctica</i>	6	0,7	0,3888	1,2
<i>Bovallia gigantea</i>	1	0,1	0,2394	0,8
<i>Cymodocella tubicauda</i>	63	7,8	0,5469	1,7
<i>Munna spec.</i>	16	2,0	0,0485	0,2
Pantopoda	1	0,1	0,0068	0,0
Summe	803		31,5572	

***Georgiella confluens* (Georg B):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	30	3,1	0,2791	1,2
<i>Lissarca miliaris</i>	+		14,0131	59,3
Gastropoda (mind. 3 Arten)	239	24,9	3,1936	13,5
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	85	8,9	1,0469	4,4
Polychaeta (mix.)	191	19,9	0,4323	1,8
Nereidae (1 Art)	58	6,0	0,8307	3,5
Amphipoda (mix.)	257	26,8	1,3182	5,6
<i>Gondogeneia antarctica</i>	61	6,4	2,1872	9,3
<i>Cymodocella tubicauda</i>	13	1,4	0,2196	0,9
<i>Munna spec.</i>	25	2,6	0,1098	0,5
Pantopoda	1	0,1	0,0085	0,0
Summe	960		23,6390	

***Plocamium cartilagineum* (Ploc A):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	11	1,6	0,1548	1,8
<i>Lissarca miliaris</i>	+		2,4597	28,2
Gastropoda (mind. 4 Arten)	101	14,5	0,4261	5,0
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	11	1,6	0,1180	1,4
Polychaeta (mix.)	7	1,0	0,0156	0,2
Nereidae (1 Art)	14	2,0	0,1405	1,6
Amphipoda (mix.)	416	60,1	2,2572	25,9
<i>Gondogeneia antarctica</i>	107	15,5	2,9088	33,4
<i>Bovallia gigantea</i>	1	0,1	0,0920	1,1
<i>Cymodocella tubicauda</i>	4	0,6	0,0649	0,7
<i>Munna spec.</i>	18	2,6	0,0710	0,8
Pantopoda	2	0,3	0,0036	0,0
Summe	692		8,7122	

***Plocamium cartilagineum* (Ploc B):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	6	1,9	0,1647	1,8
<i>Lissarca miliaris</i>	+		1,9490	21,0
Gastropoda (mind. 4 Arten)	142	45,4	2,3616	24,9
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	47	15,0	1,1278	12,1
Polychaeta (mix.)	19	6,1	0,1264	1,4
Nereidae (1 Art)	42	13,4	2,5817	27,8
Amphipoda (mix.)	19	6,1	0,2411	2,6
<i>Gondogeneia antarctica</i>	21	6,7	0,4370	4,7
<i>Bovallia gigantea</i>	1	0,3	0,1193	1,3
<i>Cymodocella tubicauda</i>	4	1,3	0,0844	0,9
<i>Munna spec.</i>	11	3,5	0,1387	1,5
Pantopoda	1	0,3	0,0105	0,1
Summe	313		9,2937	

***Adenocystis utricularis* (Adeno A):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	1	0,3	0,0084	0,1
<i>Lissarca miliaris</i>	+		0,7803	13,7
Gastropoda	117	31,4	1,2025	21,1
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	37	9,9	0,2282	4,0
Polychaeta (mix.)	2	0,5	0,0609	1,1
Amphipoda (mix.)	169	45,3	1,5628	27,4
<i>Gondogeneia antarctica</i>	47	12,6	1,8656	32,7
Summe	373		5,7087	

***Phaeurus antarcticus* (Phae A):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
<i>Lissarca miliaris</i>	(+)		0,2917	5,2
Gastropoda	75	9,9	0,1186	2,1
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	3	0,4	0,0228	0,4
Polychaeta (mix.)	263	34,6	0,7275	13,0
Nereidae (1 Art)	161	21,2	2,2982	41,0
Amphipoda (mix.)	204	26,8	0,5771	10,3
<i>Gondogeneia antarctica</i>	41	5,4	1,5742	28,1
Copepoda	13	1,7	0,0001	0,0
Summe	760		5,6102	

***Ascoseira mirabilis* (Asco A):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Gastropoda	1	1,6	0,7365	4,5
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	3	4,8	0,0950	0,6
<i>Nacella concinna</i>	7	11,3	15,0378	92,7
<i>Gondogeneia antarctica</i>	2	3,2	0,1623	1,0
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	49	79,0	0,1971	1,2
Summe	62		16,2287	

***Ascoseira mirabilis* (Asco B):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	4	7,5	0,1290	1,1
<i>Lissarca miliaris</i>	+		0,6345	5,4
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	2	3,8	0,0356	0,3
<i>Nacella concinna</i>	5	9,4	10,2002	87,4
Nereidae (1 Art)	1	1,9	0,0020	0,0
<i>Bovallia gigantea</i>	1	1,9	0,4530	3,9
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	40	75,5	0,2201	1,9
Summe	53		11,6744	

***Desmarestia menziesii* (D men A):**

assozierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	44	3,8	0,9851	1,4
<i>Lissarca miliaris</i>	+		23,7546	34,2
Gastropoda (mind. 2 Arten)	200	17,1	0,7599	1,1
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	319	27,2	6,1432	8,8
<i>Nacella concinna</i>	4	0,3	8,3204	12,0
Polychaeta (mix.)	178	15,2	2,5514	3,7
Nereidae (1 Art)	118	10,1	8,6925	12,5
Amphipoda (mix.)	123	10,5	5,2061	7,5
<i>Gondogeneia antarctica</i>	155	13,2	9,9137	14,3
<i>Bovallia gigantea</i>	7	0,6	2,8545	4,1
<i>Cymodocella tubicauda</i>	9	0,8	0,2244	0,3
<i>Munna spec.</i>	13	1,1	0,0653	0,1
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	2	0,2	0,0161	0,0
Summe	1172		69,4872	

Anmerkung: Die Pflanze aus der Probe "D men A" war epiphytisch mit der fädigen Braunalge *Geminocarpus geminatus* bewachsen.

***Desmarestia menziesii* (D men B):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	90	3,8	2,1856	3,2
<i>Lissarca miliaris</i>	+		2,4368	3,5
Gastropoda (mind. 2 Arten)	66	2,8	0,1307	0,2
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	525	22,4	7,5439	10,9
<i>Nacella concinna</i>	5	0,2	13,0016	18,9
Polychaeta (mix.)	12	0,5	0,5306	0,8
Nereidae (1 Art)	147	6,3	4,2784	6,2
Amphipoda (mix.)	903	38,5	11,7443	17,1
<i>Gondogeneia antarctica</i>	571	24,3	19,5001	28,3
<i>Bovallia gigantea</i>	21	0,9	7,2978	10,6
<i>Cymodoceella tubicauda</i>	4	0,2	0,1003	0,1
Asteroidae	3	0,1	0,2101	0,3
Summe	2347		68,9602	

***Desmarestia anceps* (D anc A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	22	1,8	0,5392	1,6
<i>Lissarca miliaris</i>	+		7,1281	21,4
Gastropoda (mind. 2 Arten)	114	9,3	0,7849	2,3
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	426	34,5	6,1827	18,6
Polychaeta (mix.)	37	3,0	0,4392	1,3
Nereidae (1 Art)	14	1,1	1,6059	4,8
Amphipoda (mix.)	395	32,0	1,6183	4,8
<i>Gondogeneia antarctica</i>	219	17,7	12,5721	37,8
<i>Bovallia gigantea</i>	7	0,6	2,4018	7,2
Summe	1234		33,2722	

***Himantothallus grandifolius* (Him A):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	3	3,3	0,0088	3,2
Amphipoda (mix.)	87	95,6	0,2658	95,3
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	1	1,1	0,0044	1,6
Summe	91		0,2790	

***Himantothallus grandifolius* (Him B):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Gastropoda	1	0,8	0,0037	0,3
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	1	0,8	0,0043	0,3
Polychaeta (mix.)	3	2,3	0,6595	47,1
Amphipoda (mix.)	120	90,2	0,4969	35,5
<i>Munna spec.</i>	7	5,3	0,0836	6,0
Asteroidae	1	0,8	0,1531	10,9
Summe	133		1,4011	

***Himantothallus grandifolius* (Him C):**

assoziierte Tiere	Anzahl	Anzahl [%]	Biomasse [g]	Biomasse [%]
Plathelminthes	6	4,1	0,0179	1,7
Gastropoda	1	0,7	0,0163	1,6
<i>Nacella concinna</i>	1	0,7	0,0753	7,3
Polychaeta (mix.)	1	0,7	0,0394	3,8
Amphipoda (mix.)	121	82,9	0,8451	82,1
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	16	11,0	0,0350	3,4
Summe	146		1,0290	

Die Ergebnisse der Algen-Netzproben werden in Tabelle 3.4 mit den Werten der Algen-Frischgewichte verknüpft. Für die jeweiligen Algen-Netzproben sind die Biomasse der Algen (Gramm Frischgewicht) und das Verhältnis der gesamten Tierbiomasse jeder Netzprobe pro 100g Algenbiomasse angegeben.

Tab 3.4: Für jede Algen-Netzprobe ist die Biomasse (g FG) der Algen pro Probe und das Verhältnis von Gesamt-Tierbiomasse pro 100 g Algenbiomasse angegeben.

Probe	Algen-Biomasse [g]	tierische BM/ 100g Algen [g]
Mono A	66,2	0,5838
Mono B	72,0	4,7576
Iri A	55,6	12,1079
Iri B	205,6	3,9794
Iri C	102,5	6,4809
Gig A	444,2	3,8277
Palm A	115,1	0,0671
Georg A	32,9	95,9185
Georg B	98,0	24,1214
Ploc A	58,4	14,9182
Ploc B	32,7	28,4211
Adeno A	190,9	2,9904
Phae A	530,8	1,0569
Asco A	166,8	9,7294
Asco B	341,1	3,4226
D men A	461,3	15,0633
D men B	750,2	9,1922
D anc A	2686,2	1,2386
Him A	866,7	0,0322
Him B	1850,2	0,0757
Him C	2989,7	0,0344

Die Frischgewichte der Algen in den Netzproben unterschieden sich innerhalb der Parallelproben der einzelnen Arten z.T. sehr stark. Besonders deutlich wird das bei den Werten von *Himantothallus grandifolius*, einer sehr großen und massiven Algenart. Auch die Biomasse der mit den verschiedenen Algenarten assoziierten Fauna ist sehr unterschiedlich hoch: Bei *H. grandifolius* kamen nur 0,03 - 0,07 g tierische Biomasse pro 100 g Algenbiomasse vor, während bei verschiedenen Rotalgen (*Georgiella confluens*, *Plocamium cartilagineum*) die Biomasse assoziierter Tier von 28,4 bis über 95g pro 100g Algenbiomasse reichte.

Zur Übersicht über die in Tab.3.3 angegebenen, mit den Makroalgen assoziierten Tiere und deren systematische Zugehörigkeit folgt eine Aufstellung der Tiere in systematischer Ordnung.

St. Plathelminthes

mindestens 2 Arten

St. Mollusca

Kl. Bivalvia

Lissarca miliaris (Philippi 1845)

Kl. Gastropoda

Nacella concinna Strebel 1908

Laevilacunaria antarctica Martens 1885

Margarella spec.

Eatoniella spec.

whs. 3 weitere Arten

St. Annelida

Kl. Polychaeta

Ord. Errantia

eine Art der Fam. Nereidae

mindestens 2 weitere Arten

Ord. Sedentaria

mindestens 1 Art

St. Arthropoda

Kl. Pantopoda (whs. 1 Art)

Kl. Crustacea

UKl. Copepoda (whs. 1 Art)

Ord. Isopoda

Plakarthrium punctatissimum (Pfeffer 1887)

Cymodocella tubicauda Pfeffer 1887

Munna spec.

Ord. Amphipoda

Gondogeneia antarctica Chevreux 1906

Bovallia gigantea Pfeffer 1888

Eurymera monticulosa Pfeffer 1888

Djerboa furcipes Chevreux 1906

Prostebbingia gracilis (Chevreux 1912)

Eusirus spec.

Oradarea spec.

Paramoera spec.

weitere Arten

St. Echinodermata

Kl. Asteroidea (whs. 1 Art)

3.2.2 Auswahl der Tiere für Nahrungsanalysen

Aus dem in den Algen-Netzproben gefundenen Spektrum der Tierarten wurden einige Arten ausgesucht, an denen Magenanalysen durchgeführt wurden. Damit sollte bestimmt werden, ob diese Tiere die jeweiligen Algenarten originär als Futterquelle nutzen.

Es wurden sechs Arten aus vier verschiedenen systematischen Gruppen ausgewählt. Es handelt sich dabei um Arten, die sowohl eine hohe Präsenz in den Gesamtproben aufwiesen, als auch einen hohen mittleren prozentualen Anteil an der Biomasse in den Proben hatten, in denen sie vorkamen. Für die einzelnen Arten sehen diese Daten und Werte folgendermaßen aus (Tab.3.5):

Tab.3.5: Auswahl der untersuchten Tierarten aufgrund ihrer Präsenz und ihres relativen Anteils an der Biomasse in den Algen-Netzproben.

Tierart	systemat. Zuordnung	Präsenz [%]	mittl. Biomasse [%]
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	Gastropoda	85,7	8,2
<i>Nacella concinna</i>	Gastropoda	33,3	38,8
Nereidae	Polychaeta	61,9	9,0
<i>Gondogeneia antarctica</i>	Amphipoda	71,4	22,0
<i>Bovallia gigantea</i>	Amphipoda	42,9	7,2
<i>Plakarthrium punctatissimum</i>	Isopoda	38,1	2,1

Der Anteil der ausgewählten Arten an der Gesamtbiomasse der Fauna der einzelnen Netzproben lag je nach Zusammensetzung der Probe zwischen 0 und 95,5%. Dies sind Extremwerte, 0% in der Probe "Palm A" und 93,5% in der Probe "Asco A". Besonders niedrige Anteile der Gesamtbiomasse wurden noch in den Proben "Him B" (0,3%) und "Him A" (1,6%) bearbeitet. In den meisten anderen Proben lagen die Werte zwischen 35 und 70%.

Die Muschelart *L. miliaris*, die sowohl eine hohe Präsenz als auch hohe Biomasseanteile an den Netzproben hatte, wurde nicht in Nahrungsanalysen einbezogen. Diese Art nutzt als Suspensionsfresser Makroalgen als Substrat, um sich mit Byssusfäden daran festzuheften (BRANCH et al. 1991). Die Algen selber werden aber nicht als Nahrung genutzt.

Eine Übersicht über die bearbeiteten Anteile an tierischer Biomasse in den jeweiligen Netzproben zeigt Abb.3.1.

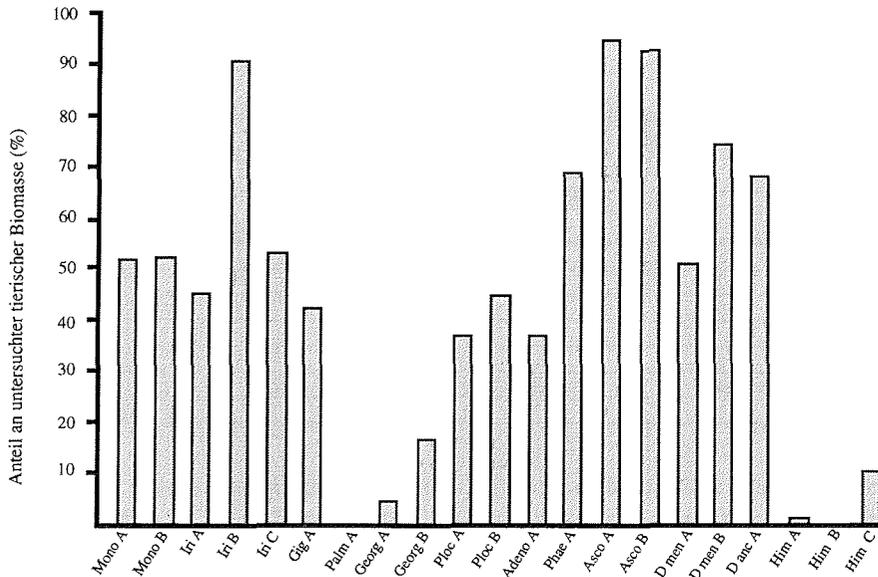


Abb.3.1: Prozentuale Anteile der Biomasse der untersuchten Arten an der Gesamt-Tierbiomasse in den einzelnen Algen-Netzproben.

3.2.3 Nahrungsanalysen

Im folgenden werden die Ergebnisse der Nahrungsanalysen an den untersuchten Tierarten dargestellt. Dies sind die oben genannten sechs Arten aus den Algen-Netzproben und die zusätzlich gesammelten Arten *Odontaster validus* und *Notothenia neglecta*.

3.2.3.1 *Nacella concinna*

Die Ergebnisse der Magenanalysen bei *N. concinna* lassen sich in zwei Abschnitte gliedern: Zum einen wurden die Tiere aus den Algen-Netzproben untersucht (vgl. Tab.3.1), zum anderen wurden zusätzlich Tiere von verschiedenen Substraten abgesammelt und deren Mageninhalte analysiert.

In Tabelle 3.6 sind zuerst die Ergebnisse aus den Netzuntersuchungen aufgeführt. Dabei sind für alle untersuchten Individuen (Stichprobenanzahl n) pro Algen-Netzprobe die Mittelwerte der einzelnen Nahrungskomponenten in Prozent angegeben. Die Nahrungskomponente "Braunalgen" wurde weiter differenziert; sofern die einzelnen Arten unterschieden werden konnten, sind *Ascoseira mirabilis* und *Geminocarpus geminatus* getrennt aufgeführt worden. In den anderen Fällen konnten

die Makroalgenarten im Magen und Darm der Tiere nicht mehr eindeutig bestimmt werden.

Tab.3.6: Prozentuale Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung von *N. concinna* aus verschiedenen Algen-Netzproben.

	Algen- Probe	n	Rotalgen	Braunalgen	<i>A. mirabilis</i>	<i>G. geminatus</i>	Diatomeen	Steine
Rot- algen	Iri C	3	80,00				15,00	5,00
	Gig A	2	60,00				25,00	15,00
Braun- algen	Asco A	5			88,00		4,00	8,00
	Asco B	5			80,00		11,00	9,00
	Dmen A	4		6,25		57,50	32,50	3,75
	Dmen B	4		10,00		62,50	21,25	5,00
	Him C	1					60,00	40,00

In allen Proben, ausschließlich der *Himantothallus grandifolius*-Probe, lagen die Volumenanteile der Makroalgen am Gesamtvolumen der Nahrung über 60%. In den *Desmarestia menziesii*-Proben bestand ein Großteil der Algennahrung aus einer epiphytisch auf *D. menziesii* wachsenden Algenart: *G. geminatus*. Die höchsten Algenanteile an der Nahrung fanden sich in den Napfschnecken von *Iridaea cordata* (80%) und *A. mirabilis* (80-88%).

Das eine Individuum, das aus der Probe "Him C" untersucht werden konnte, hatte keine Makroalgen im Magen, sondern nur Diatomeen (hauptsächlich eine *Fragilaria*- und eine *Nitzschia*-Art) und kleine Steinchen. Bei den Diatomeen in allen anderen Proben handelte es sich vorwiegend um *Fragilaria*-, *Licmophora*- und *Nitzschia*-Arten.

Da die Individuenzahl der Nacellen in den Proben teilweise sehr gering war, wurden weitere Napfschnecken aus verschiedenen typischen Lebensräumen gesammelt (vgl. Kap.3.1.2.1). Die Ergebnisse der Nahrungsanalysen an diesen Individuen werden für die verschiedenen Substrate getrennt dargestellt (Abb.3.2).

In Abb.3.2a-e sind die prozentualen Volumenanteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung dargestellt. Je nach Substrat, von dem die Tiere gesammelt wurden, variierten die Nahrungszusammensetzung und die prozentualen Anteile der einzelnen Komponenten. Der Gesamtgehalt an Makroalgen war jedoch mit 60-80% in der Regel auffallend hoch. Diatomeen waren auf allen Substraten in der Nahrung enthalten, spielten aber gegenüber den Makroalgen mengenmäßig nur eine untergeordnete Rolle (ca. 2-20%). Umgekehrt lagen die Verhältnisse bei den Tieren von *H. grandifolius*. Der Anteil an Makroalgen war mit 2% sehr gering im Vergleich zu den anderen Proben, dafür war der Anteil der Diatomeen mit über 80% extrem groß.

Die Ergebnisse aus diesen zusätzlichen Nahrungsanalysen bestätigen die Verhältnisse, die schon zuvor bei den Napfschnecken aus den Algen-Netzproben gefunden wurden.

In einigen Proben war es möglich, die Großgruppen der Makroalgen (Grün-, Rot- und Braunalgen) weiter in Arten zu differenzieren. Diese Volumenanteile bestimmter Arten sind in Abb.3.2a-e als schraffierte Teile der Balken gekennzeichnet. Bei den Grünalgen handelte es sich ausschließlich um die Art *Urospora penicilliformis*, eine fädige Alge, die auf den Felsen des Eulittorals wächst. Bei den Rotalgen ließ sich der Anteil der Krustenrotalgen bestimmen. Aus dem Braunalgenanteil ließ sich in einigen Fällen *A. mirabilis* differenzieren.

Die Komponente "Braunalgen" in den Proben vom Substrat "*H. grandifolius*" konnte nicht mit Sicherheit in einzelne Arten differenziert werden, jedoch handelte es sich wahrscheinlich um Zellfragmente von einer *Desmarestia*-Art und nicht von *H. grandifolius*. In diesen Proben erscheint mit ca. 14 % Anteil eine weitere Nahrungskomponente, "organische Substanz", die in den anderen Proben nicht gefunden wurde. Es handelte sich um eine amorphe braune Substanz, in der keine Zellstrukturen zu erkennen waren, so daß nicht eindeutig zugeordnet werden konnte, ob es sich um pflanzliches oder tierisches Material handelte.

Wie auch bei den Proben aus den Algen-Netzproben kamen als Diatomeen hauptsächlich *Fragilaria*-, *Licmophora*- und *Nitzschia*-Arten vor.

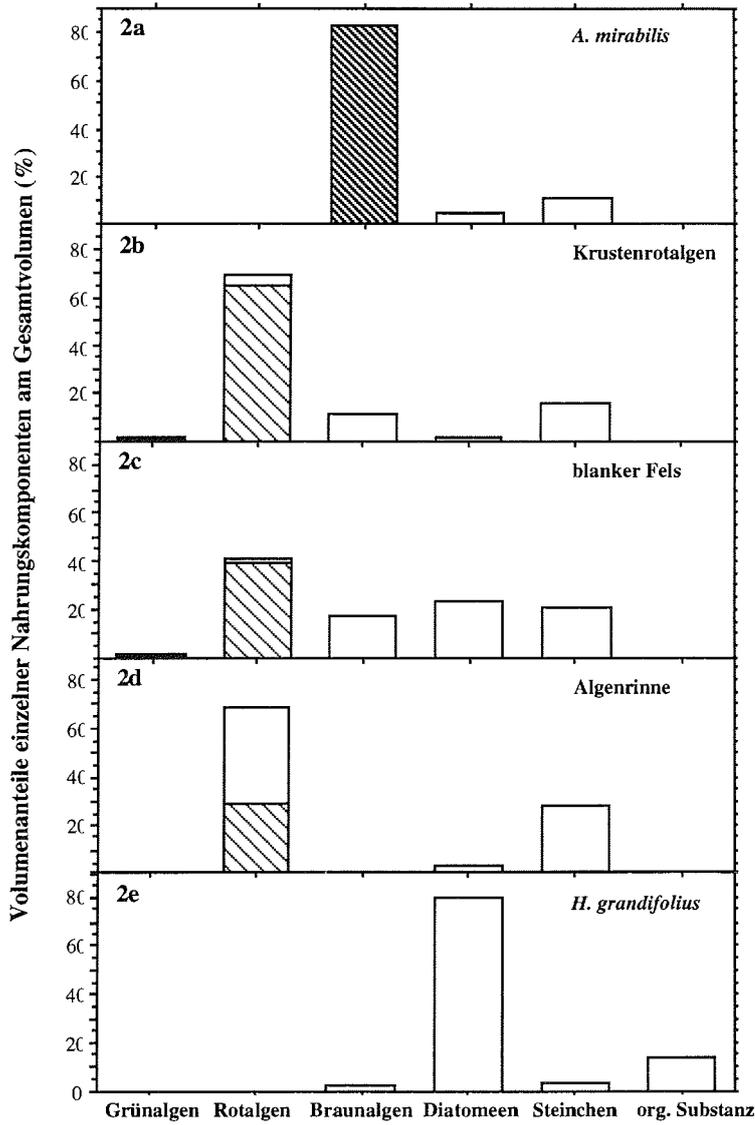


Abb.3.2a-e: Prozentuale Volumenanteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung von *N. concinna* von verschiedenen Substraten (oben rechts in den Teilabbildungen). Die schraffierten Balkenteile geben die Anteile einzelner, identifizierbarer Algenarten wieder (*Urospora penicilliformis* bei Grünalgen, Krustenrotalgen bei Rotalgen und *Ascoseira mirabilis* bei Braunalgen)

3.2.3.2 *Laevilacunaria antarctica*

Mit *L. antarctica* wurden Fraßexperimente in Aquarien durchgeführt, da direkte Magenanalysen an dieser Art nicht möglich waren. Zur Identifizierung der aufgenommenen Nahrung wurden dazu die im Versuch produzierten Kotbällchen gesammelt und qualitativ untersucht. Die Anzahl der produzierten Kotbällchen pro Zeiteinheit wurde außerdem als Maß für die Konsumtion bestimmter Algenarten genutzt.

In der qualitativen Analyse der Kotbällchen konnte bestimmt werden, ob die Schnecken Makroalgenmaterial aufnehmen, oder ob sie nur die darauf befindlichen Diatomeen abraspeln. Eine Bestimmung von Volumenanteilen verschiedener Nahrungskomponenten erlaubte diese Methode nicht.

Fünf der acht untersuchten Algenarten wurden von *L. antarctica* gefressen. Das waren die Arten *Monostroma hariatii*, *Adenocystis utricularis*, *Iridaea cordata*, *Plocamium cartilagineum* und *Desmarestia menziesii*. Die restlichen 3 Arten (*Palmaria decipiens*, *Ascoseira mirabilis*, *Himantothallus grandifolius*) wurden nicht gefressen, es wurden nur vereinzelt oder gar keine Makroalgenfragmente im Schneckenkot gefunden.

In einem zweiten Schritt wurden die Kotbällchen der Schnecken vermessen, um zu prüfen, ob die Größe der einzelnen Kotballen so ähnlich ist, daß die Anzahl der Kotballen als relatives Maß des Algenfraßes benutzt werden kann.

Die mittleren Durchmesser der Kotballen aus den verschiedenen Experimenten wurden mit einer ANOVA auf signifikante Unterschiede getestet. Es ergaben sich signifikante Unterschiede auf dem 95%igen Signifikanzniveau ($p=0,0001$), d.h. die Kotballen aus den Fraßexperimenten mit verschiedenen Algenarten waren nicht gleich groß.

In einem Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte (durchgeführt einmal nach Bonferroni/Dunn und einmal nach Games-Howell) wurden die Mittelwerte der mittleren Kotballendurchmesser nach Fraß an den einzelnen Algenarten gegeneinander getestet. Es ergab sich die in Abb.3.3 abgebildete Matrix. Vor allem die Größen der Kotballen nach dem Fraß an *P. decipiens*, *I. cordata* und auch *M. hariatii* unterscheiden sich signifikant von der Größe der meisten anderen Kotballen.

	Mh	Ic	Pd	Pc	Au	Am	Dm	Hg	Blind
Mittelw.	249,0	235,7	230,2	261,0	254,4	258,8	270,9	256,8	267,5
Mh		—	—	—	—	—	*	—	(*)
Ic			—	*	(*)	*	*	*	*
Pd				*	*	*	*	*	*
Pc					—	—	—	—	—
Au						—	—	—	—
Am							—	—	—
Dm								—	—
Hg									—
Blind									

Abb.3.3: Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte der Kotballen-Durchmesser nach Bonferroni/Dunn (zusätzliche signifikante Unterschiede nach Games-Howell in Klammern angegeben) auf dem 95%igen Signifikanzniveau. Signifikante Unterschiede sind mit einem * gekennzeichnet. Die Algenarten sind *M. hariatii* (Mh), *I. cordata* (Ic), *P. decipiens* (Pd), *P. cartilagineum* (Pc), *A. utricularis* (Au), *A. mirabilis* (Am), *D. menziesii* (Dm), *H. grandifolius* (Hg).

Die Größe der Kotballen ließ sich demnach in diesem Fall nicht zur relativen Quantifizierung des Fraßes an den verschiedenen Makroalgen benutzen. Deshalb wurde die Anzahl der pro Zeiteinheit produzierten Kotballen in das Volumen des pro Zeiteinheit produzierten Kots umgerechnet. Dazu wurden die Werte der mittleren Kotballendurchmesser in die Formel des Kugelvolumens eingesetzt und das mittlere Kotballenvolumen errechnet (s. Anhang, Tab.A-1)).

Kugelvolumen: $V = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$

Es ergaben sich also insgesamt 8 Werte für das mittlere Kotballenvolumen, je ein Wert für die Kotballen aus den verschiedenen Experimenten mit den verschiedenen Algenarten. Das mittlere Kotballenvolumen wurde mit der Anzahl der produzierten Kotballen pro Zeiteinheit multipliziert. Damit ergab sich für die Fraßexperimente mit *L. antarctica* an verschiedenen Algenarten als relatives Maß das produzierte Kotvolumen pro Schnecke pro 24 Stunden in mm³ (Abb.3.4).

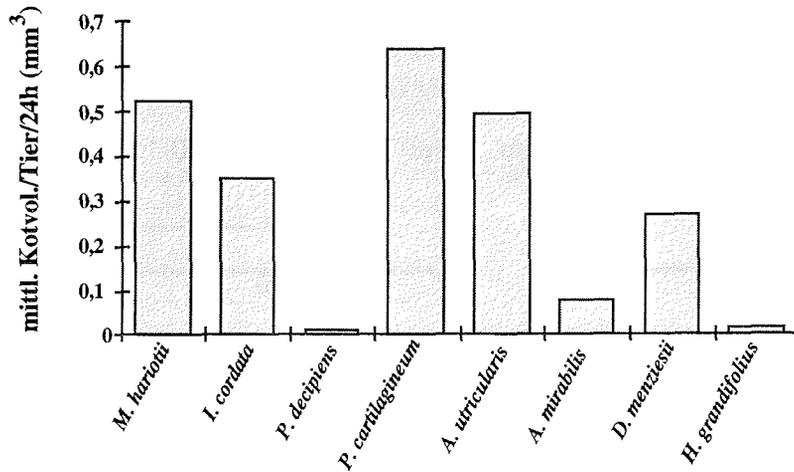


Abb.3.4: Volumen an produziertem Kot pro Schnecke pro 24 h in mm³ nach dem Fraß an acht verschiedenen Algenarten.

Mit einer ANOVA wurde ein signifikanter Einfluß des Faktors "Algenart" auf das Volumen des produzierten Kots festgestellt ($p = 0,0001$). Mit einem Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte nach Games-Howell wurde geprüft, welche Kotmengen sich nach dem Fraß an den verschiedenen Algenarten signifikant unterscheiden. Die Ergebnisse sind in Abb.3.5 dargestellt.

	Mh	Ic	Pd	Pc	Au	Am	Dm	Hg
Mittelw.	0,530	0,355	0,014	0,643	0,500	0,084	0,277	0,019
Mh		*	*	—	—	*	*	*
Ic			*	*	—	*	—	*
Pd				*	*	*	*	—
Pc					—	*	*	*
Au						*	*	*
Am							*	—
Dm								*
Hg								

Abb.3.5: Post-Hoc-Test nach Games-Howell auf unterschiedliche Mittelwerte des Kotvolumens / Schnecke / 24 Std. (mm³) nach dem Fraß an verschiedenen Algenarten. * = unterschiedlich auf 95%igem Niveau (Abkürzung der Algenarten s.Abb.3.3)

Die acht Algenarten lassen sich - nach Kotvolumen geordnet - in zwei Hauptgruppen einteilen (Abb.4.6). In der Gruppe "I" finden sich *P. decipiens*, *H. grandifolius* und *A. mirabilis*, in die andere Gruppe ("II") lassen sich *D. menziesii*, *I. cordata*, *A. utricularis*, *M. hartiotti* und *P. cartilagineum* einordnen. Innerhalb dieser Gruppen unterscheidet sich das Kotvolumen pro Schnecke nach dem Fraß an einer Algenart

nicht signifikant von dem der benachbarten Algenarten der Gruppe. Diese Reihung ist nur zwischen den beiden Gruppen unterbrochen, d.h. dort sind die Unterschiede der benachbarten Algenarten (*A. mirabilis* und *D. menziesii*) signifikant.

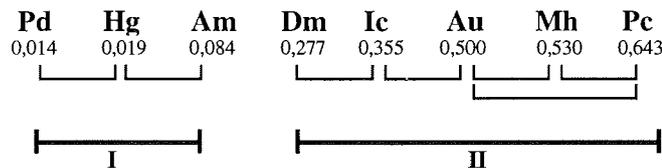


Abb.3.6: Gruppenbildung der Algenarten, bei denen sich die produzierte Kotmenge nicht signifikant voneinander unterscheidet. (Kotvolumen pro Algenart angegeben in: Volumen pro Schnecke pro 24 Std. in mm³. Dünne Balken: nicht signifikante Unterschiede zwischen diesen Algenarten nach Games-Howell, dicke Balken: Gruppenbildung. Abkürzungen der Algenarten wie in Abb.3.3)

Diese Gruppenbildung bestätigt die Ergebnisse der qualitativen Kotballenanalyse bei *L. antarctica*. Von den Algenarten der ersten Gruppe wurden keine Reste dieser Arten in den Kotballen gefunden. Das stimmt mit der sehr geringen Kotmenge überein, die bei den Fraßexperimenten mit diesen Algenarten gefunden wurde. Bei allen Arten aus der zweiten Gruppe waren Makroalgenreste in den Kotballen enthalten, und es wurde eine große Menge Kot in Experimenten mit diesen Arten produziert.

4.2.3.3 Nereidae

An insgesamt 49 Nereiden aus 8 Algen-Netzproben wurden Magenanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab.3.7 dargestellt.

Tab.3.7: Prozentuale Volumenanteile der einzelnen Nahrungskomponenten am Gesamtvolumen bei einer nereiden Polychaetenart. "n" gibt die Anzahl der untersuchten Individuen pro Probe wieder, "n leer" die Anzahl der Individuen, die einen vollständig leeren Darm hatten.

	Probe	n	n leer	Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten
Rot-algen	Iri A	1	-	100% <i>Iridaea cordata</i>
	Gig A	3	-	91,9% <i>Georgiella confluens</i> 8,1% <i>Gigartina skottsbergii</i>
	Georg A	5	2	63,1% <i>Georgiella confluens</i> 4,6% <i>Desmarestia menziesii</i> mit <i>Geminocarpus geminatus</i> 3,1% <i>Iridaea cordata</i> 29,2% unidentifizierter einschichtiger Thallus
	Ploc B	9	8	100% <i>Georgiella confluens</i>
Braun-algen	Phae A	7	-	100% <i>Phaeurus antarcticus</i>
	D men A & B	15	4	60% <i>Desmarestia menziesii</i> 30% <i>Geminocarpus geminatus</i> 10% Diatomeen
	D anc A	9	2	60% <i>Geminocarpus geminatus</i> 20% <i>Desmarestia spec</i> 20% Diatomeen

Bei den Nereiden handelt es sich um reine Herbivore, d.h. ihre Nahrung besteht ausschließlich aus Pflanzenmaterial (Makroalgen und Diatomeen). Es wurden im Darm keine unverdaulichen Reste von Tieren, wie Borsten oder Chitinteile, gefunden.

Die Anteile der verschiedenen Makroalgenarten an der Nahrung zeigen, daß die Polychaeten meist an den Algen fraßen, auf denen sie auch vorkamen. Eine Ausnahme bildete dabei *P. cartilagineum*. Fast 90% der untersuchten Mägen waren leer und in dem einen gefüllten Magen war ausschließlich *G. confluens* enthalten. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die Nereiden *P. cartilagineum* nicht fressen.

In den Proben "Gig A" und "Danc A" lagen die Anteile der entsprechenden Algenarten mit 8 bzw. 20% relativ niedrig. *I. cordata*, *G. confluens*, *P. antarcticus*, *D. menziesii* und *G. antarcticus* dagegen bildeten einen großen Anteil an der Gesamtnahrung.

3.2.3.4 *Gondogeneia antarctica*

Die Ergebnisse der Nahrungsanalysen an der Amphipodenart *G. antarctica* sind in zwei Abschnitte geteilt. Im ersten Teil werden die Ergebnisse der Untersuchungen an Individuen aus verschiedenen Algen-Netzproben dargestellt. Im zweiten Teil erfolgt ein Vergleich mit den Ergebnissen von Magenanalysen an Tieren, die aus dem Freiwasser gekeschert und nicht von Algen abgesammelt wurden.

An insgesamt 66 Individuen von *G. antarctica* aus 11 Netzproben verschiedener Algenarten wurden Nahrungsanalysen durchgeführt. Bei den Tieren wurde zuerst die Füllung des Magen-Darmtrakts mit Nahrung bestimmt. Der mittlere prozentuale Füllwert (arithmetisches Mittel) der Tiere aus den verschiedenen Algen-Netzproben ist in Tab.3.8 angegeben:

Tab.3.8: Mittlere prozentuale Magenfüllwerte (mit Standardabweichung) der Amphipoden aus den jeweiligen Algen-Netzproben (n ist die Anzahl der untersuchten Individuen).

Mono B n=10	Iri A&B n=10	Gig A n=5	Georg B n=5	Ploc A n=6	Adeno A n=5	Phae A n=6	Asco A n=2	Dmen A n=10	Danc A n=5	Him B n=2
91,25	63,75	22,50	60,00	68,75	60,00	35,42	0,00	46,25	30,00	0,00
±11,86	±34,59	±25,62	±37,91	±38,53	±41,83	±40,63		±25,72	22,71	

Mit dem H-Test von Kruskal und Wallis (s. Anhang, Tab.A-2) ergaben sich signifikante Unterschiede in den mittleren Magenfüllwerten bei den verschiedenen Algen-Netzproben. Die Datenbasis läßt keinen anschließenden statistischen Test der Mittelwerte (multipler Vergleich nach Nemenyi, SACHS 1978) zu, da zu viele

Bindungen (Folgen gleicher Rangzahlen) enthalten und die Stichprobenumfänge zu gering sind. Es läßt sich also nicht statistisch nachweisen, welche der mittleren Magenfüllwerte sich voneinander unterscheiden.

Es lassen sich jedoch einige Unterschiede in der mittleren Magenfüllung der Amphipoden erkennen. Besonders niedrige Werte (0) waren bei *Ascoseira mirabilis* und *Himantothallus grandifolius* zu finden. In beiden Proben waren jeweils nur 2 Individuen vorhanden, die beide (d.h. alle vier) einen vollkommen leeren Verdauungstrakt hatten. Relativ niedrige mittlere Füllwerte kamen noch bei *Gigartina skottsbergii* (22,5%), *Phaeurus antarcticus* (35,42%) und *Desmarestia anceps* (30%) vor. Eine dritte Gruppe bildeten *Iridaea cordata*, *Georgiella confluens*, *Plocamium cartilagineum* und *Adenocystis utricularis* mit mittleren Magenfüllwerten zwischen 60 und 70%. Die höchste mittlere Magenfüllung fand sich bei *Monostroma hariotii* mit über 90%.

Die Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung der Tiere aus den verschiedenen Algen-Netzproben sind in Abb.3.7a-i aufgetragen. Die Anteile der Einzelkomponenten sind als mit dem Magenfüllwert korrigierte Anteile dargestellt. Damit werden die realen Verhältnisse der einzelnen Komponenten zueinander wiedergegeben. In den Fällen, in denen eine Bestimmung der Algen auf Artniveau möglich war, sind deren Anteile in den Balken der Großgruppen (Grünalgen, Rotalgen und Braunalgen) durch Schraffur gekennzeichnet.

In fast allen Proben hatten die Makroalgen die höchsten Anteile an der Nahrung. Eine Ausnahme bildeten die Tiere aus der Probe "Gig A", in denen bei einem niedrigen mittleren Magenfüllwert die Makroalgen (nur Rotalgen) den geringsten Anteil hatten. Die Nahrung der Tiere aus dieser Probe bestand zum größten Teil aus tierischem Material.

Besonders hohe Anteile an Makroalgen an der Nahrung fanden sich in den Proben "Mono A", "Iri A&B", "Georg B", "Adeno A" und "Danc A". Die Anteile der Algenarten, von denen diese Proben stammten, sind besonders hoch. Das bedeutet, daß die Tiere an den Algenarten fressen, auf denen sie vorkommen. Andere Nahrungskomponenten, wie z.B. Diatomeen und tierische Substanz, spielten in diesen Proben nur eine untergeordnete Rolle.

Ein ausgewogeneres Verhältnis der einzelnen Nahrungskomponenten lag in den restlichen Proben "Ploc A", "Phae A" und "Dmen A" vor. Bei den beiden ersten Proben waren die Anteile der tierischen Nahrung relativ hoch, während bei der letzten Probe der Diatomeenanteil sehr hoch war. Es handelte sich dabei fast ausschließlich um eine *Licmophora*-Art.

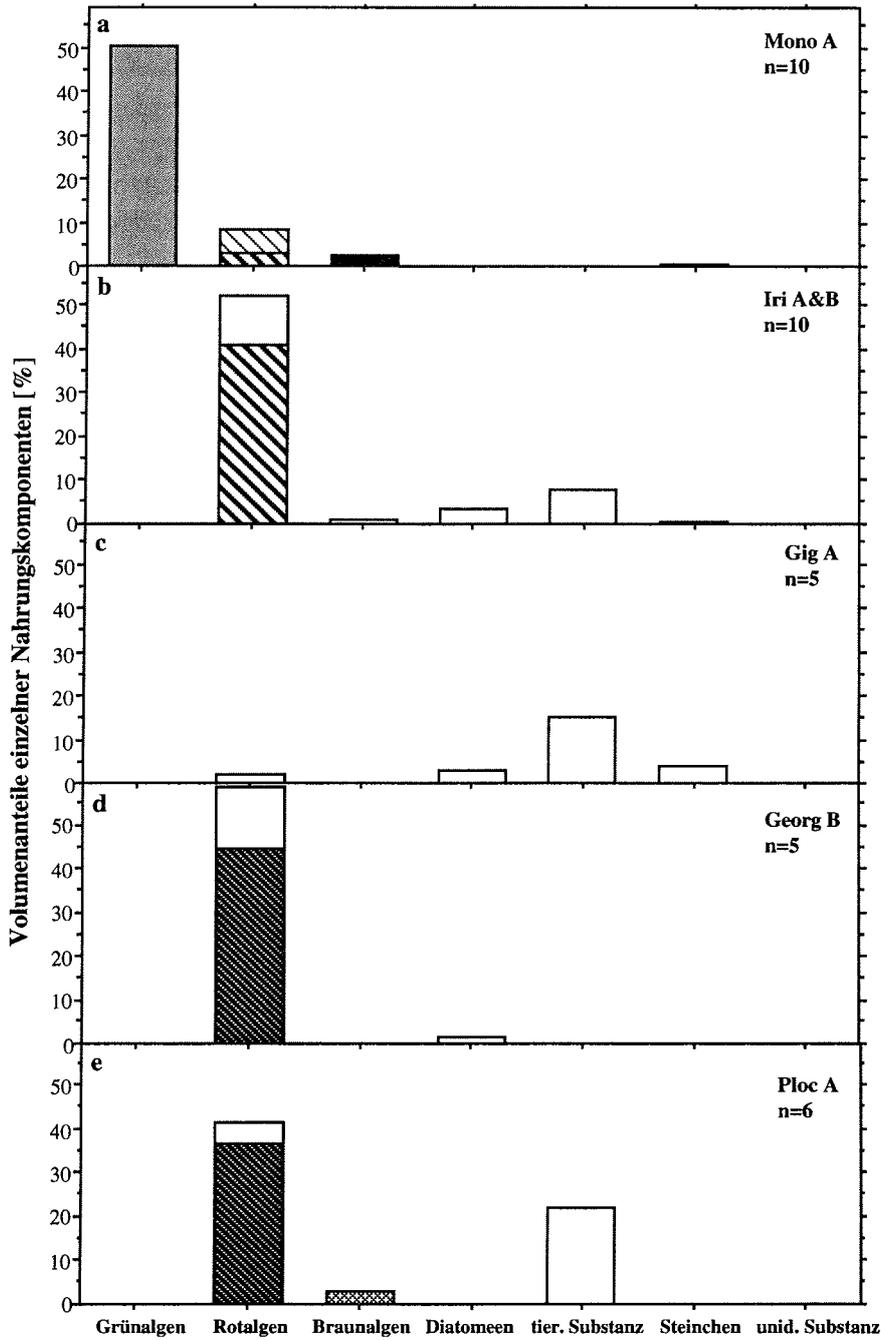


Abb. 3.7a-i. Legende auf Seite 44.

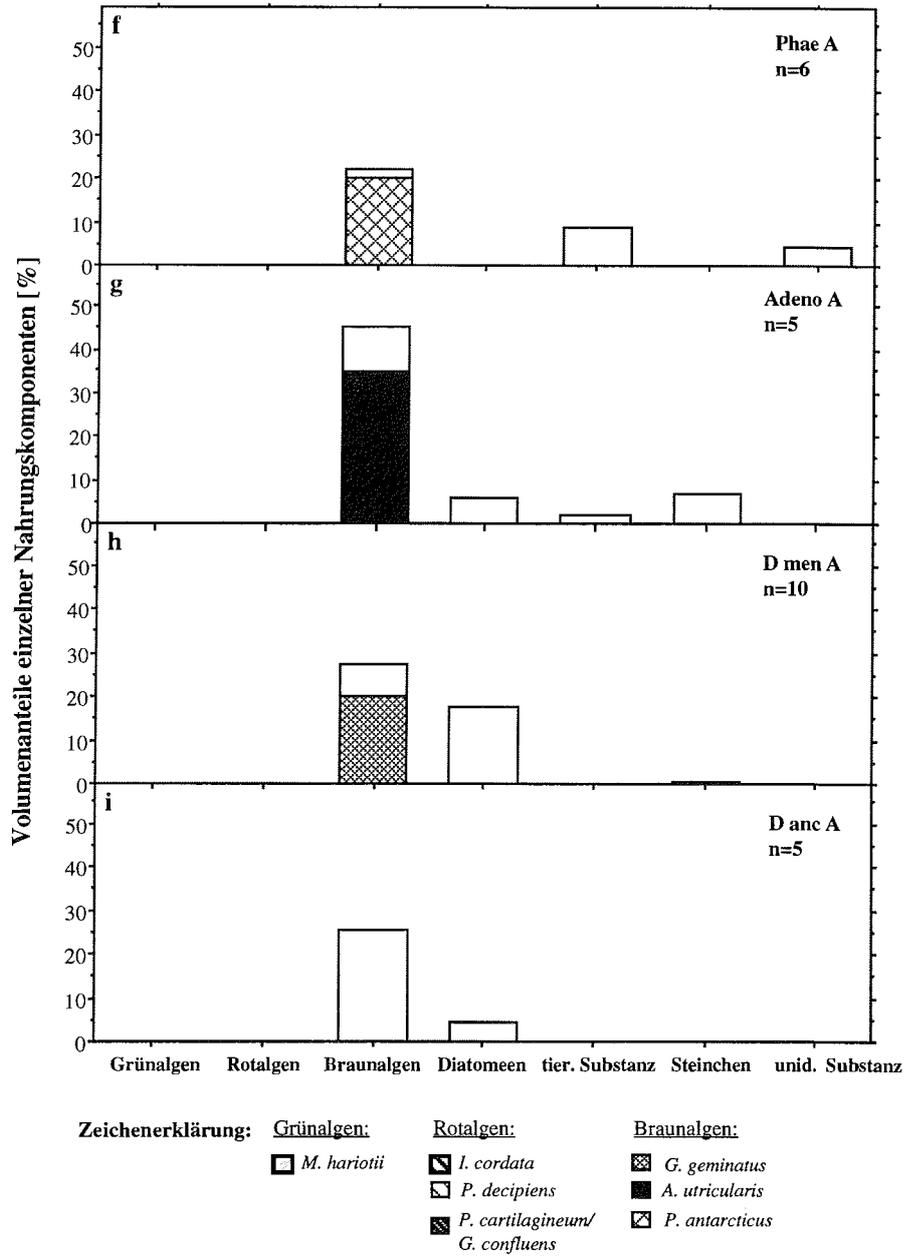


Abb.3.7a-i: Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung bei *G. antarctica* aus verschiedenen Algen-Netzproben. Einzelne, identifizierbare Makroalgenarten sind durch Schraffur gekennzeichnet (s. Zeichenerklärung)

Zur Ergänzung dieser Daten aus den Algen-Netzproben wurden Magenanalysen an Tieren aus dem Freiwasser durchgeführt. Bei 50 untersuchten Individuen wurde ein mittlerer Magenfüllwert von 56% festgestellt. In Tab.3.9 sind die Häufigkeiten der einzelnen Füllwerte in der Gesamtprobe dargestellt. Es lassen sich keine Tendenzen in der Magenfüllwerten erkennen, es waren alle Füllungsstadien vorhanden.

Tab.3.9: Absolute Häufigkeiten der auftretenden Magenfüllwerte nach der Achtel-Skala bei *G. antarctica* aus dem Freiwasser (n=50)

Magenfüllung	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
Anzahl der Tiere	6	4	5	2	6	7	6	3	11

Die Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Nahrung sind in Abb.3.8 dargestellt. Die einzelnen Nahrungskomponenten wurden wiederum mit den jeweiligen Magenfüllwerten korrigiert. Insgesamt waren demnach 42,2% der Nahrung Makroalgen, der Anteil anderer Nahrungskomponenten betrug 16,8%. Die restlichen 41% des Magenvolumens waren nicht mit Nahrung gefüllt.

Soweit es anhand von erhaltenen Zellstrukturen möglich war, wurden die Makroalgenanteile weiter bestimmt, innerhalb der Großgruppen z.T. bis auf die Art. Diese Anteile sind in Abb. 3.8 als schraffierte Teile der einzelnen Balken gekennzeichnet. Bei den Rotalgen wurde der Hauptanteil durch *Iridaea cordata* gestellt, außerdem ließen sich *Palmaria decipiens* und *Plocamium cartilagineum* / *Georgiella confluens* differenzieren. Im letzten Fall konnte zwischen diesen beiden Arten nicht unterschieden werden, daher wurden sie zusammengefaßt. Bei den Braunalgen ließen sich *Geminocarpus geminatus* und *Adenocystis utricularis* unterscheiden. Der restliche Anteil an Braunalgen wurde hauptsächlich durch *Desmarestia spec.* eingenommen, wobei die Arten nicht bestimmt werden konnten. Der Gesamtteil der Grünalgen bestand ausschließlich aus *Monostroma hariotii*.

Bei den Diatomeen handelte es sich vorwiegend um *Licmophora*-, *Cocconeis*- und *Nitzschia*-Arten.

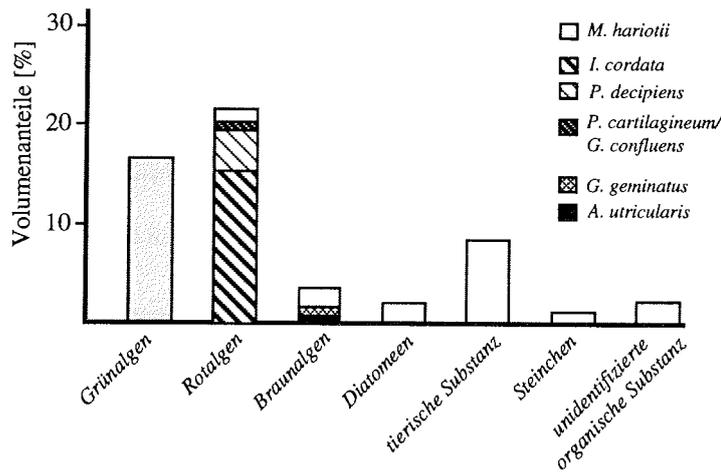


Abb.3.8: Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung bei *G. antarctica* aus Freiwasserfängen (n=50). Einzelne, identifizierbare Makroalgenarten sind durch Schraffur gekennzeichnet (s. Legende)

3.2.3.5 *Bovallia gigantea*

An 22 Individuen der Amphipodenart *B. gigantea* aus 7 verschiedenen Algen-Netzproben wurden Magenanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tab.3.10 dargestellt.

Tab.3.10: Prozentuale Volumenanteile einzelner Nahrungskomponenten am Gesamtvolumen bei *B. gigantea* (n = Stichprobenumfang)

	Probe	n	pflanzl. Nahrungskomponenten	tierische Nahrungskomponenten
Rot-algen	Iri A	1		Amphipoden, Polychaeten (100%)
	Cur A	4	Diatomeen (vereinzelt)	Amphipoden, Polychaeten (100%)
	Georg B	1		Amphipoden (100%)
	Ploc B	1	<i>P. decipiens</i> (vereinzelt) ?	Amphipoden, Gastropoden (100%)
Braun-algen	Asco A	1	<i>Geminocarpus geminatus</i> (10%) Diatomeen (10%)?	Gastropoden (80%)
	D men A&B	9	<i>Geminocarpus geminatus</i> , <i>Desmarestia menziesii</i> (25%) Diatomeen (25%)	Amphipoden (50%)
	D anc A	5	<i>Desmarestia anceps</i> (30%)	Amphipoden, Polychaeten (70%)

Die prozentualen Anteile pflanzlicher Nahrungskomponenten waren im Vergleich zu denen tierischer Nahrung sehr gering. Die Algenanteile, die in den Proben "Ploc B" und "Asco A" gefunden wurden, sind mit einem Fragezeichen versehen, da bei diesen Partikeln nicht deutlich erkennbar war, ob es sich tatsächlich um Mageninhalte von *B. gigantea* handelte oder ob es Mageninhalte der gefressenen Tiere waren. Die Algen- und Diatomeenreste waren stark mit dem tierischen Gewebe der Beutetiere vermischt, so daß es sich auch um deren Nahrung handeln könnte.

Einen wirklich deutlichen Anteil von Makroalgen an der Gesamtnahrung gab es nur in den beiden Desmarestia-Proben. Die starke lokale Trennung von Pflanzen- und Tiermaterial in den Verdauungstrakten der Amphipoden aus diesen Proben ließ den Schluß zu, daß diese Partikel originär von *B. gigantea* gefressen wurden. Der prozentuale Anteil der Makroalgen an der Gesamtnahrung war jedoch auch in diesen Proben mit 25 bzw. 30% nicht sehr hoch.

3.2.3.6 *Plakarthrium punctatissimum*

An der Isopodenart *P. punctatissimum* wurden vorwiegend qualitative Nahrungsanalysen durchgeführt. Außerdem wurde die Präsenz der einzelnen Nahrungskomponenten bestimmt, d.h. die prozentuale Häufigkeit ihres Vorkommens in den untersuchten Individuen, um einen Hinweis auf die Wichtigkeit der einzelnen Komponenten zu bekommen.

Die Ergebnisse der Analysen an den insgesamt 38 Individuen aus 5 Algen-Netzproben sind in Tab.3.11 zusammengefaßt.

Tab.3.11: Nahrungsanalyse an *P. punctatissimum*; angegeben sind die verschiedenen Nahrungskomponenten und deren Präsenz.

	Probe	n	Nahrungskomponenten	Präsenz (%)
Rot-algen	Iri B&C	9	Diatomeen (vorw. <i>Licmophora</i>)	77,7%
	Gig A	9	<i>Curdiea racovitzae</i> Diatomeen (vorw. <i>Licmophora</i> , <i>Coconeis</i>)	55,5% 66,6%
Braun-algen	Asco A&B	12	<i>Ascoseira mirabilis</i>	91,6%
			Diatomeen	66,6%
	D men A	2	Diatomeen	50,0%
	Him C	6	Diatomeen (vorw. <i>Licmophora</i> , <i>Coconeis</i> , <i>Fragilaria</i>)	83,3%
Steinchen			50,0%	

Makroalgen kamen nur in den Mägen von Individuen aus den Proben "Gig A" und "Asco A&B" vor. Im ersten Fall handelte es sich dabei um *Curdiea racovitzae* und nicht um *Gigartina skottsbergii*, aus der die Probe bestand. Die Rotalge *C. racovitzae* kam in 5 von 9 Mägen vor und hatte eine ähnlich hohe Präsenz wie die zweite Nahrungskomponente, die Diatomeen.

Eine noch weit höhere Präsenz in den untersuchten Mägen hatte *Ascoseira mirabilis* mit 91,6%. Die Braunalge kam in den untersuchten Individuen dieser Probe deutlich häufiger vor als Diatomeen. Die Tiere aus dieser Probe hatten eine auffallend dunkle Braunfärbung, was ebenfalls auf einen hohen Anteil von Braunalgen, in diesem Fall *A. mirabilis*, hindeutet.

In den anderen Proben wurden keine Makroalgenreste gefunden. Die Nahrung dieser Tiere bestand im wesentlichen aus Diatomeen.

3.2.3.7 *Odontaster validus*

Von der Asteroidenart *O. validus* standen 19 Tiere aus verschiedenen Tiefen des Sublitorals am Peñon de Pesca zur Verfügung. Die Biomassen und Größen der Tiere in den verschiedenen Tiefen sind in Tab.3.12 angegeben.

Tab.3.12: Mittlere Größe und Biomasse (g FG) der untersuchten Individuen von *O. validus* in verschiedenen Sammelstiefen.

Bez.	Tiefe	Datum	Größe [cm]	Biomasse [g]
1	15m	13.1.1994	3,027	16,024
2	15-20m	8.1.1994	4,092	28,228
3	15-20m	8.1.1994	2,904	12,484
4	15-20m	8.1.1994	2,859	9,394
5	15-20m	8.1.1994	1,709	2,500
6	15-20m	8.1.1994	1,110	0,666
7	20m	12.1.1994	4,183	31,930
8	20m	12.1.1994	3,289	19,227
9	20m	12.1.1994	3,557	17,930
10	20m	12.1.1994	3,449	17,633
11	20m	12.1.1994	3,222	15,475
12	20m	12.1.1994	3,211	13,500
13	20m	12.1.1994	2,512	7,535
14	20m	12.1.1994	2,359	6,178
15	25m	11.1.1994	4,366	29,292
16	25m	11.1.1994	2,582	8,488
17	25m	12.1.1994	2,673	7,884
18	25m	12.1.1994	2,133	4,471
19	30m	11.1.1994	4,025	21,206

Tab.3.13 zeigt die Ergebnisse der Mageninhaltsanalyse für alle 19 Tiere. Der schlechte Fixierungszustand der Tiere ließ nur eine semiquantitative Bewertung der Bedeutung einzelner Nahrungskomponenten zu.

Tab.3.13: Mageninhalte von *O. validus*, dargestellt für die einzelnen Individuen (Bez.lt.Tab.3.11). Die Menge der einzelnen Nahrungskomponenten ist durch eine Skaleneinteilung repräsentiert. Die Skala für die Nahrungskomponenten ist: +++ = sehr häufig; ++ = häufig; + = regelmäßig; o = vereinzelt; - = in Spuren

Tier Nr.	Nahrungskomponenten	Skala
1	keine	
2	keine	
3	keine	
4	keine	
5	keine	
6	keine	
7	Sedimentkörnchen Diatomeen	+ +
8	Sedimentkörnchen Diatomeen	+++ o
9	Sedimentkörnchen Diatomeen Polychaetenborsten Eier (?) Makroalgenreste (?)	++ ++ + + -
10	Sedimentkörnchen Diatomeen Polychaetenborsten Eier (?) Makroalgenreste (?)	++ ++ ++ + -
11	Sedimentkörnchen	o
12	Diatomeen Sedimentkörnchen Amphipodenreste Makroalgenreste (?)	+++ + - -
13	keine	
14	Diatomeen Sedimentkörnchen	+ o
15	Sedimentkörnchen Detritus Diatomeen	+++ +++ o
16	Sedimentkörnchen Diatomeen Copepoden	++ + o
17	Sedimentkörnchen tierische Substanz (unidentifiziert) Diatomeen	++ + +
18	Sedimentkörnchen Detritus Diatomeen	+++ +++ ++
19	keine	

Der Anteil an leeren Mägen an der Gesamtprobe war sehr hoch (42,1%). Den Hauptanteil am Mageninhalt nahmen Sedimentkörner und Diatomeen ein. Bei den Diatomeen handelte es sich fast ausschließlich um eine *Gyrosigma*-Art, die bodenlebend im Flachwasser vorkommt. Sediment und Diatomeen wurden offensichtlich meist zusammen aufgenommen.

Ansonsten wurden in den Seesternmägen noch Reste tierischer Nahrung gefunden, meist von Polychaeten, Amphipoden und auch Copepoden. In zwei Proben (9 und 10) wurden auch Komponenten gefunden, bei denen es sich wahrscheinlich um Eier handelte, was aber nicht eindeutig bestimmt werden konnte.

In drei Proben (9,10 und 12) wurden auch Spuren von Makroalgen gefunden, jedoch in so geringen Mengen, daß ihre Identifizierung als Makroalgen nicht sicher ist.

3.2.3.8 *Notothenia neglecta*

Von dem Fisch *N. neglecta* wurden zwischen dem 18.11.93 und dem 6.2.94 176 Individuen gefangen, und es wurde die Nahrungszusammensetzung untersucht.

Zuerst wurden mehrere Grundlagenuntersuchungen an den Fischen durchgeführt. Dies war einmal eine Längen-Gewichts-Beziehung (Abb.3.9) der untersuchten Tiere, wobei das Fischgewicht als Nettogewicht ausgedrückt wurde, d.i. das Gesamtfischgewicht ohne Mageninhalt. Fischgewicht und Fischlänge sind stark miteinander korreliert ($r^2=0,968$ in einer natürlichen Logarithmus-Auftragung beider Parameter), eignen sich also gleichermaßen als Bezugsgrößen für weitergehende Untersuchungen.

In Abb.3.10 ist die Größen-Häufigkeitsverteilung der untersuchten Fische dargestellt. Die untersuchten Individuen hatten eine Länge von 16,0 bis 44,8 cm, die Häufigkeitsverteilung der Längen weist eine leicht linksschiefe Verteilung auf. Das bedeutet, es wurden etwas weniger Fische geringerer Größe (Jungtiere) und mehr größere Individuen (Adulte) gefangen und untersucht.

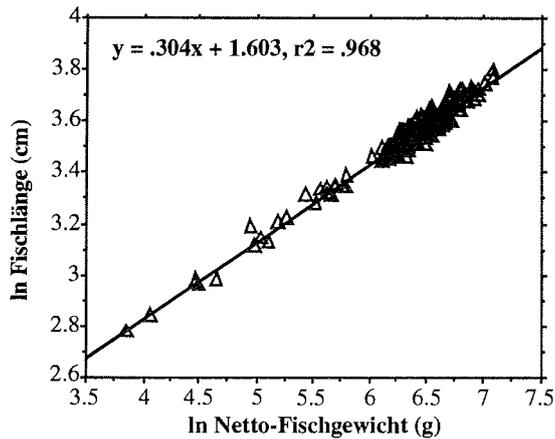


Abb.3.9: Längen-Gewichts-Beziehung der untersuchten Individuen von *N. neglecta*. Beide Parameter sind als natürlicher Logarithmus dargestellt, das Fischgewicht ist das Nettogewicht, d.h. ohne Mageninhalt.

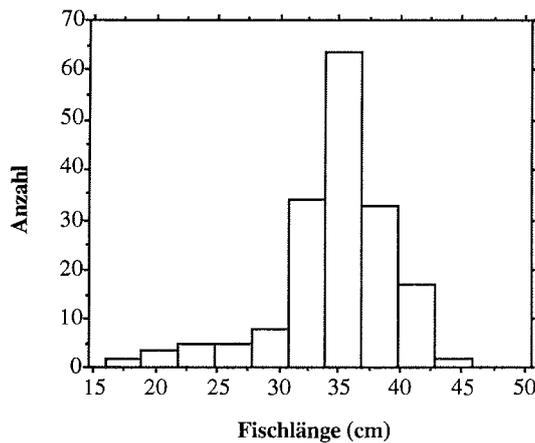


Abb.3.10: Größen-Häufigkeitsverteilung der untersuchten Individuen von *N. neglecta*.

Bei den Nahrungsuntersuchungen an den Fischen wurden zuerst tierische und pflanzliche Nahrungskomponenten in den einzelnen Mägen unterschieden. Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg gemittelt betrug der Algenanteil an den Mageninhalten 38,5% gegenüber 61,5% tierischem Nahrungsanteil. Algen wurden in 85,8% der Fischmägen gefunden. 25 der untersuchten Mägen enthielten keine Algen als Nahrungskomponenten, davon waren fünf auch ohne tierische Nahrung, d.h. ganz leer. Zehn der untersuchten Fischmägen beinhalteten nur Algen- und kein Tiermaterial. In Abb.3.11 ist der prozentuale Algenanteil an der Gesamtnahrung in den Mägen

dargestellt. Dabei wurden nur die Fischmägen einbezogen, die einen Algenanteil größer Null hatten.

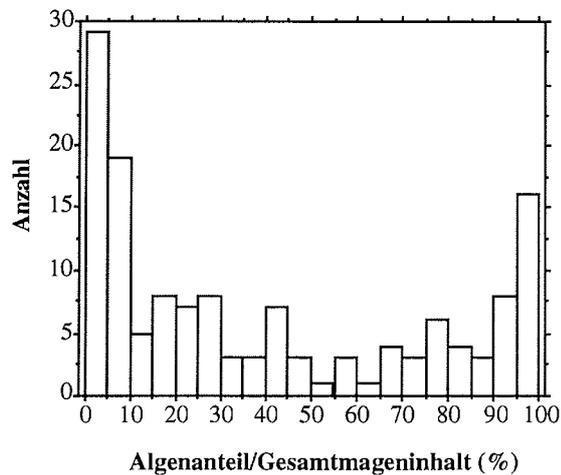


Abb.3.11: Prozentualer Anteil von Makroalgen an der Gesamtnahrung in den Mägen, in denen der Algenanteil am Mageninhalt größer Null war.

Die fehlende Korrelation zwischen der Fischlänge und dem Algenanteil in den Mägen zeigt (Abb.3.12), daß diese beiden Größen unabhängig voneinander sind (Korrelationskoeffizient $r^2=0,008$). Es existiert keine Größenabhängigkeit in der Nahrungsauswahl, d.h. sowohl kleine (Jungtiere) als auch große Fische (Adulte) fressen an Algen.

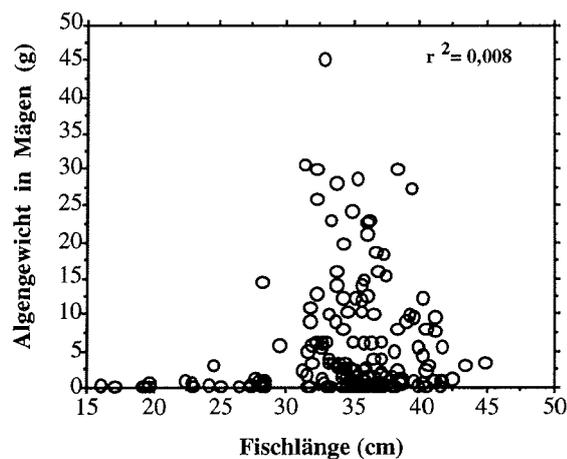


Abb.3.12: Korrelation zwischen der Fischlänge und dem Algenanteil an der Nahrung.

In den untersuchten Fischmägen wurden 18 verschiedene Algenarten gefunden (2 Grünalgen, 10 Rotalgen und 6 Braunalgen). Die Präsenz der einzelnen Algenarten in den untersuchten Fischmägen und die prozentualen Anteile der einzelnen Arten am gesamten Algenanteil sind in Tab.3.14 dargestellt.

Tab.3.14: Präsenz einzelner Algenarten in den untersuchten Fischmägen und prozentualer Anteil der Arten an dem Gesamtalgenanteil an der Nahrung.

Algenart	Präsenz (%)	Anteil am Gesamtalgenanteil (%)
<i>Palmaria decipiens</i>	60.23	28.344
<i>Desmarestia menziesii</i>	61.93	22.389
<i>Monostroma hariotii</i>	31.82	21.757
unident. pflanzl. Substanz	25.57	10.379
<i>Iridaea cordata</i>	27.84	6.259
<i>Desmarestia antarctica</i>	10.8	4.664
<i>Neuroglossum ligulatum</i>	8.52	2.622
<i>Plocamium cartilagineum</i>	6.25	1.147
<i>Desmarestia anceps</i>	3.98	1.126
<i>Porphyra endivifolium</i>	3.98	0.512
<i>Adenocystis utricularis</i>	6.25	0.224
<i>Georgiella confluens</i>	1.14	0.209
<i>Gigartina skottsbergii</i>	2.27	0.124
<i>Ascoseira mirabilis</i>	1.71	0.122
<i>Phaeurus antarcticus</i>	3.34	0.096
<i>Curdiea racovitzae</i>	0.57	0.018
<i>Pantoneura plocamioides</i>	0.57	0.007
<i>Urospora penicilliformis</i>	0.57	0.004
<i>Gymnogongrus antarcticus</i>	0.57	0.001

Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg gemittelt, machte *Palmaria decipiens* mit über 28% den größten Anteil der Makroalgen in den Fischmägen aus und hatte gleichzeitig eine hohe Präsenz (60,2%). Weiterhin hohe Anteile an der Algennahrung bildeten die Arten *Desmarestia menziesii* (22,4%) und *Monostroma hariotii* (21,8%). *M. hariotii* hatte bei einem ca. gleich hohen Anteil an der Algennahrung eine viel geringere Präsenz (31,8%) als *D. menziesii* (61,9%) in den Mägen. *M. hariotii* wurde also weniger häufig, dann dafür aber in großer Menge gefressen.

Weitere wichtige Nahrungskomponenten waren außerdem *Iridaea cordata*, *Desmarestia antarctica*, *Neuroglossum ligulatum*, *Plocamium cartilagineum* und *Desmarestia anceps*. Bei der Nahrungskomponente "unidentifizierte pflanzliche Substanz" konnten die einzelnen Arten wegen des fortgeschrittenen Verdauungsprozesses nicht mehr eindeutig bestimmt werden.

Die Anteile der verschiedenen Nahrungskomponenten in den Mägen, d.h. sowohl die Anteile von pflanzlicher und tierischer Nahrung als auch die Anteile der einzelnen Algenarten an der Algennahrung, sind in Abb.3.13 für die 4 Sammelmonate getrennt dargestellt.

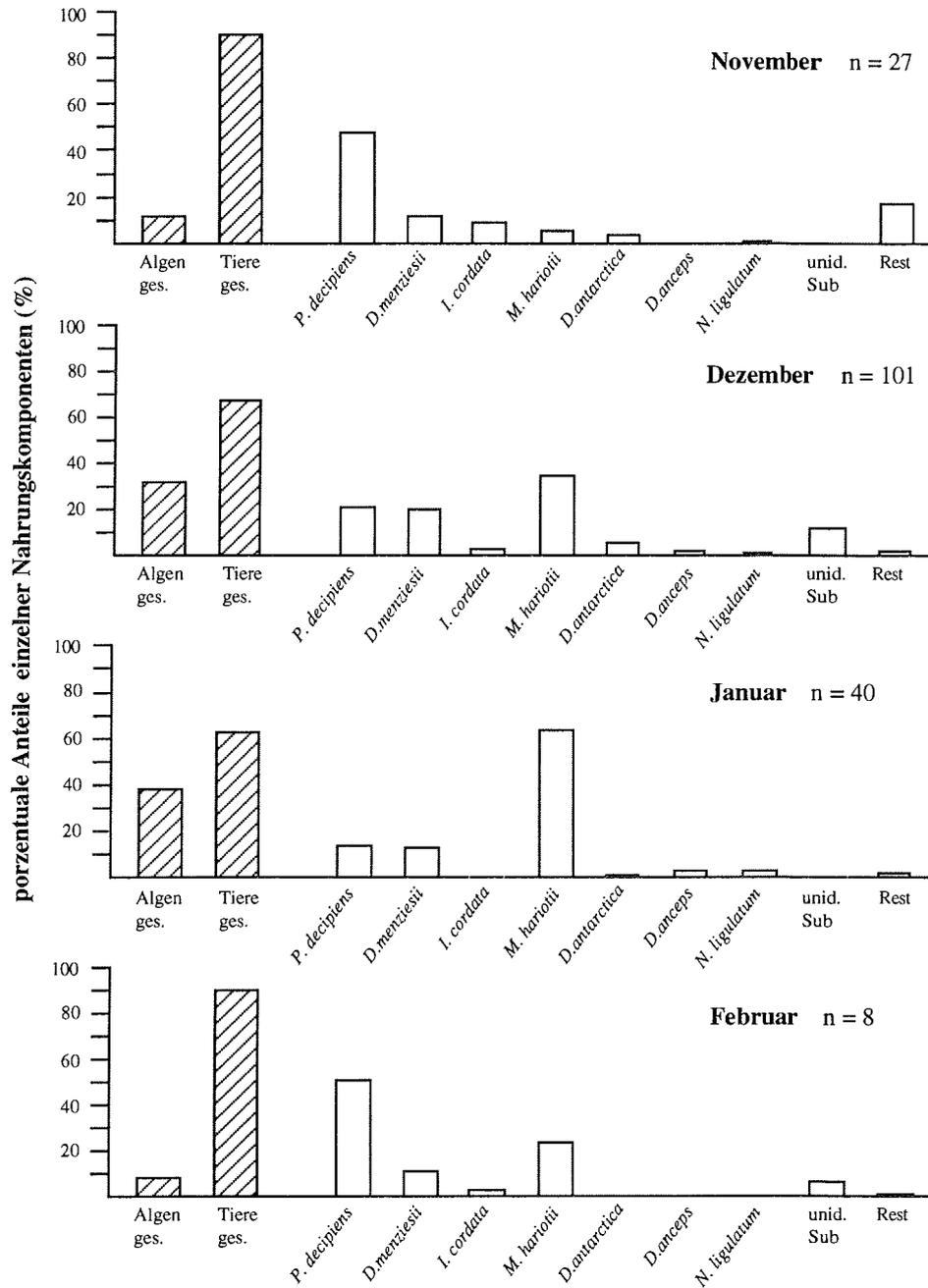


Abb.3.13: Anteile von Algen- und Tiernahrung bei *N. neglecta* in vier verschiedenen Monaten (gestreifte Balken). Die weißen Balken repräsentieren die prozentualen Anteile einzelner Algenarten an dem Gesamtalgenanteil der Nahrung.

Der Algenanteil an der Gesamtnahrung nahm von November (10,2%) bis Januar (37,4%) zu, der Anteil im Februar war wieder deutlich geringer (8,9%). Im Monat Februar war die Stichprobenanzahl mit nur 8 Individuen jedoch deutlich geringer als in den anderen Monaten.

Die Hauptanteile der Algennahrung bildeten die beiden Arten *Palmaria decipiens* und *Monostroma hariotii*. In allen Untersuchungsmonaten stellten sie zusammen über 50% des Algenanteils am Mageninhalt dar, im Januar und Februar sogar über 76%. Auffällig ist, daß diese beiden Arten fast im umgekehrten Verhältnis zueinander monatliche Anteile an der Algennahrung ausmachen. Während der Anteil von *P. decipiens* vom November zum Januar hin stark abnahm, nahm der Anteil von *M. hariotii* in diesem Zeitraum stark zu. Im Februar war der Anteil von *P. decipiens* wieder deutlich höher als der von *M. hariotii*. Bei den Anteilen anderer Makroalgenarten waren zwar monatliche Schwankungen, aber keine so deutlichen Tendenzen festzustellen.

Im November war der Anteil "Rest" am Algenanteil mit über 17% auffällig hoch gegenüber den anderen Monaten (<2%). Diesen Rest machten im November hauptsächlich die beiden Rotalgenarten *Plocamium cartilagineum* (11,04%) und *Georgiella confluens* (4,71%) aus.

Der Vergleich zwischen der Algenutzung durch die Fische und der Algenverfügbarkeit im Benthos wurde anhand des "Linear Food Selection Index" nach STRAUSS (1979) durchgeführt.

Für die Benthos-Vergleichsdaten wurden für jeden Transekt die prozentualen Anteile der einzelnen Algenarten an der Gesamtprobe bestimmt und miteinander verglichen (Tab. 3.15). Es fällt auf, daß die relativen Anteile mancher Arten zwischen den verschiedenen Transekten stark schwankten. Diese Schwankungen hängen vorwiegend mit der stark fleckenhaften Verteilung der Algenarten zusammen, die in Verbindung mit der Art der Probennahme (pro Tiefenstufe 3 Parallelproben von 0,25 m²) zu hoher Variabilität der Daten führte.

Drei Werte sind mit einem Stern markiert (*D. anceps*, *D. menziesii* und *H. grandifolius*), da es sich hierbei eindeutig um Sammelfehler handelt. Alle drei Arten sind sehr große und schwere Braunalgen, die eine ausgeprägte Tiefenzonierung besitzen. In ihren Hauptverbreitungstiefen haben sie die höchste Biomasse aller Arten. In den markierten (*) Transekten sind diese Großtange offensichtlich nicht quantitativ mitgesammelt worden, wodurch sich die vergleichsweise niedrigen Anteile an der Gesamtbiomasse ergeben.

Tab.3.15: Relative Anteile einzelner Algenarten an der Gesamtbiomasse in vier Transekten.
*: Sterne markieren Daten mit Probennahmefehlern

Algenart	Transekt 26.12.1993	Transekt 9.1.1994	Transekt 24.1.1994	Transekt 3.2.1994
<i>Desmarestia anceps</i>	0,356	0,000 (*)	0,468	0,706
<i>Desmarestia menziesii</i>	0,069	0,191	0,200	0,000 (*)
<i>Desmarestia antarctica</i>	0,004	0,002	0,201	0,063
<i>Ascoseira mirabilis</i>	0,006	0,003	0,005	0,000
<i>Phaeurus antarcticus</i>	0,000	0,002	0,001	0,000
<i>Himantothallus grandifolius</i>	0,446	0,710	0,030 (*)	0,170
<i>Gigartina skottsbergii</i>	0,014	0,001	0,030	0,020
<i>Iridaea cordata</i>	0,005	0,001	0,001	0,001
<i>Palmaria decipiens</i>	0,010	0,000	0,052	0,000
<i>Ballia callitricha</i>	0,000	0,009	0,001	0,000
<i>Curdiea racovitzae</i>	0,001	0,008	0,002	0,000
<i>Georgiella confluens</i>	0,027	0,000	0,000	0,000
<i>Plocamium cartilagineum</i>	0,054	0,016	0,006	0,039
<i>Neuroglossum ligulatum</i>	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Gymnogongrus antarcticus</i>	0,000	0,000	0,001	0,000
<i>Kallymenia antarctica</i>	0,004	0,043	0,000	0,000
<i>Myriogramme smithii</i>	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hymenocladopsis crustigena</i>	0,003	0,005	0,000	0,000
<i>Phyllophora ahnfeltioides</i>	0,000	0,001	0,000	0,000
<i>Sarcodia montagneana</i>	0,000	0,007	0,000	0,000

Daraufhin wurden alle Transekte zusammengefaßt, da die beobachteten Unterschiede offensichtlich auf räumliche Variabilität und Probennahmefehler zurückzuführen sind. Die Daten der markierten Braunalgen wurden ganz weggelassen, da es sich eindeutig um Sammelfehler handelte, und die restlichen Daten für die betroffenen Algen wurden nur über drei statt vier Transekte gemittelt. Die relativen Anteile der einzelnen Algenarten an der Gesamtbiomasse aller Transekte sind in Tab.3.16 dargestellt.

Tab.3.16: Relative Anteile einzelner Algenarten an der Gesamtbiomasse, gemittelt über alle Transekte.

Algenart	g FG·m ⁻²	rel. Anteil
<i>Desmarestia anceps</i>	4833,57	0,504
<i>Desmarestia menziesii</i>	836,2	0,087
<i>Desmarestia antarctica</i>	543,21	0,057
<i>Ascoseira mirabilis</i>	27,26	0,003
<i>Phaeurus antarcticus</i>	3,32	0,000
<i>Himantothallus grandifolius</i>	2661,82	0,278
<i>Gigartina skottsbergii</i>	144,06	0,015
<i>Iridaea cordata</i>	17,81	0,002
<i>Palmaria decipiens</i>	119,89	0,013
<i>Ballia callitricha</i>	7,37	0,001
<i>Cordia racovitzae</i>	12,56	0,001
<i>Georgiella confluens</i>	69,38	0,007
<i>Plocamium cartilagineum</i>	260,11	0,027
<i>Neuroglossum ligulatum</i>	0,43	0,000
<i>Gymnogongrus antarcticus</i>	2,35	0,000
<i>Kallymenia antarctica</i>	34,37	0,004
<i>Myriogramme smithii</i>	1,53	0,000
<i>Hymenocladopsis crustigena</i>	9,73	0,001
<i>Phyllophora ahnfeltioides</i>	0,37	0,000
<i>Sarcodia montagneana</i>	4,61	0,000

Zur Berechnung des Index L wurden die in Tab.3.16 angegebenen relativen Anteile der Algenarten im Benthos von den relativen Anteilen der selben Algenarten in den einzelnen Fischen (Tab.3.14) subtrahiert. Es konnten nicht alle Algenarten aus den Mägen berücksichtigt werden, da einige Arten zwar in den Fischmägen vorkamen, aber nicht in den Benthosproben. Das waren die Arten *Monostroma hariotii*, *Adenocystis utricularis*, *Porphyra endivifolium*, *Pantoneura plocamioides* und *Urospora penicilliformis*. Abgesehen von *P. plocamioides* sind dies alles Arten, die ihr Hauptverbreitungsgebiet im oberen Sublitoral zwischen 0 und 5 m haben. Die Transekte wurden aber erst ab 5 m gesammelt, so daß diese Algenarten nicht mit erfaßt wurden. Bis auf *M. hariotii* haben die aussortierten Arten jedoch nur sehr geringe Anteile an der Fischnahrung (vgl. Tab.3.14).

Die mittleren Indexwerte für jede Algenart, gemittelt aus den Einzelwerten der 146 untersuchten Fische, wurden nach zunehmender Größe geordnet. Positive L-Werte drücken eine Präferenz der Fische für die Algenart und negative L-Werte eine Vermeidung aus. Die mittleren Werte für L der verschiedenen Algenarten sind in Tab.3.17 aufgeführt. Zur anschaulicheren Darstellung der Präferenzverhältnisse für die einzelnen Algenarten sind die mittleren Werte für L noch einmal in Abb.3.14 graphisch aufgetragen.

Tab.3.17: Mittlere Werte für L (Linear Food Selection Index) der untersuchten Makroalgenarten. Positive Werte bedeuten eine hohe Präferenz, negative Werte eine niedrige Präferenz für die jeweilige Algenart durch *N. neglecta*.

Algenart	mittleres L	Stabw.
<i>Palmaria decipiens</i>	0,402	0,384
<i>Desmarestia menziesii</i>	0,235	0,386
<i>Iridaea cordata</i>	0,105	0,234
<i>Neuroglossum ligulatum</i>	0,039	0,164
<i>Phaeurus antarcticus</i>	0,002	0,014
<i>Desmarestia antarctica</i>	0,001	0,204
<i>Gymnogongrus antarcticus</i>	<0,001	<0,001
<i>Myriogramme smithii</i>	0,000	0,000
<i>Phyllophora ahnfeltioides</i>	0,000	0,000
<i>Curdiea racovitzae</i>	-0,001	0,003
<i>Ballia callitricha</i>	-0,001	0,000
<i>Hymenocladopsis crustigena</i>	-0,001	0,000
<i>Sarcodia montagneana</i>	-0,001	0,000
<i>Ascoseira mirabilis</i>	-0,002	0,010
<i>Georgiella confluens</i>	-0,004	0,041
<i>Kallymenia antarctica</i>	-0,004	0,000
<i>Gigartina skottsbergii</i>	-0,012	0,019
<i>Plocamium cartilagineum</i>	-0,014	0,073
<i>Himantothallus grandifolius</i>	-0,278	0,000
<i>Desmarestia anceps</i>	-0,486	0,113

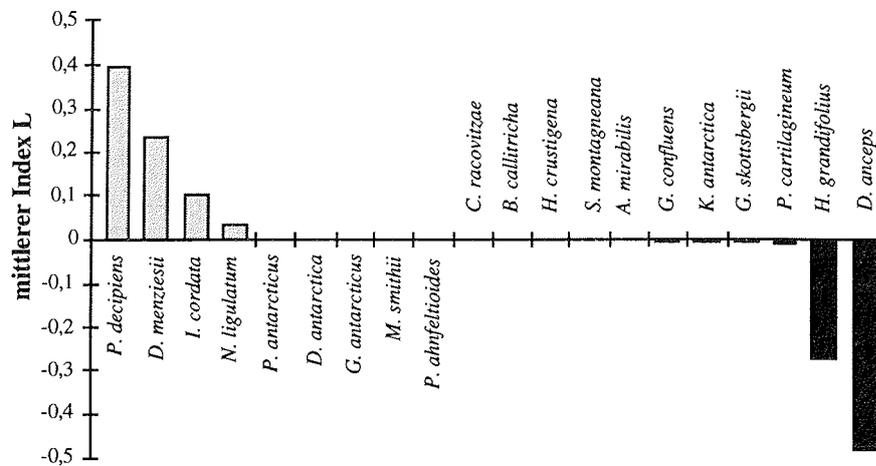


Abb.3.14: Präferenz bzw. Vermeidung einzelner Algenarten durch *N. neglecta*, ausgedrückt durch den positiven bzw. negativen mittleren Index L.

Vor allem die graphische Darstellung macht deutlich, daß nur einige wenige Algenarten von den Fischen stark bevorzugt oder vermieden werden. Für den Großteil der untersuchten Arten ergaben sich zwar positive oder negative Indexwerte (s. Tab.3.17), allerdings waren diese Werte sehr gering. Ob sich die Präferenz für die einzelnen Algen signifikant unterschied, wurde mit einer ANOVA (Tab.3.18) getestet.

Zu den errechneten Index-Mittelwerten und deren Standardabweichung (Tab.3.17) ist anzumerken, daß einige der Algenarten, die in den Transekten vorkamen, in den untersuchten Fischmägen nicht gefunden wurden. Diese Algenarten waren *Phyllophora ahnfeltioides*, *Myriogramme smithii*, *Sarcodia montagneana*, *Ballia callitricha*, *Hymenocladopsis crustigena*, *Kallymenia antarctica* und *Himantothallus grandifolius*. Die ersten 5 genannten Arten hatten in den Transekten einen prozentualen Anteil an der Gesamtbiomasse von $\leq 0,1\%$, ebenso war der Anteil von *K. antarctica* mit knapp 0,4% nicht besonders hoch. *H. grandifolius* war jedoch mit fast 28% eines der wichtigsten Florenelemente. Unabhängig von ihrem Biomasseanteil ergab sich für jede Algenart bei der Berechnung des Index L für alle untersuchten Fische der gleiche Wert, da der Biomasseanteil der jeweiligen Art in den Fischmägen immer Null war. Bei der Bildung der jeweiligen Mittelwerte von L traten bei den erwähnten Algenarten aus diesem Grund keine Standardabweichungen auf (s. Tab.3.17). Um die Nullhypothese, daß die Fische für alle Algenarten die gleiche Präferenz zeigen, mit einer Varianzanalyse (ANOVA) statistisch testen zu können, wurden mit einem künstlichen Rauschen über den L-Werten geringe Varianzen erzeugt (vgl. Kap.3.1.2.8). Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in Tab.3.18. dargestellt.

Tab.3.18: Einfluß der Algenart und der Fische auf den Präferenzindex L (getestet mit einer ANOVA). Unabhängige Variablen sind die Faktoren Alge und Fisch, abhängige Variable ist der Index L. Die Daten für L sind nach Box-Cox transformiert.

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Summe der Abw.-Quad.	mittleres Quadrat	F-Wert	P-Wert
Alge	19	91,989	4,842	323,893	0,0001
Fisch	145	0,030	$2,068 \cdot 10^{-4}$	0,014	1,0000
Rest	2755	41,182	0,015		

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
<i>Palmaria decipiens</i>	146	0,323	0,296
<i>Desmarestia menziesii</i>	146	0,198	0,309
<i>Iridaea cordata</i>	146	0,087	0,187
<i>Desmarestia antarctica</i>	146	-0,010	0,164
<i>Desmarestia anceps</i>	146	-0,621	0,130
<i>Neuroglossum ligulatum</i>	146	0,032	0,129
<i>Plocamium cartilagineum</i>	146	-0,016	0,063
<i>Georgiella confluens</i>	146	-0,004	0,035
<i>Ascoseira mirabilis</i>	146	-0,002	0,010
<i>Phaeurus antarcticus</i>	146	0,002	0,013
<i>Gymnogongrus antarcticus</i>	146	$-6,77 \cdot 10^{-6}$	$2,64 \cdot 10^{-4}$
<i>Curdiea racovitzae</i>	146	-0,001	0,003
<i>Gigartina skottsbergii</i>	146	-0,012	0,018
<i>Himantothallus grandifolius</i>	146	-0,313	$2,85 \cdot 10^{-4}$
<i>Ballia callitricha</i>	146	-0,001	$1,93 \cdot 10^{-4}$
<i>Myriogramme smithii</i>	146	-0,004	$2,05 \cdot 10^{-4}$
<i>Kallymenia antarctica</i>	146	$-1,98 \cdot 10^{-5}$	$1,93 \cdot 10^{-4}$
<i>Hymenocladopsis crustigena</i>	146	-0,001	$1,90 \cdot 10^{-4}$
<i>Phyllophora ahnfeltioides</i>	146	$3,02 \cdot 10^{-6}$	$2,10 \cdot 10^{-4}$
<i>Sarcodia montagneana</i>	146	-0,001	$1,97 \cdot 10^{-4}$

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen einen auf dem 5%-Niveau hochsignifikanten Einfluß der Algenarten auf den Index L ($p=0,0001$). Das bedeutet, daß die Nullhypothese abgelehnt wird: Die verschiedenen Algenarten werden unterschiedlich durch die Fische genutzt. Der Faktor "Fisch" dagegen hat keinen signifikanten Einfluß, d.h. die einzelnen Fische zeigen keine signifikant unterschiedlichen Präferenzen.

In einem Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte nach Games-Howell wurden für die verschiedenen Algenarten die mittleren Indexwerte L (s. Tab.3.18, Mittelwerttabelle) gegeneinander getestet. Damit konnten signifikante Unterschiede in der Präferenz der Fische für jeweils zwei Algenarten bestimmt werden. In Abb.3.15 sind die signifikanten Unterschiede ($p<0,05$) in einer Matrix aufgetragen.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3			*	*	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4				*	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—
5					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6						*	—	—	—	—	—	*	*	—	—	—	—	—	—	—
7							—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—
8								—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—
9									—	—	—	*	*	—	—	—	—	—	—	—
10										—	—	*	*	—	*	—	—	—	—	—
11											—	*	*	*	*	—	*	—	—	*
12												*	*	—	*	—	—	—	—	—
13													*	*	*	*	*	*	*	*
14														*	*	*	*	*	*	*
15															*	*	—	*	—	—
16																*	*	*	*	*
17																	*	—	—	*
18																		*	—	—
19																				*

Abb.3.15: Signifikante Unterschiede (*, $p < 0,05$) in der Präferenz für verschiedene Algenarten durch *N. neglecta*, getestet mit dem Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte nach Games-Howell. Nicht-signifikante Unterschiede ($p > 0,05$) sind mit "—" gekennzeichnet.

Algenarten: 1: *P. decipiens*, 2: *D. menziesii*, 3: *I. cordata*, 4: *D. antarctica*, 5: *D. anceps*, 6: *N. ligulatum*, 7: *P. cartilagineum*, 8: *G. confluens*, 9: *A. mirabilis*, 10: *P. antarcticus*, 11: *G. antarcticus*, 12: *C. racovitzae*, 13: *G. skottsbergii*, 14: *H. grandifolius*, 15: *B. callitricha*, 16: *K. antarctica*, 17: *M. smithii*, 18: *H. crustigena*, 19: *P. ahnfeltioides*, 20: *S. montagneana*

Vor allem bei den Algenarten *Palmaria decipiens*, *Desmarestia menziesii*, *Iridaea cordata*, *Desmarestia anceps* und *Himantothallus grandifolius* unterschieden sich die mittleren Indexwerte L signifikant von fast allen anderen Mittelwerten. Das bedeutet, daß diese Arten von den Fischen unterschiedlich bevorzugt wurden: Bei *P. decipiens*, *D. menziesii* und *I. cordata* handelte es sich um eine signifikant höhere Präferenz, bei *D. anceps* und *H. grandifolius* um eine deutliche Vermeidung. Die Präferenz der Fische für *P. decipiens* ist signifikant höher als die für alle anderen Algenarten, außer der für *D. menziesii*. Die Bevorzugung von *I. cordata* unterscheidet sich signifikant von der aller anderen Algenarten, außer der für *Neuroglossum ligulatum*. Für alle anderen untersuchten Algenarten existierten zueinander sowohl signifikante als auch nicht signifikante Unterschiede in der Präferenz, es lassen sich jedoch keine deutlichen Muster erkennen.

Der Vergleich dieser Ergebnisse mit Abb.3.14 zeigt deutliche Übereinstimmungen mit dem Bild, das sich dort schon angedeutet hatte. *P. decipiens* und *D. menziesii* bilden die Gruppe der am stärksten bevorzugten Arten. *I. cordata* wird deutlich, wenn auch nicht durchweg signifikant, gegenüber anderen Arten bevorzugt. *D. anceps* und *H. grandifolius* sind die Algenarten, die signifikant am stärksten vermieden werden.

Die restlichen 15 Arten werden trotz numerischer Unterschiede im Index L nicht deutlich unterschiedlich bevorzugt.

In Abb.3.17 a & b werden die Ergebnisse der individuellen Magenanalyse und der Nahrungspräferenzanalyse an *N. neglecta* miteinander verglichen. In Abb.3.17a sind alle Algenarten aufgeführt, die in den Fischmägen gefunden wurden. Die prozentualen Anteile der einzelnen Arten an der Gesamt-Algennahrung sind durch die verschiedenen Linienbreiten charakterisiert (s. Legende). Abb.3.17b zeigt die Präferenz von *N. neglecta* für verschiedene Algenarten. Arten ohne signifikante Unterschiede in der Präferenz sind zusammengefaßt.

Der Vergleich beider Abbildungen zeigt, daß ein hoher Anteil einer Algenart an der Fischnahrung auch eine Präferenz der Fische für diese Algenart bedeuten kann. *P. decipiens* und *D. menziesii*, die den größten prozentualen Anteil an der aufgenommenen Algennahrung hatten, wurden auch positiv selektiert. Bei anderen Algenarten ergab sich ein gegenteiliges Bild: *D. anceps* wurde zwar in den untersuchten Fischmägen gefunden, die Präferenzanalyse jedoch zeigte, daß diese Algenart von den Fischen signifikant vermieden wird.

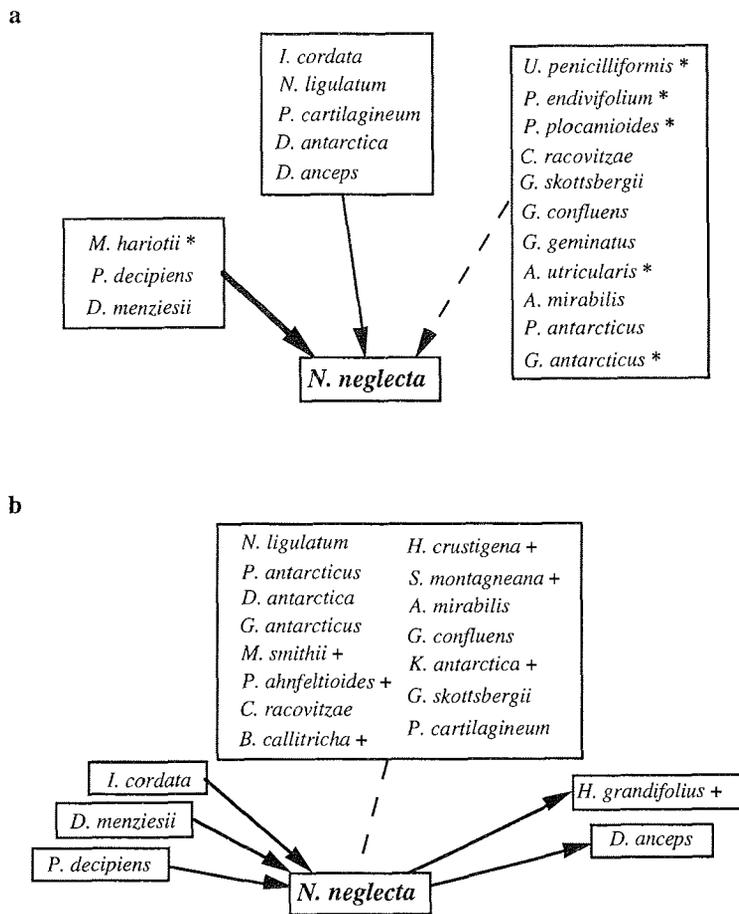


Abb.3.17

- a:** Algenarten, die bei der Nahrungsanalyse in *N. neglecta* gefunden wurden. Die Anteile an der Algen-Gesamtnahrung sind durch die Linienbreiten wiedergegeben: 0-1% gestrichelte Linien, 1-10% dünne Linien, >10% dicke Linien; *: Algenarten kamen nicht in der Benthosprobe vor
- b:** Präferenz von *N. neglecta* für verschiedene Algenarten: Pfeile zum Fisch drücken Präferenz für die Algenart aus, gestrichelte Linie charakterisiert keine signifikante Präferenz oder Vermeidung der Arten, Pfeile vom Fisch weg drücken eine Vermeidung der Algenart aus. +: Algenarten wurden nicht in den Fischmägen gefunden

4.2.4 Nahrungsbeziehungen

Zusammenfassend werden in Abbildung 3.18 die zuvor dargestellten Einzelergebnisse aus Nahrungsanalysen und Fraßexperimenten als ein Geflecht von Nahrungsbeziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove dargestellt. In dieses Geflecht sind der Übersichtlichkeit halber nur die qualitativen Ergebnisse eingearbeitet, also welche Algenarten von den jeweiligen Herbivoren gefressen werden. Quantitative Gewichtungen einzelner Algen-Herbivoren-Beziehungen müssen aus den Einzelanalysen entnommen werden. Nur bei dem Fisch *Notothenia neglecta* wurde insofern eine quantitative Unterscheidung getroffen, als nur die Algenarten dargestellt werden, die mehr als 1% Anteil an der pflanzlichen Nahrung hatten.

Bei den Herbivoren wurde der Seestern *Odontaster validus* nicht mit in die Abbildung einbezogen, da das untersuchte Tiermaterial wegen schlechter Fixierung keinen Aufschluß darüber geben konnte, ob diese Tierart tatsächlich herbivor ist.

Für die Schnecke *Laevilacunaria antarctica* wurden zusätzlich zu den Ergebnissen der Fraßexperimente und Kotballenuntersuchungen noch Ergebnisse aus Fraßtests zur Bestimmung von Konsumtionsraten (s. Kap.4) mit in Abb.3.18 eingefügt. Sie sind als gestrichelte Linien dargestellt.

Bei den Makroalgen sind nur die Arten dargestellt, die in den Magenanalysen identifiziert werden konnten. Es ist anzumerken, daß im Phytobenthos der Potter Cove aber noch mehr Algenarten vorkommen, z.T. sogar bestandsbildend sein können (z.B. *Himantothallus grandifolius*), aber nicht von den untersuchten Tierarten gefressen wurden.

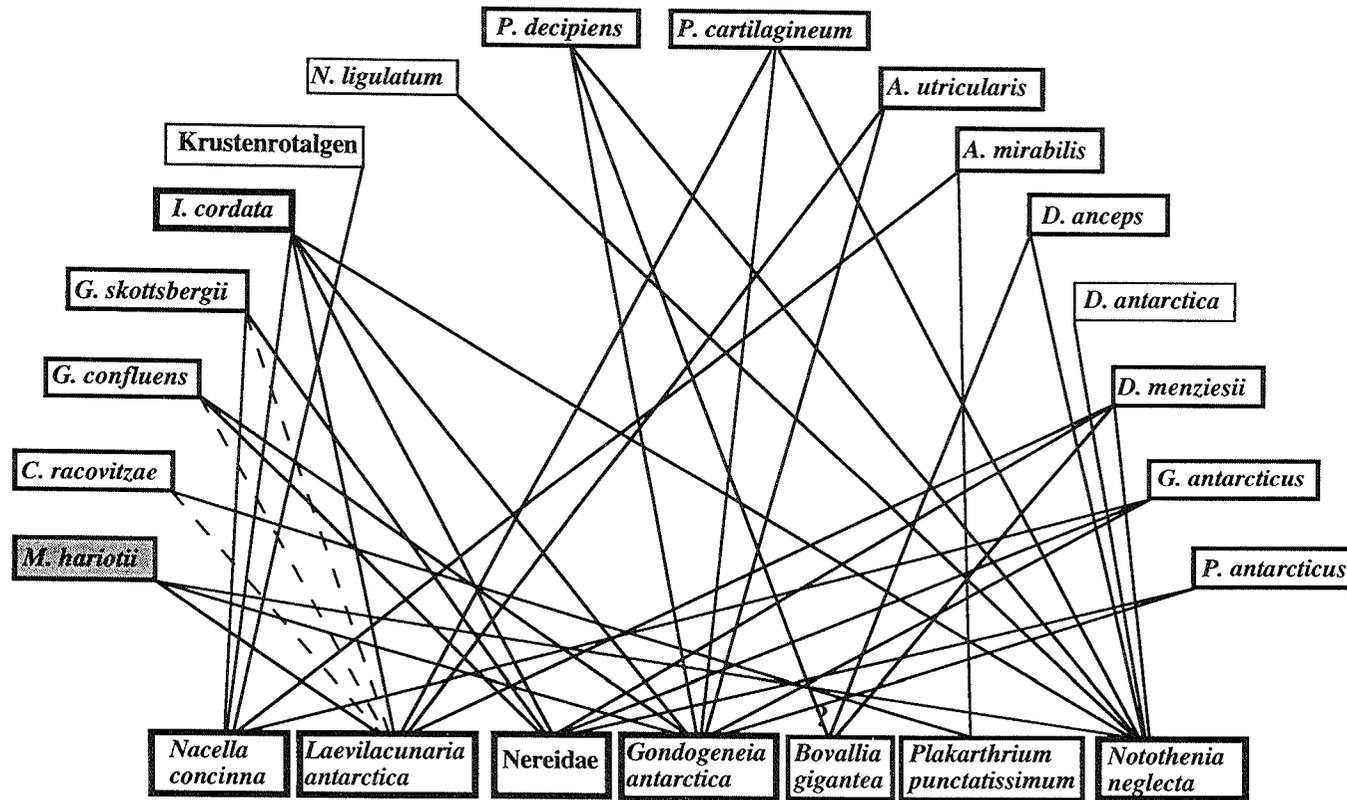


Abb.3.18: Nahrungsbeziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove, King George-Insel. Jede Verbindungslinie stellt eine Nahrungsbeziehung (NBz) dar. Die gestrichelten Linien bei *L. antarctica* stellen zusätzliche Ergebnisse aus Kapitel 4 dar. Die Rahmenbreite der einzelnen Kästchen charakterisiert die Anzahl der Algen-Herbivoren-Beziehungen für jede Art:

1 NBz
 <5 NBz
 ≥5 NBz
 Grünalgen
 Rotalgen
 Braunalgen

3.3. Diskussion

In der folgenden Diskussion werden in einem ersten Teil die Methoden erörtert (Kap.3.3.1), die bei der Untersuchung der Makroalgen-Herbivoren-Beziehungen verwendet wurden. Das sind zum einen die Algen-Netzproben (Kap.3.3.1.1) und zum anderen die Nahrungsanalysen an ausgewählten Herbivoren (Kap.3.3.1.2).

Im zweiten Teil (Kap.3.3.2 ff) folgt die inhaltliche Diskussion der in Kapitel 4.2 dargestellten Ergebnisse. Dabei werde ich meine Ergebnisse mit Daten aus anderen antarktischen Flachwassergebieten vergleichen.

3.3.1 Methodendiskussion

3.3.1.1 Algen-Netzproben

Die klassische Methode der Benthosbeprobung ist der Einsatz verschiedener Formen von Trawls (incl. Dredgen), Greifern und Stechern (ELEFThERIOU & HOLME 1984). In den flachen Küstengebieten werden auch schon seit langer Zeit Photo- und Videotransekte als nicht-destruktive Methoden hinzugenommen (HOLME 1984). Um Makroalgen-Epifauna-Assoziationen zu erfassen, eignet sich der Einsatz der o.g. Benthosprobengeräte nicht: Makroalgen wachsen nur auf Hartböden, die einen Einsatz von Greifern und Stechern schwierig bis unmöglich machen. Der Einsatz von Dredgen wäre möglich, es können damit aber nicht einzelne Algenarten selektiv beprobt werden, was jedoch für die bearbeitete Fragestellung wichtig ist. Über visuelle Methoden wie Photos oder Videos lassen sich keine Biomassen bestimmen, und eine Erfassung der z.T. sehr kleinen Epifauna ist nicht möglich.

In flachen küstennahen Gebieten hat sich auch in der Antarktis der Einsatz von Tauchern bewährt, die gezielte Sammlungen durchführen können (BECKLEY & BRANCH 1992, BRAND 1980, GAMBLE 1984, NEUSHUL 1964, PECKHAM 1964). Zur Makrophytobenthosbeprobung durch Taucher schlagen ROUND & HICKMAN (1984) vor, Makroalgen samt einem Stück Fels oder Stein, auf dem die Alge festgeheftet ist, zu sammeln, um eine Störung der assoziierten Fauna durch heftiges Bewegen der Alge zu vermeiden. So kann außerdem das komplette Algenindividuum gesammelt werden, und es kommt nicht zu Verlusten im Rhizoidbereich. Ein Entfernen der Alge mit einem Stück Fels war in der Potter Cove meist nicht durchführbar, da sich aus den soliden Felsplatten keine Stücke ablösen ließen.

Um die vagile oder nur locker angeheftete Epifauna ebenfalls zu erfassen, schlagen ROUND & HICKMAN (1984) vor, die Algen in einen "Sammelbehälter" zu bringen, während die Pflanze noch in ihrer Position unter Wasser ist. Als solche

"Sammelbehälter" haben sich bei meinen Untersuchungen die benutzten Netze aus feinem Gardinenstoff als sinnvoll erwiesen, da sie unter Wasser von Tauchern gut gehandhabt werden konnten und auch kleine Tiere zurückhielten. Ein ähnliches Probennahmeverfahren wurde auch von RICHARDSON (1977) für Algensammlungen auf Signy Island, Süd-Orkney-Inseln, erfolgreich eingesetzt.

3.3.1.2 Nahrungsanalysen

Vor der Diskussion über die verschiedenen Methoden der Magenanalysen ist es wichtig festzustellen, welche Fragestellungen anhand von Nahrungsanalysen beantwortet werden können. WOLFF (1989) teilt Nahrungsanalysen inhaltlich und methodisch in drei Abschnitte:

- 1) Anhand von Magenanalysen können folgende Fragen geklärt werden:
 - Was wird gefressen?
 - Welche relative Bedeutung haben die einzelnen Nahrungskomponenten?
 - Sind die Tiere Spezialisten oder Generalisten?
- 2) Um Fragen nach Futterpräferenzen der Tiere zu beantworten, ob also von den verfügbaren Nahrungsquellen einzelne bevorzugt werden, müssen zusätzlich zu den Magenanalysen Untersuchungen über die Nahrungsverfügbarkeit im Lebensraum durchgeführt werden.
- 3) Endgültige quantitative Aussagen über den Einfluß von Tieren auf ihre Nahrungsorganismen und über den Energiefluß zwischen verschiedenen Komponenten benthischer Gemeinschaften können nur durch die Bestimmung von Konsumtionsraten erlangt werden. Diese sind von verschiedenen Faktoren wie dem physiologischen Zustand der Tiere, dem generellen Metabolismus, der Individuengröße, der Umgebungstemperatur und der Futterverfügbarkeit und -qualität abhängig.

Diese Untersuchungen werden für einzelne Arten durchgeführt; sie sind die Basis für interspezifische Fragestellungen zur Nahrungsüberschneidung und bei limitierten Ressourcen zur Nahrungskonkurrenz.

In diesem Kapitel der Arbeit werden qualitative Magenanalysen an den verschiedenen Herbivoren und am Beispiel von *Notothenia neglecta* auch die Untersuchung von Futterpräferenzen diskutiert. Die quantitativen Nahrungsuntersuchungen, d.h. die Bestimmung von Konsumtionsraten, werden in Kapitel 4 beschrieben und auch dort diskutiert.

Magenanalysen

Die rein qualitative Erfassung von Nahrungskomponenten, also eine Auflistung von Beuteorganismen, gibt noch keine Information über die relative Bedeutung dieser Komponenten an der Nahrung. HYNES unternahm schon 1950 einen Versuch, die Methoden zur Quantifizierung einzelner Nahrungskomponenten bei Fischen zusammenzufassen. HYSLOP (1980) nimmt diese Gliederung der Methoden auf und diskutiert ihre Vor- und Nachteile wie folgt:

1) "Methode des Vorkommens"

Die Präsenz einzelner Nahrungskomponenten wird bestimmt und als prozentualer Anteil des Vorkommens der Komponenten an der Gesamtprobe ausgedrückt.

Vorteil: schnelle Ausführbarkeit; kein hoher Geräteaufwand

Nachteil: Methode gibt keine Information über die relativen Anteile einzelner Komponenten

2) "Numerische Methoden"

Die Individuenanzahl einzelner Nahrungskomponenten wird bestimmt und als prozentualer Anteil an der Gesamtanzahl der Beuteorganismen dargestellt.

Vorteil: schnelle und einfache Durchführbarkeit; gute Anwendbarkeit, wenn die Beuteorganismen alle im gleichen Größenbereich liegen; kein hoher Geräteaufwand

Nachteil: kleine Organismen, die in großen Mengen gefressen werden, werden in ihrer Bedeutung überschätzt; Beuteorganismen sind oft nicht mehr als einzelne Individuen zu erkennen; Methode ist nicht geeignet für Nahrungskomponenten, die nicht als getrennte Einheiten vorkommen (z.B. Detritus, Makroalgen, koloniale Organismen)

3) "Volumetrische Methoden"

Das Volumen von Nahrungskomponenten wird direkt in einem Meßgefäß bestimmt oder indirekt abgeschätzt, indem die Komponenten mit einem Gegenstand bekannten Volumens verglichen werden.

Vorteil: Methode läßt sich bei kleinen Partikeln und Komponenten unterschiedlicher Größe gut anwenden; bietet gute Vergleichbarkeit der Daten

Nachteil: stark verdaute Nahrung oder nicht kompakte Nahrung (z.B. Detritus) ist nicht messbar

4) "Gravimetrische Methoden"

Das Frisch- oder Trockengewicht von Nahrungskomponenten wird bestimmt und als prozentualer Anteil am Gesamtgewicht der Nahrung angegeben.

Vorteil: objektiv; Methode läßt sich bei Komponenten unterschiedlicher Größe gut anwenden; bietet gute Vergleichbarkeit der Daten; Biomasse ist eine universelle

Bezugsgröße für weiterführende Untersuchungen (z.B. Energiegehalt von Nahrungskomponenten)

Nachteil: stark verdaute, sehr kleine (z.B. Diatomeen) oder nicht kompakte Nahrungskomponenten (z.B. Detritus) lassen sich nur schwer wiegen; Hartteile (z.B. Schnecken- oder Muschelschalen) führen zur Überschätzung einzelner Nahrungskomponenten

5) "Subjektive Methoden"

Die Volumenanteile einzelner Komponenten werden nach Augenmaß anhand einer Skala (z.B. "points method" nach SWYNNERTON & WORTHINGTON (1940)) abgeschätzt und als Volumenprozent dargestellt. Diese Methode wird häufig mit einer Bestimmung des Magenfüllwerts kombiniert.

Vorteil: schnelle und einfache Durchführbarkeit; große Verlässlichkeit, wenn die Untersuchungen von einer Person durchgeführt werden; große Einzelindividuen werden ähnlich bewertet wie eine große Menge kleiner Individuen; Bruchstücke von Individuen werden mit einbezogen; kein Geräteaufwand

Nachteil: subjektiv und dadurch nur bedingt vergleichbar mit anderen Daten; es kommt leicht zu Überschätzungen

Diese für Untersuchungen an Fischen vorgeschlagenen Methoden lassen sich grundsätzlich auch auf Evertebraten übertragen. Manche Methoden (volumetrische oder gravimetrische) eignen sich dazu allerdings meist weniger, da die Tiere und die Nahrungskomponenten vielfach zu klein für diese Messungen sind. Der Laboraufwand, der für solche Messungen aufgewendet werden müßte, steht in keinem Verhältnis zu den Ergebnissen, denn auch die anderen Ansätze liefern genaue und reproduzierbare Daten.

Hinzuzufügen ist, daß viele der genannten Methoden auch auf Faecesuntersuchungen übertragen werden können. Sind bei manchen Tiergruppen (z.B. Schnecken) aufgrund der Größe oder Morphologie Magenanalysen schwierig oder nur unter großem Aufwand möglich, oder sollen nicht-destruktive Untersuchungen durchgeführt werden, sind Faecesuntersuchungen gängig (PAINE 1965, PETERS 1984, WORTHINGTON & FAIRWEATHER 1989). QUIGLEY & VANDERPLOEG (1991) diskutieren am Beispiel von Amphipoden jedoch auch die Nachteile von Faecesuntersuchungen, da viele Nahrungskomponenten im Kot schon zu weit verdaut sind und sich nicht mehr identifizieren lassen.

Zum Abschluß seien noch einige Faktoren genannt, die bei Magenanalysen und der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden sollten. PETERS (1984) erwähnt die Gefahr, daß beim Fang und bis zur endgültigen Fixierung der Tiere Nahrung

ausgewürgt oder als Kot abgegeben werden kann. Eine schnelle Fixierung und bei großen Tieren auch die Injektion von Fixierungsmittel sind für Magenanalysen unerlässlich. PETERS (1984) nennt als weitere zu beachtende Punkte, daß manche Nahrungskomponenten schnell degenerieren und nur noch als Brei im Magen vorliegen, daß im Magen eines Räubers auch die Nahrung der Beutetiere vorliegt und daß Verdauungsraten für verschiedene Nahrungskomponenten unterschiedlich sein können. Magenanalysen sollten deshalb nach PETERS (1984) immer mit Beobachtungen an lebenden Tieren kombiniert werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

In der vorliegenden Arbeit wurden an ausgewählten Tierarten mit folgenden Methoden nach HYSLOP (1980) Magenanalysen durchgeführt:

Methode des Vorkommens:

- *Plakarthrium punctatissimum*

Volumetrische Methode (verändert):

- produziertes Kotvolumen bei *Laevilacunaria antarctica*

Gravimetrische Methode:

- *Notothenia neglecta*

Subjektive Methode:

- *Nacella concinna*
- Nereidae
- *Gondogeneia antarctica*
- *Bovallia gigantea*
- *Odontaster validus*

Der Großteil der Tiere wurde anhand subjektiver Methoden untersucht. Numerische Methoden der Maganalyse wurden überhaupt nicht angewandt, da Makroalgen und auch Bißstücke davon in der Regel keine einheitliche Größe besitzen und sich als Nahrungskomponenten deshalb nicht zählen lassen.

Ausnahmen bildeten die Untersuchungen an der Isopodenart *P. punctatissimum*, der Schneckenart *L. antarctica* und der Fischart *N. neglecta*. Bei den Isopoden erwies sich aufgrund ihrer geringen Größe von höchstens 0,5 cm mit vertretbarem Aufwand nur die Ermittlung der Präsenz einzelner Nahrungskomponenten als sinnvoll. Im Gegensatz dazu war *N. neglecta* als einziger untersuchter Organismus groß genug, um eine detaillierte gravimetrische Analyse der Mageninhalte durchzuführen. Bei dieser Untersuchung stand auch der mit dieser Methode verbundene große Laboraufwand in einem sinnvollen Verhältnis zu den erzielten Ergebnissen, da die Daten über das Nahrungsspektrum zusätzlich mit Daten über die verfügbaren Nahrungsressourcen verglichen wurden (s.u.).

An *L. antarctica* wurden, wie bei Gastropoden allgemein üblich (PAINE 1965, WORTHINGTON & FAIRWEATHER 1989), Faecesuntersuchungen durchgeführt, da eine Präparation des Magens bei Schnecken extrem aufwendig ist. Das Hauptproblem bei Kotuntersuchungen ist der fortgeschrittene Verdauungszustand der Nahrung, der eine Identifizierung der Komponenten schwierig macht. Bei der hier untersuchten pflanzlichen Nahrung bleiben jedoch einige Teile erhalten, bei Diatomeen die Schalen und bei Makroalgen die Zellwandstrukturen. Der Verdauungsprozess ist vorwiegend an den zerstörten Chloroplasten und leeren Zellen zu erkennen. Andere Nahrungskomponenten wie z.B. Flagellaten (PETERS 1984) bleiben nicht erhalten; sie zersetzen sich jedoch schon im Magen so schnell, daß Magen- gegenüber Kotuntersuchungen keinen entscheidenden Vorteil bringen würden.

Neben dieser qualitativen Faecesuntersuchung wurde zur Quantifizierung des Schneckenfraßes eine Kotvolumenbestimmung durchgeführt. Diese Kotballenanalyse bei *L. antarctica* war eine volumetrische Methode in veränderter Form, da nicht das Volumen einzelner Nahrungskomponenten im Kot, sondern das produzierte Gesamtkotvolumen pro Zeiteinheit bestimmt wurde. Da bei den Fraßtests den Tieren nur jeweils eine Futterquelle zur Verfügung stand, konnte in diesem Fall die Gesamtkotmenge mit der Gesamtmenge einer Nahrungskomponente (eine Algenart mit den darauf wachsenden Diatomeen) gleichgesetzt werden.

Ein gewisser Meßfehler ist in diesen Volumenbestimmungen insofern enthalten, als das Kotvolumen nicht direkt gemessen, sondern aus der Größe der Kotballen hochgerechnet wurde. Eine direkte Messung des Kotvolumens ist wegen der geringen Mengen, die davon in der Versuchszeit produziert werden, schwierig und nur mit besonderen Meßvorrichtungen (besonders kleinskalige Meßröhrchen etc.) durchzuführen. Die hier angewandte Methode ermöglicht dagegen eine Kot-Quantifizierung auch unter Feldbedingungen. Trotz einiger Ungenauigkeiten dieses Ansatzes gibt es keine Methode, die eine wesentlich genauere Quantifizierung des Schneckenfraßes an den verschiedenen Makroalgenarten ermöglicht.

An den anderen fünf Tierarten wurden subjektive Nahrungsanalysen durchgeführt. Dabei wurden in der Regel die prozentualen Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten am Gesamtmageninhalt abgeschätzt. Dieses Verfahren wurde bereits bei Nahrungsanalysen an antarktischen Amphipoden (BONE 1972, KLAGES & GUTT 1990, RICHARDSON & WHITAKER 1979) und anderen Evertibraten (z.B. DAYTON et al. 1974) angewandt.

Zusätzlich zu der Bestimmung der Anteile der einzelnen Nahrungskomponenten können die Magenfüllung abgeschätzt und die Anteile der Einzelkomponenten proportional darauf bezogen werden (FROST 1943, ROBOTHAM 1977, beide in HYSLOP 1980). Dadurch kann die Bedeutung einzelner Nahrungskomponenten genauer bestimmt werden. Die Bestimmung von Magenfüllwerten und eine Korrektur durch die

Gewichtung der Einzelanteile mit den Magenfüllwerten ist dann sinnvoll, wenn der Füllgrad der Mägen stark variiert. Diese Korrektur der Einzelanteile von Nahrungskomponenten mit dem Magenfüllwert wurde nur bei dem Amphipoden *G. antarctica* durchgeführt, da bei den anderen untersuchten Tierarten verschiedene Voraussetzungen dafür nicht erfüllt waren: Bei dem Amphipoden *B. gigantea* und dem Seestern *O. validus* war die Fixierung der Tiere nicht ausreichend, so daß die Nahrung und die Magenepithelien bereits stark zersetzt waren. Die untersuchten Individuen der Napfschnecke *N. concinna* hatten alle einen vollständig gefüllten Verdauungstrakt, so daß die Bestimmung der Magenfüllung unnötig war. Die untersuchten Polychaeten hatten entweder einen vollständig gefüllten oder ganz leeren Darm. Bei *O. validus* konnten aufgrund der schlechten Fixierung und der offensichtlich nicht vollständig erhaltenen Mageninhalte die prozentualen Anteile einzelner Nahrungskomponenten nicht sinnvoll abgeschätzt werden. Die angewandte Klassifizierung war in diesem Fall die einzig mögliche Beschreibung der Anteile einzelner Nahrungskomponenten.

Bestimmung der Nahrungspräferenz

Die Bestimmung von Futterpräferenzen wurde bisher in der marinen Biologie fast nur an Fischen durchgeführt und über einen "Futterpräferenz-Index" bestimmt. Solche Indices sind ein Maß für den Grad der Selektion von Nahrungskomponenten, die in der Nahrung der untersuchten Tiere gefunden werden. Einige Indices, die in dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden, beschäftigen sich mit Spezialfällen der Nahrungsselektion, z.B. der Größenselektion der Beute (ANDERSEN 1982, ARNTZ & URSIN 1981).

Fast alle Indices zur Nahrungsselektion basieren prinzipiell auf den gleichen Daten, nämlich dem Anteil einer Nahrungskomponente in den untersuchten Mägen und dem Anteil der gleichen Komponente in dem verfügbaren Lebensraum. Diese Anteile können in der Regel bei allen Indices als prozentuale Anzahlen-, Volumen- oder Gewichtsanteile ausgedrückt sein. Die Indices unterscheiden sich darin, wie diese beiden Anteile zueinander ins Verhältnis gesetzt werden und in ihrer statistischen Überprüfbarkeit. Die meisten und bekanntesten Indices basieren auf Division und Subtraktion.

Als wichtigste Indices, die als ein Quotient gebildet werden, sind zu nennen:

Forage ratio (HESS & SCHWARTZ 1941)

Ivlev's Electivity Index (IVLEV 1961)

Eine Subtraktion wird bei den folgenden Indices durchgeführt:

Linear Food Selection Index (STRAUSS 1979)

Präferenz-Index (JOHNSON 1980)

Als weitere bekannte Selektionsindices, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, sind noch der Differenz-Index (GILMER et al. 1975, SWANSON et al. 1974), Manly's Index (KREBS 1989, LEVIN 1994), der Nahrungskoeffizient Q (CASAUX et al. 1990) und der Utilization Index (QUAST 1968) zu nennen.

Im folgenden werden die oben genannten Indices kurz dargestellt und die Hauptkritikpunkte an ihnen genannt:

Die Forage Ratio (FR) ist das einfache Verhältnis des Anteils einer Komponente im Magen (r_i) zu deren Anteil in der Umgebung (p_i):

$$FR = r_i/p_i$$

Ein Wert von 0 bis 1 drückt eine negative Selektion (Vermeidung) und ein Wert von 1 bis ∞ drückt eine positive Selektion (Präferenz) aus. Die Asymmetrie des Wertebereichs für positive und negative Selektion gilt als einer der größten Nachteile dieses Index', zu dessen Behebung JACOBS (1974) eine Logarithmierung der Werte vorschlägt. Auch die Abhängigkeit des Index von der Abundanz der untersuchten Komponente in dem verfügbaren Lebensraum wird von JACOBS (1974) und PALOHEIMO (1979) kritisiert.

Die Forage Ratio bleibt immer undefiniert, wenn der Anteil einer Komponente entweder im Magen oder in der Umgebung Null ist.

Ivlev's Electivity Index ist definiert als:

$$E = (r_i - p_i)/(r_i + p_i),$$

wobei r_i der Anteil einer Komponente im Magen und p_i deren Anteil in der Umgebung ist. Die möglichen Werte für E reichen von -1 bei absoluter Vermeidung über 0 bei Zufallsselektion bis hin zu +1 bei absoluter Präferenz für eine Komponente.

Ist der Anteil einer Nahrungskomponente im Magen Null, nimmt E immer den Wert -1 an, unabhängig von der Höhe des Anteils dieser Komponente im Lebensraum. Ebenso ist, wenn der Anteil einer Komponente in der Umgebung Null ist, der Wert für E immer +1, unabhängig vom Anteil dieser Komponente im Magen.

Die Abhängigkeit des Index' von der Abundanz der untersuchten Komponente in dem verfügbaren Lebensraum besteht ebenso wie bei der Forage Ratio und wird von JACOBS (1974) sowie von PALOHEIMO (1979) kritisiert. STRAUSS (1980) und auch KOHLER und NEY (1982) weisen außerdem auf gravierende Probleme bei der Anwendung statistischer Verfahren hin, da der Electivity Index nicht linear ist.

Dennoch war und ist der Ivlev-Index einer der wichtigsten und meistbenutzten Indices zur Abschätzung der Nahrungspräferenz bei Fischen (u.a. ARNTZ 1978, ARNTZ & FINGER 1981, BARRERA-ORO & CASAUX 1990, KIEST 1993).

Der Linear Food Selection Index ist definiert als die Differenz zwischen dem Anteil einer Komponente im Magen (r_i) und deren Anteil in der Umgebung (p_i):

$$L = r_i - p_i$$

L kann Werte von -1 (Vermeidung) über 0 (zufällige Auswahl) bis +1 (Präferenz) annehmen. Der Index ist für alle Werte von r_i und p_i definiert, also auch, wenn einer der beiden Null beträgt. Extreme Werte (+1 bzw. -1) nimmt L nur dann an, wenn ein Anteil 0 und der andere 1 ist. Der Index L ist in sich linear und bei großen Stichprobenumfängen normalverteilt, was die Bildung von Vertrauensbereichen und die Anwendung einer t-Statistik erlaubt (STRAUSS 1979). Aufgrund seiner Linearität tendiert der Index L jedoch zu Null, d.h. er ist im Vergleich mit anderen Indices eher dazu veranlagt, eine Zufallsselektion anzuzeigen (KÖHLER & NEY 1982).

In dem Präferenz-Index nach JOHNSON (1980) werden den Anteilen der einzelnen Nahrungskomponenten im Magen und im Lebensraum Ränge zugeteilt und danach für jede Komponente die Rangdifferenz (t_j) zwischen dem Rang der Nutzung (r_j) und dem Rang der Verfügbarkeit (s_j) gebildet.

$$t_j = r_j - s_j$$

Die Rangdifferenzen jeder Komponente werden über alle untersuchten Tiere gemittelt und können statistisch getestet werden.

Der Präferenz-Index ist dem Linear Food Selection Index sehr ähnlich. Den entscheidenden Vorteil, den JOHNSON (1980) in der Rangbildung sieht, ist der, daß darin eine größere Toleranz gegenüber Probennahmefehlern enthalten ist. Diese Fehler beziehen sich hauptsächlich darauf, was als der verfügbare Lebensraum definiert und ausgewählt wird. Durch die Rangbildung werden diese systematischen Fehler minimiert, da bei Rangbildungen keine absoluten Werte, sondern nur die Verhältnisse einzelner Komponenten zueinander erforderlich sind. Es kann aber trotzdem eine aussagekräftige Statistik auf die Werte angewendet werden. Die statistische Auswertung der Rangdaten wird jedoch in dem Moment problematisch, in dem mehrere Komponenten gleiche Ränge einnehmen (hoher Anteil an Bindungen). Diese Komponenten können nicht in einem Test auf unterschiedliche Mittelwerte gegeneinander getestet werden.

Für die Auswahl eines Index' zur Untersuchung einer Nahrungspräferenz muß als erstes die verfügbare Datengrundlage geprüft werden und damit die Anwendbarkeit der einzelnen Methoden. Die für meine Untersuchungen zur Makroalgenpräferenz in der Nahrung von *Notothenia neglecta* vorliegenden Daten beinhalteten Biomasseanteile verschiedener Algenarten an der Nahrung und am verfügbaren Benthos. Die Gesamtanzahl der Algenarten in den Mägen war geringer als die im Benthos, d.h. für

die Anteile einiger Algenarten in den Fischmägen ergab sich der Wert Null. Damit war die Forage Ratio kein geeigneter Index, da diese für Nullwerte nicht definiert ist. Auch der Electivity Index war ungeeignet, da es bei jedem Nullwert für den Anteil einer Nahrungskomponente im Magen zu einem Wert von $E=-1$ kommt, d.h. die absolute Vermeidung dieser Algenart indiziert wird. Das gibt ein unrealistisches Bild der Verhältnisse, da einige dieser Algenarten, die nicht in den Mägen vorkamen, auch im Benthos nur zu einem sehr geringen Anteil vorkamen, andere dagegen einen sehr hohen Anteil ausmachten. Es ist ökologisch gesehen jedoch eine Überschätzung, alle diese Algenarten, unabhängig von ihrer Abundanz, als gleich stark vermieden einzuordnen. Beim Ivlev-Index können solche Überschätzungen vermieden werden, wenn nur diejenigen Nahrungskomponenten in die Präferenzanalyse einbezogen werden, die sowohl im Magen als auch im Lebensraum vorkommen (z.B. KIRST 1993). Damit wird jedoch von vornherein ausgeschlossen, eine ökologisch wichtige Vermeidung von solchen Komponenten zu erkennen, die im Lebensraum einen sehr hohen Anteil haben, in den Mägen aber überhaupt nicht vorkommen.

Der Präferenz-Index nach JOHNSON (1980) wurde aus folgendem Grund nicht benutzt: Die Anzahl der Algenarten im Benthos war höher als die Anzahl der Arten in den einzelnen Fischmägen, so daß sich bei der Rangzuteilung zu viele Bindungen (gleiche Rangordnungen) für verschiedene Algenarten ergaben. Ein zu hoher Anteil an Bindungen verfälscht das Ergebnis und läßt keine sinnvolle statistische Prüfung mehr zu.

Der Linear Food Selection Index nach STRAUSS (1979) war der am besten geeignete Index zur Überprüfung der Nahrungspräferenz bei der vorliegenden Datengrundlage. Im Linear Food Selection Index wird die Präferenz für eine Komponente immer durch die Höhe beider Anteile, dem der Nutzung und dem der Verfügbarkeit, bestimmt. Dadurch kommt es nicht zu einer, wie beim Ivlev-Index kritisierten, überhöhten Abschätzung von stark gemiedenen Nahrungsquellen. Außerdem bieten die berechneten Index-Werte wegen ihrer Linearität eine gute Grundlage für eine statistische Überprüfbarkeit. Mit einer ANOVA wurden die Einflußgrößen getestet und ein Post-Hoc-Test der Mittelwerte nach Games-Howell angeschlossen. Bei der ANOVA ergab sich bei einigen Algenarten das Problem, daß der Wert für L bei allen Fischen gleich war, so daß die Mittelwerte keine Varianzen aufwiesen. Ein geringes, künstliches, normalverteiltes Rauschen, das über alle Werte von L gelegt wurde, ermöglichte jedoch die statistische Prüfbarkeit der durchgeführten Präferenzanalyse. Dieses Rauschen war so gering, daß die Aussagen der Varianzanalyse dadurch nicht verändert wurden. Das ist bei anderen Prüfverfahren, wie z.B. dem H-Test nach Kruskal-Wallis und einem Test von Rangmittelwerten nach Nemenyi (SACHS 1978), nicht möglich, da bei einem hohen Anteil gleicher Indexwerte bei der Bildung von Rängen zu viele Bindungen entstehen, die eine Statistik unmöglich machen.

Der Linear Food Selection Index war damit für die vorliegenden Daten der sinnvollste Index zur Untersuchung der Makroalgenpräferenz von *N. neglecta*. Dieser Index wurde auch von HORN et al. (1982) für die Untersuchung von Nahrungspräferenzen von Makroalgen bei zwei herbivoren Fischarten in Kalifornien angewendet.

3.3.2 Nahrungsbeziehungen von Makroalgen und Herbivoren

In der Diskussion der einzelnen Ergebnisse standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Entspricht das in der Potter Cove auf Makroalgen gefundene Faunenspektrum den allgemein als Herbivore im Flachwasser bekannten systematischen Gruppen?
- Sind die untersuchten Tierarten in ihrer Ernährung an Makroalgen Generalisten oder Spezialisten? Welche Bedeutung haben die einzelnen Nahrungskomponenten?
- Wie ist die Nahrungszusammensetzung der Tiere aus der Potter Cove im Vergleich zur Nahrungszusammensetzung gleicher Arten aus anderen antarktischen Flachwassergebieten?
- Entspricht die aufgenommene Nahrung dem verfügbaren Nahrungsangebot in der Potter Cove?

3.3.2.1 Algen-Netzproben

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Algen-Netzproben (Kap.3.2.1, Tab.3.4) fällt auf, daß die Biomassen der beprobten Algenarten inter- und intraspezifisch z.T. sehr variabel sind. Das hängt zum einen damit zusammen, daß die Individuengröße und damit auch das Gewicht innerhalb einer Algenart sehr stark schwanken kann, wie es bei den drei Parallelproben der Braunalge *Himantothallus grandifolius* der Fall war. Bei den kleineren Algenarten wurden außerdem nicht nur ein, sondern mehrere Individuen in einer Netzprobe zusammengefaßt, wodurch sich die unterschiedlichen Biomassen erklären (z.B. *Iridaea cordata*).

Die Werte aus Tab.3.4 machen deutlich, daß eine hohe Algenbiomasse nicht notwendigerweise mit einer hohen Biomasse an assoziiert lebenden Tieren verbunden ist. Bei einigen Algenarten ist das Verhältnis von tierischer zu pflanzlicher Biomasse extrem niedrig (*Palmaria decipiens*, *H. grandifolius*), bei anderen extrem hoch (*Georgiella confluens*, *Plocamium cartilagineum*). Aufgrund der wenigen Parallelen an Algen-Netzproben pro Algenart können diese Werte aber nur Tendenzen andeuten.

Es gibt nur wenige quantitative Vergleichsdaten zu Makroalgen und assoziierter Fauna. COLMAN (1940, in NEWELL 1979) untersuchte in Südengland acht verschiedene Algenarten auf die Anzahl der damit assoziierten Tiere. In seinen Untersuchungen

reichten die Anzahlen von 44 bis zu 13716 Tieren pro 100 g Algenfrischgewicht. Diese Untersuchung von COLMAN (1940) bestätigt die große Variabilität, die in der Assoziation von Tieren mit verschiedenen Makroalgenarten herrscht. In Helgoland untersuchten SCHULZE et al. (1990) die mit zwei *Laminaria*-Arten assoziierte Flora und Fauna und fanden ebenfalls je nach Standort und *Laminaria*-Art Unterschiede in der Artenzusammensetzung und im Bedeckungsgrad der assoziierten Flora und Fauna.

In der Antarktis, auf den Süd-Orkney-Inseln (Signy Island), führte RICHARDSON (1977) Untersuchungen zu der Epifauna von *Desmarestia anceps* durch. Leider gibt er nur eine Gesamt-Artenliste der assoziierten Tierarten und nicht deren Biomassen an. Biomasseangaben macht er nur zu den am häufigsten gefundenen Gruppen, den Mollusken und Amphipoden. Für eine Mitte Januar 1972 gesammelte Pflanze von *D. anceps* mit einem Frischgewicht von rund 2 kg läßt sich aus seinen Angaben eine tierische Biomasse (nur Mollusca und Amphipoda) von 1,3 g pro 100 g Algenfrischgewicht errechnen. Algen aus anderen Monaten (antarktischer Herbst und Winter) hatten einen geringeren Anteil an tierischer Biomasse pro 100 g Algenfrischgewicht. Berechnet man zum Vergleich für ein von mir ebenfalls im Januar (1993) gesammeltes Exemplar von *D. anceps* aus der Potter Cove mit einem Frischgewicht von 2,6 kg den Anteil der Mollusken und Amphipoden, so beträgt dieser 1,1 g pro 100 g Algenfrischgewicht. Die Werte liegen in einer vergleichbaren Größenordnung.

WIESER (1952) untersuchte die mit Makroalgen assoziierte Fauna in Plymouth (Südengland), wobei er verschiedene Algenarten in funktionelle Gruppen zusammenfaßte. So untersuchte er die quantitative und qualitative Veränderung der Tierarten auf flächigen und verzweigten Algenarten vom Eulitoral ins obere Sublitoral. Er fand, daß die Anzahl der mit den Algen assoziierten Tiere mit zunehmender Wassertiefe generell zunahm und führte dies auf die gleichmäßigeren abiotischen Faktoren in größerer Wassertiefe zurück. Er fand außerdem auf verzweigten Algenarten mehr Tiere als auf flächigen Arten, was nach seiner Interpretation damit zu erklären ist, daß flächige Algen im Gezeitenraum bei Niedrigwasser nicht ausreichend Schutz vor Temperaturschwankungen, Austrocknung und Wellenaktivität bieten.

Diese zwei Tendenzen lassen sich in den vorliegenden Daten (vgl. Tab.3.4) auch wiedererkennen: Bei den Algenarten, auf denen sich eine große Menge Tiere befand (vor allem *G. confluens*, *P. cartilagineum*, *D. menziesii*), handelte es sich um Arten aus dem Sublitoral. Die tierische Biomasse auf den 16 Algenarten aus dem Sublitoral (vgl. Tab.3.1) betrug durchschnittlich 16,6 g pro 100 g Algenbiomasse. Bei den 5 Arten aus dem Eulitoral betrug dieser Wert 4,1 g pro 100 g Algenfrischgewicht.

Ein Vergleich der Biomasse auf flächigen und auf verzweigten Algenarten zeigt, daß die durchschnittliche tierische Biomasse auf flächigen Algenarten mit 3,4 g pro 100 g

Algenfrischgewicht deutlich geringer war als mit durchschnittlich 23,9 g pro 100 g Algenfrischgewicht bei verzweigten Arten.

Weitere Bedeutungen der Thallusform von Makroalgenarten für die assoziiert lebende Fauna werden in einem späteren Kapitel dieser Arbeit (Kap.5.3) noch einmal detailliert diskutiert.

3.3.2.2 Herbivoren-Spektrum

Die acht Tierarten, an denen Nahrungsanalysen zur Erfassung des Makroalgenanteils an ihrer Nahrung durchgeführt wurden, wurden aufgrund ihrer Präsenz und Biomasse in den Algen-Netzproben und aufgrund von Freilandbeobachtungen ausgewählt. Der systematische Querschnitt, der durch die Bearbeitung der acht Arten abgedeckt wird, stimmt mit den systematischen Gruppen von Herbivoren überein, die für küstennahe Makroalgenbestände temperierter und tropischer Gebiete in der Literatur beschrieben werden (HAWKINS & HARTNOLL 1983). Es handelt sich hauptsächlich um Mollusken, insbesondere Schnecken (CAREFOOT 1967, GRAHAME 1973, HAWKINS & HARTNOLL 1983, PAINE 1971, VADAS & ELNER 1992) und Napfschnecken (BRANCH 1981, CASTILLA & ROZBACZYLO 1985, JERNAKOFF 1985, WILLIAMS & SEED 1992), um Amphipoden (NICOTRI 1980, POMEROY & LEVINGS 1980), Isopoden (ARRONTES 1990, KOOP & FIELD 1981, NICOTRI 1980), Polychaeten (BRAWLEY 1992, FAUCHALD & JUMARS 1979), Seesterne und Seeigel (ANDREW 1989, BREITBURG 1985, LAWRENCE 1975) und Fische (EDWARDS & HORN 1982, HORN 1989, 1992, HORN et al. 1982, OGDEN & LOBEL 1978).

Die Tierarten, die im Rahmen dieser Arbeit auf den verschiedenen Algenarten gefunden wurden, stimmen gut mit dem von RICHARDSON (1977) in Signy Island festgestellten Artenspektrum auf *Desmarestia anceps* und mit den von BRAND (1980) untersuchten Benthosorganismen von küstennahen Hartböden bei Arthur Harbour überein. Die Artenauswahl, an denen hier Untersuchungen des Nahrungsspektrums durchgeführt wurden, ist mit den Arten vergleichbar, die RICHARDSON (1977) als besonders wichtig in der Assoziation mit Makroalgen einstuft.

Amphipoden und Mollusken bildeten bei den Untersuchungen von RICHARDSON (1977) aufgrund ihrer Biomasse die beiden wichtigsten mit Algen assoziierten Gruppen; regelmäßig kommen auch Polychaeten und Isopoden vor. Bei den Mollusken fand RICHARDSON (1977) neben verschiedenen Schneckenarten auch die Muschelart *Lissarca miliaris* mit hohen Biomassen auf *D. anceps*. Diese Muschel kam auch in dieser Untersuchung sowohl mit einer hohen Präsenz (71%) in den gesamten Netzproben als auch in einzelnen Netzproben mit hohen Biomassen vor (vgl. Tab.3.3). Die Muscheln sind Suspensionsfresser und heften sich nach ihrer Rekrutierung mit Byssusfäden an ein geeignetes Substrat, in vielen Fällen Makroalgen (BRANCH et al.

1991, RICHARDSON 1977). Somit war diese Tierart für die hier bearbeitete Fragestellung trotz ihres hohen Anteils an der Epifauna nicht von Interesse und wurde nicht in die Magenanalysen mit einbezogen (Kap.3.2.2). Durch den hohen Biomasseanteil, den diese Muschelart in einigen der Netzproben hatte (bis zu 86%, Probe Georg A), sind einige der Unterschiede zu erklären, die in Abb.3.1 bei den prozentualen Anteilen der nahrungsökologisch untersuchten Biomasse pro Netzprobe zu sehen sind. In Proben mit einem hohen Anteil an *L. miliaris* ist der Prozentanteil anderer Arten gering und damit auch der Biomasseanteil, der in Nahrungsanalysen untersucht wurde (u.a. Georg A, Georg B). Der Anteil der untersuchten Tiere an der Gesamtbiomasse der Probe Georg A würde sich z.B. von 5% auf 37% erhöhen, wenn *L. miliaris* nicht in die Berechnung der Gesamtbiomasse einbezogen würde.

RICHARDSON (1977) fand auch Echinodermen auf *D. anceps*, besonders häufig den Seeigel *Sterechinus neumayeri* und den Seestern *Odontaster validus*. Letzterer kam auch in der Potter Cove häufig in Makroalgenbeständen vor und wurde aufgrund dieser Freilandbeobachtung in die Untersuchungen mit einbezogen. Auch *S. neumayeri* kam in der Potter Cove vor, jedoch vorwiegend auf dem Weichboden in der inneren Bucht. Die Art wurde zwar auch in Makroalgenbeständen gefunden, war jedoch zumindest in den Jahren, in denen diese Untersuchungen durchgeführt wurden, nicht häufig. Vorläufige Magenanalysen an einzelnen Individuen zeigten, daß diese Tiere nur wenige Sedimentkörnchen gefressen hatten. Aus anderen Gebieten der Maxwell-Bucht (z.B. Ardley-Insel in der Nähe der Fildes-Halbinsel, King George-Insel) ist bekannt, daß diese Seeigelart dort in Massen auf algenbewachsenen Hartsubstraten vorkommen kann (Dr. H. Klöser, pers. Mitt.). Es kann daher sein, daß die Abundanz dieser Echinodermenart in der Potter Cove starken jährlichen Schwankungen unterliegt und *S. neumayeri* im Untersuchungszeitraum nur sehr wenig verbreitet war. Sollten Beobachtungen in den folgenden Jahren zeigen, daß *S. neumayeri* auch in der Potter Cove häufig vorkommt, dann sollten Nahrungsanalysen an dieser Art durchgeführt werden, denn es ist bereits bekannt, daß diese Seeigel z.T. auch an Makroalgen fressen (BRAND 1980, DEARBORN 1977). Auch aus temperierten und tropischen Gebieten sind Seeigel vielfach als Herbivore an Makroalgen bekannt (ANDERSON & VELIMIROV 1982, LARSON et al. 1980, LAWRENCE 1975). Ihr Einfluß auf die Struktur und Bestände von Makroalgengemeinschaften kann sehr stark sein (CHAPMAN 1981, DAYTON 1985a, FOREMAN 1977, HIMMELMAN & NÉDÉLEC 1990, LEWIS & WAINWRIGHT 1985, PEARSE & HINES 1979, PFISTER & HAY 1988).

3.3.2.3 Trophische Interaktionen

Im folgenden werden die Ergebnisse der Nahrungsanalysen an den verschiedenen Tierarten diskutiert. Dabei werden die Ergebnisse zu den einzelnen Herbivoren mit Daten aus temperierten oder tropischen Gebieten verglichen. Außerdem werden die Verbreitung der jeweiligen Art in anderen antarktischen Flachwassersystemen und, wenn bekannt, ihr dortiges Nahrungsspektrum beschrieben. In einzelnen Fällen werden allgemeine Fragen zur Ernährungsstrategie verschiedener Tiergruppen (Schnecken und Fische) aufgegriffen und diskutiert.

Nacella concinna und *Laevilacunaria antarctica*

Für herbivore Schnecken wurden verschiedene Ansätze unternommen, das Spektrum von Makroalgen in der Nahrung in eine funktionelle Relation zur Ausgestaltung der jeweiligen Radula zu setzen (BRANCH 1981, HAWKINS & HARTNOLL 1983, HICKMAN 1977, 1981, MÄRKEL 1966, MORRIS & HICKMAN 1981, STENECK & WATLING 1982, WATSON & NORTON 1983, WORTHINGTON & FAIRWEATHER 1989). STENECK & WATLING (1982) teilen dazu Algen in sieben funktionelle Gruppen ein. Für herbivore Schnecken postulieren sie eine zunehmende "Beweidungsschwierigkeit" der Algen von Gruppe 1 bis 7 (Diatomeen bis kalzifizierte Algen) aufgrund der zunehmenden strukturellen Härte der Algenhalli (nach LITTLER & LITTLER 1980) (Abb.3.19).

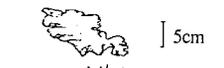
Funktionelle Gruppe	Morphologie	Anatomie	Beweidungsschwierigkeit
1 Mikroalgen	 50µm	 50µm	gering
2 filamentöse Algen	 1mm 300µm	 50µm	↓ hoch
3 foliose Algen	 5cm	 40µm	
4 solide Algen	 5cm	 250µm	
5 ledrige Algen	 50cm 10cm	 200µm	
6 aufrechte kalzifizierte Algen	 1cm	 500µm	
7 kalzifizierte Krustenalgen	 3cm	 50µm	

Abb.3.19: Funktionelle Algengruppen, leicht verändert nach STENECK & WATLING (1982). Die Beweidungsschwierigkeit bezieht sich auf die strukturelle Härte der Algenhalli (nach LITTLER & LITTLER 1980)

Das Vorkommen von herbivoren Schnecken auf Algen machen STENECK & WATLING (1982) in erster Linie von dem Verhältnis der Körpergröße zu Algengröße und dem morphologischen Aufbau des jeweiligen Molluskenkörpers abhängig. Die Mollusken teilen sie entsprechend der jeweiligen Radulaform und -benutzung in die klassischen Gruppen mit rhipidoglossen, taenioglossen und docoglossen Radulae ein (FRETTER & GRAHAM 1962, HAIN 1990, NEWELL 1979).

Die rhipidoglosse Radula besteht aus einer Vielzahl nebeneinanderstehender Zähnen, so daß eine breite Fläche damit abgeraspelt werden kann. Da die Kraft, mit der die einzelnen Zähne auf die beweidete Struktur wirken, gering ist, bleibt die Bißspur an der Oberfläche. Schnecken mit einer rhipidoglossen Radula raspeln vorwiegend Mikroalgen oder filamentöse Algen ab, vereinzelt fressen sie auch an dünnen, foliosen Algenarten (STENECK & WATLING 1982).

Schneckenarten mit einer taenioglossen Radula (die Zahl der Zähne in einer Reihe ist auf 5-7 reduziert, die chitinösen Zähne sind robust) fressen nach STENECK & WATLING (1982) vorwiegend auf Algen der Gruppen 1 und 2 (Mikroalgen und filamentöse Algen), aber auch auf foliosen und ledrigen und vereinzelt auf kalzifizierten Algen. Schnecken mit einer taenioglossen Radula besitzen damit ein sehr universelles Werkzeug, was ihnen die Nutzung der verschiedensten Algengruppen ermöglicht.

Bei einer docoglossen Radula hat eine weitere Reduktion der Zahnanzahl stattgefunden, die einzelnen Zähne sind jedoch sehr stark entwickelt und an den distalen Enden durch Einlagerung von Eisenoxiden gehärtet (BRANCH 1981). STENECK & WATLING (1982) fanden bei 21 untersuchten Schneckenarten mit docoglosser Radula, daß sie speziell an harten Substraten fressen, die einen ausreichenden Widerstand bilden, so daß mit der Radula tiefe Furchen gezogen werden können. Solche harten Substrate sind Mikroalgen auf Felsen (Gruppe 1), ledrige Arten und Krustenalgen (Gruppe 5 bzw. 7).

Die Idee der funktionellen Radulamorphologie wurde von CREESE & UNDERWOOD (1982) weiterentwickelt, die über das Fraßverhalten verschiedener Napfschnecken inter- und intraspezifische Konkurrenzphänomene erklärten. Andere Autoren kritisieren die Pauschalität des Konzepts, ohne es jedoch prinzipiell widerlegen zu können. Einige Punkte sollten jedoch bei Nahrungsuntersuchungen an herbivoren Schnecken zusätzlich zur Radulamorphologie beachtet werden, z.B. die Erreichbarkeit der Algenarten in dem Gebiet, aus dem die untersuchten Schnecken stammen (RAFFAELLI 1985). PADILLA (1985) betont die Notwendigkeit einer kombinierten Betrachtung verschiedener Faktoren, wie die detaillierte strukturelle Beschaffenheit der Algenarten, die Radulaform und deren genaue Funktionsweise. Den letzten Punkt diskutierte auch schon MÄRKEL (1966), der zeigte, daß morphologisch gleiche Radulatyphen verschiedene Bißspuren und verschiedene Radulatyphen gleiche Bißspuren hinterlassen können. Die Morphologie der Radula sollte also in Kombination mit ihrer Einsatzweise (Bewegung des Stützpolsters, Muskelbewegungen etc.) betrachtet werden.

Im folgenden soll die Frage beantwortet werden, ob das Nahrungsspektrum der hier untersuchten Schneckenarten *N. concinna* und *L. antarctica* ihrer Stellung im System der funktionellen Radulamorphologie entspricht. Die Napfschnecke *N. concinna* hat eine docoglosse Radula, und es ist zu erwarten, daß die Tiere Mikroalgen vom felsigen Untergrund abweiden und an den Krustenrotalgen oder an ledrigen Algen (vgl. Tab.2.1) fressen. Es wäre zu erwarten, daß *N. concinna* auf wenige Algenarten, die ein geeignet hartes Substrat darstellen, spezialisiert ist. *L. antarctica* hat eine taenioglosse Radula und sollte daher ein breites Spektrum von funktionellen Algengruppen als Nahrung nutzen.

Zuerst werden die einzelnen Ergebnisse der jeweiligen Nahrungsanalyse an den beiden Schneckenarten dargestellt und diskutiert. Am Ende der Betrachtung der beiden Arten werde ich meine Ergebnisse zur Futterswahl mit den Voraussagen nach STENECK & WATLING (1982) vergleichen.

Nacella concinna

Napfschnecken sind besonders häufig im Supra- und Eulitoral felsiger Küsten und in felsigen Gezeitenzonen zu finden (BRANCH 1981, JERNAKOFF 1985), da sie besonders gut an die dort herrschenden abiotischen Bedingungen wie Wellenaktivität, Salinitäts- und Temperaturschwankungen und vor allem auch an Trockenphasen angepaßt sind (BRANCH 1981, SIMPSON 1976). Auch in felsigen Flachwassergebieten entlang der Antarktischen Halbinsel sind sie weit verbreitet, hauptsächlich mit der Art *N. concinna* (BRÊTHES et al. 1994, CASTILLA & ROZBACZYLO 1985, FILCEK 1993, PICKEN 1980). In Signy Island bestimmte PICKEN (1980) Dichten von $123,7 \pm 21,1 \text{ m}^{-2}$, und SHABICA (1976) zählte in Arthur Harbour bis zu 200 Individuen $\cdot \text{m}^{-2}$. Im Nahrungsnetz sind sie vor allem als Beute für Dominikanermöwen (*Larus dominicanus*) von Bedeutung (CASTILLA & ROZBACZYLO 1985, FILCEK 1993, SHABICA 1976).

Im Eulitoral der Potter Cove waren Krustenrotalgen die wichtigste Nahrung für *N. concinna*. Andere in diesem Bereich vorkommende Makroalgenarten wie z.B. *Monostroma harii*, *Adenocystis utricularis* oder *Palmaria decipiens* wurden nicht beweidet. Im Sublitoral fraßen die Napfschnecken vorwiegend auf der Braunalge *Ascoseira mirabilis*, die bisher nicht als Nahrungsbestandteil von *N. concinna* bekannt war, oder auf felsigem Untergrund an Diatomeen. Andere dort vorkommende Makroalgenarten wurden zwar auch gelegentlich gefressen (*Iridaea cordata*, *Gigartina skottsbergii*, *Desmarestia menziesii*, die epiphytische Art *Geminocarpus geminatus*), deren Nutzung war jedoch weit geringer als die von *A. mirabilis*. Interessant ist der Vergleich meiner Ergebnisse und denen von SHABICA (1976). Während er feststellte, daß *N. concinna* z.T. intensiv an *Himantothallus grandifolius* frißt, wurden bei dieser Untersuchung in keinem Tier Reste dieser Alge gefunden.

Diatomeen spielten für *N. concinna* in der Potter Cove, zumindest in der hier untersuchten Sommernahrung, eine eher zweitrangige Rolle. Bei den gefressenen Diatomeen handelte es sich fast ausschließlich um benthische und nicht um pelagische Arten. Dies kann dadurch erklärt werden, daß es aufgrund der hydrographischen Bedingungen in der Potter Cove (KLÖSER et al. 1994a) nicht zur Ausbildung einer starken Phytoplanktonblüte kommt (SCHLOSS et al. 1994a) und somit für das benthische Nahrungsnetz keine größeren Mengen an herabgesunkenen Mikroalgen zur Verfügung stehen. Benthische Diatomeen bilden damit die einzige größere Mikroalgenressource.

Das regelmäßige Vorkommen kleiner Steinchen in den untersuchten Mägen der Napfschnecken kann verschiedene Ursachen haben:

- 1) Sie werden durch die raspelnde Ernährungsweise auf Fels von den Napfschnecken "aus Versehen" mitgefressen.
 - 2) Sie werden für die Verwertung der darauf wachsenden Diatomeen oder sonstigen organischen Substanz aufgenommen.
 - 3) Sie fungieren als "Stößel" im Magen, um die anderen Nahrungsteile zu zerkleinern.
- Aufgrund der vorliegenden Daten ist es nicht möglich zu entscheiden, welche dieser Vermutungen zutrifft; ich nehme jedoch an, daß es sich um eine Kombination aller drei handelt.

Bisherige Untersuchungen zur Ernährung von *N. concinna* deuteten darauf hin, daß sich die Tiere fast ausschließlich von Mikrophytobenthos und kalzifizierten Rotalgen ernähren (SHABICA 1976). BRAND (1980) stellte ebenfalls einen hohen Anteil von Mikroalgen an der Sommernahrung von *N. concinna* fest, der jedoch hauptsächlich aus sedimentiertem Phytoplankton bestand. Er fand in Mägen der Napfschnecken auch große Anteile der Kalkrotalge *Lithothamnium sp.* und einen nicht unerheblichen Anteil tierischer Nahrungskomponenten, letztere vor allem im antarktischen Herbst und Winter. Er interpretiert seine Funde tierischen Materials (v.a. Bryozoen und sessile Polychaeten) in der Nahrung von *N. concinna* als Artefakt, d.h. daß die Napfschnecken beim Abraspeln der Algennahrung vom Untergrund z.T. auch koloniebildende Tiere wie Bryozoen mit aufnehmen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Bedeutung der Makroalgen für die Ernährung von *N. concinna* in bisherigen Untersuchungen deutlich unterschätzt wurde. In der Potter Cove stellten Makroalgen, vornehmlich eine Krustenrotalge und die Braunalge *A. mirabilis*, durchschnittlich über die Hälfte der Nahrung dar. Damit ist *N. concinna* ein auf wenige Makroalgenarten spezialisierter Herbivorer, wie es auch für einige Napfschneckenarten aus temperierten Gebieten bekannt ist (CRAIG 1968, EATON 1968).

Durch diese Ergebnisse wurden die Voraussagen, die über die Nahrung von *N. concinna* aufgrund der Theorie der funktionellen Radulamorphologie getroffen

wurden, bestätigt. Die drei wichtigsten Nahrungskomponenten der Napfschnecken waren Krustenrotalgen, die ledrige Braunalge *A. mirabilis* und auf Fels lebende benthische Diatomeen.

Laevilacunaria antarctica

Über die Biologie der antarktischen Schneckenart *L. antarctica* ist relativ wenig bekannt, obwohl sie RICHARDSON (1977) als auffälligste Schnecke in seinen Proben aus dem Sublitoral von Signy Island bezeichnete. PICKEN (1979) führte auf Signy Island populationsdynamische Untersuchungen an *L. antarctica* durch. Zum Nahrungsspektrum gibt er an, daß die Tiere den Mikroalgenfilm von denjenigen Makroalgenthalli abweiden, auf denen sie vorkommen. Er führte saisonale Wachstumsunterschiede bei *L. antarctica* auf das vermehrte Wachstum der Diatomeen im Sommer zurück. Das Nahrungsspektrum der Schnecken untersuchte er jedoch nicht. Die hier vorliegenden Untersuchungen an Kotballen von *L. antarctica* aus der Potter Cove zeigen jedoch, daß neben den epiphytischen Diatomeen auch in erheblichen Mengen Zellmaterial von Makroalgen aufgenommen wurde. Daß dieses nicht nur "zufällig" mit den Diatomeen abgeraspelt wurde, zeigen Fraßexperimente mit *L. antarctica* und verschiedenen Makroalgenarten, deren Thalli von Diatomeen gereinigt waren (vgl. Kap.4).

Wie schon zuvor bei den Napfschnecken festgestellt, spielen auch bei *L. antarctica* Makroalgen eine größere Rolle in der Ernährung, als bisher in der Literatur angenommen wurde. *L. antarctica* frißt an Diatomeen, filamentösen (*Geminocarpus geminatus*), foliosen (*Monostroma hariotii*), soliden (z.B. *Desmarestia menziesii*, *A. utricularis*) bis hin zu ledrigen Algenarten (*Iridaea cordata*). Die Schnecke frißt damit, wie es aufgrund der Theorie nach STENECK & WATLING (1982) vermutet wurde, an vielen verschiedenen Algenarten und -gruppen.

Insgesamt hat sich das von STENECK & WATLING (1982) vorgeschlagene Konzept der funktionellen Radulamorphologie in meinen Untersuchungen bestätigt.

Nereidae

Die meisten Polychaetenarten kommen auf Weichböden vor und sind Filtrierer, Detritusfresser oder Räuber (FAUCHALD & JUMARS 1979). Einige Arten, vielfach Nereiden, werden als Herbivore an sublitoralen Algen beschrieben (FAUCHALD & JUMARS 1979, GOERKE 1966, 1971, HAWKINS & HARTNOLL 1983), gehören aber nicht zu den häufigsten Herbivoren an Makroalgen. Vielfach nutzen Polychaeten bei Makroalgen die krallenförmigen Rhizoidbereiche als Lebensraum, wobei dies aber nicht bedeuten muß, daß die Tiere an diesen Algen auch fressen (SICINSKI 1993, WIESER 1952).

In der Antarktis wurden die Polychaeten insbesondere durch HARTMAN (1964, 1966, 1967) beschrieben. Mittlerweile sind mehr als 650 Arten bekannt, die Liste der Arten wird aber kontinuierlich erweitert. BECKLEY & BRANCH (1992), JAZDZEWSKI et al. (1986) und KNOX & LOWRY (1977) halten die Polychaeten für eines der wichtigsten Faunenelemente des antarktischen Benthos. Die Nereiden sind mit wenigen Arten verbreitet, aus einigen antarktischen Flachwassergebieten wird vor allem die Art *Neanthes kerguelensis* als Hartbodenbewohner beschrieben (RICHARDSON 1977, SICINSKI 1993). Über das Nahrungsspektrum von *N. kerguelensis* ist nur wenig bekannt. DELACA & LIPPS (1976) und RICHARDSON (1977) geben an, daß diese Art unter anderem an *Desmarestia* spp. frißt. Als weitere Herbivore fand BRAND (1980) in Arthur Harbour drei Terebellidenarten assoziiert mit Makroalgen und stellte fest, daß Makroalgenstücke teilweise einen erheblichen Anteil am Nahrungsspektrum dieser Polychaeten darstellen.

Die Analyse der Nereiden aus den vorliegenden Proben zeigte, daß es sich um reine Herbivore handelte, die Mägen beinhalteten keinerlei tierische Nahrung. Die Makroalgenarten aus den Polychaetenmägen waren sehr gut zu bestimmen, da die Tiere ihre starken Kiefer scherenartig einsetzen und ganze Stücke aus dem Thallus ausschneiden. Dabei fressen die Polychaeten vorwiegend an verzweigten und unverzweigten, ledrig-festen sublitoralen Algenarten (vgl. Kap.3.2.3.3). An die Nutzung solcher Algenarten sind die Nereiden durch ihre stark entwickelten Mundwerkzeuge offensichtlich besonders gut angepaßt.

Gondogeneia antarctica

Für den südlichen Ozean sind insgesamt über 800 Amphipodenarten beschrieben, über 600 dieser Arten sind endemisch für die Antarktis (DE BROYER & JAZDZEWSKI 1993). Auch im antarktischen Flachwasser bilden Amphipoden eine der artenreichsten Gruppen. Sie können die verschiedensten Lebensräume besetzen und kommen z.T. in großen Anzahlen vor (JAZDZEWSKI et al. 1986, RAUSCHERT 1984, 1991). Ihr Anteil an der Gesamtbiomasse der Fauna ist aufgrund der geringen Größe der Tiere oft relativ niedrig (JAZDZEWSKI et al. 1986).

Die zu den Eusiridae gehörende Amphipodenart *G. antarctica* ist in subantarktischen und westantarktischen Regionen weit verbreitet (JAZDZEWSKI et al. 1991). BRAND (1980) und RICHARDSON (1977) stellten fest, daß diese Art besonders häufig auf makroalgenbewachsenen Hartböden in antarktischen Flachwassersystemen vorkommt. BRAND (1980) führte Nahrungsuntersuchungen an *G. antarctica* in Arthur Harbour durch und fand Mikro- und Makroalgen, die er jedoch nicht genauer spezifizierte. Er erwähnte außerdem, daß das Nahrungsspektrum der Art über das Jahr hinweg konstant bleibt, nur daß im Winter mehr Tiere einen leeren Magen haben. RICHARDSON & WHITAKER (1979) untersuchten die Nahrungszusammensetzung von *G. antarctica* im

antarktischen Sommer und Winter in Signy Island. Sie stellten fest, daß die Amphipodenart sich hauptsächlich von Mikroalgen ernährt. Im Sommer waren dies benthische sowie pelagische Diatomeen, die nach der Phytoplanktonblüte herabsinken und einen dicken Detritusteppich auf den Makroalgenthalli hinterlassen. Makroalgen waren auch Bestandteil der Nahrung, wobei RICHARDSON & WHITAKER (1979) aber nur exemplarisch *Urospora spec./Ulothrix spec.* angeben. Sie stellten fest, daß die Tiere im Winter von den benthischen Nahrungsquellen zur Unterseite des sich ausbildenden Meereises wandern und an eisassoziierten Mikroalgen (*Phaeocystis antarctica*, *Navicula glaciei*, *Nitzschia curta*) fressen.

Bei den Nahrungsuntersuchungen an *G. antarctica* aus der Potter Cove wurde nur ein geringer Anteil von Diatomeen an der Nahrung festgestellt (s. Kap.3.2.3.4). Es handelte sich ausschließlich um benthische Formen, deren Anteil in der Regel weniger als 10% des Gesamtmageninhalts betrug. Makroalgen dagegen machten den weitaus größten Anteil an der Gesamtnahrung aus. *G. antarctica* frißt generell an vielen verschiedenen Makroalgenarten aus allen drei systematischen Großgruppen. Das Spektrum umfaßt filamentöse, foliose, solide und ledrige Algen. Eigene Freiland- und Aquarienbeobachtungen der Tiere zeigten, daß es sich bei ihnen um aktive Schwimmer handelt, die ein Substrat zum Festhalten suchen und dort zu fressen beginnen. Vor allem aufrecht wachsende Makroalgen bilden ein reich strukturiertes Mikrohabitat für *G. antarctica*. Ähnlich wie bei den Gastropoden gibt es auch bei Amphipoden Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen morphologischer Anpassung der Mundwerkzeuge und der Nahrungsauswahl der Tiere (z.B. KLAGES & GUTT 1990). Über den Aufbau der Mundwerkzeuge von *G. antarctica* wurden keine gesonderten Untersuchungen durchgeführt, aber die Informationen darüber aus der Originalbeschreibung von CHEVREUX (1906) deuten darauf hin, daß Mandibel, Maxillen und Maxillipeden kräftig genug ausgeprägt sind, um auch bei ledrig-festen Algenarten Stücke abzubeißen.

Für die Unterschiede in der Nahrung dieser Amphipodenart zwischen meiner und der Untersuchung von RICHARDSON & WHITAKER (1979) gibt es zwei Erklärungsmöglichkeiten:

- 1) Die Tiere ernähren sich in verschiedenen Gebieten unterschiedlich.
- 2) Der Anteil von Makroalgen an der Nahrung von *G. antarctica* wurde in bisherigen Untersuchungen unterschätzt.

Die erste Möglichkeit wird dadurch gestützt, daß das Angebot von Phytoplankton in der Potter Cove meist sehr gering ist (SCHLOSS et al. 1994a). Anscheinend kann *G. antarctica* in einem solchen Gebiet andere Nahrungsquellen, wie z.B. Makroalgen, nutzen. Eine Untersuchung der Winternahrung von *G. antarctica* in der Potter Cove wäre in diesem Zusammenhang interessant, da es dort vielfach nicht zur Bildung winterlichen Meereises kommt und somit eine kryopelagische Ernährung der Tiere

nicht möglich ist. Da sich die Amphipoden jedoch auch von einigen mehrjährigen bzw. pseudoperennierenden Algenarten ernähren (*Desmarestia anceps*, *Iridaea cordata*, *Palmaria decipiens*), ist anzunehmen, daß sie auch im Winter vorwiegend an Makroalgen fressen.

Für die zweite der oben genannten Möglichkeiten spricht, daß die Bestimmung von Makroalgen in der Nahrung kleinerer Evertebraten sehr schwierig und zeitaufwendig ist und deshalb vielfach nicht durchgeführt wird. "Makroalgen" wird oftmals als eine zusammengefaßte, nicht quantifizierte Nahrungskomponente angegeben, manchmal werden die Algen sogar mit Detritus zusammengefaßt.

Vermutlich spielen beide Faktoren eine Rolle. Die im Vergleich zu anderen antarktischen Flachwassergebieten stärkere Nutzung von Makroalgen in der Potter Cove zeigte sich auch schon bei anderen Herbivoren, z.B. bei Napfschnecken (vgl. Kap.3.3.2.3).

Bovallia gigantea

Die Amphipodenart *B. gigantea* wird von vielen Autoren aufgrund ihrer Größe als auffälligste Amphipodenart des oberen Sublitorals in der westlichen Antarktis beschrieben (BONE 1972, JAZDZEWSKI et al. 1986, RAUSCHERT 1984, 1991, THURSTON 1970). Die Art kommt meist bis in eine Tiefe von 20 m, manchmal sogar bis 40 m, assoziiert mit Makroalgen vor (BRAND 1980, RICHARDSON 1977, THURSTON 1968, 1970). BONE (1972) beschreibt das Habitat von *B. gigantea* auf Signy Island als eine Makroalgenzone, in der hauptsächlich die Arten *Adenocystis utricularis*, *Desmarestia spec.* und/oder *Himantothallus grandifolius* wachsen. Eine deutliche Erhöhung der Individuenzahl stellte er in Bereichen mit hohem Rotalgenvorkommen fest. In meinen Proben kamen hohe Anzahlen von *B. gigantea* vor allem mit den beiden *Desmarestia*-Arten und mit der Rotalge *Gigartina skottsbergii* assoziiert vor.

Es existieren bereits detaillierte Untersuchungen zum Lebenszyklus, zur Reproduktion und zum Wachstum von *B. gigantea* (BONE 1972, THURSTON 1968, 1970). RAUSCHERT (1984) nennt als wichtigste Nahrungskomponenten von *B. gigantea* Nemertinen und Amphipoden, BRAND (1980) beschreibt die Art als karnivor und auf Amphipoden spezialisiert. RICHARDSON (1977) ordnet sie in die Gruppe der omnivoren Räuber mit Amphipoden, Copepoden und vereinzelt Diatomeen als Nahrung ein und PRESLER (1986) charakterisiert sie als nekrophag. Die umfangreichsten nahrungsökologischen Untersuchungen an *B. gigantea* führte BONE (1972) in Signy Island durch. Er fand durchschnittlich 70% tierische Nahrungskomponenten (Amphipoden, Copepoden) und 30% pflanzliche Nahrungskomponenten (hauptsächlich Diatomeen, vereinzelt Makroalgenreste) in den untersuchten Tieren. Der Pflanzenanteil an der Nahrung war im Sommer höher als im Winter. Allgemein stellt BONE (1972) fest, daß die Tiere frisches Futter (tierisch und pflanzlich) gegenüber Detritus

vorziehen. Er charakterisiert die Art übereinstimmend mit RICHARDSON (1977) als omnivor-räuberisch. Die vorliegenden Ergebnisse der Nahrungsanalyse stimmen im allgemeinen gut mit den Ergebnissen von BONE (1972) überein, bei den tierischen Nahrungskomponenten wurden neben den bereits genannten Komponenten auch Schneckenreste festgestellt. Der Anteil pflanzlicher Nahrung (Diatomeen und Makroalgen) lag bei den hier untersuchten Tieren ebenfalls bei bis zu 30%. Ich würde diese Art damit ebenfalls als omnivoren Räuber und weniger als Herbivoren charakterisieren.

Plakarthrium punctatissimum

Isopoden sind im antarktischen Benthos eine sowohl von der Artenzahl als auch von der Biomasse her bedeutsame Gruppe (BRANDT 1988, 1990, 1991, WINKLER 1994). Sie sind nach neuesten Erkenntnissen mit ca. 350 Arten, davon über 300 endemisch, in der Antarktis vertreten (BRANDT 1992). In antarktischen Flachwassersystemen sind vor allem die besonders großen Formen *Glyptonotus antarcticus* und *Serolis spec.* bekannt (CLARKE 1979, KNOX 1970, LUXMOORE 1982a, 1982b, 1985). Diese leben jedoch vorwiegend auf Weichböden (DAYTON & OLIVER 1977, RAUSCHERT 1984) und ernähren sich als Karnivore meist räuberisch oder von Aas (BRAND 1980).

Die Plakarthriiden haben ihr Hauptverbreitungsgebiet in der westlichen Antarktis (BRANDT 1991, WINKLER 1994). *P. punctatissimum* wurde dort auf Makroalgen in den flachen Sublitoralbereichen gefunden (PFEFFER 1887, RICHARDSON 1977, WILSON et al. 1976). Über die Zusammensetzung ihrer Nahrung war bisher nichts bekannt. WILSON et al. (1976) beschrieben lediglich, daß die Extremitäten der Isopoden für das Leben auf Makrophyten spezialisiert seien. Die Ergebnisse meiner Analyse der Nahrung dieser Tierart zeigen, daß *P. punctatissimum* meist nur die epiphytischen Diatomeen von den Makroalgenhalli abweidet. Einige wenige Makroalgenarten (*Ascoseira mirabilis*, *Curdiea racovitzae*) werden jedoch gefressen. *P. punctatissimum* kann daher im Hinblick auf seine Makroalgenahrung als Spezialist bezeichnet werden.

Odontaster validus

Wie bereits dargelegt (Kap. 3.1.2.7 & 3.3.1.2), war das hier zur Verfügung stehende Probenmaterial von *O. validus* nicht ausreichend fixiert, um durch Magenanalysen verlässliche Daten zur Nahrung der Seesterne in der Potter Cove zu erhalten. Deshalb werden an dieser Stelle nur kurz die betreffenden Informationen aus der Literatur zusammengefaßt. PEARSE (1965) unterscheidet in seinen Untersuchungen im McMurdo Sound zwei verschieden strukturierte Untersuchungsgebiete, Cape Evans mit vereinzeltem Vorkommen von Rotalgen und dicken Diatomeenrasen und an der McMurdo-Station eine Stelle unter dem Festeis, wo es keine Makroalgen gibt. In Cape Evans fand er neben tierischer Nahrung (Gastropoden und Crustaceen) einen

pflanzlichen Anteil (Mikroalgen) von ca. 45% an der Nahrung von *O. validus*. Die Tiere von der McMurdo-Station fraßen dagegen fast ausschließlich tierische Nahrung und Detritus. An anderen Stellen fand er Tiere an Robbenkot fressend. BRAND (1980) fand in Signy Island im Winter einen höheren Detritusanteil an der Nahrung als im Sommer, wo tierische Nahrungskomponenten vorherrschten. Ausführliche Nahrungsuntersuchungen an *O. validus* führte auch DEARBORN (1977) entlang der Antarktischen Halbinsel durch. Übereinstimmend mit den bereits dargestellten Daten stellte er fest, daß die Tiere Opportunisten sind, die die Nahrungsquellen nutzen, die sie in ihrer unmittelbaren Umgebung vorfinden. Die Tiere können dabei Omnivore, Detritusfresser, Herbivore an Makroalgen, Aasfresser, aktive Räuber oder sogar Suspensionsfresser an Plankton sein. Auch DAYTON et al. (1974) stellten im McMurdo Sound ein räuberisches Freßverhalten von *O. validus* fest.

Diese Untersuchungen lassen übereinstimmend auf eine omnivore Ernährungsstrategie der Seesterne schließen (McCLINTOCK 1994). Der pflanzliche Anteil an der Nahrung schwankt je nach deren Verfügbarkeit. In diesem Zusammenhang wäre es interessant, an gut fixierten Tieren aus der Potter Cove Magenanalysen durchzuführen, da bisher noch keine Tiere aus einem derart strukturierten Lebensraum (hoher Anteil von Makroalgen am Benthos, geringe Phytoplanktonverfügbarkeit) untersucht wurden.

Notothenia neglecta

HORN (1989) stellte in seiner Literaturübersicht über herbivore Fische latitudinale Unterschiede im Ausmaß herbivorer Ernährung bei Fischen fest. Strikte Herbivorie (Tiere fressen ausschließlich Algenmaterial) ist in tropischen Regionen mehr verbreitet als in temperierten Gebieten und oberhalb von 40°N bzw. 40°S in kalt-temperierten bis polaren Gewässern kaum vorhanden. Herbivorie im marinen Bereich in Sinne von HAY & STEINBERG (1992), wobei Algen einen entscheidenden, aber nicht den einzigen Anteil an der Gesamtnahrung ausmachen, ist auch bei polaren Fischen zu finden. Bei Nahrungsanalysen an antarktischen Fischen wurden vor allem bei verschiedenen *Notothenia*-Arten mehrfach große Anteile von Makroalgen an der Nahrung festgestellt, bisher aber nicht näher bestimmt (BURCHETT 1983, BURCHETT et al. 1983, GRÖHSLER 1992, LINKOWSKI et al. 1983, RICHARDSON 1975, 1977). Am häufigsten wurden Makroalgen in der Nahrung von *N. neglecta* gefunden (BARRERA-ORO & CASAUX 1990, CASAUX et al. 1990, LINKOWSKI et al. 1983, MORENO & ZAMORANO 1980, RICHARDSON 1975). BARRERA-ORO & CASAUX (1990) beschrieben Makroalgen als eine bevorzugte Nahrung von *N. neglecta* in der Potter Cove. RICHARDSON (1975) unterschied bei Tieren aus Signy Island lediglich Rot- und Braunalgen, wobei Braunalgen mit einer geringfügig höheren Präsenz vorkamen als Rotalgen (s.u.). MORENO & ZAMORANO (1980) fanden *Desmarestia spec.*, *Himantothallus grandifolius* und *Iridaea spec.* in Mägen von Fischen nahe der Palmer-Inselgruppe. Grünalgen

wurden bisher nicht als Nahrungskomponente identifiziert. In den hier untersuchten Mägen hatte jedoch die Grünalge *Monostroma hariatii* einen Anteil von über 20% an der Algennahrung der Fische. Das Fehlen dieser Algenart in bisherigen Untersuchungen ist sicherlich damit zu erklären, daß der einschichtige, dünne Thallus von *M. hariatii* in den Mägen schnell verdaut und damit sehr schwer zu identifizieren ist. In den hier untersuchten Proben kamen die beiden hauptsächlich gefressenen Rot- und Braunalgenarten (*Palmaria decipiens* bzw. *Desmarestia menziesii*) mit einer vergleichbaren Präsenz von gut 60% vor (Tab.3.14) und wurden damit um ein Drittel häufiger gefunden als bei RICHARDSON (1975). Die von MORENO & ZAMORANO (1980) festgestellte Präsenz von *Desmarestia spec.* von fast 60% in den Fischmägen stimmt mit meinen Ergebnissen sehr gut überein, während die Angaben dieser Autoren zu der Häufigkeit des Vorkommens von *H. grandifolius* (36,5%) und *Iridaea spec.* (11,3%) höher liegen als die hier festgestellten Häufigkeiten dieser Algenarten (0% bzw. 6,3%).

In der vorliegenden Untersuchung zur Algennahrung von *N. neglecta* wurden bei einigen Algenarten (vor allem *P. decipiens* und *M. hariatii*) monatliche Unterschiede in den Anteilen dieser Arten an der Fischnahrung festgestellt. Dabei zeigten die beiden genannten Arten eine gegenläufige Tendenz: Während der Anteil von *M. hariatii* im Laufe des Sommers zunahm, nahm der Anteil von *P. decipiens* ab. Die beiden Arten haben ihre Hauptverbreitung in ähnlichen Tiefen, so daß Raumkonkurrenz vermutet werden kann. *P. decipiens* ist eine perennierende Art, deren überwinterte Teile sogar schon unter dem Meereis mit dem Wachstum beginnen können, während *M. hariatii* als annuelle Art erst nach Eisaufbruch ihr Habitat besiedeln kann. *M. hariatii* hat jedoch eine hohe maximale Photosyntheserate (ca. 37 µmol O₂/g FG/h) (WEYKAM et al., eingereicht), so daß die Grünalge im Laufe des Sommers hohe Biomassen aufbauen kann. Im Spätsommer (Februar) konnte dann wieder ein Anstieg des *P. decipiens*- und eine Abnahme des *M. hariatii*-Anteils an der Fischnahrung festgestellt werden. Das entspricht der Zeit, in der die Thalli von *M. hariatii* reproduktiv werden und sich durch Sporenbildung praktisch auflösen (Dr. C. Wiencke, unveröffentlichte Daten).

Die tierische Nahrung von *N. neglecta* besteht laut Literatur (CASAUX et al. 1990, GRÖHSLER 1992, LINKOWSKI et al. 1983, MORENO & ZAMORANO 1980, RICHARDSON 1975) hauptsächlich aus Amphipoden. Meine Daten, wie auch die von BARRERA-ORO & CASAUX (1990), zeigen jedoch, daß in der Potter Cove Krill (*Euphausia superba*) den Hauptteil der tierischen Nahrung ausmacht. *N. neglecta* wechselt also offensichtlich bei dem Erscheinen eines Krillschwarms von der benthischen Ernährung kurzzeitig auf die Nutzung pelagischer Nahrungsressourcen (BARRERA-ORO & CASAUX 1990, EVERSON 1970, KOCK 1985, TARGETT 1981). Ob sich daraus auch ableiten läßt, daß Krill in der Potter Cove häufiger oder regelmäßiger vorkommt als z.B. in der Admiralty

Bay (LINKOWSKI et al. 1983) oder bei Signy Island (RICHARDSON 1975), müßte noch weiter untersucht werden.

In der Literatur wird immer wieder die Frage aufgegriffen und diskutiert, ob Makroalgen von benthisch fressenden Fischen mehr zufällig gefressen werden, um die darauf befindliche Fauna zu erfassen (MORENO & ZAMORANO 1980, QUAST 1968), oder ob die Algen als eigene Nahrungsquelle genutzt werden (vor allem HORN 1989).

Aus den im folgenden aufgeführten Gründen und unter Beachtung von Ergebnissen anderer Autoren über die Biologie von *Notothenia*-Arten vertrete ich die Ansicht, daß *N. neglecta* gezielt Makroalgen frißt. Als einen ersten und entscheidenden Hinweis darauf, daß Algen von *Notothenia*-Arten als eigenständige Nahrungskomponente genutzt werden, nennt BURCHETT (1983) die Häufigkeit, mit der Makroalgen in den Fischmägen vorkommen. Im Sommer fand er in bis zu 60% der untersuchten Mägen juveniler *N. rossii* bei Süd-Georgien Makroalgen. Auch RICHARDSON (1975) fand in Signy Island *Desmarestia spec.* in fast 40% und Rotalgen in 36% der untersuchten Mägen von *N. neglecta*. Bei *N. neglecta* aus der Potter Cove wurden in den Jahren 1985 bzw. 1988 in über 80% der untersuchten Mägen Makroalgen gefunden (BARRERA-ORO & CASAUX 1990, CASAUX et al. 1990). Auch in den hier vorliegenden Untersuchungen an *N. neglecta* aus der Potter Cove wurde in fast 86% der untersuchten Fischmägen Makroalgen gefunden (Kap. 3.2.3.8). Ein weiteres Indiz dafür, daß Makroalgen nicht nur wegen der Epifauna, sondern aktiv von *N. neglecta* gefressen werden, ist die Tatsache, daß auch Algenarten in großer Menge gefressen werden, auf denen nur wenige Tiere leben (z.B. *P. decipiens*, Tab.3.4).

HORN (1992) nennt weitere Mechanismen, die Fischen eine aktive Nutzung von Makroalgen als Nahrungsressource ermöglichen. Dies sind erstens ein sehr niedriger pH-Wert im Magen, so daß das Pflanzenmaterial durch Magensäure aufgelöst werden kann, zweitens ein Zerreiben der Nahrung im muskulösen Fischmagen und drittens eine Bakterien-Darmflora mit Zellulaseaktivität. TARGETT & RADTKE (1985) wiesen für *N. neglecta* einen pH-Wert von 2,5-3,2 im Magen und 7,7-8,2 im Darm nach. Diese Werte liegen in einem vergleichbaren, großteils sogar niedrigeren Bereich als bei herbivoren Fischen aus temperierten und tropischen Gebieten (HORN 1989). Die Säurestärke ist damit vor allem im Magen von *N. neglecta* groß genug, um Pflanzenmaterial aufzulösen und der Assimilation zugänglich zu machen (TARGETT & RADTKE 1985). *N. neglecta* besitzt einen muskulösen Pharynx, aber der Magen ist weichhäutig und dehnbar, so daß eine mechanische Zerkleinerung der Makroalgen nicht anzunehmen ist. MAC CORMAC & FRAILE (1990) bestimmten bei *N. neglecta* aus der Potter Cove die Bakterienflora des Magens und Darms. Sie stellten in den Eingeweiden der Fische eine dichte Flora aus fakultativ anaeroben Bakterien (vor allem die

Gattungen *Vibrio*, *Micrococcus* und *Staphylococcus*) fest, die völlig unterschiedlich zur Bakterienzusammensetzung im umgebenden Seewasser ist. Die Bakterien aus Magen und Darm besitzen Chitinaseaktivität und sind damit in der Lage, β -glykosidisch gebundene Polymere, d.h. eventuell auch Zellwandmaterial, zu spalten.

Alle ökologischen Zusammenhänge deuten also darauf hin, daß *N. neglecta* Makroalgen absichtlich frißt. Die Fische haben auch alle nötigen physiologischen Voraussetzungen, um Makroalgen als Nahrung verwerten zu können. Außerdem sind die Tiere von ihrem Stoffwechsel, d.h. ihren Enzymaktivitäten, her in der Lage, diese Futterverwertung sowohl im Sommer als auch im Winter aufrecht zu erhalten (JOHNSTON & BATTRAM 1993).

Ein "versehentliches" Fressen von Algen durch *N. neglecta* diskutieren MORENO & ZAMORANO (1980) in Untersuchungen bei der Palmer-Inselgruppe. Sie überprüften statistisch, ob Algen und Amphipoden in den Fischmägen unabhängig voneinander vorkamen und fanden eine Abhängigkeit der beiden Nahrungskomponenten. Aus der festgestellten Abhängigkeit dieser beiden Komponenten schließen sie, daß Algen von Fischen nur gefressen werden, um die darauf vorkommenden Amphipoden zu fangen. Das Problem bei dieser Schlußfolgerung ist jedoch, daß die Autoren keine parallelen Untersuchungen über das qualitative und quantitative Vorkommen der verschiedenen Amphipodenarten auf den verschiedenen Algenarten durchgeführt haben und somit die Grundvoraussetzung ihrer Interpretation nicht überprüft ist.

Die Frage nach der Nahrungsqualität von Makroalgen, d.h. ob es sich von dem Nährwert der Algen her für Fische überhaupt "lohnt", sie zu fressen, wurde vor allem von MONTGOMERY & GERKING (1980) und HORN (1989) diskutiert. Diese Frage wird in Kap. 5 im Zusammenhang mit den morphologischen, chemischen und physiologischen Eigenschaften der Makroalgen ausführlich diskutiert werden. An dieser Stelle sei nur kurz erwähnt, daß die durchschnittliche Assimilationseffizienz für Makroalgennahrung bei herbivoren Fischen bei über 20% liegt (MONTGOMERY & GERKING 1980). Teilweise wurden sogar Werte bis zu 90% festgestellt (HORN 1989), wobei die Absorption von Proteinen und Lipiden besonders hoch ist. Es gibt sogar erste Hinweise darauf, daß herbivore Fische sogar Zellwandmaterial (Zellulose) assimilieren können (HORN 1989).

Neben Magenanalysen wurden auch Untersuchungen zur Nahrungsselektion von *N. neglecta* durchgeführt. BARRERA-ORO & CASAUX (1990) untersuchten bei vergleichbaren Analysen die tierischen Nahrungskomponenten. Algen als gesammelte Nahrungskategorie wurden in ihrer Analyse mit dem Ivlev-Index als eine von sieben

bevorzugten Nahrungskomponenten identifiziert. Die von ihnen festgestellte Abhängigkeit des Algenfraßes von der Fischgröße (Juvenile fressen mehr Algen) konnte hier nicht bestätigt werden (Abb.3.12).

Ein Vergleich der Ergebnisse der Mageninhaltsanalyse und der Selektionsanalyse (Abb.3.17) zeigt, daß der Fraß an einer Algenart und auch die gefressene Menge einer Algenart nicht unbedingt etwas über die Präferenz der Tiere für diese bestimmte Alge aussagen. Erst die Präferenzanalyse zeigt, ob bestimmte Komponenten aus dem verfügbaren Nahrungsangebot bevorzugt, vermieden, oder dem Angebot entsprechend gefressen werden. Bei *N. neglecta* ergab die Analyse der Nahrungsselektion nach STRAUSS (1979), daß die beiden Algenarten (*Palmaria decipiens* und *Desmarestia menziesii*), die den größten prozentualen Anteil an der aufgenommenen Algennahrung hatten, auch relativ zu ihrer Verfügbarkeit im Benthos positiv selektiert wurden. Im Gegensatz dazu wurde *Desmarestia anceps* zwar in den Fischmägen gefunden, ihr Anteil an der Nahrung war jedoch deutlich geringer als ihr Anteil an der Algenbiomasse im Benthos, d.h. *D. anceps* wurde signifikant gemieden. Eine weitere interessante Algenart ist *Himantothallus grandifolius*, die im Benthos ab einer Tiefe von 10-15 m in großen Mengen (gemeinschaftsbestimmend) vorkommt, aber von den Fischen gar nicht gefressen wird. Von den 18 in den Fischmägen gefundenen Algenarten wurden nur drei Arten signifikant positiv selektiert. Diese Selektion bestimmter Makroalgenarten aus einer vielfältigen Algenvegetation bestätigt, daß *N. neglecta* aktiv an Makroalgen frißt. Bei den drei bevorzugten Arten (*Palmaria decipiens*, *Iridaea cordata* (Rotalgen), *Desmarestia menziesii* (Braunalge), die Grünalge *Monostroma hariotii* konnte nicht in die Untersuchung der Nahrungsselektion mit einbezogen werden) handelt es sich um Arten, die ihr Hauptverbreitungsgebiet in Tiefen von 5 bis 10 m haben (Tab.2.1). Die beiden signifikant abgelehnten Braunalgenarten *D. anceps* und *H. grandifolius* haben ihre Hauptverbreitung in größerer Tiefe ab 10 m. Aus diesen Untersuchungen läßt sich schlußfolgern, daß die Tiere, die zwar regelmäßig in Tiefen bis zu mindestens 30 m vorkommen (Probennahmetiefe, eigene Tauchbeobachtungen, TIEDTKE & KOCK (1989) geben Tiefen um 100 m, maximal bis 550 m an), ihre Nahrung vor allem aus flacheren Bereichen beziehen. Es findet bei *N. neglecta* also innerhalb der Habitatauswahl (makroalgenbewachsene Hartböden) eine weitere, "höhergeordnete" Selektion für den aktuellen Futterplatz, das obere Litoral, statt (JOHNSON 1980).

Zusammenfassend bestätigen die hier diskutierten Ergebnisse die bereits von BARRERA-ORO & CASAUX (1990) und CASAUX et al. (1990) formulierte These, daß *N. neglecta* als omnivorer Benthosfresser aktiv an Makroalgen und nicht nur an der sich

darauf befindenden Fauna frißt und Algen einen entscheidenden Bestandteil an der aufgenommenen Nahrung ausmachen:

- 1) Makroalgen kommen mit einer hohen Präsenz in Mägen von *N. neglecta* vor.
- 2) *N. neglecta* ist physiologisch in der Lage, Algennahrung zu verwerten.
- 3) *N. neglecta* frißt in hohem Maße an Algenarten, auf denen nur sehr wenig Tiere vorkommen.
- 4) Es findet eine aktive Selektion bestimmter Algenarten aus dem verfügbaren Artenspektrum statt, die nicht mit dem Vorkommen einer reichhaltigen Fauna auf diesen Algenarten korreliert ist.

4. Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica*

Die Konsumtion ist ein wichtiger Parameter in der Energiebilanz von Individuen und Populationen. Der Begriff Konsumtion ist definiert als die Menge Nahrung, die von einem heterotrophen Individuum oder einer Population bei einer bestimmten Temperatur in einer bestimmten Zeiteinheit aufgenommen wird (CRISP 1984). Sie ist in der Energiebilanz-Gleichung wie folgt definiert:

$$C = E + A = E + G + P + R$$

Dabei ist:

C = Konsumtion; aufgenommene Gesamtnahrung pro Zeiteinheit.

E = Egestion; unverwertbarer Anteil der Nahrung, der ausgeschieden wird.

A = Assimilation; Anteil der Nahrung, der für physiologische Prozesse genutzt wird

G = Gonadenproduktion; der Teil der assimilierten Energie, der in reproduktives Gewebe umgesetzt wird.

P = Produktion; der Teil der assimilierten Energie, der in somatisches Gewebe umgesetzt wird.

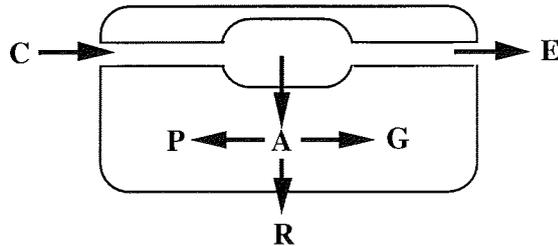
R = Respiration; der Teil der assimilierten Energie, der als Wärme abgegeben wird.

Genaugenommen handelt es sich bei jedem dieser Parameter um eine Rate, da die Faktoren pro Zeiteinheit bestimmt werden. Im folgenden werden zur Vereinfachung jedoch nur die Begriffe Konsumtion, Egestion etc. benutzt.

Alle drei Parameter der Energiebilanz-Gleichung ($C=E+A$) haben eine andere ökologische Bedeutung: Mit der Konsumtion, also der aufgenommenen Nahrung, wird der Wegfraß einer Nahrungsquelle durch einen bestimmten Organismus oder eine Population quantifiziert. Die Konsumtion ist wichtig, um den Einfluß einer Prädatorenpopulation auf die Verfügbarkeit, Vitalität und Gemeinschaftsstruktur der Nahrungsorganismen zu bestimmen. Die Assimilation der Nahrung, meist angegeben in Form einer Effizienz (Assimilationseffizienz A/C), ist ein besonders wichtiger Faktor in der Populationsdynamik der Prädatoren, da davon deren somatische und gonadale Produktion abhängt. Die Egestion ist ein wichtiger Parameter für den Energiefluß im weiteren Nahrungsnetz, da über die Kotproduktion festgestellt werden kann, wieviel von der ursprünglich konsumierten Nahrung nun in umgewandelter Form (d.h. als Kotballendetritus) für andere Organismen als Nahrung zugänglich geworden ist, die die ursprüngliche Nahrungsquelle nicht nutzen konnten.

Konsumtion

Das Energieflußmodell für einen heterotrophen Organismus läßt sich wie folgt darstellen:



In dieser Arbeit wurde die Konsumtion von Makroalgenahrung exemplarisch an der Schneckenart *Laevilacunaria antarctica* untersucht. In den qualitativen Nahrungsuntersuchungen im vorangegangenen Kapitel (Kap. 3) wurde festgestellt, daß *L. antarctica* in der Potter Cove ein genereller Herbivorer an Makroalgen im Eu- und Sublitoral ist und bis in Tiefen von 30 m vorkommt. Mit der Bestimmung der Konsumtion dieses Organismus' in diesem Kapitel (Kap.4) sollte quantifiziert werden, in welcher Größenordnung der Wegfraß von Makroalgen in dem antarktischen Flachwassersystem "Potter Cove" liegt.

4.1 Material und Methoden

Für die Bestimmung der Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica* wurden die Tiere in Größenklassen eingeteilt und Fraßtests durchgeführt. Um die Gesamtkonsumtion der Population bestimmen zu können, wurden quantitative Proben zur Abundanz der Schnecken genommen.

4.1.1 Probennahme und Hälterung von *L. antarctica*

Für die Fraßexperimente zur Bestimmung der Konsumtion wurden Schnecken der Art *L. antarctica* durch Taucher im Eu- und Sublitoral des Peñon 1 (vgl. Abb.2.1) gesammelt. Im Labor wurden die Tiere aussortiert, vermessen und nach Größenklassen sortiert (s.u.) in Aquarien mit frischem Seewasser gehältert. Das Wasser wurde alle drei Tage erneuert, und ebenfalls alle drei Tage wurden die Schnecken mit frischen Makroalgen, vor allem *Iridaea cordata* und *Monostroma hariotii*, als Nahrung versorgt. Insgesamt wurden die Tiere drei Wochen in Aquarien gehältert, bevor mit den Fraßtests begonnen wurde, damit die Schnecken sich an die Bedingungen akklimatisieren konnten (MCSHANE et al. 1994).

4.1.2 Einteilung in Größenklassen bei *L. antarctica*

Die Größe von *L. antarctica* wurde bestimmt, indem bei Aufsicht auf die Mündung mit einer Schieblehre die Strecke zwischen dem äußeren Mündungsrand und dem gegenüberliegenden äußeren Rand der Schalenwindung ausgemessen wurde (Abb.4.1).

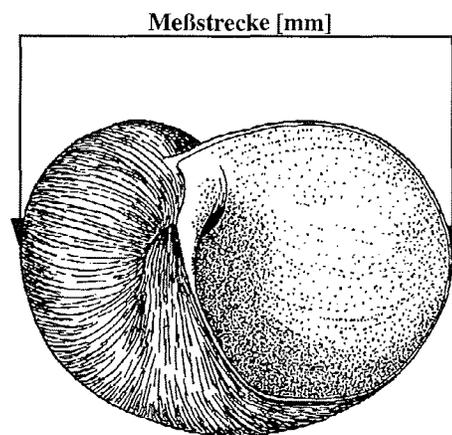


Abb.4.1: Vermessung der Schale von *L. antarctica* zur Bestimmung der Größenklasse.

Die Tiere wurden in folgende Größenklassen (GK) mit 1 mm Größenunterschied eingeteilt:

GK 1 = < 2,5 mm

GK 2 = 2,5 - 3,49 mm

GK 3 = 3,5 - 4,49 mm

GK 4 = 4,5 - 5,49 mm

GK 5 = ≥ 5,5 mm

Für jede Größenklasse wurden das durchschnittliche Frischgewicht, Trockengewicht und aschefreie Trockengewicht (AFTG) bestimmt: Für die Bestimmung des Frischgewichts wurden jeweils 10 Tiere, bei der kleinsten Größenklasse 50 Tiere, kurz mit Filterpapier abgetupft und auf einer Feinwaage (Sartorius) gewogen. Die Tiere wurden dann bei 60°C 24 h lang getrocknet und das Trockengewicht bestimmt. Zur Bestimmung des AFTG wurden sie 5 h bei 500°C im Muffelofen verascht, die Asche wurde gewogen, und aus der Differenz zwischen Trockengewicht und Asche wurde das AFTG errechnet.

Vor den Fraßtests wurden die Schnecken, nach Größenklassen getrennt, in Aquarien mit filtriertem Seewasser (Filtration über GF/F-Filter) gesetzt. Sie verblieben dort 24 Stunden ohne Futter. Aufgrund der minimalen Kotabgabe nach dieser Zeit wurde davon ausgegangen, daß die Tiere in dieser Zeit ihren Magen und Darm weitgehend von Nahrung entleerten, so daß der im Fraßversuch produzierte Kot ausschließlich aus dem Fraß an den getesteten Algen stammte.

4.1.3 Probennahme und Hälterung der Makroalgen

Die Konsumtion von *L. antarctica* wurde an insgesamt 13 Algenarten bestimmt. Es handelte sich um folgende Arten:

Chlorophyta: *Monostroma hariotii*

Rhodophyta: *Palmaria decipiens*, *Gigartina skottsbergii*, *Neuroglossum ligulatum*,
Plocamium cartilagineum, *Iridaea cordata*, *Georgiella confluens*,
Curdiea racovitzae

Phaeophyta: *Adenocystis utricularis*, *Ascoseira mirabilis*, *Desmarestia menziesii*,
Himantothallus grandifolius, *Phaeurus antarcticus*

Die Algen wurden im Eu- und Sublitoral am Peñon 1 und vereinzelt im tieferen Sublitoral am Peñon de Pesca gesammelt (vgl. Abb.2.1). Pro Fraßtest-Durchgang wurde die Konsumtion an einer Algenart bestimmt. Dazu wurde die jeweilige Algenart ca. 10

Tage vor Versuchsbeginn gesammelt und in Becken mit natürlichem Seewasser gehältert.

Auf den Thalli der Makroalgen wachsen auch epiphytische Diatomeen. Es sollte jedoch ausschließlich die Konsumtion an den Makroalgen bestimmt werden, so daß vor den Fraßtests die Diatomeen von den Makroalgen entfernt werden mußten. Dazu wurden die Makroalgen 7-10 Tage in Seewasser, das mit Germaniumoxid (GeO_2) versetzt war, gehältert (Dr. Wiencke, pers. Mitt.). GeO_2 verhindert beim Wachstum von Diatomeen den Aufbau der neuen Schalen, wodurch die Mikroalgen absterben. Nach einer Inkubation von 7-10 Tagen kann man davon ausgehen, daß alle Diatomeen abgetötet sind. Auf Makroalgen oder tierische Organismen hat GeO_2 keine Auswirkungen. Das mit GeO_2 versetzte Seewasser wird folgendermaßen angesetzt: Eine gesättigte GeO_2 -Lösung wird hergestellt, indem man zu 10 ml destilliertem Wasser 1 Spatelspitze GeO_2 gibt und 24 Stunden bei Zimmertemperatur inkubiert. Diese Stammlösung ist 4 Wochen haltbar. 500 μl dieser Lösung werden mit 1 l Seewasser versetzt; bei dieser Konzentration werden die Makroalgen für 7-10 Tage inkubiert.

4.1.4 Fraßtests zur Bestimmung der Konsumtion

Zur Bestimmung der Konsumtion von *L. antarctica* an den untersuchten Algenarten (Kap. 4.1.3) wurden Fraßtests durchgeführt. Bei flächigen Arten wurden runde Stücke mit 4 cm Durchmesser aus der Thallusmitte ausgestochen, bei verzweigten Arten periphere Bereiche von vergleichbarer Größe abgeschnitten. Die Algenstücke wurden gewogen und sofort danach in die verschiedenen Versuchsaquarien (s.u.) eingesetzt.

Von den Schnecken der einzelnen Größenklassen wurden Tiere in runde 0,5 l Glasaquarien mit filtriertem Seewasser (über GF/F-Filter filtriert) bei einer möglichst konstanten Temperatur von 1,3 - 2,7°C gesetzt. Pro Größenklasse wurde folgende Individuenanzahl pro Versuchsaquarium eingesetzt:

GK 1 = 15

GK 2 = 10

GK 3 = 8

GK 4 = 5

GK 5 = 3

Insgesamt wurden pro Größenklasse drei Aquarien mit Tieren besetzt, ein Ansatz davon diente als Blindprobe ohne Algenzugabe. Die beiden anderen Ansätze pro Größenklasse dienten als Parallelproben mit jeweils einem Thallusstück der zu testenden Algenart. Ein weiteres Aquarium diente als "Algenblindprobe", d.h. es enthielt gefiltertes Seewasser und ein Algenstück, aber keine Schnecken. Alle Aquarien wurden mit einer grauen Plastikfolie abgedeckt, die die Lichteinstrahlung in die Aquarien verringerte, so

daß das Algenwachstum während der Versuchszeit möglichst gehemmt war. Es drang jedoch noch soviel Licht durch die Folie, daß die Schnecken einem natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus ausgesetzt waren.

Das Einsetzen der Schnecken in die algenbestückten Aquarien bedeutete den Versuchsbeginn. Nach 24 h wurden die Fraßtests abgebrochen, indem die Schnecken aus den Versuchsaquarien entfernt und in die großen Hälterungsaquarien zurückgesetzt wurden. Die Algenstücke aus den Versuchsaquarien wurden mit Filterpapier trockengetupft und das Frischgewicht bestimmt, dann im Trockenschrank bei 60°C 24 Stunden lang getrocknet und danach das Trockengewicht bestimmt.

In den einzelnen Versuchsaquarien wurden die von den Schnecken produzierten Kotbällchen gezählt. Danach wurde das Gewicht der produzierten Kotballen pro Versuchsansatz durch Multiplikation der Kotballenanzahl mit dem mittleren Kotballengewicht pro Größenklasse berechnet. Eine direkte Bestimmung des Kotballengewichts durch Wägung der produzierten Faecesmenge war nicht möglich, da diese Werte zu stark schwankten (s. Kap.4.3.1.3). Das mittlere Kotballengewicht pro Größenklasse wurde bestimmt, indem jeweils Kot von Schnecken der fünf Größenklassen gesammelt und davon unterschiedliche Mengen gezählt und abgefiltert, getrocknet und gewogen wurden. Aus der Summe aller gezählten Kotballen und dem Kotballengesamtgewicht wurde das mittlere Gewicht eines Kotballens pro Größenklasse bestimmt.

Zur Filtration des Kots über GF/F-Filter mußten diese Filter vorpräpariert werden: Die Filter wurden mit destilliertem Wasser gewaschen, bei 60°C 24 Stunden lang getrocknet und dann gewogen (ADCOCK 1982). Die Filter wurden nach dem Abfiltrieren der Kotballen erneut bei 60°C 24 Stunden lang getrocknet und gewogen. Damit wurde das Trockengewicht der Faecesmenge bestimmt.

4.1.5 Abundanz von *L. antarctica* und relative Biomassenanteile einzelner Makroalgenarten

Um den gesamten Stoffumsatz durch eine Herbivorenart in einem bestimmten Gebiet bestimmen zu können, muß sowohl die Abundanz der Herbivoren als auch die Biomasse der verfügbaren Nahrung bekannt sein.

Im Bereich des Eu- und Sublitorals des Peñon 1 wurden monatliche Abundanz-Proben von *L. antarctica* und Biomasse-Proben der dort vorkommenden Makroalgen genommen. Dazu wurden von Oktober 1993 bis Januar 1994 jeweils in der Monatsmitte auf mehreren 0,25 m²-Flächen alle Algen und Tiere in feinmaschige Netze (Maschenweite < 0,2 mm) gesammelt. Im Labor wurden diese Proben sortiert, die Tiere in Alkohol fixiert und *L. antarctica* gezählt sowie vermessen (vgl.Kap.4.1.2). Aus der

Anzahl der Individuen einzelner Größenklassen und dem mittleren individuellen AFTG pro Größenklasse wurde die Gesamtbiomasse der Schnecken pro Probenquadrat, bzw. pro Quadratmeter, errechnet. Die Algenarten in den Proben wurden bestimmt, bei 60°C im Trockenschrank mindestens 24 Stunden lang bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und ihr Trockengewicht bestimmt. Für jedes Quadrat wurden von den einzelnen Algenarten ihre relativen Biomasseanteile berechnet. In Tab.4.1 sind die Anzahlen der Proben dargestellt.

Tab.4.1: Anzahl der 0,25 m²-Proben, die zur Bestimmung der Abundanz von *L. antarctica* und der Biomasse der Algen im Eu- und Sublitoral am Peñon 1 genommen wurden.

	Oktober 1993	November 1993	Dezember 1993	Januar 1994
Eulitoral	4	7	5	4
Sublitoral	/	3	8	4

4.1.6 Berechnung der Konsumtion von *L. antarctica*

Der Wert für die Konsumtion C läßt sich im Fraßtest entweder direkt durch die Gewichtsabnahme des angebotenen Futters während der Versuchszeit messen, oder aus den im Versuch bestimmten Parametern Egestion (E) und Assimilation (A) errechnen. Die direkte Messung von C war in den von mir durchgeführten Fraßtests nicht möglich, da die Gewichtsabnahme der Futteralgen während des Versuchs zu gering war, um zuverlässig bestimmt zu werden. Deshalb wurde die Konsumtion aus der Egestion (Menge produzierter Kot) und der Assimilation (Literaturwert, s.u.) berechnet:

- Egestion

In den hier durchgeführten Fraßtests wurde der Parameter "Egestion" durch die Menge an produziertem Kot pro Größenklasse bestimmt. Das Kotgewicht wurde, wie bereits in Kap.4.1.4 beschrieben, aus der Anzahl der produzierten Kotballen und dem mittleren Kotballengewicht der jeweiligen Größenklasse bestimmt. Für jede Größenklasse wurde die Egestion pro Individuum bei dem Fraß an den verschiedenen Algenarten bestimmt.

- Assimilation

Für die Berechnungen der Konsumtion wurde auf Literaturwerte der Assimilationseffizienz A/C zurückgegriffen (vgl. Kap.4.3.1.1) Der mittlere aus Literaturangaben errechnete Wert der Assimilationseffizienz von Herbivoren beträgt 0,43 (BREY 1995). Die Konsumtion C berechnet sich dann wie folgt:

$$\begin{aligned} C &= A + E \\ \Leftrightarrow C - A &= E \\ \Leftrightarrow C \cdot (1 - A/C) &= E \\ \Leftrightarrow C &= E / (1 - A/C) \end{aligned}$$

Um den Wert der Assimilationseffizienz bei *L. antarctica* nicht zu überschätzen, wurde von einem Wert von 0,4 für A/C bei den weiteren Berechnungen ausgegangen. Die Konsumtion berechnete sich demnach als:

$$C = E / 0,6$$

- Konsumtion pro Größenklasse und Algenart

Durch die Fraßtests wurde in der zuvor beschriebenen Weise aus der Egestion und Assimilationseffizienz pro Größenklasse die Konsumtion pro 24 Stunden für die verschiedenen Algenarten errechnet. Diese Konsumtionswerte der einzelnen Größenklassen wurden durch Logarithmierung transformiert, und für jede Algenart wurde eine Regressionsgerade berechnet, aus der die Konsumtion in Abhängigkeit von der Größe berechnet werden konnte.

- Konsumtion der Population

Für die Berechnung der Konsumtion der Schneckenpopulation eines Probenquadrats wurde die Anzahl der Tiere jeder Größenklasse in den einzelnen Proben bestimmt. Die Konsumtion der Schnecken wurde auf der Grundlage der relativen Anteile der verschiedenen Algenarten an der Gesamtalgenbiomasse pro Quadrat berechnet. Es wurde davon ausgegangen, daß die Konsumtion der Schnecken an einer bestimmten Algenart den gleichen relativen Anteil an der Gesamtkonsumtion ausmacht, den diese Algenart an der Gesamtbiomasse dieser Probe ausmachte. Ein Beispiel soll diesen Zusammenhang verdeutlichen:

Wenn die Alge *Iridaea cordata* an der gesamten Algenbiomasse eines Quadrats 100% ausmacht, dann beträgt die mittlere Konsumtion von *L. antarctica* 0,8 mg pro Tag. In einem Quadrat, in dem zu 100% die Algenart *Desmarestia menziesii* vorkommt, ist die mittlere Konsumtion dieser Schnecken 0,3 mg pro Tag. In einem Probenquadrat jedoch, in dem *I. cordata* und *D. menziesii* beide zu 50% vorkommen, werden die Schnecken an beiden Algenarten gleich häufig fressen, sofern keine Präferenz für eine der beiden Algen vorliegt. In diesem Quadrat betragen die Werte der Konsumtion an den einzelnen Algenarten also 0,4 bzw. 0,15 mg, und die Gesamtkonsumtion beträgt 0,55 mg.

Diese anteiligen Konsumtionswerte wurden für jedes Probenquadrat (vgl. Kap.4.1.5) pro Größenklasse separat bestimmt und dann mit der Anzahl der Schnecken pro Größenklasse multipliziert. Aus der Summe aller Konsumtionswerte aller

Die Konsumtion von *L. antarctica* wurde damit für einen Zeitraum von ca. 4 Monaten berechnet. Die biologisch aktive Zeitspanne der Schnecken liegt in Gebieten um den 60. Breitengrad jedoch bei ca. 8 Monaten (PICKEN 1979), so daß der für den Untersuchungszeitraum errechnete Wert der Konsumtion verdoppelt wurde, um die Konsumtion der Tiere in ihrer gesamten Aktivperiode zu erhalten.

- Konsumtion pro Jahr am Peñon 1

Die Fläche, die die einzelnen Assoziationstypen in dem Gesamtgebiet Peñon 1 einnahmen, wurde geschätzt, um die Gesamtkonsumtion von *L. antarctica* für dieses Gebiet berechnen zu können. Die Flächenanteile der einzelnen Assoziationstypen im Eulitoral und Sublitoral wurden aufgrund eigener Vermessungen abgeschätzt. Die Gesamtkonsumtion von *L. antarctica* am Peñon 1 wurde berechnet, indem die Konsumtionswerte in den einzelnen Assoziationstypen mit den Flächenanteilen dieser Assoziationen am Peñon 1 multipliziert wurden.

4.2 Ergebnisse

Im folgenden Ergebnisteil zur Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica* wird zuerst die Berechnung der Egestion aus den Fraßversuchen dargestellt (Kap.4.2.1). Daran werde ich die Berechnung der Konsumtion an einzelnen Algenarten bis hin zur Gesamtkonsumtion in dem Untersuchungsgebiet Peñon 1 anschließen.

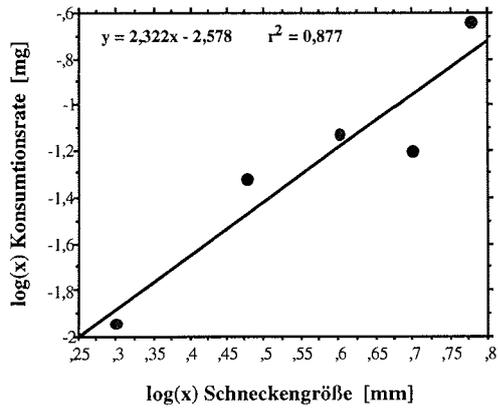
4.2.1 Mittleres Kotballengewicht pro Größenklasse

Die Egestion wurde bei *L. antarctica* in Fraßtests durch die Bestimmung der produzierten Kotmenge ermittelt. Um aus der in den Fraßtests produzierten Anzahl der Kotballen die Egestion zu berechnen, wurde zuerst das mittlere Trockengewicht eines Kotballens für jede Größenklasse der Schnecken berechnet. In Tabelle 4.2 sind die einzelnen Parallelmessungen, die zur Bestimmung des mittleren Kotballengewichts führten, aufgelistet.

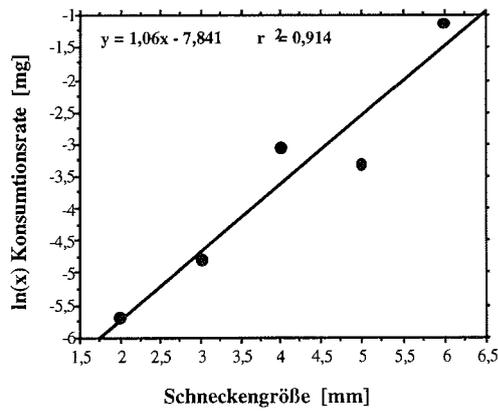
Tab.4.2: Anzahl und zugehörige Trockengewichte [g] der Kotballen (KB) von Schnecken verschiedener Größenklassen (GK) und das aus den Parallelproben errechnete mittlere Kotballengewicht [mg].

GK	Anzahl KB	Gewicht KB [g]	mittleres KB-Gewicht [mg]
1	715	0,0013	0,0007
	1115	0,0018	
	2101	0,0020	
	5329	0,0046	
	7844	0,0049	
	9550	0,0065	
2	237	0,0004	0,0015
	444	0,0008	
	736	0,0011	
	1037	0,0015	
3	214	0,0011	0,0036
	370	0,0018	
	689	0,0026	
	884	0,0029	
	1484	0,0048	
4	142	0,0012	0,0054
	301	0,0020	
	548	0,0034	
	1021	0,0052	
	1703	0,0084	
5	90	0,0014	0,0089
	180	0,0020	
	296	0,0028	
	559	0,0042	
	723	0,0061	

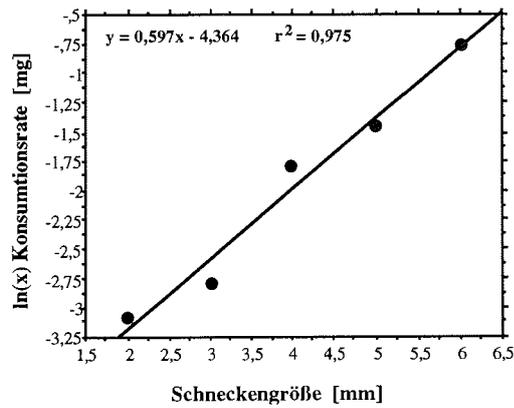
a *Monostroma hariotii:*



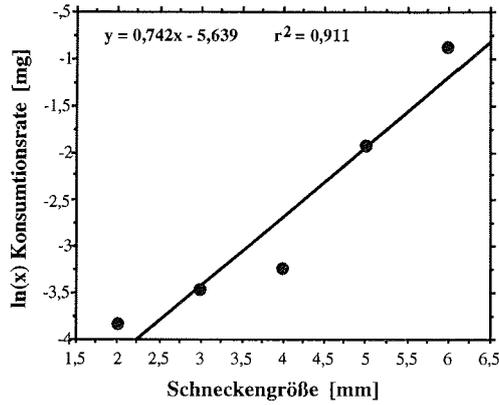
b *Palmaria decipiens:*



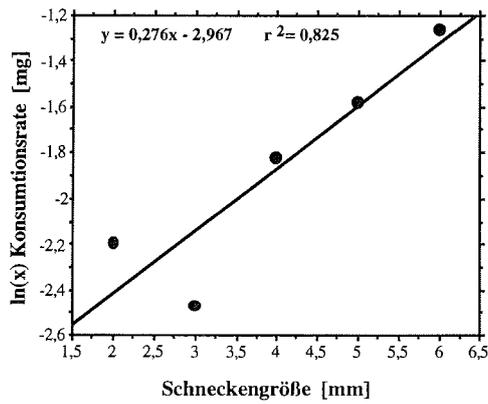
c *Gigartina skottsbergii:*



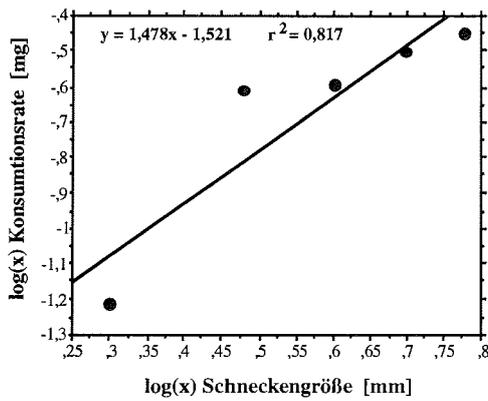
d *Plocamium cartilagineum*:



e *Iridaea cordata*:



f *Georgiella confluens*:



Tab.4.5: Beispiel einer Berechnung der Gesamtkonsumtion von *L. antarctica* an Makroalgen in einem Probenquadrat. N ist die Anzahl der Schnecken pro Größenklasse (GK), C_i sind die Konsumtionsraten an den verschiedenen Algenarten (i). $C_{ges./GK}$ ist die Gesamtkonsumtion pro Größenklasse und C_{Probe} die Gesamtkonsumtion pro Probenquadrat, C_{m^2} pro Quadratmeter und $C_{kg\ Alg.}$ pro kg Trockengewicht Algen.

Die prozentualen Biomasseanteile der einzelnen Algenarten in Probe 10/93-2 waren:
Iridaea cordata: 83%, *Gigartina skottsbergii*: 13%, *Palmaria decipiens*: 3,5%, Rest: 0,5%

Probe Nr. 10/93-2, Eulitoral

GK	N	$C_{I. cordata}$ [mg]	$C_{G. skottsbergii}$ [mg]	$C_{P. decip.$ [mg]	C_{Rest} [mg]	$C_{ges./GK}$ [mg]	C_{Probe} [mg]	C_{m^2} [mg·m ⁻²]	$C_{kg\ Alg.}$ [mg·kg Alge ⁻¹]
1	2	0,0742	0,0055	0,0001	0,0001	0,1598	20,3875	81,55	353,34
2	38	0,0978	0,0099	0,0003	0,0002	4,1116			
3	31	0,1288	0,0180	0,0010	0,0004	4,5942			
4	29	0,1697	0,0327	0,0028	0,0006	5,9682			
5	19	0,2238	0,0595	0,0080	0,0010	5,5537			

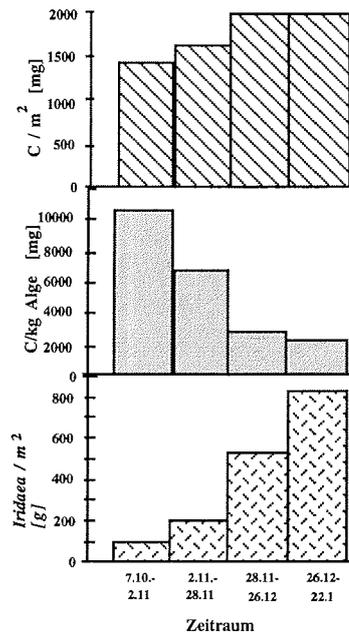
Wie in dem in Tabelle 4.5 dargestellten Beispiel wurde für alle untersuchten Probenquadrate die Gesamtkonsumtion von *L. antarctica* pro Probenquadrat und Kilogramm Trockengewicht Algen errechnet (Tab.4.6). Die Angabe "Zone" sagt aus, ob die Probe aus dem Eulitoral (Eu.) oder dem Sublitoral (Sub.) des Peñon 1 genommen wurde. Innerhalb dieser Zonen wurden die Probenquadrate bestimmten Assoziationstypen (Assoz.) zugeordnet (vgl. Kap.4.1.6), die jeweils durch den größten prozentualen Biomasseanteil (ca. 80-90%) bestimmter Algenarten in den Proben charakterisiert waren. Im Eulitoral waren diese Assoziationstypen der *Adenocystis*-Gürtel (Adeno), *Palmaria*-Gürtel (Palm), *Iridaea*-Gürtel (Iri) und der *Curdiea*-Gürtel (Curd). Im Sublitoral wurden die Assoziationstypen als *Desmarestia*- (Desm), *Ascoseira*- (Asco), *Iridaea/Gigartina*- (Iri/Gig) und *Curdiea/Neuroglossum*-Bereiche (Cur/Neu) abgegrenzt.

Tab.4.6: Probenquadrate aus dem Eu- und Sublitoral (Eu. bzw. Sub.) des Peñon 1, die Assoziationstyp-Bezeichnung (Assoz., Erklärung s. Text), die Gesamtanzahl ($N \cdot m^{-2}$) und die Biomasse (BM) als AFTG der Schnecken pro Quadratmeter, die Gesamtkonsumtion von *L. antarctica* an den Makroalgen pro Quadratmeter ($C \text{ ges} \cdot m^{-2}$) und die Gesamtkonsumtion der Tiere pro Kilogramm Trockengewicht Algen ($C \cdot \text{kg Algen}^{-1}$) sind angegeben.

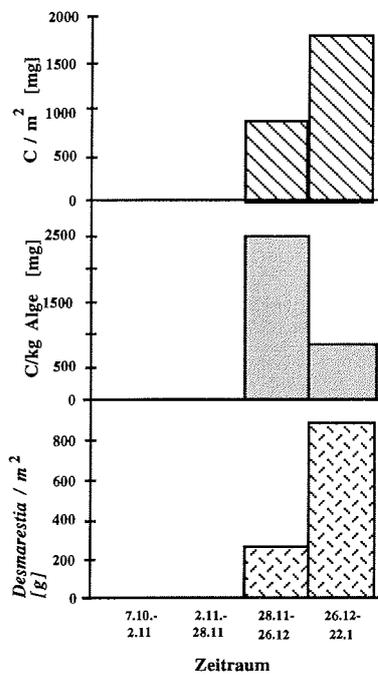
Proben Nr // Monat	Zone	Assoz.	$N \cdot m^{-2}$	BM [$g \cdot m^{-2}$]	$C \text{ ges} \cdot m^{-2}$ [mg]	$C \cdot \text{kg Algen}^{-1}$ [mg]
10/93-1 // Oktober	Eu.	Iri	328	1,60	53,52	/
10/93-2 // Oktober	Eu.	Iri	476	2,39	81,55	353,34
10/93-3 // Oktober	Eu.	Adeno	112	0,59	13,36	127,5
10/93-4 // Oktober	Eu.	Iri	144	0,64	27,42	456,99
11/93-1 // November	Sub.	Cur/Neu	316	1,97	13,15	15,37
11/93-2 // November	Sub.	Iri/Gig	360	2,38	68,01	81,51
11/93-3 // November	Sub.	Cur/Neu	256	1,81	36,30	49,08
11/93-4 // November	Eu.	Adeno	76	0,39	6,67	24,74
11/93-5 // November	Eu.	Adeno	60	0,17	4,05	14,93
11/93-6 // November	Eu.	Palm	280	0,68	16,70	61,41
11/93-7 // November	Eu.	Palm	232	0,49	11,79	24,86
11/93-8 // November	Eu.	Curd	76	0,17	3,43	24,49
11/93-9 // November	Eu.	Iri	388	1,77	59,71	243,10
11/93-10 // November	Eu.	Iri	436	1,85	65,41	280,99
12/93-1 // Dezember	Sub.	Iri/Gig	344	2,29	75,98	160,57
12/93-2 // Dezember	Sub.	Desm	388	2,63	32,79	114,19
12/93-3 // Dezember	Sub.	Desm	428	2,26	30,86	64,44
12/93-4 // Dezember	Sub.	Asco	132	0,85	1,66	1,89
12/93-5 // Dezember	Sub.	Iri/Gig	272	1,63	49,97	583,76
12/93-6 // Dezember	Sub.	Cur/Neu	356	1,99	55,73	211,09
12/93-7 // Dezember	Sub.	Cur/Neu	60	0,29	5,30	16,09
12/93-8 // Dezember	Sub.	Iri/Gig	264	1,78	36,71	133,39
12/93-9 // Dezember	Eu.	Iri	392	2,47	76,67	121,85
12/93-10 // Dezember	Eu.	Iri	364	1,97	69,00	91,80
12/93-11 // Dezember	Eu.	Iri	336	2,21	67,31	98,75
12/93-12 // Dezember	Eu.	Adeno	304	0,30	11,73	28,79
12/93-13 // Dezember	Eu.	Palm	132	0,53	9,05	15,01
1/94-1 // Januar	Sub.	Asco	564	3,28	18,44	9,15
1/94-2 // Januar	Sub.	Desm	576	4,27	66,17	34,07
1/94-3 // Januar	Sub.	Cur/Neu	268	1,24	34,39	76,91
1/94-4 // Januar	Sub.	Iri/Gig	268	1,65	55,88	106,57
1/94-5 // Januar	Eu.	Iri	388	2,61	77,01	96,41
1/94-6 // Januar	Eu.	Adeno	328	0,28	7,98	24,17
1/94-7 // Januar	Eu.	Palm	160	0,17	3,51	6,48
1/94-8 // Januar	Eu.	Iri	356	2,61	69,61	76,19

Für die einzelnen oben genannten Assoziationstypen wurden die Konsumtionswerte monatlicher Parallelproben gemittelt und für die verschiedenen Assoziationstypen die mittlere Konsumtion pro Quadratmeter, bzw. pro kg Algentrockengewicht, berechnet (Tab.4.7).

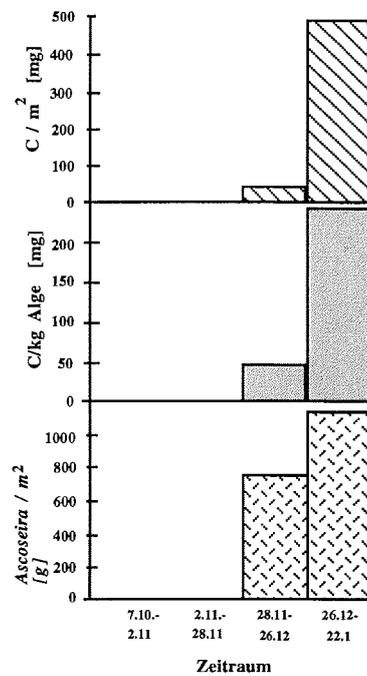
c: *Iridaea*-Gürtel (Eulitoral)



d: *Desmarestia*-Bereich (Sublitoral)



e: *Ascoseira*-Bereich (Sublitoral)



f: *Iridaea/Gigartina*-Bereich (Sublitoral)

g: *Curdiea/Neuroglossum*-Bereich (Sublitoral)

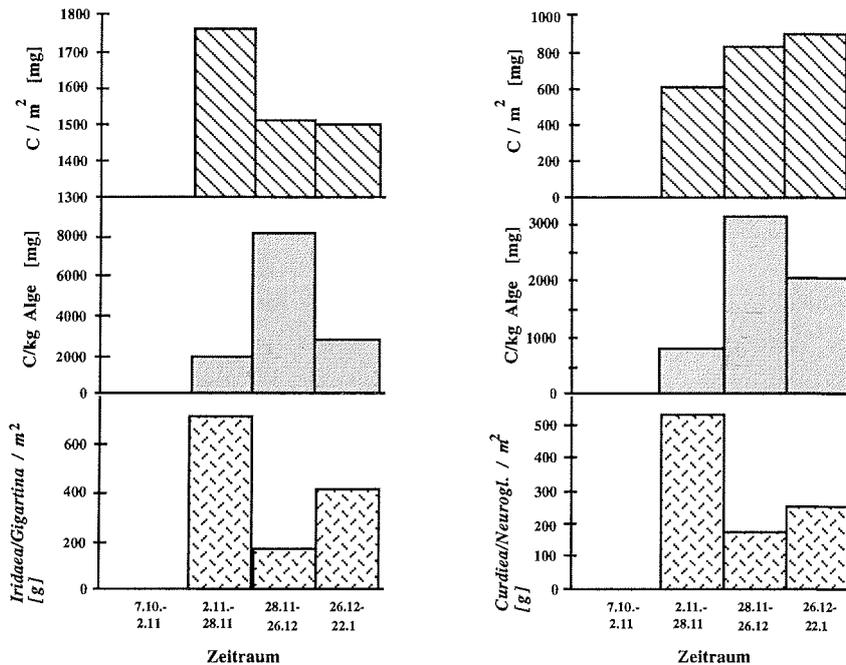


Abb.4.4 a-g: Berechnung der Konsumtion (C) von *L. antarctica* für vier Zeitspannen von je ca. 27 Tagen bei verschiedenen Assoziationstypen aus dem Eu- und Sublitoral des Peñon 1. Vergleichend dazu sind die Trockengewichte der Schlüssel-Algenarten der Assoziationstypen dargestellt.

In den meisten Fällen, außer bei den Sublitoralproben der Assoziationstypen *Iridaea/Gigartina* und *Curdiea/Neuroglossum*, ist eine deutliche Zunahme der Algenbiomasse pro Quadratmeter im Laufe des Sommers zu erkennen. In den Konsumtionsraten sind bei einigen Assoziationstypen mehrere unterschiedliche Trends zu erkennen: Die Konsumtion pro Fläche und die Konsumtion pro Algenbiomasse nehmen beide im Laufe der Zeit kontinuierlich ab, wie es im *Palmaria*-Gürtel des Eulitorals der Fall ist. Im *Ascoseira*-Bereich des Sublitorals dagegen nehmen beide Konsumtionsraten in der Zeit zu, wobei für diesen Assoziationstyp nur Daten für zwei Zeitspannen ab Ende November vorliegen. Im *Iridaea*-Gürtel des Eulitorals und dem *Desmarestia*-Bereich des Sublitorals sind die Trends der beiden Konsumtionsraten gegenläufig; während die Konsumtion pro Quadratmeter in dem untersuchten Zeitraum größer wird, nimmt die Konsumtion pro Algengewicht ab. Bei den anderen Assoziationstypen lassen sich aus den vorliegenden Daten keine solche Trends ablesen.

4.3 Diskussion

4.3.1 Methodendiskussion

Im folgenden werden zuerst die Methoden, die zur Ermittlung der Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica* verwendet wurden, diskutiert.

4.3.1.1 Bestimmung der Konsumtion

Die Methoden zur Bestimmung der drei Parameter der Energiebilanz-Gleichung (C, A, E) stehen eng miteinander in Verbindung. Die Konsumtionsparameter können sowohl über direkte als auch über indirekte Methoden bestimmt werden (CALOW & FLETCHER 1972, HORN 1989, WEEKS & RAINBOW 1990). Im folgenden werden die verschiedenen Methoden kurz kritisch dargestellt.

Direkte Methode (-> *gravimetrische Methode*)

Die aufgenommene Nahrung pro Zeiteinheit wird im Versuch direkt gemessen, indem das Gewicht oder Volumen der angebotenen Nahrung vor und nach dem Experiment bestimmt wird. Die Gewichts- bzw. Volumendifferenz entspricht der weggefressenen Nahrung während der Versuchszeit, also der Konsumtion. Über die Differenz zwischen der Menge der aufgenommenen Nahrung und der des ausgeschiedenen Kots läßt sich die Assimilation, bzw. Assimilationseffizienz berechnen.

Das Hauptproblem dieser Methode ist, daß sie abhängig von der quantitativen Erfassung der produzierten Kotmenge ist. Es wird außerdem davon ausgegangen, daß das gesamte ausgeschiedene Material aus der aufgenommenen Nahrung stammt. Im Verdauungsprozeß werden jedoch Sekrete und Schleime zur Nahrung hin abgesondert und später mit ausgeschieden. Sie können das Kotgewicht beeinflussen (HORN 1989)

Indirekte Methoden

Indirekte Methoden dienen vielfach auch der Bestimmung der Assimilationseffizienz, es werden dabei zwei Ansätze unterschieden:

-> *radioaktive Markierung*

Die angebotene Nahrung wird mit radioaktiv markierten Substanzen versetzt und nach dem Fraßexperiment die Radioaktivität im Körper und im Kot des Versuchsorganismus' bestimmt. Die aufgenommene und ausgeschiedene Gesamtradioaktivität entspricht der Konsumtion. Soll mit einer radioaktiven Markierung die Assimilation und nicht die

Konsumtion bestimmt werden, bietet sich eine von CALOW & FLETCHER (1972) weiterentwickelte Methode an. Bei dieser wird mit zwei radioaktiv markierten Substanzen im Futter gearbeitet, einem verdauungsinerten (z.B. ^{51}Cr) und einem absorbierbaren (z.B. ^{14}C) Element. Das Verhältnis beider radioaktiver Elemente einmal in der Nahrung und einmal im Kot gibt Aufschluß über den Anteil assimilierter Nahrung (CALOW & FLETCHER 1972, WIGHTMAN 1975, MONTAGNA 1983, WEEKS & RAINBOW 1990)

Die erstgenannte Methode mit nur einer radioaktiv markierten Substanz hängt ebenso wie die gravimetrische Methode von der quantitativen Erfassung des produzierten Kots ab. Eine mögliche Sekretion von Verdauungssubstanzen zum Kot ist dagegen kein Problem, da die Menge der Radioaktivität nicht beeinflußt wird. Bei der Methode mit zwei radioaktiven Substanzen wird auch das Problem der quantitativen Erfassung des Kots überwunden, da zur Bestimmung des Verhältnisses beider radioaktiver Substanzen nur eine Kotstichprobe nötig ist.

-> *Indikatormethode*

In der angebotenen Nahrung ist eine Markierungssubstanz enthalten, die möglichst vollkommen unverdaulich ist und von den Tieren in der gleichen Menge ausgeschieden wird, in der sie aufgenommen wurde. Die Differenz zwischen der Markerkonzentration in der Nahrung und in den Faeces entspricht dem assimilierten Teil der Nahrung. Idealerweise handelt es sich bei der Markierungssubstanz um eine in der Nahrung natürlicherweise vorkommende Substanz, da dadurch experimentelle Artefakte minimiert werden. Ein vielfach verwendeter natürlicher Marker ist der Aschegehalt (CONOVER 1966). Künstliche inerte Substanzen können z.B. Chromoxid (Cr_2O_3 , MCGINNIS & KASTING 1964) oder Fluoreszenzstoffe sein.

Das Problem dieser Methode ist, einen völlig unverdaulichen Marker zu finden. Die Verwendung des Aschegehalts als Marker kann problematisch sein, da es durch Assimilation der Asche während des Verdauungsprozesses zu Überschätzungen der Assimilationseffizienz kommen kann (BJORNDAL 1985, CLARKE 1979). Auch können Verdauungsssekrete im Kot den Aschegehalt verändern. Futter mit künstlichen Markern homogen zu versetzen, ist schwierig und zieht oft eine Denaturierung des ursprünglichen Futters mit sich.

Für die Bestimmung der Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica* an Makroalgen wurde eine direkte Methode verwendet, die jedoch aufgrund methodischer Schwierigkeiten etwas anders als in der obigen Darstellung durchgeführt wurde. Während die quantitative Sammlung des Kots im Experiment keine Schwierigkeiten bereitete, waren die Gewichtsveränderungen der Makroalgenstücke im Experiment zu

gering, um zuverlässig bestimmt werden zu können. Da damit der Wegfraß an den Algen nicht direkt bestimmt werden konnte, wurde die Konsumtion mit Hilfe eines Literaturwerts für die mittlere Assimilationseffizienz bei Herbivoren (vgl. Kap.4.1.6) berechnet. Dadurch war es nicht möglich, die tatsächliche Assimilation der Nahrung von *L. antarctica* zu bestimmen und eventuelle Unterschiede der Assimilationseffizienz bei verschiedenen Algenarten zu prüfen.

Die beiden anderen dargestellten - indirekten - Methoden zur Bestimmung der Konsumtion, bzw. der Assimilationseffizienz, eigneten sich für meine Untersuchungen aus folgenden Gründen nicht:

- Arbeiten mit radioaktiven Substanzen bei Feldarbeiten sind in der Antarktis generell nicht möglich, wenn, wie auf der Station Jubany, die adäquaten Arbeitsplätze und Entsorgungsmöglichkeiten fehlen.
- Die Bestimmung der Konsumtion über einen inerten Futtermarker war bei *L. antarctica* mit Makroalgen als Nahrung aus verschiedenen Gründen schwierig. Die Bestimmung des Aschegehalts als natürlicher inerte Marker im Schneckenkot bot bei der geringen im Experiment produzierten Kotmenge auch bei einer Meßgenauigkeit von 0,1 mg keine verlässlichen Daten. Makroalgen mit künstlichen Markierungssubstanzen zu versetzen, ist ohne Denaturierung der Algen nur bedingt möglich und eine homogene Verteilung der Substanzen in der Pflanze nicht gewährleistet.

4.3.1.2 Auswahl der Untersuchungsorganismen

Die Bestimmung von Konsumtionsraten an Makroalgen wurde exemplarisch am Beispiel der Schnecke *Laevilacunaria antarctica* durchgeführt. Folgende Gründe führten zur Auswahl dieser Schnecke für die Untersuchungen:

- Die Schneckenart ist im Flachwasser der Potter Cove sehr verbreitet und kommt in Tiefen von 0-30 m vor.
- *L. antarctica* ist ein Generalist an Makroalgen.
- Die Einteilung in Größenklassen ist deutlich und leicht durchführbar.
- Die Tiere können wegen ihrer geringen Vagilität gut quantitativ beprobt werden.
- Die Hälterung der Tiere ist trotz Schwierigkeiten im aquarientechnischen Bereich möglich.

Aus den genannten Gründen war es mit *L. antarctica* gut möglich, Fraßexperimente an verschiedenen Makroalgenarten im Aquarium durchzuführen und gleichzeitig die Abundanz der Schnecken in einem definierten Gebiet zu bestimmen. Dadurch konnte für diese Art auch die Gesamtkonsumtion der Schneckenpopulation in einem

definierten Gebiet berechnet und nicht nur die Konsumtion an einzelnen Algenarten experimentell bestimmt werden.

Bei den getesteten Algen handelte es sich um häufige Arten aus dem Eu- und Sublitoral (vgl. Tab.2.1). Die ausgewählten Algen stimmen weitgehend mit den Arten überein, die bereits in Kapitel 3.2.3.2 als Futterpflanzen von *L. antarctica* bestimmt wurden. Es wurden auch Algenarten in die Konsumtionsuntersuchungen eingeschlossen, von denen die vorangegangenen Untersuchungen zeigten, daß diese Arten von den Schnecken kaum gefressen werden (*Ascoseira mirabilis*, *Himantothallus grandifolius*). Diese Arten wurden erneut in die Untersuchungen einbezogen, um einen möglichen größenabhängigen Fraß der Schnecken an diesen Algen zu überprüfen.

4.3.1.3. Fraßexperimente zur Bestimmung der Konsumtion von *L. antarctica*

Die Fraßexperimente mit *L. antarctica* entsprachen dem üblichen experimentellen Aufbau zur Konsumtionsbestimmung bei marinen Evertebraten (CAREFOOT 1967a, ADCOCK 1982, LUXMOORE 1985, ARRONTES 1990). Die Dauer der Hungerphase vor einem Experiment zur Leerung des Darms ist bei verschiedenen Tierarten unterschiedlich und muß individuell in Vorversuchen bestimmt werden. Bei diesen Experimenten mit *L. antarctica* erwies sich eine Hungerzeit von 24 Stunden als sinnvoll, da die Tiere in dieser Zeit die größte Menge Kot abgegeben hatten, ohne bereits artifizielle Verhaltensweisen zu zeigen (Retraktion in die Schale, "Auswandern" aus dem Aquarium). Durch die "Blindproben", d.h. Versuchsansätze mit Schnecken ohne Algenbeigabe, konnten die im Versuch produzierten Kotmengen korrigiert werden. Dadurch war sichergestellt, daß die Kotmenge, aus der später die Konsumtion errechnet wurde, vom Fraß an den Algen während der Versuchsdauer stammte.

Eine direkte Quantifizierung des produzierten Kots durch Wägung war nicht möglich, da die Kot-Trockengewichte zu gering und die Gewichtsschwankungen zu groß waren, um verlässliche Daten zu produzieren. Neben der zu geringen Menge des Kots können abgeraspelte, aber nicht gefressene Algenstückchen oder trotz Aquarienabdeckung eingetragene Fremdkörper wie Sandkörnchen mögliche Fehlerquellen in der Kotgewichtsbestimmung darstellen (ADCOCK 1982). Deshalb wurde auf die verlässliche und im Endeffekt sicherlich genauere Bestimmung eines mittleren Kotballengewichts pro Größenklasse zurückgegriffen und damit die im Versuch produzierte Kotmenge berechnet.

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse zur Konsumtion von *L. antarctica* mit Daten anderer Gastropoden aus verschiedenen Gebieten verglichen. Außerdem wird kurz die Frage diskutiert, welchen Einfluß die Herbivoren auf die Bestände und Gemeinschaftsstruktur der Makroalgen in der Potter Cove haben können.

4.3.2 Konsumtion von *L. antarctica* an verschiedenen Makroalgenarten

In Kapitel 4.2.3 (Abb.4.4 a-g) ergaben sich bei der Gegenüberstellung der Konsumtion von *L. antarctica* mit der verfügbaren Algenbiomasse in den jeweiligen Assoziationstypen im Laufe einer viermonatigen Zeitspanne verschiedene Trends. Im *Palmaria*-Gürtel des Eulitorals nimmt sowohl die Konsumtion pro Quadratmeter als auch pro Algenbiomasse im Laufe der Zeit ab, während die Algenbiomasse gleichzeitig zunimmt. Die abnehmende Konsumtion pro Fläche bedeutet, daß im Laufe des Untersuchungszeitraums die Anzahl der Schnecken in diesem Algen-Assoziationstyp abnimmt, z.B. durch Abwandern der größeren Tiere in andere Bereiche. Das stimmt damit überein, daß in Probenquadraten dieses Assoziationstyps häufig Schnecken der kleinen Größenklassen gefunden wurden. Gleichzeitig aber nimmt das Wachstum der Algen zu, und die Konsumtion pro Algenbiomasse wird damit geringer. Den gegenläufigen Trend zeigen die Daten aus dem *Ascoseira*-Bereich im Sublitoral, wo die Algenbiomasse zwar ebenfalls im Laufe der Zeit zunimmt, aber auch die Konsumtion pro Fläche und auch pro Algenbiomasse ansteigt. Das läßt sich dadurch erklären, daß im Laufe der Zeit mehr Tiere auf Algen dieses Assoziationstyps vorkommen, wahrscheinlich durch ein Einwandern von größeren Tieren in diese Bereiche, und dementsprechend auch mehr fressen.

Im *Iridaea*-Gürtel (Eulitoral) und dem *Desmarestia*-Bereich (Sublitoral) steigt die Konsumtion pro Quadratmeter mit der Zeit leicht an, während die Konsumtion pro Algenbiomasse abnimmt. Es wird pro Fläche also mehr oder zumindest gleichbleibend viel gefressen. Das Wachstum der Algen ist aber größer als der Wegfraß durch die Schnecken, so daß die Konsumtion pro Algenbiomasse eine abnehmende Tendenz hat. Diese verschiedenen Trends spiegeln offensichtlich algenspezifische Interaktionsmuster zwischen *L. antarctica* und verschiedenen Algenarten oder -assoziationen wider.

4.3.3 Vergleich der Konsumtion von *L. antarctica* mit anderen Gastropoden

Ein Vergleich der Literaturangaben zur Konsumtion von Gastropoden ist schwierig, da sowohl die Einheit der Konsumtion (z.B. Gramm, Kalorien, Joule), als auch die Bezugsgröße (z.B. Fläche, Individuum, Experiment) nicht einheitlich sind und eine

Umrechnung auf eine einheitliche Form nicht immer möglich ist. HAWKINS & HARTNOLL (1983) geben eine Liste mit Daten zur Energiebilanz von verschiedenen Flachwasser-Herbivoren, unter anderem Gastropoden, an, in der alle Konsumtionsangaben auf die Einheit Kilojoule pro Quadratmeter und Jahr umgerechnet wurden. Für einen Vergleich der Daten wurde auch für *L. antarctica* die mittlere Konsumtion in diese Einheit umgerechnet. Dazu werden die Konsumtionswerte der Schnecken an den einzelnen Assoziationstypen aus Tabelle 4.8 (Kap.4.2.3) mit mittleren Konversionsfaktoren für Makroalgen (PAINE & VADAS 1969) in Kilojoule umgerechnet. Die Faktoren betragen für Braunalgen 12,8 und für Rotalgen 13,3 kJ·g TG⁻¹. Die Konsumtion pro Quadratmeter wird bei den Assoziationstypen "Adenocystis-Gürtel", "Desmarestia-Bereich" und "Ascoseira-Bereich" mit dem Faktor für Braunalgen und bei den restlichen Assoziationstypen mit dem Faktor für Rotalgen umgerechnet. Für *L. antarctica* ergibt sich eine mittlere Konsumtion von 94,3 kJ·m⁻²·Jahr⁻¹. In Tabelle 4.9 ist die Konsumtion verschiedener herbivorer Gastropoden aus unterschiedlichen Gebieten angegeben.

Tab.4.9: Konsumtion herbivorer Gastropoden, angegeben ist die Konsumtion in kJ·m⁻²·Jahr⁻¹ und die Assimilationseffizient in %. # *vide* HAWKINS & HARTNOLL (1983), (*) bedeutet, daß die Tiere an Makroalgen fressen, (**) bedeutet Fraß an Makro- und Mikroalgen.

Art	Gebiet	C [kJ·m ⁻² ·Jahr ⁻¹]	AE [%]	Quelle
<i>Laevilacunaria antarctica</i>	Antarktis	94 (*)	?	diese Arbeit
<i>Littorina obtusata</i>	Isle of Man	988 (?)	41	Wright 1977 #
<i>Tegula funebris</i>	Washington	4484 (**)	70	Paine 1971
<i>Haliotis midae</i>	Südafrika	3260 (*)	37	Barkai & Griffith 1988
<i>Nerita tessellata</i>	Barbados	2570 (*)	40	Hughes 1971a
<i>Nerita versicolor</i>	Barbados	632 (*)	39	Hughes 1971a
<i>Nerita pleoronta</i>	Barbados	398 - 1110 (*)	42	Hughes 1971a
<i>Fissurella barbadensis</i>	Barbados	2370 (*)	34	Hughes 1971b

Ein Vergleich der in Tabelle 4.9 dargestellten Werte zeigt, daß die Konsumtion von *L. antarctica* viel geringer ist als die aller anderer Arten. Dafür sind mehrere Erklärungen denkbar: Zum einen könnte die Assimilationseffizienz von *L. antarctica* höher sein als die angenommenen 40%. Zum anderen könnten auch antarktische Bedingungen (tiefe Temperaturen) zu geringeren Konsumtionsraten als in temperierten oder tropischen Regionen führen.

Die genauen Assimilationseffizienzen von *L. antarctica* für verschiedene Makroalgenarten müßten durch andere als in dieser Arbeit verwendete Methoden (z.B. durch radioaktive Markierung, vgl. Kap.4.3.1.1) bestimmt werden.

Vereinzelt wurden höhere Assimilationseffizienzen von über 60% bei herbivoren Schnecken festgestellt (CAREFOOT 1967a, 1967b, KOFOED 1975, PAINE 1965), meist aber nur, wenn Mikroalgen die Nahrungsquelle bilden (KOFOED 1975).

Die Konsumtion ist temperaturabhängig, d.h. wegen einer geringeren Stoffwechselrate bei niedrigen Temperaturen ist auch die Konsumtion bei tiefen Temperaturen (z.B. Antarktis) geringer. Um die Hypothese zu überprüfen, daß *L. antarctica* aufgrund niedriger Umgebungstemperaturen eine geringe Konsumtion hat, kann das sogenannte C/B-Verhältnis berechnet werden. C/B ist die Konsumtion pro Fläche und Zeit bezogen auf die Biomasse pro Fläche. Dieses Verhältnis liegt erfahrungsgemäß bei Herbivoren zwischen 10 und 20 (Dr. A. Jarre-Teichmann, pers. Mitt.) und drückt aus, wie hoch die Konsumtion sein muß, um eine bestimmte Biomasse zu unterhalten.

Erwartete Konsumtion zu Biomasse-Rate (C/B_e) für *L. antarctica*:

Das C/B_e -Verhältnis für *L. antarctica* läßt sich aus den zwei bekannten Größen P/B und P/C ableiten (mit $P/B=x$ und $P/C=y$ folgt $C/B_e = (P/y)/(P/x)$). Da die Konsumtion und die Produktion in gleicher Weise temperaturabhängig sind, wird bei der Berechnung der Konsumtion bzw. des C/B-Verhältnisses aus der Produktion der Faktor Temperatur praktisch herausgekürzt.

BREY & CLARKE (1993) geben aufgrund der Daten von PICKEN (1979) aus Signy Island für *L. antarctica* ein durchschnittliches P/B-Verhältnis von $1,5 \cdot \text{Jahr}^{-1}$ an. Das P/C-Verhältnis für Herbivore liegt in einer Größenordnung von 0,1 (PAULY & CHRISTENSEN 1995). Aus diesen Parametern läßt sich das zu erwartende C/B_e für *L. antarctica* errechnen:

$$C/B_e = (P/0,1)/(P/1,5) = 15 \cdot \text{Jahr}^{-1}$$

Berechnete Konsumtion zu Biomasse-Rate (C/B_b) für *L. antarctica*:

Für *L. antarctica* läßt sich das C/B_b -Verhältnis aus der mittleren Konsumtion ($94,3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Jahr}^{-1}$) und dem aschefreien Trockengewicht (AFTG) pro Quadratmeter ermitteln. Das mittlere AFTG betrug $1,6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ und mit dem Konversionsfaktor für Kilojoule von $18,85 \cdot \text{g AFTG}^{-1}$ (BREY & CLARKE 1993) ergibt sich eine mittlere Biomasse von $30,3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$. C/B_b errechnet sich daraus als:

$$C/B_b = 94,3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Jahr}^{-1} / 30,3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} = 3,1 \cdot \text{Jahr}^{-1}$$

Das beobachtete C/B_b -Verhältnis von 3,1 ist viel kleiner als das erwartete C/B_e -Verhältnis von 15, d.h. die berechnete Konsumtion an Makroalgen reicht nicht aus, um die vorhandene Biomasse der Schnecken zu unterhalten. Daraus läßt sich schließen, daß die niedrige Konsumtion von *L. antarctica* an Makroalgen nicht auf einen Temperatureffekt zurückzuführen ist. Die Schnecken müssen offenbar neben Makroalgen noch andere Nahrungsquellen nutzen. Diese anderen Nahrungsquellen sind wahrscheinlich vor allem Diatomeen, wie die qualitativen Untersuchungen der Nahrung von *L. antarctica* in Kapitel 3.2.3.2 zeigten. Der quantitative Anteil von Diatomeen an der Nahrung läßt sich abschätzen, wenn der Fraß von *L. antarctica* an verschiedenen Makroalgenarten, die einmal mit epiphytischen Diatomeen bewachsen (Kap.3.2.3.2) und einmal von Diatomeen gereinigt waren (Kap.4.2.2), verglichen wird (Tab.4.10).

Tab.4.10: Vergleich der Kotproduktion von *L. antarctica* beim Fraß an Algen mit epiphytischem Diatomeenbewuchs (MA+D) und an gereinigten Algen (MA). Die Kotballenproduktion ist angegeben als die Anzahl Kotballen pro Individuum und Zeiteinheit ($\text{Anz.KB}\cdot\text{Ind}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$).

Algenart	$\text{Anz.KB}\cdot\text{Ind}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$	$\text{Anz.KB}\cdot\text{Ind}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$	(MA+D) / MA
	MA + D	MA	
<i>Monostroma hariotti</i>	66	11	6
<i>Palmaria decipiens</i>	2	13	0,15
<i>Plocamium cartilagineum</i>	69	22	3
<i>Iridaea cordata</i>	52	21	2,5
<i>Adenocystis utricularis</i>	58	13	4,5
<i>Desmarestia menziesii</i>	28	8	3,5
GESAMT	275	88	3,1

L. antarctica produziert beim Fraß an Algenarten, die mit epiphytischen Diatomeen bewachsen sind, durchschnittlich dreimal soviel Kotballen wie beim Fraß an den gleichen Algenarten ohne Epiphytenbewuchs. Das bedeutet, daß die Nahrung zu etwa einem Drittel aus Makroalgen und zu zwei Drittel aus Diatomeen besteht.

Zumindest ein Teil der Differenz zwischen C/B_e und C/B_b läßt sich also durch den Fraß von *L. antarctica* an Mikroalgen erklären. Mit der Annahme, daß die Assimilationseffizienz von *L. antarctica* für Diatomeen deutlich höher ist als 40%, läßt sich die verbleibende Diskrepanz zwischen C/B_b und C/B_e erklären.

5. Fraßschutzmechanismen bei antarktischen Makroalgen

Nachdem im vorangegangenen Kapitel (Kap.4) die Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren im antarktischen Flachwassersystem Potter Cove vorwiegend im Hinblick auf die Tiere betrachtet wurden, steht in diesem Kapitel die Frage im Vordergrund, inwiefern Makroalgen als Nahrung geeignet sind. Das beinhaltet z.B. die Fragen, welchen Nährwert Makroalgen haben und ob sie in irgendeiner Weise gegen den Fraß von Herbivoren geschützt sind (MONTGOMERY & GERKING 1980).

Die bisherigen Untersuchungen dieser Arbeit haben gezeigt, daß die verschiedenen Algenarten unterschiedlich intensiv gefressen werden. Einige Algenarten werden von fast allen Herbivoren gemieden, obwohl diese Algenarten z.T. in großen Mengen im Flachwassersystem Potter Cove vorkommen. Es ist deshalb anzunehmen, daß sich antarktische Makroalgen in ihrer Qualität als Futter für Herbivore unterscheiden und möglicherweise Schutzmechanismen entwickelt haben, die den Fraß von Herbivoren reduzieren.

Im folgenden Kapitel werden folgende Fragestellungen bearbeitet:

1) Welchen Nährwert haben Makroalgen?

Durch CN-Analyse und die Bestimmung des organischen Anteils verschiedener Makroalgenarten soll deren Nährwert charakterisiert werden.

2) Haben Makroalgen einen chemischen Schutz gegen Herbivorenfraß entwickelt?

Algen-Extrakte sollen Aufschluß darüber geben, ob in den Algen Sekundärmetabolite vorhanden sind, die für einen chemischen Fraßschutz eine Rolle spielen können.

3) Spielen äußere strukturelle Eigenschaften der Makroalgen eine Rolle als Schutz vor Herbivorenfraß?

In einem Fraßtest mit strukturell denaturiertem Algenfutter soll überprüft werden, ob morphologische Eigenschaften der Algen eine Rolle bei einem möglichen Schutz vor Herbivorenfraß spielen.

5.1 Material und Methoden

5.1.1 C/N-Analyse

Kohlenstoff ist in Makroalgen vorwiegend in strukturbildenden Komponenten (z.B. Zellwand) oder in Form von Reservestoffen (z.B. Florideenstärke, Laminarin) angelegt. Stickstoff liegt vor allem in Proteinen vor und ist für Herbivore notwendig für den Aufbau von Aminosäuren und Proteinen. Über die C- und N-Gehalte, bzw. deren Verhältnis zueinander, können deshalb Aussagen über die Nahrungsqualität einzelner Makroalgenarten getroffen werden.

Die Makroalgenproben für die C/N-Analyse wurden mir freundlicherweise von Dr. Gaby Weykam (Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven) zur Verfügung gestellt. In der Zeit von September 1993 bis Februar 1994 wurden in der Potter Cove von insgesamt 28 Makroalgenarten Proben gesammelt und bearbeitet (Probenliste Anhang Tab.A-5). Thalli-Stücke von ca. 1 cm Durchmesser wurden trockengetupft und gewogen. Die Proben wurden einige Tage bei -30°C tiefgefroren, bevor sie vor Ort in einem "Lyovac GT 2" Gefriertrockner 48 Stunden lang bei 0,02 mbar getrocknet wurden. Im Alfred-Wegener-Institut wurden die Proben vor der C/N-Analyse noch einmal bei 60°C im Trockenschrank 24 h lang nachgetrocknet.

Die Einwaage der Proben für die Analyse erfolgte in Zinnhülsen, die zur Vorbereitung in Chloroform und anschließend in Aceton gewaschen wurden, um sämtliche Fettrückstände zu entfernen. Auf einer Ultrafeinwaage (Sartorius supermicro) wurden ca. 0,5-1,0 mg jeder Algenprobe in die Probenhülsen eingewogen. Als Standard für die C/N-Bestimmung diente Acetanilid (C_8H_9NO , Carlo Erba), welches in verschiedenen Mengen (ca. 0,2 mg, 0,5 mg, 1,0 mg) in Probenhülsen eingewogen wurde. Acetanilid beinhaltet 71,09% Kohlenstoff und 10,36% Stickstoff, aus diesen Anteilen lassen sich die C- bzw. N-Anteile in den eingewogenen Probenmengen bestimmen.

Die C/N-Analyse wurde an einem Carlo Erba NA-1500 Analyser durchgeführt. Bei der Analyse diente Helium als Trägergas und Sauerstoff als Verbrennungsgas.

Aus der eingewogenen Probenmenge, dem Integral der C- bzw. N-Peaks und den Umrechnungsfaktoren aus den Acetanilid-Standards wurden die C- und N-Konzentrationen sowie das C/N-Verhältnis in den einzelnen Algenproben errechnet.

5.1.2 Veraschung

Die Bestimmung des Aschegehalts bzw. des organischen Gehalts wurde an tiefgefrorenen Proben verschiedener Makroalgenarten aus der Potter Cove durchgeführt. Es handelte sich um folgende Algenarten:

Grünalgen: *Monostroma hariotii*

Rotalgen: *Curdia racovitzae*, *Iridaea cordata*, *Kallymenia antarctica*,
Neuroglossum ligulatum, *Palmaria decipiens*

Braunalgen: *Ascoseira mirabilis*, *Desmarestia anceps*, *Desmarestia menziesii*,
Himantothallus grandifolius, *Phaeurus antacticus*

Die gefrorenen Algen wurden aufgetaut, kurz mit destilliertem Wasser gespült und mit Filterpapier trockengetupft. Die Proben wurden in vorgetrocknete und vorgewogene Aluminiumschälchen eingewogen und das Frischgewicht der Algenproben bestimmt. Die Proben wurden bei 60°C im Trockenschrank 24 h lang getrocknet, danach wurde das Trockengewicht bestimmt. Die Veraschung erfolgte 15 h lang im Muffelofen bei 500°C (MONTGOMERY & GERKING 1980). Nach dem Glühen wurde das Aschegewicht bestimmt und aus der Differenz zwischen dem Trocken- und dem Aschegewicht das aschefreie Trockengewicht (AFTG) berechnet. Von jeder Algenart wurden drei parallele Messungen durchgeführt. Eine Ausnahme bildete *D. anceps*, von der nur für eine Messung genug Material zur Verfügung stand.

5.1.3 Chemische Analyse von Algenextrakten

Extrakte von antarktischen Makroalgen sollten auf das Vorkommen von Sekundärmetaboliten hin untersucht werden, die möglicherweise eine Funktion als Fraßschutzsubstanzen haben. Die Extraktionen wurden vor Ort mit frisch gesammeltem Algenmaterial durchgeführt. Die Aufarbeitung und chemische Analyse der Extrakte erfolgten mit der freundlichen Hilfe und technischen Unterstützung von Dr. Jorge Palermo (Universität Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Dep. Química Organica) und seiner Arbeitsgruppe in Buenos Aires.

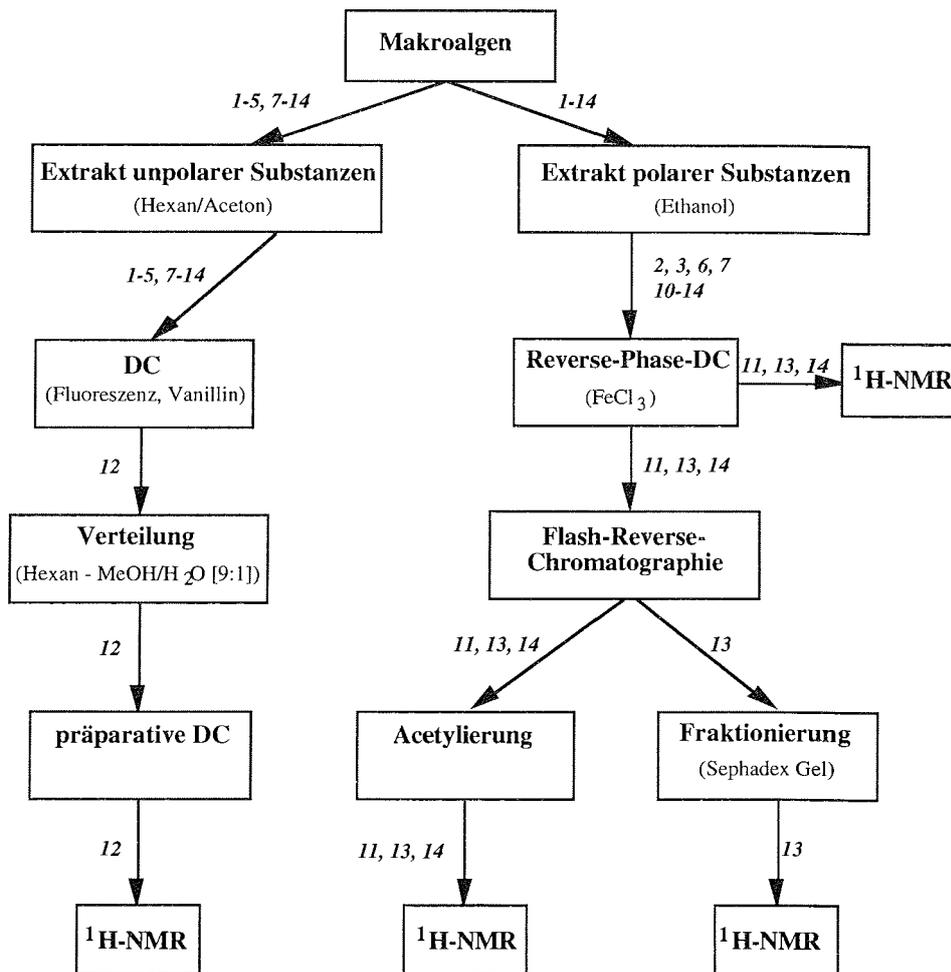


Abb.5.1: Schematische Darstellung der einzelnen Schritte bei der chemischen Analyse von Algenextrakten. Die Zahlen geben die Algenarten an, mit denen die jeweiligen Analyseschritte durchgeführt wurden.

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 - <i>Monostroma hariotii</i> | 8.- <i>Gigartina skottsbergii</i> |
| 2 - <i>Palmaria decipiens</i> | 9.- <i>Porphyra endivifolium</i> |
| 3 - <i>Curdia racovitzae</i> | 10.- <i>Desmarestia menziesii</i> |
| 4 - <i>Iridaea cordata</i> | 11.- <i>Phaeurus antarcticus</i> |
| 5 - <i>Plocamium cartilagineum</i> | 12.- <i>Ascoseira mirabilis</i> |
| 6 - <i>Picconiella plumosa</i> | 13.- <i>Himantothallus grandifolius</i> |
| 7 - <i>Georgiella confluens</i> | 14.- <i>Adenocystis utricularis</i> |

- Extraktion

Folgende Algenarten wurden zwischen dem 21.1.1993 - 7.2.1993 gesammelt und sofort anschließend extrahiert:

Grünalgen: *Monostroma hariotii*

Rotalgen: *Curdiea racovitzae*, *Georgiella confluens*, *Gigartina skottsbergii*,
Iridaea cordata, *Palmaria decipiens*, *Plocanium cartilagineum*,
Picconiella plumosa, *Porphyra endivifolium*

Braunalgen: *Adenocystis utricularis*, *Ascoseira mirabilis*, *Desmarestia menziesii*,
Himantothallus grandifolius, *Phaeurus antarcticus*

Von jeder Algenart wurden zwei unterschiedliche Extrakte hergestellt, ein Extrakt polarer Substanzen mit Ethanol (96%) und ein Hexan-Aceton-Extrakt unpolarer Verbindungen.

Für die ethanolische Extraktion wurden ca. 15 g frisches Algenmaterial 8 min in 50 ml Ethanol unter Kühlung mit einem Ultraturrax homogenisiert. Das Homogenat wurde bei 2500 rpm 5 min lang zentrifugiert. Der klare Überstand (Extrakt) wurde in Ampullen abpipettiert und mit Argon überschichtet, um Oxidationen mit Luftsauerstoff zu vermeiden. Die Ampullen wurden zugeschmolzen und in Alufolie verpackt bei -4°C bis zur weiteren Aufarbeitung aufbewahrt.

Die Hexan-Aceton-Extrakte wurden ebenso wie die Ethanol-Extrakte hergestellt, als Extraktionsmittel dienten jedoch 70 ml Hexan-Aceton (v:v, 1:1). Nach der Zentrifugation ergaben sich zwei Phasen, wobei die obere Lösungsmittelphase in Ampullen eingeschmolzen und die wässrige untere Phase verworfen wurde.

Alle Extrakte wurden vor der weiteren Analyse in einem Rotationsverdampfer bei maximal 40°C zur Trocknung eingedampft und die Rückstände gewogen. Diese wurden in Dichlormethan (CH₂Cl₂) bzw. mit Methanol (CH₃OH) wiederaufgenommen.

- Dünnschichtchromatographie (DC) unpolarer Extrakte

Für die DC der Extrakte unpolarer Substanzen wurden Kieselgelplatten (60 F 254 spezial, 0,2 mm Schichtdicke, Riedel-de Haën) verwendet. Als Laufmittel diente Dichlormethan. Nach der DC wurde die Substanzverteilung bei 254 nm und bei 366 nm identifiziert. Durch das Besprühen der Platten mit Vanillin (C₈H₈O₃, in Schwefelsäure (H₂SO₄)) mit anschließender kurzer Erwärmung konnten die meisten organischen Substanzen als braune Flecken sichtbar gemacht werden.

Über die Farbreaktion und Laufstrecke der einzelnen Substanzflecken konnte das Vorhandensein von Sekundärmetaboliten geprüft werden und eine erste Zuordnung der jeweiligen Substanzklasse erfolgen.

- Verteilung

Der Extrakt von *Ascoseira mirabilis* wies in der DC Verbindungen auf, die keiner Substanzklasse zuordbar waren. Für eine weitere Trennung der Substanzen nach ihrer Polarität wurde der Extrakt in einem Scheidetrichter mit folgendem Lösungsmittelgemisch versetzt und mehrfach mit Hexan ausgeschüttelt:

Hexan + Methanol/H₂O (MeOH/H₂O, 9:1)

Die lipophilen Hexan-Fractionen wurden gesammelt, eingedampft und in Dichlormethan wiederaufgenommen.

- Präparative Dünnschichtchromatographie

Die Hexan-Fraktion des *Ascoseira mirabilis*-Extrakts wurde im präparativen Maßstab dünnschichtchromatographisch getrennt, um die darin enthaltenen unidentifizierten Substanzen zu isolieren. Dazu wurde die Fraktion bandförmig über die gesamte Breite einer DC-Platte aufgetragen, eine punktförmige Auftragung an der Seite diente als Referenz für die spätere Lokalisation der Komponenten. Als Laufmittel für die DC diente Dichlormethan-Hexan im Verhältnis 1:1. Nach der DC wurden die Substanzflecken auf dem seitlichen Referenzstreifen mit Vanillin sichtbar gemacht. Auf der großen Platte wurden die entsprechenden Zonen gekennzeichnet, und das Silikagel wurde dort vorsichtig abgekratzt und gesammelt. Mit Essigsäureethylester wurden die Verbindungen vom Kieselgel gelöst und mittels ¹H-NMR-Spektroskopie analysiert.

- ¹H-NMR-Spektroskopie

Die Identifizierung von Extraktkomponenten erfolgte über Protonen-Kernresonanz-Spektroskopie (¹H-NMR, Nuclear Magnetic Resonance).

Für die ¹H-NMR-Spektroskopie stand ein Bruker AC 200 (Meßfrequenz: 200 MHz) zur Verfügung. Extrakte, die über ¹H-NMR analysiert werden sollten, mußten zuvor vollständig getrocknet werden. Danach wurden sie je nach Polarität in deuteriertem Methanol bzw. deuteriertem Chloroform gelöst; durch die Verwendung deuterierter Lösungsmittel wurden Signale von Lösungsmittelprotonen während der Messung vermieden.

- Reverse-Phase-DC polarer Extrakte

Für die Auftrennung polarer Extrakte eignen sich Reverse-Phase-DC-Platten (Whatman), bei denen die Silikaphase eine umgekehrte Polarität gegenüber den zuvor verwendeten DC-Platten hat ("Octadecyl-funktionalisiertes" Silikagel). Als Laufmittel diente Methanol. Nach der Chromatographie wurden die Platten mit Eisen-(III)-chlorid (FeCl₃, 2% in EtOH) besprüht, was zu einer Anfärbung phenolischer Verbindungen durch Komplexbildung führt.

- Flash-Reverse-Chromatographie phenolhaltiger Extrakte

Von drei Braunalgen-Extrakten (*Phaeurus antarcticus*, *Himantothallus grandifolius*, *Ascoseira mirabilis*), die eine deutliche Phenol-Reaktion nach der Reverse-Phase-DC zeigten, wurde eine Flash-Reverse-Chromatographie zur Fraktionierung der Extrakte durchgeführt. Dazu wurden die Extrakte mit verschiedenen Lösungsmittelgemischen über eine pulverisierte Reverse-Phase in einer Glasfritte eluiert. Zur Fraktionierung wurden jeweils 100 ml der folgenden sieben Lösungsmittel in der angegebenen Reihenfolge eingesetzt:

H₂O dest., Methanol/H₂O (1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 1:1), Methanol

Die eluierten Lösungsmittelfractionen wurden getrennt gesammelt und dünnschicht-chromatographisch mit Eisen-(III)-chlorid auf ihren Phenolgehalt überprüft.

- Acetylierung

GLOMBITZA (1977) schlägt vor, polyphenolhaltige Algenextrakte zu acetylieren, um die Stabilität der Phenole zu erhöhen, die Polarität der Phenol-Verbindungen zu verringern und damit eine chromatographische Analyse zu ermöglichen. Bei der Acetylierung werden die Hydroxyl- durch Acetylgruppen ersetzt.

Zur Acetylierung wurden von drei Braunalgenextrakten die phenolhaltigen Fraktionen (aus der Flash-Reverse-Chromatographie) mit je 1 ml Pyridin und 1 ml Essigsäureanhydrid überschichtet. Nach 12 h bei Raumtemperatur wurde die Reaktion unterbrochen, indem unter Kühlung einige ml konzentrierte HCl zugesetzt wurden, wodurch das Pyridin ausfällt. Der verbliebene Extrakt wurde mit Essigsäureethylester ausgeschüttelt, eingedampft und in Dichlormethan gelöst. Über ¹H-NMR-Spektroskopie wurden die acetylierten Phenole untersucht.

- Fraktionierung über Sephadex Gel

Über eine Sephadex Gel-Säule sollten Polyphenole einer phenolhaltigen Fraktion des *Himantothallus grandifolius*-Extrakts aus der Flash-Reverse-Chromatographie aufgrund unterschiedlicher Molekülgröße getrennt werden. Als Laufmittel diente Methanol. Einzelne Banden wurden getrennt gesammelt und in Reverse-Phase-DC mit Eisen-(III)-chlorid sowie mittels ¹H-NMR-Spektroskopie auf ihren Phenolgehalt hin überprüft.

5.1.4 Fraßexperimente mit homogenisierten Algen

Um einen möglichen Fraßschutz von Makroalgen durch äußere, morphologisch-strukturelle Eigenschaften der Algen wie z.B. Haare oder eine harte Thallus-Oberfläche zu prüfen, wurden Fraßtests mit strukturell denaturierten (homogenisierten) Algen durchgeführt. Die Tests wurden exemplarisch mit der herbivoren Schnecke *Laevilacunaria antarctica* und fünf Algenarten, den Braunalgen *Ascoseira mirabilis*, *Himantothallus grandifolius* und *Phaeurus antarcticus* und den Rotalgen *Palmaria decipiens* und *Curdiea racovitzae* durchgeführt. Die vorherigen Untersuchungen dieser Arbeit hatten gezeigt, daß die genannten Algenarten von *L. antarctica* und auch von den meisten anderen Herbivoren in der Potter Cove nicht oder nur vereinzelt gefressen werden. Bei diesen Algenarten ist ein Fraßschutz also besonders wahrscheinlich.

Um möglicherweise fraßhemmend wirkende strukturelle Eigenschaften der genannten Algenarten auszuschließen, wurden Algen-Homogenate in Agar verfestigt und als Futter angeboten.

- Herstellung eines Algen-Agars

Von den zu testenden Algenarten und von der als Kontrolle dienenden Grünalge *Monostroma hartioides* wurden je 60 g FG in 30 ml filtriertem Seewasser mit einem Ultraturrax homogenisiert. Diese Homogenate wurden durch eine 250µm-Gaze filtriert, um noch vorhandene größere Thallusstückchen zu entfernen.

Bei *Palmaria decipiens* war eine Homogenisierung mit einem Ultraturrax nicht möglich. Von dieser Alge wurden deshalb 60 g FG gefriergetrocknet, das trockene Algenmaterial mit Quarzsand im Mörser fein zerrieben und mit filtriertem Seewasser wieder auf das ungefähre Ausgangsgewicht aufgefüllt. Der Ansatz wurde zum Quellen 12 h lang kühl gestellt. Dann wurden weitere 30 ml Seewasser zugefügt und der wässrige Extrakt über Gaze filtriert.

1,5 g Agar wurden in 40 ml filtriertem Seewasser unter Rühren erhitzt. Beim Abkühlen wurden 10 ml Homogenat der zu testenden Algenart und 10 ml des *M. hartioides*-Homogenats zum Agar zugegeben. Der Agar für die Kontrollversuche wurde mit 20 ml des Grünalgen-Homogenats versetzt. Aus dem verfestigten Agar wurden Scheiben (Ø = 2,9 cm, Dicke 3 mm) geschnitten und im Fraßtest eingesetzt.

- Durchführung des Fraßtests

Zur Versuchsvorbereitung verblieben die Schnecken 24 h in filtriertem Seewasser ohne Futterzusatz. Ein erster Kontrollversuch mit *M. hartioides*-Agarscheiben als Futter diente als Test, ob *L. antarctica* an einem solchen veränderten Futter frißt.

Für die Fraßtests wurden runde 1 l-Versuchsaquarien mit filtriertem Seewasser nach folgendem Schema für 24 h besetzt (Tab.5.1)

Tab.5.1: Versuchsaufbau für einen Fraßtest mit einer homogenisierten Alge.

Versuchs- ansatz	Testalgen-Agar mit Schnecken	Schnecken ohne Futter	Testalgen-Agar ohne Schnecken	Kontrollalgen-Agar mit Schnecken	Kontrollalgen-Agar ohne Schnecken
Anzahl Schnecken	4	4	0	4	0
Anzahl Parallelen	8	3	10	3	3

Die Fraßtests wurden über 24 h durchgeführt; danach wurden die Tests beendet, indem die Schnecken aus den Versuchsaquarien entfernt wurden. Die während der Versuchsdauer produzierten Kotballen von *L. antarctica* wurden gezählt. Danach wurden sie abfiltriert (GF/F-Filter), bei 60°C im Trockenschrank 24 h lang getrocknet und gewogen.

5.2 Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen dargestellt, deren Ziel es war, Aufschluß über verschiedene Eigenschaften von Makroalgen und damit über ihre Qualität als Nahrung zu geben.

5.2.1 C/N-Verhältnis

Die Bestimmung der C/N-Verhältnisse bei 28 antarktischen Makroalgen (Potter Cove) erbrachte die in Abbildung 5.2 dargestellten Ergebnisse.

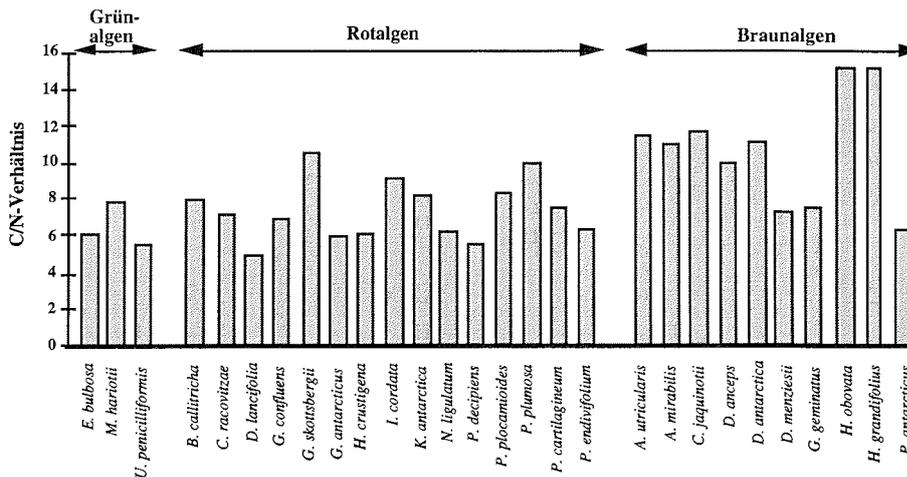


Abb.5.2: C/N-Verhältnisse verschiedener Makroalgen aus der Potter Cove. Die dargestellten Werte sind Mittelwerte aus zwei Parallelmessungen.

Das C/N-Verhältnis ist zwischen den einzelnen Algenarten z.T. sehr unterschiedlich. Den niedrigsten Wert hat die Rotalge *Delesseria lancifolia* (5,0), den höchsten Wert haben die Braunalgen *Himantothallus grandifolius* und *Halopteris obovata* (beide 15,2). Die Variabilität innerhalb der Parallelmessungen der einzelnen Algenarten ist sehr gering (Anhang. Tab.A-5)

Es lassen sich zwischen den drei systematischen Algengruppen unterschiedliche Tendenzen in der mittleren Höhe der C/N-Gehalte feststellen. So ist das mittlere C/N-Verhältnis bei den Grünalgen (6,6) am niedrigsten, bei den Rotalgen mit 7,5 etwas höher, und bei den Braunalgen findet sich mit 10,7 das höchste durchschnittliche C/N-Verhältnis. Mit einer Varianzanalyse (ANOVA) und anschließendem Post-Hoc-Test

nach Games-Howell wurden die Mittelwerte der C/N-Verhältnisse zwischen Grün-, Rot- und Braunalgen auf signifikante Unterschiede getestet (Tab.5.2).

Tab.5.2: Test auf signifikante Unterschiede (ANOVA) im mittleren C/N-Verhältnis bei Grün-, Rot- und Braunalgen.

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algengruppe	2	77,943	38,971	7,806	0,0023
Rest	25	124,807	4,992		

abhängige Variable: C/N-Verhältnis

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Grünalgen	3	6,550	1,158
Rotalgen	15	7,449	1,650
Braunalgen	10	10,736	3,055

Der Post-Hoc-Test nach Games-Howell zeigte, daß die Braunalgen ein auf dem 5%-Niveau signifikant höheres C/N-Verhältnis aufweisen als Rot- und Grünalgen. Die Grünalgen unterscheiden sich in ihrem mittleren C/N-Verhältnis nicht von Rotalgen.

In der Regel weist ein niedriges C/N-Verhältnis auf einen hohen Anteil von Stickstoff hin, und ein hohes Verhältnis bedeutet einen hohen Kohlenstoffanteil. Es ist jedoch für die genaue Interpretation der Daten wichtig, die einzelnen C- bzw. N-Gehalte in den Algen direkt miteinander zu vergleichen (Abb.5.3).

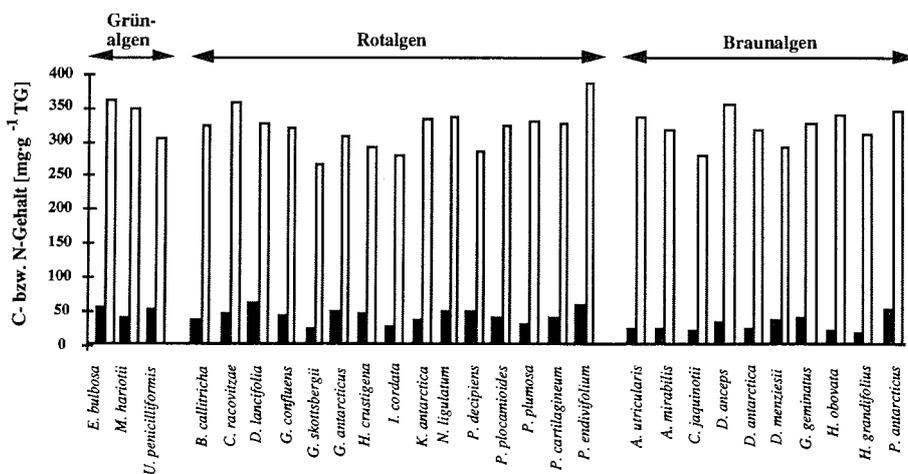


Abb.5.3: Kohlenstoff- bzw. Stickstoff-Gehalt verschiedener Makroalgen (in mg·g⁻¹ TG Alge, helle Balken geben C-Gehalt an, schwarze Balken geben N-Gehalt an).

Vergleicht man nun die einzelnen Algengruppen miteinander, fällt auf, daß die hohen C/N-Werte bei den Braunalgen vor allem auf niedrige Stickstoff-Gehalte und weniger auf hohe Kohlenstoff-Gehalte zurückzuführen sind: Die Kohlenstoff-Gehalte der drei Algengruppen sind nicht signifikant unterschiedlich auf dem 5%-Niveau nach Games-Howell. Die Stickstoff-Gehalte der Grün- und Rotalgen sind dagegen bei vergleichbar hohen Kohlenstoff-Gehalten höher als die der Braunalgen, die Unterschiede sind signifikant. Die Stickstoff-Gehalte von Grün- und Rotalgen dagegen unterscheiden sich nach Games-Howell nicht signifikant voneinander (Anhang Tab.A-6). Die zuvor festgestellten niedrigeren C/N-Verhältnisse der Grün- und Rotalgen resultieren also vor allem aus den höheren N-Gehalten dieser Gruppen.

Bei zwei Rot- und zwei Braunalgen (*Palmaria decipiens*, *Iridaea cordata*, *Ascoseira mirabilis*, *Desmarestia menziesii*) wurde außerdem das C/N-Verhältnis aus verschiedenen Monaten (September bis Februar) bestimmt (Abb.5.4). Es läßt sich bei allen vier Algenarten eine ähnliche Tendenz feststellen: Das C/N-Verhältnis fällt vom Beginn der Zeitserie im September bis zum November hin ab. Im November wird bei allen untersuchten Arten der niedrigste Wert erreicht. In den folgenden Monaten steigen die C/N-Verhältnisse wieder an und erreichen im Januar (*P. decipiens*, *A. mirabilis*, *D. menziesii*) bzw. Dezember (*I. cordata*) die höchsten Werte. Die niedrigen C/N-Verhältnisse im November ergeben sich aus einer Kombination von niedrigen Kohlenstoff- und erhöhten Stickstoff-Gehalten in den Algen in diesem Monat.

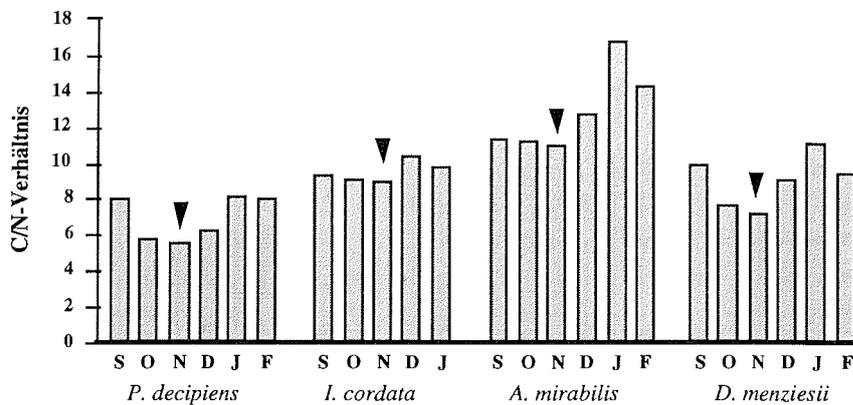


Abb.5.4: Monatliche Unterschiede im C/N-Verhältnis verschiedener Makroalgenarten.

5.2.2 Organischer Gehalt von Makroalgen

Durch Veraschung wurden der organische (AFTG) und der anorganische Anteil (Asche) am Trockengewicht verschiedener Makroalgen bestimmt.

Der Aschegehalt als prozentualer Anteil am Trockengewicht der untersuchten 11 Algenarten ist in Abbildung 5.5 dargestellt. Der Ascheanteil lag in einer Größenordnung von 25-9% am Trockengewicht, das AFTG dementsprechend zwischen 75% bis 91% des Trockengewichts. Den höchsten prozentualen Anteil anorganischer Substanz am Trockengewicht hatte die Rotalge *Iridaea cordata*, der niedrigste Anteil war bei der Rotalge *Curdia racovitzae* zu finden.

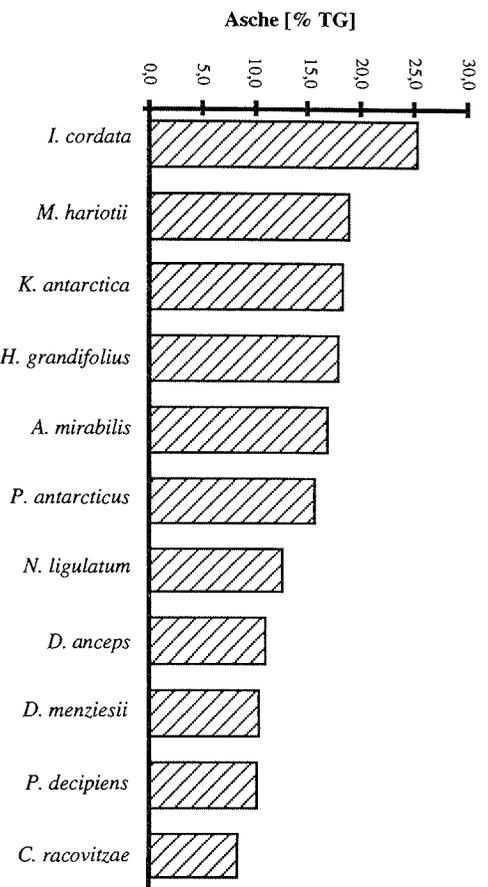


Abb.5.5: Ascheanteil (% TG) von verschiedenen antarktischen Makroalgen.

Mit einer Varianzanalyse (ANOVA) wurde getestet, ob der prozentuale Anteil anorganischer Substanz am Trockengewicht in den einzelnen Algenarten signifikant unterschiedlich ist (Abb.5.6). Dabei wurde die Braunalge *Desmarestia anceps* nicht in diese Untersuchungen mit einbezogen, da von dieser Art nur ein Messwert zur Verfügung stand, der somit für eine statistische Überprüfung nicht geeignet war.

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw.-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algenart	9	686,334	76,259	27,036	0,0001
Rest	19	53,593	2,821		

abhängige Variable: Aschegehalt

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
<i>C. racovitzae</i>	3	8,7	0,917
<i>P. decipiens</i>	3	10,3	1,706
<i>D. menziesii</i>	2	10,5	1,273
<i>N. ligulatum</i>	3	13,0	0,954
<i>P. antarcticus</i>	3	16,0	2,307
<i>A. mirabilis</i>	3	17,1	1,102
<i>H. grandifolius</i>	3	18,2	2,026
<i>K. antarctica</i>	3	18,5	1,815
<i>M. hariatii</i>	3	19,2	2,207
<i>I. cordata</i>	3	25,5	1,589

Abb.5.6: Test auf signifikante Unterschiede (ANOVA) des Aschegehalts (% TG) bei verschiedenen antarktischen Makroalgen.

Ein Post-Hoc-Test nach Games-Howell gab Aufschluß darüber, welche Algenarten sich in ihrem Gehalt anorganischer Substanz signifikant voneinander unterscheiden. Die Ergebnisse des Post-Hoc-Tests sind in einer Matrix in Abbildung 5.7 dargestellt.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	—	—	*	—	*	*	*	*	*
2		—	—	—	*	*	*	*	*
3			—	—	—	*	*	*	*
4				—	*	—	—	—	*
5					—	—	—	—	*
6						—	—	—	*
7							—	—	*
8								—	*
9									—

Abb.5.7: Post-Hoc-Test auf unterschiedliche Mittelwerte des Aschegehalts (%TG) nach Games-Howell. Unterscheidungen auf dem 95%igen Signifikanzniveau sind mit einem * gekennzeichnet.

Bezeichnung der Algenarten: 1: *Curdiea racovitzae*, 2: *Palmaria decipiens*, 3: *Desmarestia menziesii*, 4: *Neuroglossum ligulatum*, 5: *Phaeurus antarcticus*, 6: *Ascoseira mirabilis*, 7: *Himantothallus grandifolius*, 8: *Kallymenia antarctica*, 9: *Monostroma hariatii*, 10: *Iridaea cordata*

Ein signifikanter Unterschiede im prozentualen Anteil der Asche am Trockengewicht besteht vor allem bei der Rotalge *I. cordata*, die einen höheren Aschegehalt als alle anderen untersuchten Algenarten - ausgenommen *M. hariatii* - hat. Die Arten *C. racovitzae*, *P. decipiens* und auch *D. menziesii* dagegen haben gegenüber den meisten anderen untersuchten Arten einen signifikant geringeren Aschegehalt.

5.2.3 Chemische Analyse von Sekundärmetaboliten in Algenextrakten

Im folgenden wird zuerst die Analyse der Extrakte unpolarer Substanzen und anschließend die der Extrakte polarer Substanzen dargestellt (vgl. Abb.5.1).

Algenextrakte unpolarer Substanzen

Von den eingedampften und in Dichlormethan gelösten Extrakten unpolarer Substanzen wurde zuerst eine DC-Auftrennung mit Dichlormethan als Laufmittel durchgeführt, um die Extrakte auf lipophile Sekundärmetabolite (v.a. Terpene) hin zu untersuchen. Die Ergebnisse der DC sind in Abbildung 5.8 dargestellt.

Abb.5.8: DC von Algenextrakten lipophiler Substanzen auf Kieselgelplatten. Als Laufmittel diente Dichlormethan. Dargestellt sind alle erkennbaren Substanzflecken bei UV 254nm, 366nm und nach der Behandlung mit Vanillin; Abkürzung der Algennamen: *Monostroma hariatii* (Mh), *Curdiea racovitzae* (Cr), *Gigartina skottsbergii* (Gs), *Iridaea cordata* (Ic), *Palmaria decipiens* (Pd), *Plocamium cartilagineum* (Pc), *Porphyra endivifolium* (Pe), *Adenocystis utricularis* (Ad), *Ascoseira mirabilis* (Am), *Desmarestia menziesii* (Dm), *Himantothallus grandifolius* (Hg), *Phaeurus antarcticus* (Pa).

Durch die Extraktion der Algen mit einem unpolaren Lösungsmittelgemisch (Hexan-Aceton) wurden vorwiegend lipophile Substanzen extrahiert. Dies sind Farbstoffe (Carotinoide, Chlorophyll), Steroide, Terpene und andere Lipide. Eine fraßhemmende Funktion ist vor allem von Terpenen bekannt, weshalb die Isolierung dieser Substanzklasse besonders angestrebt wurde.

Durch den Einsatz des lipophilen Laufmittels Dichlormethan (Abb.5.8) wanderten unpolare Verbindungen wie Carotinoide und Kohlenwasserstoff-Lipide mit der Laufmittelfront, während Verbindungen mit polaren Gruppen (z.B. Steroide, Fettsäuren

etc.) eine geringere Laufhöhe erreichten. Dazwischen befanden sich Substanzgruppen intermediärer Polarität, z.B. funktionalisierte Terpene.

Bei den Algen *Plocamium cartilagineum* und *Ascoseira mirabilis* traten Verbindungen bei einer Laufhöhe auf, bei der in den anderen Extrakten keine Substanzen zu finden waren. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um Sekundärmetabolite. Der Extrakt der Rotalge wurde nicht näher untersucht, da aus den vorangegangenen Untersuchungen (vgl. Kap.3 und Kap.4) für diese Alge keinerlei Hinweis auf eine fraßhemmende Wirkung von Sekundärmetaboliten bestand. Der Extrakt der Braunalge *A. mirabilis* wurde mit einem Hexan-Methanol/H₂O-Gemisch ausgeschüttelt, um den betreffenden Substanzfleck weiter zu isolieren. Die lipophile Hexan-Phase wurde in einer DC präparativ aufgearbeitet, um die betreffende Substanz in größerer Menge zu isolieren und in einer ¹H-NMR-Untersuchung analysieren zu können (Abb.5.9).

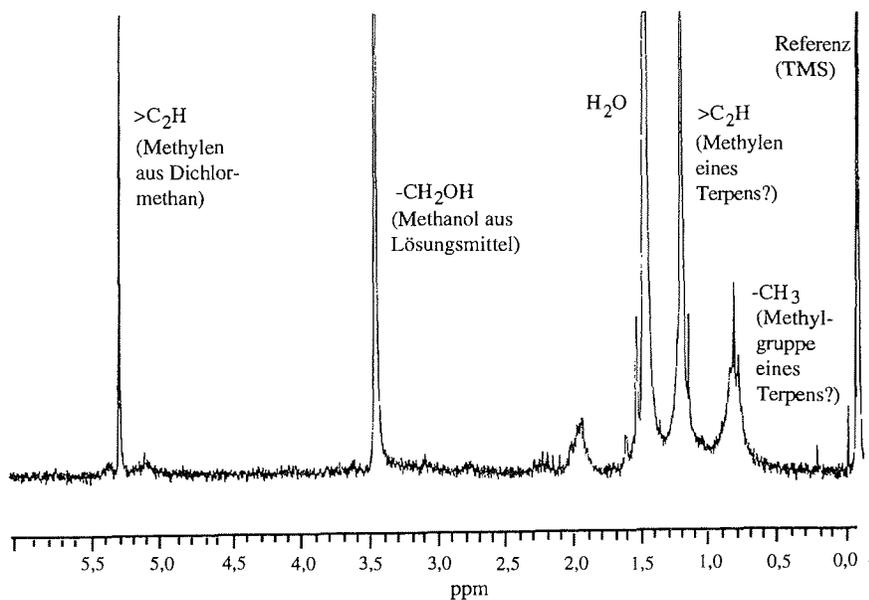


Abb.5.9: ¹H-NMR-Spektrogramm von *Ascoseira mirabilis* nach Fraktionierung des Hexan-Aceton-Extrakts mit Hexan-Methanol/H₂O und Isolierung über präparative DC (Lösungsmittel: Dichlormethan).

Wie das Spektrum zeigt, handelte es sich bei der fraglichen Substanz um Methylgruppen und Methylenketten, die möglicherweise von einem Terpen stammen. Eine weitere Analyse der Substanz müßte z.B. über Gaschromatographie oder Massenspektroskopie erfolgen, Methoden, die im Rahmen dieser Arbeit nicht zur Verfügung standen.

Algenextrakte polarer Substanzen

Die Analyse der Algenextrakte polarer Substanzen zielte vor allem auf phenolische Verbindungen, die als polare Sekundärmetabolite mit möglicherweise fraßhemmender Wirkung bekannt sind. Von den Extrakten wurde zuerst eine Reverse-Phase-DC mit Methanol als Laufmittel durchgeführt. Die Behandlung der DC-Platten mit Eisen-(III)-chlorid ermöglichte eine Identifizierung der phenolischen Substanzflecken durch ihre Anfärbung (Abb.5.10).

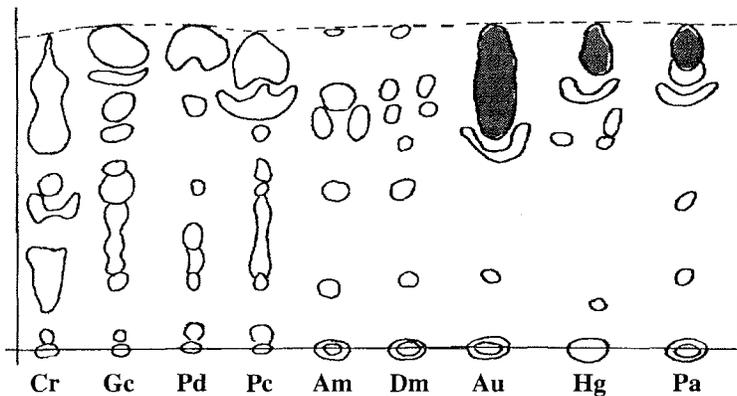
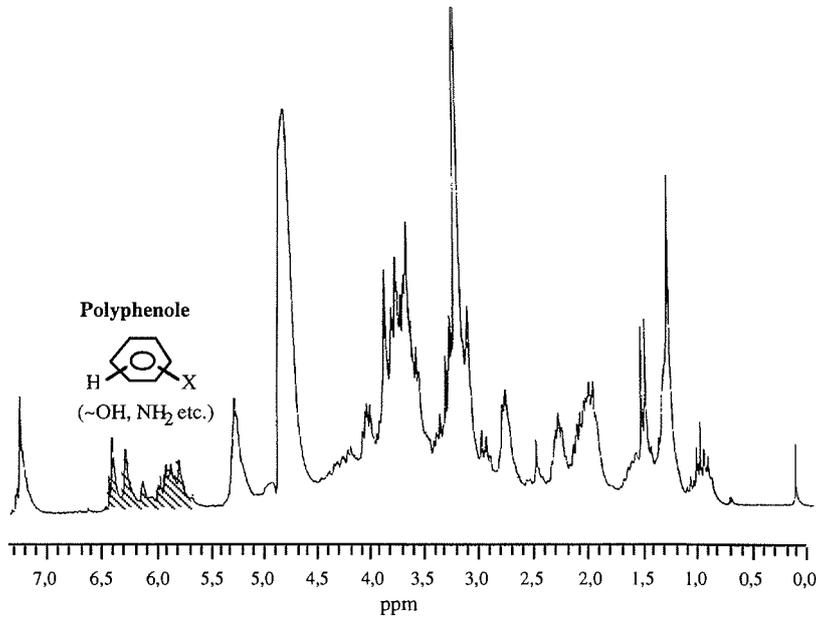


Abb.5.10: Reverse-Phase-DC polarer Algensubstanzen mit Methanol als Laufmittel. Behandlung der Platten mit FeCl_3 , positive Reaktionen von Phenolen mit FeCl_3 sind durch Schraffur gekennzeichnet. Abkürzung der Algennamen: *Curdiea racovitzae* (Cr), *Gigartina skottsbergii* (Gs), *Palmaria decipiens* (Pd), *Plocamium cartilagineum* (Pc), *Ascoseira mirabilis* (Am), *Desmarestia menziesii* (Dm), *Adenocystis utricularis* (Ad), *Himantothallus grandifolius* (Hg), *Phaeurus antarcticus* (Pa).

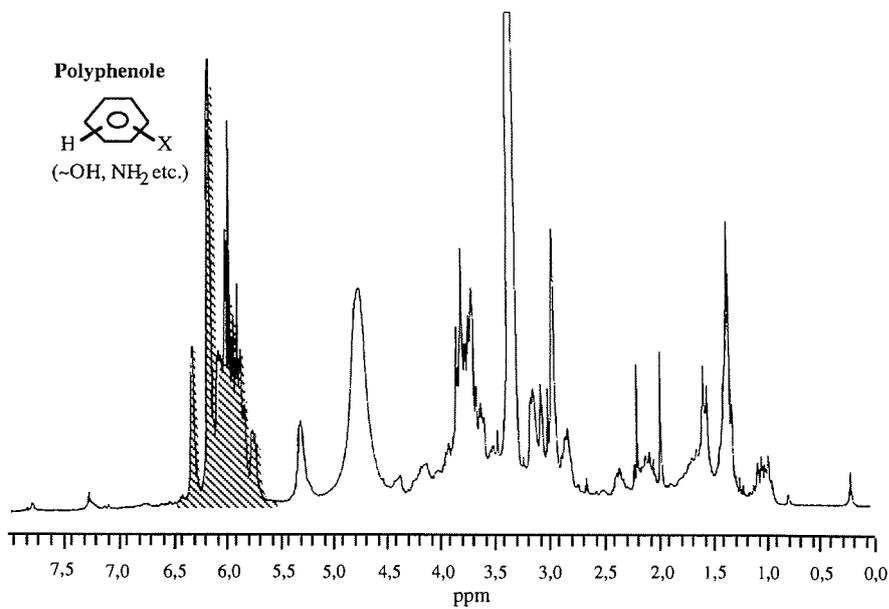
Die Auftrennung der einzelnen Komponenten der Extrakte war im allgemeinen nicht sehr gut, die Substanzen wurden nur unvollständig voneinander getrennt und "schmierten" z.T. sehr. Es wurde deshalb auf eine Identifikation der einzelnen Banden verzichtet und ausschließlich das Vorkommen von Polyphenolen mit Eisen-(III)-chlorid geprüft, da für diese Substanzklasse der Sekundärmetabolite eine fraßhemmende Wirkung bei Algen aus anderen Meeresgebieten bekannt ist.

In den Extrakten der Braunalgen *Adenocystis utricularis*, *Himantothallus grandifolius* und *Phaeurus antarcticus* konnten Phenole identifiziert werden. In den anderen untersuchten Extrakten wurde keine Reaktion auf das Phenol-spezifische Reagenz festgestellt. Von den Extrakten dieser drei Algenarten wurden $^1\text{H-NMR}$ -Spektrogramme erstellt, um Aufschluß über die Phenolstruktur zu bekommen (Abb.5.11 a-c). Außerdem wurden $^1\text{H-NMR}$ -Spektren von den Extrakten der Braunalgen *Ascoseira mirabilis* und *Desmarestia menziesii* erstellt, um auch bei diesen Arten ein mögliches Phenolvorkommen detailliert zu überprüfen (Anhang, Abb.A-7).

a: *Adenocystis utricularis*



b: *Himantothallus grandifolius*



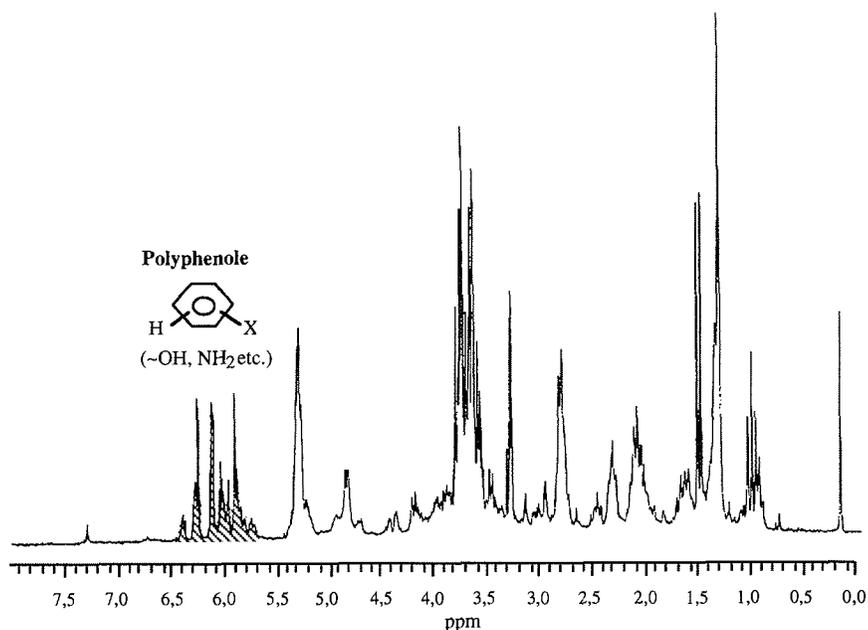
c: *Phaeurus antarcticus*

Abb.5.11 a-c: ¹H-NMR-Spektren der Extrakte polarer Substanzen der Braunalgenarten *A. utricularis*, *H. grandifolius* und *P. antarcticus* (Lösungsmittel: Methanol).

Die Signale aromatisch gebundener Protonen liegen normalerweise bei δ 7,2. Bei Phenolen verschiebt sich das Signal aufgrund der benachbarten Hydroxylgruppe in den Bereich von δ 6,8 bis 7,0. Die hier (Abb.5.11 a-c) in einen noch niedrigeren Bereich von δ 5,8 bis 6,5 verschobenen Signale sind charakteristisch für eine Vernetzung mehrerer Phenole zu Polyphenolen (schraffierte Bereiche, Dr. J. Palermo pers. Mitt.).

Das Peakmuster und die -intensität der Polyphenole sind bei den verschiedenen Arten unterschiedlich, was darauf hindeutet, daß die Polyphenole in den drei Algenarten eine unterschiedliche Struktur besitzen. Allen Polyphenol-Peakgruppen gemeinsam ist, daß sie relativ wenige Einzelpeaks aufweisen, d.h. daß sie wahrscheinlich sehr regelmäßig gebaut sind.

Auch in dem Extrakt der Braunalge *Desmarestia menziesii* (Anhang, Abb.A-7) konnten minimale Phenolpeaks identifiziert werden. Die Konzentrationen waren offensichtlich zu gering, um in der Reverse-Phase-DC identifiziert zu werden (vgl. Abb.5.10). Das Spektrum von *Ascoseira mirabilis* wies bei der entsprechenden Frequenz keine Peaks auf.

Die übrigen Peaks in den dargestellten Spektren (Abb.5.11 a-c) stammen von Stoffwechselprodukten wie Lipiden, Zuckern, Aminosäuren etc., die im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter bearbeitet wurden.

Zur Isolierung und möglichen weiteren Charakterisierung der Polyphenole wurden die Extrakte der drei oben genannten Braunalgenarten (*Adenocystis utricularis*, *Himantothallus grandifolius* und *Phaeurus antarcticus*) über Flash-Reverse-Chromatographie getrennt, und die polyphenol-haltigen Fraktionen wurden acetyliert.

Bei der Fraktionierung über Flash-Reverse-Chromatographie wurden die Polyphenole aller untersuchten Rohextrakte durch ein Lösungsmittelgemisch von Methanol-H₂O in den Mischungsverhältnissen (v:v) 3:7 und 4:6 eluiert. Das bedeutet, daß sich die Polyphenole in den einzelnen Braunalgenarten in ihrer Polarität nicht wesentlich voneinander unterscheiden.

Das ¹H-NMR-Spektrum der acetylierten Polyphenol-Fraktion des *H. grandifolius*-Extrakts ist in Abb.5.12 exemplarisch für alle untersuchten Arten dargestellt.

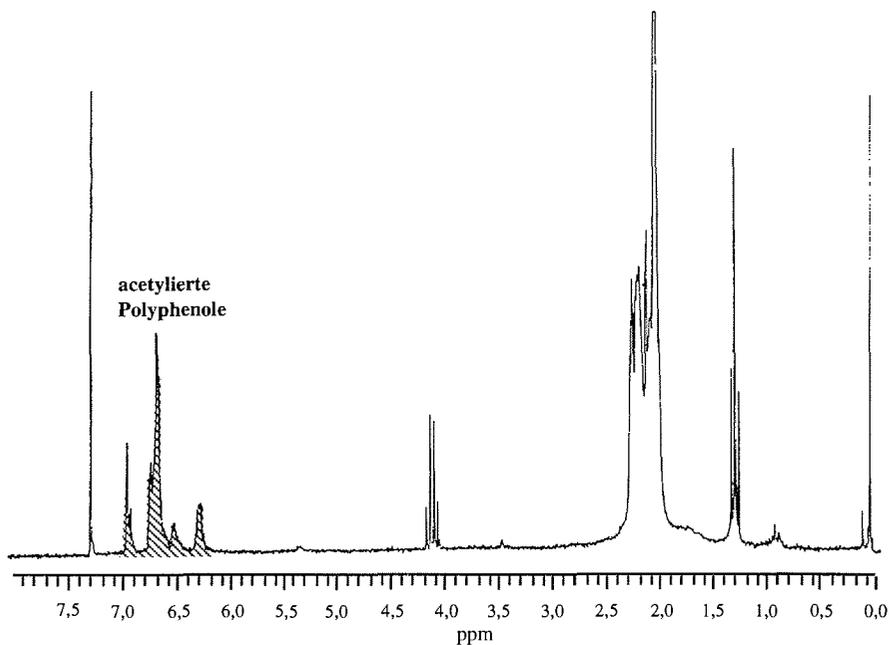


Abb.5.12: ¹H-NMR-Spektrum einer acetylierten Polyphenol-Fraktion der Braunalge *Himantothallus grandifolius* (Lösungsmittel: Essigsäureethylester).

Durch die Acetylierung an den Hydroxylgruppen hat sich das Peakmuster der Polyphenole zu einer höheren Frequenz hin verschoben und liegt zwischen δ 6,2 bis

7,0. Das Peakmuster der acetylierten Phenole gibt jedoch keinen Aufschluß über die Struktur der betreffenden Verbindungen.

Die Fraktionierung über das Sephadex-Gel sollte eine Auftrennung der verschiedenen Polyphenole in der phenolhaltigen Fraktion des polaren Extrakts von *Himantothallus grandifolius* erbringen. Der Extrakt wurde mit Methanol eluiert und die erhaltenen Fraktionen mit ¹H-NMR-Spektroskopie auf Polyphenole hin untersucht. Keine der erhaltenen Fraktionen enthielten Polyphenole. Im oberen Bereich der Säule hatte sich eine braune Schicht abgelagert, die sich nicht mit Methanol eluieren ließ. Bei dieser braunen Schicht handelte es sich wahrscheinlich um abgelagerte oxidierte Polyphenole. Beim Waschen des Gels mit Aceton löste sich ein Teil der braunen Substanz. Diese Aceton-Fraktion wurde im ¹H-NMR untersucht (Anhang Abb.A-8), und es wurden Phenole darin gefunden. Eine Auftrennung der Phenole über die Sephadex-Säule war also nicht möglich.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Polyphenole als möglicherweise fraßhemmend wirkende Sekundärmetabolite in verschiedenen Braunalgen gefunden wurden. Wesentliche Eigenschaften dieser Polyphenole sind - wie aus den vorliegenden Untersuchungen zu schließen ist - daß sie sehr groß (niedrige Resonanzfrequenz im ¹H-NMR) und sehr regelmäßig gebaut sind (Peakanzahl im ¹H-NMR insgesamt gering).

5.2.4 Fraßexperimente zur Überprüfung struktureller Fraßschutzmechanismen von Makroalgen

In einem Vorversuch wurde getestet, ob *Laevilacunaria antarctica* mit homogenisierten Makroalgen versetzte Agarscheiben als Futter akzeptiert. Der Versuch wurde wie in Kapitel 5.1.4 beschrieben durchgeführt. Zur Auswertung wurde die Anzahl der produzierten Kotballen einmal mit und einmal ohne Fraß an dem Algenagar festgestellt. Mit einer Varianzanalyse (ANOVA) wurde die Kotballenzahl der verschiedenen Versuchsansätze auf signifikante Unterschiede getestet. Die Anzahl der produzierten Kotballen pro 24 Stunden von *L. antarctica* nach dem Fraß an *Monostroma harti*-Agarscheiben (MW=236,1) und ohne Futterzugabe (MW=95,3) war signifikant unterschiedlich ($p=0,0001$). *L. antarctica* akzeptierte Agarscheiben also offensichtlich als Futter.

Bei den Fraßexperimenten mit den verschiedenen Algenarten wurde die Kotproduktion von *L. antarctica* in folgenden Versuchsansätzen miteinander verglichen (Abb.5.13) und mit einer Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede getestet:

- 1) Kotproduktion bei Fraß an Testalgen-Agar (T)
- 2) Kotproduktion bei Fraß an Kontrollalgen-Agar (K)
- 3) Kotproduktion ohne Fraß (B)

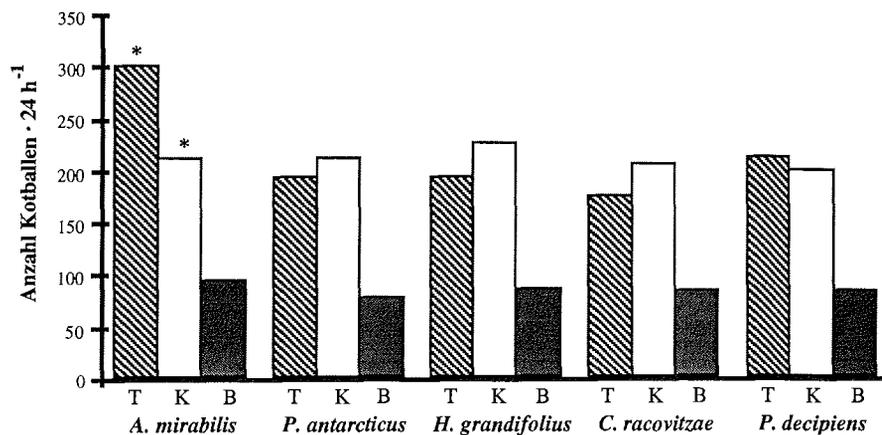


Abb.5.13: Kotproduktion von *L. antarctica* in 24 Stunden nach Fraß an Testalgen-Agar (T), Kontrollalgen-Agar (K) bzw. ohne Futter (B). * bezeichnet signifikante Unterschiede zwischen T und K.

Beim Fraß an den Testalgen-Agarscheiben der Braunalge *Ascoseira mirabilis* wurden signifikant mehr Kotballen pro Zeiteinheit produziert als beim Fraß am Kontrollagar. Die Unterschiede in der Kotballenproduktion beim Einsatz von Test- gegenüber Kontrollalgen-Agar waren bei den anderen getesteten Algenarten nicht signifikant. In allen Fällen war die Kotballenproduktion signifikant höher, wenn die Schnecken an einem Agar (T bzw. K) fraßen als bei Schnecken ohne Futter (B). Die Ergebnisse der ANOVA sind im Anhang (Tab.A-9) dargestellt.

5.3 Diskussion

Im folgenden werden zuerst einige der in diesem Kapitel angewandten Methoden kurz diskutiert. Anschließend werden die Ergebnisse unter den übergeordneten Gesichtspunkten von Nahrungsqualität und möglichem Fraßschutz von Makroalgen betrachtet.

5.3.1 Methodendiskussion

Bei der C/N-Analyse und der Bestimmung des AFTG der Algen handelt es sich um Standardmethoden, die im Rahmen dieser Arbeit nicht diskutiert werden.

Auch die hier benutzten Methoden zur chemischen Analyse der Algenextrakte sind Standardmethoden: Bei der chemischen Aufarbeitung der Algen-Extrakte wurde die Dünnschicht-Chromatographie (DC) zur Auftrennung und die Protonen-Kernresonanz-Spektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) zur Identifizierung der Substanzen gewählt. Für ein erstes Screening über Sekundärmetabolite in Extrakten von Makroalgen ist die DC wegen der schnellen und einfachen Handhabung, der hohen Sensibilität und der ausreichenden Reproduzierbarkeit der Ergebnisse häufig die Methode der Wahl (NORRIS & FENICAL 1985, PAUL & HAY 1986, WYLIE & PAUL 1988). Für die Identifizierung der Substanzen stand die $^1\text{H-NMR}$ -Spektroskopie zur Verfügung, in der neueren Forschung eine für die Strukturaufklärung von Sekundärmetaboliten häufig verwendete Methode (POLLESELLO et al. 1992, TYMIAK et al. 1985, WYLIE & PAUL 1988).

Die Verwendung von Agarscheiben als künstliches Futter in Fraßexperimenten ist eine gängige Methode zur Überprüfung einer fraßhemmenden Wirkung von Sekundärmetaboliten (GEISELMAN & MCCONNELL 1981, HAY & FENICAL 1988, WINTER & ESTES 1992). PENNINGS et al. (1994) betonen dabei, daß es wichtig ist, ein künstliches Futter zu wählen, welches für die Untersuchungsorganismen ohne den Zusatz von Sekundärmetaboliten attraktiv ist. Dies wurde in diesen Untersuchungen durch den Zusatz der Grünalge *Monostroma hariotii* zu den Agaransätzen erreicht. Eine andere Methode zum Test der Wirksamkeit von Sekundärmetaboliten ist, Extrakte oder isolierte Substanzen in einer dünnen Schicht auf eine Alge zu applizieren, die normalerweise gefressen wird (STEINBERG & PAUL 1990). Diese Methode eignet sich hauptsächlich für lipophile Substanzen, die sich nicht im umgebenden Wasser lösen. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurden jedoch hochpolare wasserlösliche Verbindungen im Versuch eingesetzt.

5.3.2 Fraßschutzmechanismen

Generell finden sich nicht nur bei Makroalgen, sondern bei Pflanzen und auch Tieren in aquatischen und terrestrischen Lebensräumen Strategien, die den Fraß durch Herbivore reduzieren oder vermeiden (HAY & FENICAL 1988, HAY & STEINBERG 1992, HAY et al. 1987, KITTREDGE et al. 1974, STEINBERG 1988, WAHL 1989, WHITTAKER & FEENY 1971). Der Begriff "Strategie" bezeichnet ein evolutionär entstandenes Verhaltensmuster, mit dem Organismen wirksam ihr Überleben sichern (COLINVAUX 1986, TISCHLER 1993).

Mit einem Fraßschutz wird von einem Organismus ein möglichst optimales Gleichgewicht zwischen den Kosten für den Fraßschutz und dem erhöhten Wachstum durch den Schutz (geringer Verlust durch Wegfraß) angestrebt (COLEY et al. 1985). Als Fraßschutz-Strategien sind zu nennen (verändert nach DUFFY & HAY 1990):

- *geringer Nährwert*

Ein geringer Nährwert kann insofern als Fraßschutz wirken, als z.B. eine niedrige Stickstoff-Konzentration oder ein hoher Aschegehalt des Gewebes die betreffende Alge für die Ernährung bestimmter Tiere unattraktiv macht (MONTGOMERY & GERKING 1980, HORN 1989, PYKE et al. 1977).

- *chemischer Fraßschutz*

Chemische Substanzen, meist Sekundärmetabolite, die in Gewebe eingelagert oder nach außen abgesondert werden, können eine fraßhemmende Wirkung ausüben (BAKUS et al. 1986, HAY 1992, HAY et al. 1988, PAUL 1987, 1992, STEINBERG 1986)

- *morphologisch-struktureller Fraßschutz*

Äußere Strukturen wie Dornen, Schalen oder harte Oberflächen können Tiere vom Fraß abhalten. Solche Strukturen sind vielfach auch bei Algen zu finden (LITTLER & LITTLER 1980, LITTLER et al. 1983, PADILLA 1985)

- *physiologische Anpassung (schnelles Wachstum überwiegt den Wegfraß)*

Bei dieser physiologischen Anpassung wird der Fraß nicht direkt gehemmt, sondern der Wegfraß durch ein schnelles Wachstum des Nahrungsorganismus kompensiert. Bei Algen sind dies meist dünne flächige, oftmals annuelle Formen, die viel photosynthetisch aktives Gewebe besitzen (LITTLER & LITTLER 1980)

- *räumliche oder jahreszeitliche Einnischung*

Pflanzen können dem Fraßdruck entgehen, indem sie bevorzugt an Orten oder zu Zeiten vorkommen, an bzw. in denen Herbivore nicht aktiv sind (HAY 1984, LUBCHENCO & GAINES 1981, TAYLOR et al. 1986). Einige Arten zeigen Heteromorphie, also unterschiedliche Organisationsformen wie aufrechte und inkrustierende Formen. Krustenformen sind dabei in der Regel weniger anfällig für Herbivorenfraß und werden in Zeiten (auch Jahreszeiten) mit hohem Fraßdruck ausgebildet (DETHIER 1981, SLOCUM 1980).

- *Schutz durch Assoziation mit anderen Arten*

Eine an sich ungeschützte Pflanze oder ein Tier kann einen Schutz vor Prädatoren erlangen, indem sie in enger Assoziation mit einer geschützten Art vorkommt (MCCLINTOCK & JANSSEN 1990, PFISTER & HAY 1988).

Einige der oben genannten Schutzstrategien wurden im Rahmen dieser Arbeit für antarktische Makroalgen gegenüber Herbivoren geprüft. Die Schwerpunkte dieser Untersuchung lagen auf der Erfassung des Nährwerts der Algen sowie eines möglichen strukturellen oder chemischen Fraßschutzes. Dabei ist anzumerken, daß eine Eigenschaft einer Alge auf einen Herbivoren fraßhemmend wirken, auf einen anderen jedoch ohne Einfluß bleiben kann. Im folgenden werden die untersuchten Eigenschaften antarktischer Makroalgen diskutiert und unter dem Aspekt einer möglichen fraßhemmenden Wirkung erörtert.

5.3.2.1 Nährwert antarktischer Makroalgen

Die Untersuchung des Nährwerts antarktischer Makroalgen erfolgte über die Analyse ihres C/N-Verhältnisses und des Aschegehalts. Die festgestellten C/N-Verhältnisse (Mittelwert: 8,8; Median: 7,7) stimmen mit dem von RAKUSA-SUSZCZEWSKI & ZIELINSKI (1993) festgestellten mittleren Wert von 7 für antarktische Makroalgen überein. Diese Werte sind deutlich niedriger als Vergleichswerte aus anderen Gebieten. So stellten ATKINSON & SMITH (1983) und DUARTE (1990) bei ihren Untersuchungen benthischer Algen- und See grasarten aus verschiedenen temperierten bis tropischen Gebieten ein medianes C/N-Verhältnis von etwa 20 fest. Der für antarktische Makroalgen festgestellte C/N-Wert liegt dagegen eher in der Größenordnung des sog. Redfield-Verhältnisses von 6,6 (C/N) für das Seston (REDFIELD et al. 1963).

Die mittleren Kohlenstoff-Gehalte der antarktischen Algen liegen mit 27,1-38,8% TG (Median 32,6% TG) in einem vergleichbaren Rahmen wie die von DUARTE (1990) (zwischen 26 und 38 % TG) und ATKINSON & SMITH (1983) (medianer Wert: 31% TG) festgestellten Werte.

Wie schon in Kapitel 5.2.1 festgestellt, sind die im Vergleich zu den Braunalgen niedrigen C/N-Werte der Rot- und Grünalgen vor allem auf erhöhte Stickstoff-Gehalte in diesen Algen zurückzuführen. Insgesamt liegen die Stickstoff-Konzentrationen antarktischer Algenarten mit Werten zwischen 2,1-6,6% TG (Median 4,2% TG) deutlich höher als die Angaben von STEINBERG (1985) für kalifornische Algen (Median: 1,9% TG) und von DUARTE (1990) (Median: 1,8% TG) in temperierten und tropischen Gebieten. Auch der signifikant geringere Stickstoff-Gehalt der Braunalgen gegenüber den Grün- und Rotalgen liegt mit einem Median von 2,9% TG noch deutlich über den von DUARTE (1990) und STEINBERG (1985) ermittelten Werten.

WEYKAM et al. (eingereicht) stellten bei einem Vergleich der C/N-Verhältnisse antarktischer Makroalgen mit deren maximalen Photosyntheseraten (P_{\max}) fest, daß Arten mit einer hohen P_{\max} auch hohe N-Gehalte aufwiesen und führten dies auf den erhöhten Anteil an Aminosäuren und proteinreichen, photosynthetisch aktiven Geweben zurück.

Insgesamt lassen sich die niedrigen C/N-Verhältnisse antarktischer Makroalgen also auf ihre hohen Stickstoff-Konzentrationen im Gewebe zurückführen. Das C/N-Verhältnis mariner Primärproduzenten wird allgemein als abhängig von der Nährstoff-Verfügbarkeit angesehen (ATKINSON & SMITH 1983, CODISPOTI 1989, DUARTE 1990, NEORI et al. 1991). Die niedrigen C/N-Verhältnisse der antarktischen Makroalgen können demnach auf die guten Nährstoffbedingungen der antarktischen Meere (HARRISON & COTA 1991, TRÉGUER & JACQUES 1992) zurückgeführt werden. Das stimmt mit Ergebnissen von LEVITT & BOLTON (1990) überein, die bei Rotalgen aus dem nährstoffreichen Auftriebsgebiet vor der Westküste Südafrikas ähnlich niedrige C/N-Verhältnisse fanden wie bei den untersuchten antarktischen Arten.

Die saisonalen Unterschiede im C/N-Verhältnis bei den untersuchten Algenarten lassen sich vor allem durch Veränderungen der Stickstoff-Konzentrationen erklären. In allen untersuchten Arten nahm der Stickstoff-Gehalt im Gewebe bis zum November hin ab und stieg danach wieder an. Bei den Kohlenstoff-Gehalten konnte eine solche einheitliche Tendenz nicht festgestellt werden. Damit beruhen die saisonalen Unterschiede im C/N-Verhältnis offensichtlich weniger auf dem Abbau winterlicher Reservestoffe im Frühling oder auf vermehrtem Zellwandaufbau im Spätsommer, sondern vielmehr auf einem erhöhten Proteingehalt im Frühsommer (November), der durch einen größeren Photosyntheseapparat zu dieser Zeit gegeben ist (CHAPMAN & CRAIGIE 1977, JENSEN et al. 1985).

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß auch unter Berücksichtigung der saisonalen Variabilität die C/N-Verhältnisse antarktischer Makroalgen insgesamt deutlich niedriger sind als bei Algen aus den meisten anderen Meeresgebieten.

Die Asche von Makroalgen ist der Anteil anorganischer Substanzen, wie Kalziumcarbonat, Silikat oder anderer Salze, am Gewebe (SUMICH 1992). In dieser Untersuchung wurden für drei antarktische Makroalgenarten (*Himantothallus grandifolius*, *Palmaria decipiens* und *Monostroma hariotii*) nur ca. halb so hohe Aschegehalte festgestellt wie von CZERPAK et al. (1981) bei den gleichen Arten aus der Admiralty Bay (King-George-Insel). Diese Autoren glühten die Algen allerdings nur maximal eine Stunde. Diese Zeit ist zu kurz, um das gesamte organische Material zu

verbrennen, so daß es zu einer Überschätzung der Aschegehalte kommt (MONTGOMERY & GERKING 1980).

Ähnlich wie bereits bei dem Vergleich der C/N-Verhältnisse festgestellt, sind auch die Aschegehalte antarktischer Makroalgen deutlich niedriger als die tropischer oder temperierter Algenarten. Während für die antarktischen Arten Asche-Werte zwischen 8,7-25,6% TG (MW: 15,3% TG) festgestellt wurden, fanden MONTGOMERY & GERKING (1980) in 15 Proben tropischer Makroalgen Aschegehalte zwischen 16,2 und 54,8% TG mit einem mittleren Wert von 34,2% TG. Auch der Ascheanteil in temperierten Algen ist deutlich höher, so stellten HIMMELMANN & NÉDÉLEC (1990) bei kanadischen Makroalgen einen mittleren Aschegehalt von 26,7% TG fest. JENSEN et al. (1985) fanden sogar einen Aschegehalt von ca. 50% TG bei der Braunalge *Saccorhiza polyschides* in England.

Insgesamt läßt sich festhalten, daß der Nährwert antarktischer Makroalgen gegenüber Algen aus temperierten oder tropischen Gebieten aufgrund niedrigerer C/N-Werte und Aschegehalte deutlich höher ist. Innerhalb der untersuchten antarktischen Arten waren die Unterschiede in diesen Parametern jedoch z.T. sehr groß. In Anlehnung an die "optimal foraging"-Theorie (PYKE et al. 1977) wäre zu erwarten, daß Herbivore vorwiegend an den Algen fressen, die einen hohen Nährwert besitzen.

Zur Überprüfung dieser Annahme habe ich für die untersuchten Algenarten eine Matrix erstellt, in der das C/N-Verhältnis als Maß für die Nahrungsqualität dem Fraß durch Herbivore gegenübergestellt wurde (Abb.5.14). Als hoher C/N-Wert wurde ein Wert oberhalb, als niedriger C/N-Wert wurden Werte unterhalb des Medians von 7,7 eingeteilt. Die Einteilung des Fraßes der Herbivoren beruht auf den Ergebnissen aus Kapitel 3, wobei "intensiver Fraß" Algen betrifft, an denen mindestens drei der untersuchten sieben Herbivoren fressen (vgl. Abb.3.18).

	intensiver Fraß	wenig Fraß
C/N hoch	<i>Iridaea cordata</i> <i>Monostruma hariatii</i> <i>Gigartina skottsbergii</i> <i>Adenocystis utricularis</i>	<i>Ascoseira mirabilis</i> <i>Himantothallus grandifolius</i> <i>Desmarestia antarctica</i> <i>Desmarestia anceps</i>
C/N niedrig	<i>Plocamium cartilagineum</i> <i>Georgiella confluens</i> <i>Geminocarpus geminatus</i> <i>Desmarestia menziesii</i>	<i>Palmaria decipiens</i> <i>Neuroglossum ligulatum</i> <i>Curdiea racovitzae</i> <i>Phaeurus antarcticus</i>

Abb.5.14: Herbivorenfraß an verschiedenen Algenarten im Verhältnis zu deren C/N-Verhältnis. Die Arten in den schraffierten Feldern unterstützen die im Text aufgestellte Hypothese.

Einige Algenarten scheinen die obige Hypothese zu bestätigen, daß nährstoffreiche Algenarten viel und nährstoffarme Arten wenig gefressen werden (schraffierte Kästen in Abbildung 5.15), andere Arten widersprechen ihr aber. Einige Arten werden trotz ihres geringen Nährwerts von vielen Herbivoren gefressen: die Grünalge *Monostruma hariatii*, die Rotalgen *Iridaea cordata* und *Gigartina skottsbergii* und die Braunalge *Adenocystis utricularis*. Diese Algen sind offensichtlich aus anderen Gründen für die Herbivoren als Futter interessant: Die beiden Arten *M. hariatii* und *A. utricularis* sind beispielsweise neben *Palmaria decipiens* die häufigsten Algenarten des Eulitorals. Während *P. decipiens* anscheinend vor Fraß geschützt ist, werden *M. hariatii* und *A. utricularis* häufig gefressen. Es stellt sich die Frage, warum es sich für Herbivore überhaupt "lohnt", in einem derartigen sowohl von der Nahrung als auch den physikalischen Bedingungen her ungünstigen Lebensraum (z.B. Wellenaktivität, Eiseinfluß, Trockenheit; MENGE & SUTHERLAND 1987, SIMPSON 1976, UNDERWOOD & JERNAKOFF 1984) zu leben. Eine mögliche Antwort ist, daß sie im Eulitoral besser vor größeren marinen Prädatoren (z.B. Fische) geschützt sind, die in diesen Lebensraum nicht eindringen. Für den Preis eines besseren Schutzes in diesem Lebensraum begnügen sie sich mit den dort verfügbaren Algen geringeren Nährwerts.

Die Rotalgen *Palmaria decipiens*, *Neuroglossum ligulatum* und *Curdiea racovitzae* und die Braunalge *Phaeurus antarcticus* werden trotz ihres hohen Nährwerts kaum gefressen. Diese Algen könnten also andere Strategien entwickelt haben, um den Fraßdruck durch Herbivore zu reduzieren. Ob es sich bei diesen Strategien um einen chemischen oder äußeren strukturellen Fraßschutz handelt, wird im folgenden diskutiert.

5.3.2.2 Sekundärmetabolite in antarktischen Makroalgen

Sekundärmetabolite sind Verbindungen, die im Gegensatz zu Primärmetaboliten nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Wachstum und der Entwicklung eines Organismus stehen (PROKSCH 1991). Sie sind chemisch heterogen; bestimmte Typen kommen nur bei wenigen Organismengruppen vor. Fraßhemmend wirkende Sekundärmetabolite von Makroalgen gehören i.d.R. zu zwei großen Stoffklassen, den Terpenen (FAULKNER 1984, 1986, 1987, 1988, FENICAL 1978, MARTÍN & DARIAS 1978, WRIGHT 1984) und den Phenolen (RAGAN & CRAIGIE 1978, RAGAN & GLOMBITZA 1986, STEINBERG 1992).

Die Funktion von Sekundärmetaboliten ist in vielen Fällen noch unbekannt. Generell werden ihnen Funktionen in der Regulation von inter- und intraspezifischen Interaktionen zugesprochen. Dabei kann es sich z.B. um antibiotische Wirkungen (antibakteriell, antiviruell, fungizid), Antifouling (DAVIS 1991, ORTH & VAN MONTFRANS 1989, WAHL 1984), Allelopathie (gegenseitige hemmende oder fördernde Beeinflussung von Pflanzen durch die Ausscheidung von Stoffwechselprodukten, WHITTAKER & FEENY 1971), Pheromone (JAENICKE & BOLAND 1982, PAWLIK 1992) und vor allem um Fraßschutz handeln (u.a. BAKUS et al. 1986, HAY 1992, HAY & FENICAL 1988, HAY et al. 1988, PAUL 1992, STEINBERG 1986).

Bei der Analyse von Sekundärmetaboliten antarktischer Makroalgen wurde in dieser Untersuchung besonderer Wert auf die Erfassung von Substanzklassen gelegt, die als Komponenten in einem chemischen Fraßschutz von Bedeutung sein können. Die genaue chemische Analyse und Strukturaufklärung dieser Metabolite muß in weiteren Untersuchungen erfolgen.

Wie zuvor schon erwähnt, wurden in Makroalgen bisher vor allem Terpene und Phenole als Sekundärmetabolite gefunden. Terpene, meist Mono- und Sesquiterpene, wurden besonders häufig in Rotalgen gefunden (FENICAL et al. 1979, PAUL et al. 1987). Bei einigen Algenarten ist eine fraßhemmende Wirkung von Monoterpenen beschrieben (HAY et al. 1987, MCCONNELL et al. 1982). Ein hohes Monoterpenvorkommen ist für Rotalgen der Gattung *Plocamium* aus verschiedenen geographischen Breiten bekannt (BARROW 1983, CREWS 1977, FENICAL et al. 1979, NAYLOR et al. 1982, STALLARD & FAULKNER 1974, STIERLE & SIMS 1979, WATANABE et al. 1989). SAN-MARTIN & ROVIROSA (1985) identifizierten auch in *Plocamium cartilagineum* aus der Antarktis einige Monoterpene. Offensichtlich spielen die Monoterpene von *Plocamium* keine Rolle als Fraß-Repellens, da für keine der bisher untersuchten *Plocamium*-Arten eine fraßhemmende Wirkung nachgewiesen werden konnte. Auch meine Untersuchungen ergaben keinen Hinweis darauf, daß *P. cartilagineum* und die

darin gefundenen Terpene eine Fraßschutzwirkung besitzen, da diese Alge von vielen Tieren regelmäßig gefressen wird.

Phenole sind die klassischen Sekundärmetabolite vieler Braunalgen (RAGAN & CRAIGIE 1978, RAGAN & GLOMBITZA 1986, STEINBERG 1992), obwohl Bromphenole auch bei Rotalgen nachgewiesen wurden (PHILLIPS & TOWERS 1982, RAGAN & CRAIGIE 1978). Braunalgen-Phenole kommen als Oligo- oder Polymere (Polyphenole) im Gewebe der Algen in abgeschlossenen Zellkompartimenten, den sogenannten Physoden, vor (DÖPFNER et al. 1990, RAGAN 1976, RAGAN & GLOMBITZA 1986). Die bisherigen Forschungen über Braunalgen-Polyphenole deuten darauf hin, daß sie grundsätzlich aus Phloroglucinol-Untereinheiten aufgebaut sind (RAGAN 1976, RAGAN & CRAIGIE 1976, 1978, RAGAN & JENSEN 1977, STEINBERG 1985). In der Literatur werden sie deshalb auch häufig Polyphloroglucinole (RAGAN & CRAIGIE 1978) oder Phlorotannine (STEINBERG 1992) genannt. Die Identifizierung, Trennung und Strukturaufklärung von Polyphenolen ist wegen ihrer meist starken Polarität, der hohen Molekülgröße und ihrer Instabilität ausgesprochen schwierig (GLOMBITZA 1977, GLOMBITZA et al. 1975).

STEINBERG (1992) stellt in einer ausführlichen Literaturübersicht verschiedene Trends und Gradienten im Polyphenol-Vorkommen in Braunalgen dar. Dabei stellt er u.a. einen bathymetrischen Gradienten fest: Eulitorale Arten besitzen höhere Polyphenol-Konzentrationen als sublitorale Arten. Für die untersuchten antarktischen Arten läßt sich ein solcher Gradient nicht eindeutig nachvollziehen: Während die sublitorale Art *Himantothallus grandifolius* ein deutliches Polyphenolvorkommen besitzt, ließen sich in den eulitoralen Arten *Adenocystis utricularis* und *Phaeurus antarcticus* geringere Mengen feststellen. Andere sublitorale Arten wie *Desmarestia menziesii* und *Ascosira mirabilis* zeigten jedoch nur Spuren bzw. gar keine Polyphenole. Ein Grund, daß sublitorale Algenarten einen höheren Polyphenol-Anteil haben können als eulitorale Arten, kann darin liegen, daß die sublitoralen Braunalgen in der Antarktis fast immer mehrjährig sind und einen differenzierten Thallus aufweisen. Thallusreste sind nach der Zerstörung eines Teils der Alge durch Herbivorenfraß meist nicht mehr lebensfähig. Von opportunistischen eulitoralen Arten bleiben in der Regel auch nach der Zerstörung eines Großteils des Gewebes noch Teile oder Zellen übrig, die sich sexuell vermehren können. Eine sublitorale Art hätte also - entgegen der von STEINBERG (1992) aufgestellten Theorie - einen Fraßschutz "nötiger" als eine eulitorale Art.

Polyphenolen wird neben einer regulativen Aufgabe im Ionen-Haushalt von Braunalgen (Kalzium, DÖPFNER et al. 1990) vor allem eine fraßhemmende Wirkung gegenüber Herbivoren zugesprochen. So wurde in temperierten Gebieten eindeutig eine Fraßschutzwirkung von Braunalgen-Polyphenolen gegenüber Schnecken (GEISELMAN & MCCONNELL 1981, STEINBERG 1984, 1988), Amphipoden (POORE 1994), Seeigeln

(ANDERSON & VELIMIROV 1982, HIMMELMAN & NÉDÉLEC 1990) und Fischen (IRELAN & HORN 1991) festgestellt. In tropischen Braunalgen wurden ebenfalls Polyphenole gefunden, jedoch meist in geringen Konzentrationen. Eine fraßhemmende Wirkung gegenüber Herbivoren konnte meist nicht festgestellt werden (STEINBERG 1986, 1992, STEINBERG & PAUL 1990, STEINBERG & VAN ALTENA 1992, STEINBERG et al. 1991). Die Autoren diskutieren, ob die Phenolkonzentration in tropischen Algen zu gering ist, um einen wirksamen Fraßschutz abzugeben. Eine Abhängigkeit der Wirksamkeit der Phenole von der Konzentration wurde von TUGWELL & BRANCH (1989) und STEINBERG (1984) nachgewiesen, die feststellten, daß der Fraß von Herbivoren an Braunalgen mit der Konzentration von Phenolen in den unterschiedlichen Pflanzenteilen korreliert.

Die fraßhemmende Wirkung von Polyphenolen beruht vor allem auf deren Fähigkeit, an Proteine zu binden (BOETTCHER & TARGETT 1993, HASLAM 1989, RUSSELL 1984, TUGWELL & BRANCH 1992) und dadurch die Wirkung von Verdauungsenzymen sehr stark zu beeinträchtigen (BARWELL et al. 1989).

Bei der chemischen Analyse antarktischer Makroalgen wurden Polyphenole hauptsächlich in drei Braunalgenarten festgestellt: *Adenocystis utricularis*, *Himantothallus grandifolius* und *Phaeurus antarcticus*. Auch in *Desmarestia menziesii* wurden Spuren von Polyphenolen gefunden, ebenfalls ist ihr Vorkommen für *D. anceps* beschrieben (DÖPFNER et al. 1990). Von diesen Arten wird *P. antarcticus* nur von wenigen, *H. grandifolius* von keinem der untersuchten Herbivoren gefressen. Bei diesen Arten war also ein Fraßschutz durch die Polyphenole besonders zu vermuten.

Um einen solchen chemischen Fraßschutz zu überprüfen, wurden diese Algenarten homogenisiert und ein Fraßtest durchgeführt. Damit wurde die äußere Struktur der Algen zerstört, während die Inhaltstoffe erhalten blieben. Wie die Ergebnisse des Fraßtests mit der Schnecke *Laevilacunaria antarctica* zeigten (vgl. Kap.5.2.4), wurden sowohl *H. grandifolius* als auch *P. antarcticus* sowie alle weiteren getesteten Algenarten im Fraßtest gefressen. Das deutet darauf hin, daß weder die Polyphenole dieser Braunalgen noch irgendwelche unbekanntes Inhaltstoffe eine fraßhemmende Wirkung haben, zumindest nicht gegenüber *L. antarctica*. Es ist jedoch nicht ganz auszuschließen, daß sich die Polyphenole bei der Homogenisierung der Algen veränderten (z.B. Oxidation mit Luftsauerstoff oder Licht) und deshalb im Agar in einer inaktiven Form vorlagen. Darüber kann letztendlich nur eine genaue, sehr aufwendige Strukturanalyse der Verbindungen vor und nach einem Fraßtest Aufschluß geben.

Trotz dieser Unsicherheit sind die Ergebnisse der Fraßtests starke Indizien dafür, daß die äußere Struktur der Algen entscheidend ist, ob die Schnecke an diesen Arten frißt, d.h. daß es sich in allen untersuchten Fällen um einen morphologisch-strukturellen Fraßschutz gegenüber *L. antarctica* handelt. Bei diesen morphologisch-strukturellen

Eigenschaften der Algen handelt es sich um Größe, Form und Textur des Thallus und vor allem auch um die Härte der Thallusoberfläche, in der englischsprachigen Literatur als "toughness" bezeichnet. Diese Oberflächenhärte nimmt von dünnen flächigen über ledrige bis hin zu kalzifizierten Thalli zu (DUFFY & HAY 1990, LITTLER & LITTLER 1980, STENECK & WATLING 1982). Herbivore können durch ihre Körperform oder die Ausbildung ihrer Mundwerkzeuge auf besonders harte Thalli spezialisiert sein, wie in Kapitel 3.3.2.3 z.B. bereits für Napfschnecken gezeigt wurde. Bei wenig spezialisierten Herbivoren jedoch haben bisherige Untersuchungen über strukturelle Fraßresistenz gezeigt, daß ledrige oder kalzifizierte Arten gegenüber Herbivorenfraß besser geschützt sind als dünn-schichtige Thalli (MC SHANE et al. 1994, LITTLER et al. 1983, PAINE & VADAS 1969, MONTGOMERY & GERKING 1980, JOHNSON & MANN 1986, SLOCUM 1980, UNDERWOOD 1980). Dieser Zusammenhang wurde von einigen Autoren zu einem generellen Funktion-Form-Modell ausgearbeitet (LITTLER & LITTLER 1980, LUBCHENCO & GAINES 1981, GAINES & LUBCHENCO 1982, STENECK & WATLING 1982, HAWKINS & HARTNOLL 1983). HAY (1994) geht sogar soweit, Algen-Herbivoren Beziehungen nicht mehr auf dem Art-niveau, sondern nur auf der Basis funktioneller Gruppen der Algen zu diskutieren.

Auch in den hier durchgeführten Untersuchungen läßt sich generell ein Zusammenhang zwischen der Thallushärte und der Fraßintensität der Herbivoren feststellen: Bei den Algen, die nur wenig von Herbivoren gefressen wurden (vgl. Abb.5.14), handelte es sich hauptsächlich um stark ledrige Arten (z.B. *Ascoseira mirabilis*, *Himantothallus grandifolius*, *Curdiea racovitzae*, *Palmaria decipiens*). Einzelne fraßresistente Arten haben keinen ledrigen Thallus (wie *Phaeurus antarcticus*), dafür kann aber der dichte Besatz des filamentösen Thallus mit Assimilationshaaren gegenüber Herbivoren einen morphologischen Schutz bilden. Intensiv beweidete Algen dagegen haben vorwiegend einen dünn-schichtigen bis soliden Thallus, auch wenn vereinzelte Ausnahmen einen ledrigen Thallus besitzen (*Iridaea cordata*, *Gigartina skottsbergii*). Detaillierte Unterschiede in der Thallushärte verschiedener Algenarten könnten in weiterführenden Untersuchungen möglicherweise mit einer von FEENEY (1970) entwickelten Methode bestimmt werden. In dieser Methode wird die Kraft gemessen, die nötig ist, einen Thallus mit einem Metallstab zu perforieren. Bei vergleichenden Untersuchungen verschiedener Algenarten kann die aufgewendete Kraft als relatives Maß für die Thallushärte gelten.

Zusammenfassend läßt sich festhalten: Die ökologischen Untersuchungen von Makroalgen-Herbivoren-Beziehungen haben gezeigt, daß einige antarktische Makroalgen Fraßresistenzen gegenüber Herbivoren entwickelt haben. Die Analyse verschiedener Fraßschutzstrategien hat erwiesen, daß der Nährwert der Algen einen

relativ geringen Einfluß auf den Fraß der Herbivoren hat. In einigen untersuchten Algenarten wurden Sekundärmetabolite gefunden, für diese konnte jedoch bisher keine signifikante fraßhemmende Wirkung nachgewiesen werden. In weiteren chemischen Untersuchungen sollte eine Strukturaufklärung und Quantifizierung der gefundenen Braunalgen-Polyphenole erfolgen, um letztendlich Aussagen über ihre Wirksamkeit als Fraßschutzsubstanzen machen zu können. Die Fraßresistenzen beruhen nach den bisherigen Untersuchungen vor allem auf strukturellen Eigenschaften der Algen.

6. Abschlußdiskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Untersuchungen zu Nahrungsbeziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in einem antarktischen Flachwassersystem durchgeführt. Die Schwerpunkte lagen dabei auf der qualitativen und quantitativen Erfassung der Makroalgen in der Nahrung wichtiger Herbivorer und auf Aspekten der Nahrungsqualität und des Fraßschutzes der Algen gegenüber Herbivoren.

Abschließend sollen folgende übergreifende Fragen diskutiert werden:

- In welchem Verhältnis steht der Fraß von Herbivoren zur Produktion antarktischer Makroalgen?
- Welchen Einfluß hat der Fraß durch Herbivore auf die Struktur einer antarktischen Makroalgengemeinschaft?
- Inwiefern gleicht oder unterscheidet sich die Potter Cove von anderen antarktischen oder ähnlich nährstoffreichen Flachwassersystemen in der Verfügbarkeit von Algennahrung?

Allgemein betrachtet kann die Nutzung von Algen durch Tiere sehr unterschiedlich sein: Makroalgen können eine Funktion als Lebensraum haben, z.B. als Schutzraum, als ein reich strukturiertes Biotop oder als Laichplatz (BUSCHMANN 1990, GUNNILL 1982, MENGE 1976). Algen können auch eine Funktion als Energiequelle haben, indem sie oder ihre Epiphyten von Tieren gefressen werden. In der vorliegenden Untersuchung wurden auch bei antarktischen Makroalgen solche unterschiedlichen Nutzungen gefunden: Die Muschel *Lissarca miliaris* z.B. heftet sich als Suspensionsfresser an Algen fest und nutzt sie damit als Substrat. Einige Schnecken heften ihre Eigelege an Algen an. Eine ganze Reihe von Organismen ernährt sich von Makroalgen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde vor allem die Bedeutung lebender Makroalgen als Nahrungsquelle für verschiedene Herbivore in dem antarktischen Flachwasser-ökosystem Potter Cove untersucht. Bei acht der mit Makroalgen assoziiert vorkommenden Arten, diese bilden ca. 80% der algenassoziierten tierischen Biomasse, wurde das Nahrungsspektrum analysiert. Qualitative Untersuchungen zeigten, daß sich die Herbivoren als Generalisten (*Laevilacunaria antarctica*, *Gondogeneia antarctica*, Nereidae, *Notothenia neglecta*) oder Spezialisten (*Nacella concinna*, *Plakarthrium punctatissimum*) zu einem großen Teil von Makroalgen ernähren.

Quantitative Daten zu Konsumtion und Abundanz liegen aus dieser Arbeit zu der Schnecke *L. antarctica* vor. Die drei weiteren wichtigen evertebraten Herbivoren

G. antarctica, *P. punctatissimum* und Nereidae haben ein vergleichbares mittleres Individualgewicht wie *L. antarctica*. Unter der Annahme, daß alle untersuchten evertebraten Herbivoren bezogen auf ihr mittleres Individualgewicht gleich viel an Makroalgen fressen, wurde für die oben genannten Herbivoren aus der Regression zwischen Körpergewicht und Algenkonsumtion von *L. antarctica* und dem mittleren Individualgewicht der Herbivoren die mittlere Algenkonsumtion pro Tag für die einzelnen Herbivorenarten geschätzt (Anhang, Tab.A-10). Für eine vierte wichtige Art, die Napfschnecke *N. concinna*, konnte die Konsumtion auf diese Weise nicht geschätzt werden, da ihr mittleres Individualgewicht wesentlich höher ist als das der anderen Arten. Unter der Annahme, daß die Abundanz der vier Herbivoren (*L. antarctica*, *G. antarctica*, *P. punctatissimum* und Nereidae) in der Potter Cove vergleichbar ist, wurde basierend auf den Daten für *L. antarctica* eine jeweilige Abundanz von 300 Individuen pro Art pro Quadratmeter angenommen. Daraus errechnet sich eine Gesamtkonsumtion in der Größenordnung von $1 \text{ g FG}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Tag}^{-1}$. Bei angenommenen 200 fraßaktiven Tagen pro Jahr ergibt das eine Gesamtkonsumtion von ca. $200 \text{ g FG}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$. Geht man weiterhin davon aus, daß die in hohen Dichten und Biomassen vorkommende Napfschnecke *N. concinna* mindestens genauso viel, eher aber doppelt so viel Algenmaterial frißt wie alle anderen kleineren Herbivoren zusammen, ergibt sich eine Gesamtkonsumtion von ca. $500 \text{ g FG}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$.

Neben diesem direkten Wegfraß von lebendem Algenmaterial fließt ein weiterer Teil der Algenproduktion über einen anderen Weg in das Nahrungsnetz ein: Algen und Algenteile können losgerissen und bis in große Tiefen verdriftet werden, wo sie von dem dortigen Benthos als Nahrung genutzt werden (FISCHER & WIENCKE 1992, LAWSON et al. 1993). Durch biologische und/oder hydrodynamische Prozesse können Makroalgen zersetzt und zerkleinert werden (RAKUSA-SUSZCZEWSKI 1993, REICHARDT & DIECKMANN 1985, RIEPER-KIRCHNER 1989). Sie sind dann in Form kleiner Partikel in der Wassersäule suspendiert und stehen damit auch Suspensionsfressern als Nahrung zur Verfügung (s. a. BRAND 1980).

In der Admiralty Bay (King George-Insel) stellte ZIELINSKI (1981) fest, daß umgerechnet auf die gesamte Fläche der Bucht rund $60 \text{ g FG}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$ nach Stürmen an den Strand gepült werden. ZIELINSKI (1981, 1990) vermutet, daß dies nur ein kleiner Teil der Algenbiomasse ist, der durch mechanische Einflüsse (Wellenaktivität, Eiseinfluß) vom Standort abgerissen und zersetzt wird. Der erheblich größere Anteil der Zersetzung findet im Wasser statt. Auch in der Potter Cove sind vor allem nach Stürmen große Mengen Makroalgen an den Stränden zu finden. In strömungsberuhigten Senken unter Wasser sammeln sich ebenfalls große Mengen abgerissener Algen. Geht man davon aus, daß in der Potter Cove die am Strand zersetzte Menge Algen vergleichbar hoch ist wie in der benachbarten Admiralty Bay und daß außerdem die

Zersetzung und Verdriftung von Algenmaterial unter Wasser vielleicht zehn mal so hoch ist wie die an Land, so ergibt sich insgesamt eine Algenbiomasse von über 600 g $\text{FG}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$, die durch Zersetzung als organische Substanz ins System einfließt. Der Eintrag von organischem Material aus Makroalgen in das Nahrungsnetz auf diesem Wege ist offensichtlich relativ hoch.

Wegfraß und Zersetzung pro Quadratmeter müssen mindestens der jährlichen Algenproduktion pro Quadratmeter entsprechen. In der Potter Cove summieren sich diese beiden Parameter auf über 1 $\text{kg}\cdot\text{FG}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$. Ein Vergleich mit Primärproduktionsdaten von Makroalgen aus temperierten Gewässern zeigt, daß diese geschätzte Mindest-Nettoproduktion (ca. 100 $\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$) in der Potter Cove etwa ein Zehntel von der in temperierten Gebieten beträgt (ca. 1000 $\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$, DAYTON 1985b, PARSONS et al. 1984, MANN 1972). Da bisher noch keine flächenbezogenen Produktionsdaten von antarktischen Makroalgen verfügbar sind, kann zu diesem Zeitpunkt nicht entschieden werden, ob sich die geringe flächenbezogene Produktion der antarktischen Makroalgen dadurch erklärt, daß sie besonders langsam wachsen, d.h. eine sehr geringe Primärproduktion haben, oder ob die Produktion mit den hier verfügbaren Daten deutlich unterschätzt wird.

Aufgrund des insgesamt bedeutsamen Wegfraßes von lebendem Algenmaterial durch Herbivore in der Potter Cove stellt sich die Frage, welchen Einfluß der Herbivorenfraß auf den Bestand und die Gemeinschaftsstruktur der Algen hat.

Aus anderen Gebieten ist bekannt, daß Herbivorenfraß Algenbestände bis hin zur völligen Zerstörung beeinträchtigen kann. Ein Beispiel ist der Fraß von Seeigeln (FOREMAN 1977, PEARSE & HINES 1979, CHAPMAN 1981, DAYTON 1985a, 1985b, HIMMELMAN & NÉDÉLEC 1990, KLUMPP et al. 1993). Indem Herbivore wie z.B. Schnecken und Amphipoden neu ansiedelnde Sporen oder Jungpflanzen vom Untergrund abweiden, können sie Makroalgen von ihrer Ansiedlung und Entwicklung abhalten und damit das Arten- und Altersspektrum der Algengemeinschaft beeinflussen (BRANCH 1981, JERNAKOFF 1985, BERTNESS et al 1983, UNDERWOOD 1980, UNDERWOOD & JERNAKOFF 1981, DAYTON 1985b, JOHNSON & MANN 1986, GRAHAME 1977, WORTHINGTON & FAIRWEATHER 1989).

Durch Herbivorenfraß können jedoch auch die Lebensbedingungen bestimmter Makroalgenarten gefördert werden: Napfschnecken können die ansiedelnden Sporen aufrechter Algenarten abweiden und so z.B. für einige Krustenalgen ein Überwachsen mit und Überschatten durch andere Algen verhindern (BRANCH 1981, RAFFAELLI 1979). Amphipoden und Schnecken können die Epiphyten von Makroalgen abweiden und dadurch die Lichtverfügbarkeit für die Wirtsalge verbessern (BRAWLEY & ADEY 1981, D'ANTONIO 1985, PARKER & CHAPMAN 1994, SCHNEIDER & MANN 1991, DETHIER & DUGGINS 1984, MENGE 1976). Herbivorenfraß kann auch zur Verbreitung

von Makroalgen beitragen: Reproduktives Gewebe der Algen wird gefressen, nicht vollständig verdaut und bildet nach der Ausscheidung neue Thalli (SANTELICES 1990, 1992, PAYA & SANTELICES 1989).

Die Daten zur Konsumtion einzelner kleinerer Herbivorer - z.B. *Laevilacunaria antarctica* - in der Potter Cove zeigen, daß die gefressene Algenmenge wohl zu gering ist, um den Bestand tatsächlich zu dezimieren. Ein Gewebeverlust der Algenhalli aufgrund von tiefgehenden Verletzungen durch Herbivorenfraß könnte jedoch vor allem bei Amphipoden oder Napfschnecken durchaus ein wichtiger Faktor sein.

L. antarctica könnte auch einen positiven Effekt für die Makroalgen haben: Die Schnecken fressen u.a. den Epiphytenrasen von den Thalli ab und ermöglichen es den Algen damit, das verfügbare Licht besser auszunutzen.

Die Fraßaktivitäten größerer Herbivorer, wie z.B. die Napfschnecke *Nacella concinna* oder der Fisch *Notothenia neglecta*, könnten für die Struktur der Algengemeinschaft und die Vitalität einzelner Algen von größerer Bedeutung sein. KLÖSER et al. (1994b) stellen die Hypothese auf, daß die Braunalge *Desmarestia anceps* von größeren Herbivoren selektiv beweidet wird und sich dadurch die Konkurrenzbedingungen für die nicht beweidete Braunalge *Himantothallus grandifolius* verbessern. Die Futterpräferenzanalyse von *N. neglecta* zeigte jedoch im Gegenteil, daß beide Algenarten von dem Fisch signifikant gemieden werden. Für einen selektiven Fraßdruck auf die beiden genannten Braunalgenarten, z.B. durch *N. neglecta*, gibt es demnach keine Hinweise.

Der tatsächliche Einfluß der Herbivoren auf die Algengemeinschaft in der Potter Cove ließe sich wohl nur auf der Basis von experimentellen Änderungen im System feststellen (z.B. Ausschlußexperimente, ARNTZ 1977, 1981), die nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren.

Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß der Anteil von Makroalgen an der Nahrung verschiedener Tierarten in der Potter Cove im Vergleich zu anderen antarktischen Flachwassergebieten relativ hoch ist (s.Kap.3.3). Neben methodischen Unterschieden bei Magenanalysen kann der Grund dafür auch in tatsächlichen ökologischen Unterschieden zwischen verschiedenen Gebieten liegen: In der Potter Cove kommt es aufgrund der hydrographischen Verhältnisse nicht zur Ausbildung einer ausgeprägten Phytoplanktonblüte, d.h. die Sedimentation von organischem Material aus dem Pelagial ist geringer als in anderen Buchten der King George-Insel (SCHLOSS et al. 1994a). Die Benthosorganismen sind daher verstärkt auf benthische Ressourcen, d.h. Makroalgen und benthische Mikroalgen angewiesen. Dieser Schluß wird in der folgenden Tabelle (Tab.6.1) verdeutlicht, in der Daten zu Makroalgenbiomasse und Phytoplanktonmenge aus verschiedenen antarktischen

Abschlußdiskussion

Flachwassergebieten und anderen vergleichbar nährstoffreichen Gebieten - das sind vor allem Auftriebssysteme - gegenübergestellt werden. Es ist zu beachten, daß es sich bei den Angaben zur Phytoplanktonbiomasse in Tabelle 6.1 um Durchschnittswerte während der jeweiligen sommerlichen Produktionsphase handelt, die in den antarktischen Gebieten nur ca. ein Drittel so lange wie in den Auftriebsgebieten dauert, dann aber durch eine hohe Produktivität gekennzeichnet ist.

Tab.6.1: Makroalgenbiomasse (Frischgewicht pro Quadratmeter) und Phytoplanktonmenge (Chlorophyll a pro Liter) in verschiedenen antarktischen Flachwassergebieten und in Auftriebssystemen.

	Gebiet	geogr. Lage	Makroalgen-Biomasse (FG·m ⁻²)	Phytoplankton-Konzentration (Chl a·l ⁻¹)
Antarktis	Potter Cove (King George-Insel)	62°14'S, 58°40'W	7,5 kg/m ² (bis 25 m) 9,4 kg/m ² (bis 10 m) (1)	0,9 µg/l (durchschn.) 3,3 µg/l ("Blüte") (2)
	Marian Cove (King George-Insel)	62°13'S, 58°45'W	häufig (3) keine quantit. Angaben	0,1 µg/l (durchschn.) (4)
	Admiralty Bay (King George-Insel)	62°09'S, 58°28'W	2 kg/m ² (5)	0,32 µg/l (durchschn.) (6) 4,4 µg/l ("Blüte") (7)
	Signy Island	60°42'S, 45°36'W	1,3 kg/m ² (bis 6,5 m) (8) bis 5 kg/m ² (9)	19,3 µg/l (durchschn.) 50,0 µg/l ("Blüte") (10)
	McMurdo Sound (Ostseite)	77°50'S, 165°50'O	1 kg/m ² (bis 12 m) (11)	15 µg/l (durchschn.) (12) 35,0 µg/l ("Blüte") (12)
	Auftrieb	Peru (Humboldt-Strom)	12°S, 77°W	häufig (13,14) keine quantit. Angaben
Süd-Afrika (Benguela-Strom)		24°S, 15°O	5-10 kg/m ² (15,16)	3 µg/l (durchschn.) (17)
Kalifornien-Strom		34°N, 117°W	13 kg/m ² (18)	1,5 µg/l (durchschn.) (19)

(1) L. Quartino, pers. Mitt.

(4) HONG et al. 1991

(7) RAKUSA-SUSZCZEWSKI 1980

(10) CLARKE et al. 1988

(13) W. Arntz, pers. Mitt.

(16) BRANCH & GRIFFITHS 1988

(19) PACKARD et al. 1978

(2) SCHLOSS et al. 1994a,b

(5) ZIELINSKI 1990

(8) WHITE & ROBINS 1972

(11) MILLER & PEARSE 1991

(14) ARNTZ & FAHRBACH 1991

(17) SHANNON & PILLAR 1986

(3) CHUNG et al. 1994

(6) LIPSKI 1987

(9) P. Brouwer, pers. Mitt.

(12) BUNT 1964

(15) VELIMIROV et al. 1977

(18) A L EEM 1973

Obwohl vor allem die Daten zu Makroalgenbiomassen sehr lückenhaft sind, sind dennoch deutliche Trends zu erkennen: Innerhalb der antarktischen Gebiete fällt die Potter Cove durch eine besonders hohe Biomasse von Makroalgen auf. Die Biomasse (Chlorophyll a-Konzentration) des Phytoplanktons ist dagegen gering und liegt in ähnlichen Größenordnungen wie in der nahegelegenen Marian Cove und der Admiralty Bay. Die Verhältnisse in Signy Island und im McMurdo Sound sind deutlich anders, bei geringem Makroalgenvorkommen ist die Phytoplankton-Biomasse im Pelagial hoch. Unter der Annahme, daß Phytoplankton-Biomasse und pelagische Primärproduktion in etwa proportional sind (SHANNON & PILLAR 1986), kann in den beiden letztgenannten Gebieten durch die hohe Phytoplankton-Biomasse beim Absinken der Blüte der

Stofffluß aus dem Pelagial ins Benthos bedeutend sein. In den genannten Buchten der King George-Insel dagegen wird der Energiefluß aus dem Pelagial in das benthische Nahrungsnetz gering sein, dementsprechend ist die Nutzung von benthischen Primärproduzenten (Makroalgen und Mikrophytobenthos) vergleichsweise größer.

Auch ein Vergleich mit den Daten aus den verschiedenen Auftriebssystemen zeigt, daß dort bei ähnlich hohen Makroalgenbiomassen die durchschnittliche Phytoplanktonkonzentration wesentlich höher ist als in der Potter Cove. Selbst die vergleichsweise niedrigen Chlorophyllwerte im kalifornischen Auftriebssystem sind fast doppelt so hoch wie die Phytoplankton-Konzentration in der Potter Cove. Entsprechend findet der wesentliche Energiefluß in diesen Systemen auch im Pelagial statt (JARRE-TEICHMANN 1992, JARRE-TEICHMANN & PAULY 1993). Dies stützt meine Hypothese, daß die Herbivoren in der Potter Cove wegen des geringen Nahrungsangebots aus dem Pelagial vermehrt auf benthische Primärproduktionsquellen angewiesen sind.

Nahrungsbedingungen und daraus resultierende Nahrungsbeziehungen können sich in verschiedenen antarktischen Flachwassersystemen demnach schon auf der Ebene Primärproduzenten- Herbivore deutlich unterscheiden. Verallgemeinerungen über solche Systeme sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

Bei bisherigen Untersuchungen über Nahrungsbeziehungen von Primärproduzenten und -konsumenten in marinen antarktischen Systemen stand ausschließlich das Phytoplankton im Mittelpunkt. Dagegen konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, daß in bestimmten antarktischen Flachwassersystemen die Energieflüsse zwischen benthischen Primärproduzenten - vor allem Makroalgen - und Herbivoren von erheblicher Bedeutung sein können.

7. Literaturverzeichnis

- Adcock, J. A. (1982). Energetics of a population of *Asellus aquaticus* (Crustacea; Isopoda): Respiration and energy budgets. *Freshw. Biol.* 12: 257-269.
- Aleem, A. A. (1973). Ecology of a kelp-bed in Southern California. *Bot. Mar.* 16: 83-95.
- Andersen, K. P. (1982). An interpretation of the stomach contents of fish. *DANA* 2: 1-50.
- Anderson, J. B., Brake, C., Domack, E. W., Myers, N., Singer, J. (1983). Sedimentary dynamics of the Antarctic continental shelf. in: Oliver, R. L., James, P. R., Jago, J. B. (eds.) *Antarctic Earth Science*. Australian Acad. Sci., 387-389.
- Anderson, R. J., Velimirov, B. (1982). An experimental investigation of the palatability of kelp bed algae to the sea urchin *Parechinus angulosus* Leske. *Mar. Ecol.* 3 (4): 357-373.
- Andrew, N. L. (1989). Contrasting ecological implications of food limitation in sea urchins and herbivorous gastropods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 51: 189-193.
- Arntz, W. E. (1977). Results and problems of an "unsuccessful" benthos cage predation experiment (Western Baltic). in: Keegan, B. F., Ceidigh, C. O., Boaden, P. J. S. (eds.) *Biology of benthic organisms*. Pergamon Press, New York, p. 31-44.
- Arntz, W. E. (1978). The "upper part" of the benthic food web: The role of macrobenthos in the Western Baltic. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 173: 85-100.
- Arntz, W. E. (1981). Entwicklung von marinen Bodentiergemeinschaften bei Ausschluß von Räubern: Nur Artefakte? *Meeresforsch.* 28: 189-204.
- Arntz, W. E., Fahrbach, E. (eds.) (1991). *El Niño, Klimaexperiment der Natur*. Birkhäuser Verlag, Berlin, 264 pp.
- Arntz, W. E., Finger, I. (1981). Demersal fish in the western Baltic: their feeding relations, food coincidence and food selection. *ICES C.M.* 1981/J:6: 1-28.
- Arntz, W. E., Ursin, E. (1981) On the estimation of food preference parameters when food concentrations are not known. An application of Andersen's Stomach Analysis Model. *ICES C.M.* 1981/L:40
- Arrontes, J. (1990). Diet, food preference and digestive efficiency in intertidal isopods inhabiting macroalgae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 139: 231-249.
- Atkinson, M. J., Smith, S. V. (1983). C:N:P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.* 28 (3): 568-574.
- Bakus, G. J., Tagrett, N. M., Schulte, B. (1986). Chemical ecology of marine organisms: An overview. *J. of Chem. Ecol.* 12 (5): 951-987.

-
- Barkai, R., Griffiths, C. L. (1988). An energy budget for the South African abalone *Haliotis midar* Linnaeus. *J. Moll. Stud.* 54: 43-51.
- Barrera-Oro, E. R., Casaux, R. J. (1990). Feeding selectivity in *Notothenia neglecta*, Nybelin, from Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science* 2(3): 207-213.
- Barrow, K. D. (1983). Biosynthesis of marine metabolites. in: Scheuer, P. J. (ed.) *Marine natural products*. Academic Press, 51-86.
- Barwell, C. J., Blunden, G., Manandhar, P. D. (1989). Isolation and characterization of brown alga polyphenols as inhibitors of α -amylase, lipase and trypsin. *J. Appl. Phycol.* 1: 319-323.
- Beckley, L. E., Branch, G. M. (1992). A quantitative scuba-diving survey of the sublittoral macrobenthos at subantarctic Marion Island. *Pol. Biol.* 11: 553-563.
- Bertness, M. D., Yund, P. O., Brown, A. F. (1983). Snail grazing and the abundance of algal crusts on a sheltered New England rocky beach. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 71: 147-164.
- Bjorndal, K. A. (1985). Use of ash as an indigestible dietary marker. *Bull. Mar. Sci.* 36: 224-230.
- Boettcher, A. A., Targett, N. M. (1993). Role of polyphenolic molecular size in reduction of assimilation efficiency in *Xiphister mucosus*. *Ecology* 74 (3): 891-903.
- Bone, G. D. (1972). Aspects of the biology of the Antarctic amphipod *Bovallia gigantea* Pfeffer at Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 27: 105-122.
- Branch, G. M. (1981). The biology of limpets: physical factors, energy flow, and ecological interactions. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 19: 235-380.
- Branch, G. M., Griffiths, C. L. (1988). The Benguela ecosystem, Part V: The coastal zone. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 26: 395-486.
- Branch, M. L., Jangoux, M., Alvá, V., Massin, C. I., Stampanato, S. (1993). The Echinodermata of subantarctic Marion and Prince Edward Islands. *S. Afr. J. Antarct. Res.* 23,1&2: 37-70.
- Brand, T. E. (1980). Trophic interactions and community ecology of the shallow-water marine benthos along the Antarctic Peninsula. Diss. Universität Californien, Davis, University Microfilms International, Michigan, 220 pp.
- Brandt, A. (1988). Antarctic Serolidae and Cirolanidae (Crustacea: Isopoda). Koeltz Scientific Books, Königstein, 143pp.
- Brandt, A. (1990). Antarctic Valviferans (Crustacea, Isopoda, Valvifera). Brill, Leiden, 176pp.

Literatur

- Brandt, A. (1992). Origin of antarctic Isopoda (Crustacea, Malacostraca). *Mar. Biol.* 113: 415-423.
- Brandt, A. (1991). Zur Besiedlungsgeschichte des antarktischen Schelfes am Beispiel der Isopoda (Crustacea, Malacostraca). *Berichte zur Polarforschung* 98: 240 pp.
- Brawley, S. H., Adey, W. H. (1981). The effect of micrograzers on algal community structure in a Coral Reef microcosm. *Mar. Biol.* 61: 167-177.
- Breitburg, D. L. (1985). Development of a subtidal epibenthic community: factors affecting species composition and the mechanisms of succession. *Oecologia* 65: 173-184.
- Brêthes, J.-C., Ferreyra, G., De la Vega, S. (1994). Distribution, growth and reproduction of the limpet *Nacella* (*Patinigera*) *concinna* (Strebel 1908) in relation to potential food availability in Esperanza Bay (Antarctic Peninsula). *Pol. Biol.* 14: 161-170.
- Brey, T. (1995). Empirische Untersuchungen zur Populationsdynamik makrobenthischer Evertibraten. Habilitationsschrift, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 170 pp.
- Brey, T., Clarke, A. (1993). Population dynamics of marine benthic invertebrates in Antarctic and subantarctic environments: Are there unique adaptations? *Antarct. Sci.* 5 (3): 253-266.
- Bunt, J. S. (1964). Primary productivity undersea of ice in Antarctic waters. 1. Concentrations and photosynthetic activities of Antarctic marine microalgae. *Antarct. Res. Ser.* 1: 13-26.
- Burchett, M. S. (1983). Food, feeding and behaviour of *Notothenia rossi* nearshore at South Georgia. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 61: 45-51.
- Burchett, M. S., Sayers, P. J., North, A. W., White, M. G. (1983). Some biological aspects of the nearshore fish populations at South Georgia. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 59: 63-74.
- Buschmann, A. H. (1990). Intertidal macroalgae as refuge and food for Amphipoda in Central Chile. *Aquatic Botany* 36: 237-245.
- Calow, P., Fletscher, C. R. (1972). A new radiotracer technique involving ^{14}C and ^{51}Cr , for estimating the assimilation efficiencies of aquatic primary consumers. *Oecologia* 9: 155-170.
- Carefoot, T. H. (1967a). Growth and nutrition of three species of opisthobranch molluscs. *Comp. Biochem. Physiol.* 21: 627-652.
- Carefoot, T. H. (1967b). Growth and nutrition of *Aplysia punctata* feeding on a variety of marine algae. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 47: 565-589.
- Casaux, R. J., Mazzotta, A. S., Barrera-Oro, E. R. (1990). Seasonal aspects of the biology and diet of nearshore nototheniid fish at Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Pol. Biol.* 11: 63-72.

- Castilla, J. C. (1985). Food webs and functional aspects of the kelp, *Macrocystis pyrifera*, community in the Beagle Channel, Chile. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds.) Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs. Springer-Verlag, Berlin, p. 407-414.
- Castilla, J. C., Rozbaczylo, N. (1985). Rocky intertidal assemblages and predation on the gastropoda *Nacella (Patinigera) concinna* at Robert Island, South Shetland Antarctica (1). Ser. Cient. INACH 32: 66-73.
- Chang, K. I., Jun, H. K., Park, G. T., Eo, Y. S. (1990). Oceanographic conditions of Maxwell Bay, King George Island, Antarctica (austral summer 1989). Korean J. Pol. Res. 1: 27-46.
- Chapman, A. R. O. (1981). Stability of sea urchin dominated barren grounds following destructive grazing of kelp in St. Margaret's Bay, Eastern Canada. Mar. Biol. 62: 307-311.
- Chapman, A. R. O., Craigie, J. S. (1977). Seasonal growth in *Laminaria longicuris*: Relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. Mar. Biol. 40: 197-205.
- Chevreaux, E. (1906). Crustacés Amphipodes. Expéd. Antarct. Française (1903-1905). Sciences Naturelles, Documentes Scientifiques: 1-100.
- Chung, H., Oh, Y. S., Lee, I. K., Kim, D. -Y (1994). Macroalgal vegetation of Maxwell Bay in King George Island, Antarctica. Korean J. of Phycol. 9 (1): 47-58.
- Clarke, A. (1979). Assimilation efficiency of the antarctic marine isopod *Glyptonotus antarcticus*. Mar. Biol. 52: 157-160.
- Clarke, A. (1985). Energy flow in the Southern Ocean Food Web. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds) Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Berlin, 573-580.
- Clarke, A., Holmes, L. J., White, M. G. (1988). The annual cycle of temperature, chlorophyll and major nutrients at Signy Island, South Orkney Islands, 1969-82. Br. Antarct. Surv. Bull. 80: 65-86.
- Codispoti, L. A. (1989). Phosphorus vs. nitrogen limitation of new and export production. in: Berger, W. H., Smetacek, V. S., Wefer, G. (eds.) Productivity of the Ocean: Present and Past. S. Bernhard, Dahlem Konferenzen, 377-394.
- Coley, P. D., Bryant, J. P., Chapin, III F. S. (1985). Resource availability and plant antiherbivore defense. Science 230 (4728): 895-899.
- Colinvaux, P. (1986). Ecology. John Wiley & Sons, New York.
- Colman, J. (1940). On the faunas inhabiting seaweeds. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 24: 129-183.
- Conover, R. J. (1966). Assimilation of organic matter by zooplankton. Limnol. Ocean. 66: 338-345.

Literatur

- Craig, P. C. (1968). The activity pattern and food habits of the limpet *Acmaea pelta*. The Veliger 11 (Suppl.): 13-19.
- Creese, R. G., Underwood, A. J. (1982). Analysis of inter- and intra-specific competition amongst intertidal limpets with different methods of feeding. Oecologia (Berl.) 53: 337-346.
- Crews, P. (1977). Monoterpene halogenation by red alga *Plocamium oregonum*. J. Org. Chem. 42 (15): 2634-2636.
- Crisp, D. J. (1984). Energy flow measurements. in: Holme, N. A., McIntyre, A. D. (eds.) Methods for study of marine benthos. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 284-372.
- Czerniak, R., Mical, A., Gutkowski, R., Siegien, I., Jackiewicz, I. (1981). Chemism of some macroalgae of the genera *Adenocystis*, *Himantothallus*, *Leptosomia* and *Monostroma*. Pol. Polar Res. 2 (3-4): 95-107.
- D'Antonio, C. (1985). Epiphytes on the rocky intertidal red alga *Rhodomela larix* (Turner) C. Agardh: Negative effects on the host and food for herbivores? J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 86: 197-218.
- Davis, A. R. (1991). Alkaloids and ascidian chemical defense: evidence for the ecological role of natural products from *Eudistoma olivaceum*. Mar. Biol. 111: 375-379.
- Dayton, P. K. (1985b). Ecology of kelp communities. Ann. Rev. Ecol. Syst. 16: 215-245.
- Dayton, P. K. (1985a). The structure and regulation of some South American kelp communities. Ecol. Monogr. 55 (4): 447-469.
- Dayton, P. K., Oliver, J. S. (1977). Antarctic soft-bottom benthos in oligotrophic and eutrophic environments. Science 197: 55-58.
- Dayton, P. K., Robilliard, G. A., Paine, R. T., Dayton, L. B. (1974). Biological accomodation in the benthic community at McMurdo Sound, Antarctica. Ecol. Monogr. 44 (1): 105-128.
- De Broyer, C., Jazdzewski, K. (1993). Contribution to the marine biodiversity inventory. A checklist of the Amphipoda (Crustacea) of the Southern Ocean. L'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Brüssel, 154 pp.
- Dearborn, J. H. (1977). Foods and feeding characteristics of antarctic asteroids and ophiuroids. in: Llano, G. A. (ed.) Adaptation within antarctic ecosystems. Gulf Publishing Co., Texas, p. 293-326.
- DeLaca, T. E., Lipps, J. H. (1976). Shallow-water marine associations, Antarctic Peninsula. Antarctic Journal U.S. 12-20.
- Dethier, M. M., Duggins, D. O. (1984). An "indirect commensalism" between marine herbivores and the importance of competitive hierarchies. Am. Nat. 124: 205-219.

- Dethier, M. N. (1981). Heteromorphic algal life histories: The seasonal pattern and response to herbivory of the brown crust, *Ralfsia californica*. *Oecologia* 49: 333-339.
- Döpfner, M., Wiencke, C., Kirst, G. O. (1990). Calcium compartmentation in antarctic brown algae. *Ultramicroscopy* 32: 7-11.
- Duarte, C. M. (1990). Seagrass nutrient content. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 67: 201-207.
- Duffy, J. E., Hay, M. E. (1990). Seaweed adaptations to herbivory: Chemical, structural, and morphological defenses are often adjusted to spatial or temporal patterns of attack. *BioScience* 40 (5): 368-375.
- Eaton, C. M. (1968). The activity and food of the file limpet *Acmaea limatula*. *The Veliger* 11 (Suppl.): 5-12.
- Edwards, T. W., Horn, M. H. (1982). Assimilation efficiency of a temperate-zone intertidal fish (*Cebidichthys violaceus*) fed diets of macroalgae. *Mar. Biol.* 67: 247-253.
- Eleftheriou, A., Holme, N. A. (1984). Macrofauna techniques. in: Holme, N. A., McIntyre, A. D. (eds.) *Methods for study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 140-216.
- Etcheverry, H. Algas bentónicas de la Antártica Chilena. *Ser. Cient. INACH* 30: 97-124.
- Everson, I. (1970). The population dynamics and energy budget of *Notothenia neglecta* Nybelin at Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 23: 25-50.
- Fauchald, K., Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 17: 193-284.
- Faulkner, D. J. (1984). Marine natural products: Metabolites of marine algae and herbivorous marine molluscs. *Nat. Prod. Rep.* 1: 251-280.
- Faulkner, D. J. (1986). Marine Natural Products. *Nat. Prod. Rep.* 3: 1-33.
- Faulkner, D. J. (1987). Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* 4: 539-576.
- Faulkner, D. J. (1988). Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* 5: 613-663.
- Feeny, P. (1970). Seasonal changes in oak leaf tannin and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology* 51 (4): 565-581.
- Fenical, W. (1978). Diterpenoids. in: Scheuer, P. J. (ed.) *Marine Natural Products*. Academic Press Inc., New York, 174-246.
- Fenical, W., Sleeper, H. L., Paul, V. J., Stallard, M. O., Sun, H. H. (1979). Defensive chemistry of *Navanax* and related opisthobranch molluscs. *Pure & Appl. Chem.* 51: 1865-1874.

Literatur

- Filcek, K. (1993). *Patellidae*. in: Rakusa-Suszczewski, S. (ed.) The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Polish Academy of Science, Warschau, 120-122.
- Fischer, G., Wiencke, C. (1992). Stable carbon isotope composition, depth distribution and fate of macroalgae from the Antarctic Peninsula region. *Pol. Biol.* 12: 341-348.
- Fischer, W., Hureau, J. C. (eds.) (1985a). FAO species identification sheets for fishery purposes, Southern Ocean, Vol.1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, 1-232.
- Fischer, W., Hureau, J. C. (eds.) (1985b). FAO species identification sheets for fishery purposes, Southern Ocean, Vol.2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, 233-471.
- Foreman, R. E. (1977). Benthic community modification and recovery following intensive grazing by *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Helgoländer Wiss. Meeresunters.* 30: 468-484.
- Fretter, V., Graham, A. (1962). British Prosobranch Molluscs. Ray Society, London, 755 pp.
- Frost, W. E. (1943). The natural history of the minnow, *Phoxinus phoxinus*. *J. Anim. Ecol.* 12: 61-86.
- Gaines, S. D., Lubchenco, J. (1982). A unified approach to marine plant-herbivore interactions. II. Biogeography. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 111-138.
- Gamble, J. C. (1984). Diving. in: Holme, N. A., McIntyre, A. D. (eds.) Methods for study of marine benthos. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 99-139.
- Geiselmann, J. A., McConnell, O. J. (1981). Polyphenolics in brown algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*: Chemical defenses against the marine herbivorous snail, *Littorina littorea*. *J. Chem. Ecol.* 7 (6): 1115-1133.
- Gilmer, D. S., Cowardin, L. M., Riechmann, J. H., Tester, J. R. (1975). Habitat use and home range of mallards breeding in Minnesota. *J. Wildl. Manage.* 39 (4): 781-789.
- Glombitza, K. -W (1977). Highly hydroxylated phenols of the phaeophyceae. in: Faulkner, D. J., Fenical, W. H. (eds.) Marine natural products chemistry, Nato Conf. Ser. IV. Plenum Press, New York, 191-204.
- Glombitza, K. -W, Rauwald, H. -W, Eckhardt, G. (1975). Fucole, Polyhydroxy-oligophenyle aus *Fucus vesiculosus*. *Phytochemistry* 14: 1403-1405.
- Goerke, H. (1971). Die Ernährungsweise der *Nereis*-Arten (Polychaeta, Nereidae) der deutschen Küsten. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* 13: 1-50.
- Goerke, H. (1966). Nahrungsfiltration von *Nereis diversicolor* O.F. Müller (Nereidae, Polychaeta). *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* 10: 49-58.

Literatur

-
- Grahame, J. (1973). Assimilation efficiency of *Littorina littorea* (L.) (Gastropoda: Prosobranchiata). *J. Animal. Ecol.* 42: 383-389.
- Gröhslers, T. (1992). Nahrungsökologische Untersuchungen an antarktischen Fischen um Elephant Island unter besonderer Berücksichtigung des Südwinters. *Mitt. Inst. Seefisch. Hamburg* 47: 296 pp.
- Gunnill, F. C. (1982). Macroalgae as habitat patch islands for *Scutellidium lamellipes* (Copepoda: Harpacticoida) and *Amphithoe tea* (Amphipoda: Gammaridae). *Mar. Biol.* 69: 103-116.
- Hain, S. (1990). Die beschalteten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des Weddellmeeres, Antarktis. *Berichte zur Polarforschung* 70: 181 pp.
- Harrison, W. G., Cota, G. F. (1991). Primary production in polar waters: relation to nutrient availability. *Pol. Res.* 10: 87-104.
- Hartman, O. (1964). Polychaeta Errantia of Antarctica. *Antarct. Res. Ser.* 3: 101-103.
- Hartman, O. (1966). Polychaeta Myzostomida and Sedentaria of Antarctica. *Am. Geophys. Union Antarct. Res. Ser.* 7: 158pp.
- Hartman, O. (1967). Polychaetous annelids, collected by the USNS Elltanin and Staten Island cruises, chiefly from Antarctic Seas. *Allan Hancock Monogr. Mar. Biol.* 2: 387pp.
- Haslam, E. (ed.) (1989). *Plant Polyphenols*. Cambridge University Press, Cambridge, 154-223.
- Hawkins, S. J., Hartnoll, R. G. (1983). Grazing of intertidal algae by marine invertebrates. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 21: 195-282.
- Hay, M. E. (1984). Predictable spatial escapes from herbivory: How do these affect the evolution of herbivore resistance in tropical marine communities? *Oecologia* 64: 396-407.
- Hay, M. E. (1992). The role of seaweed chemical defenses in the evolution of feeding specialization and in the mediation of complex interactions. in: Paul, V. J. (ed.) *Ecological roles of marine natural products*. Cornell University Press, New York, p. 93-118.
- Hay, M. E. (1994). Species as "noise" in community ecology: Do seaweeds block our view of the kelp forest? *Trends in Ecology and Education* 9 (11): 414-416.
- Hay, M. E., Duffy, J. E., Fenical, W., Gustafson, K. (1988). Chemical defense in the seaweed *Dictyopteris delicatula*: Differential effects against reef fishes and amphipods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48: 185-192.
- Hay, M. E., Fenical, W. (1988). Chemically-mediated seaweed herbivore interactions. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 19: 111-145.
- Hay, M. E., Steinberg, P. D. (1992). The chemical ecology of plant-herbivore interactions in marine versus terrestrial communities. in: Rosenthal, G. A., Berenbaum, M.

Literatur

- R. (eds.) *Herbivores: Their interactions with secondary plant metabolites*. Academic Press Inc., 371-413.
- Hay, M. E., Fenical, W. (1988). Marine plant-herbivore interactions: The ecology of chemical defense. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 19: 111-145.
- Hay, M. E., Fenical, W., Gustafson, K. (1987). Chemical defense against diverse coral-reef herbivores. *Ecology* 68 (6): 1581-1591.
- Hempel, G. (1985). Antarctic Marine Food Webs. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds.) *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, p. 266-270.
- Hess, A. D., Schwartz, A. (1941). The forage ratio and its use in determining the food grade of streams. *Trans. N. Am. Wildl. Conf.* 5: 162-164.
- Heywood, R. B. (1985). Environmental conditions in the Antarctic Peninsula area of the Southern Ocean during Anglo-German Joint Biological Expedition, February 1982. *Meeresforschung* 30: 220-239.
- Heywood, R. B., Whitaker, T. M. (1984). The Antarctic Flora. in: Laws, R. M. (ed.) *Antarctic Ecology*, Vol.2. Academic Press, London, 373-419.
- Hickman, C. S. (1981). Evolution and function of asymmetry in the Archaeogastropod radula. *The Veliger* 23 (3): 189-194.
- Hickman, C. S. (1977). Integration of electron scan and light imagery in study of molluscan radulae. *The Veliger* 20 (1): 1-8.
- Himmelman, J. H., Nédélec, H. (1990). Urchin foraging and algal survival strategies in intensely grazed communities in Eastern Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1011-1026.
- Holme, N. A. (1984). Photography and television. in: Holme, N. A., McIntyre, A. D. (eds.) *Methods for study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 66-98.
- Hong, G. H., Kim, D. Y., Chung, H., Pae, S. (1991). Coastal and inshore water interaction, mixing and primary productivity in the Bransfield Strait, Antarctica, during Austral Summer 1989/90. *Korean J. Pol. Res.* 2 (1): 43-59.
- Horn, M. H. (1989). Biology of marine herbivorous fishes. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 27: 167-272.
- Horn, M. H. (1992). Herbivorous fishes: Feeding and digestive mechanisms. in: John, D. M., Hawkins, S. J., Price, J. H. (eds.) *Plant-animal interactions in the marine benthos*. Clarendon Press, Oxford, 339-363.
- Horn, M. H., Murray, S. N., Edwards, T. W. (1982). Dietary selectivity in the field and food preferences in the laboratory for two herbivorous fishes (*Cebidichthys violaceus* and *Xiphister mucosus*) from a temperate intertidal zone. *Mar. Biol.* 67: 237-246.

- Hughes, R. N. (1971 a). Ecological energetics of *Nerita* (Archaeogastropoda, Neritacea) populations on Barbados, West Indies. *Mar. Biol.* 11: 12-22.
- Hughes, R. N. (1971 b). Ecological energetics of the keyhole limpet *Fissurella barbadensis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 6: 167-178.
- Hutchinson, G. E. (1967). Introduction to Lake Biology and Limnoplankton. A Treatise on Limnology, Vol.II. John Wiley & Sons, New York, 1115pp.
- Hynes, H. B. N. (1950). The food of fresh-water sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pugitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. *J. Anim. Ecol.* 19: 36-58.
- Hyslop, E. J. (1980). Stomach contents analysis - a review of methods and their application. *J. Fish. Biol.* 17: 411-29.
- Irean, C. D., Horn, M. H. (1991). Effects of macrophyte secondary chemicals on food choice and digestive efficiency of *Cebidichthys violaceus* (Girard), an herbivorous fish of temperate marine waters. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 153: 179-19.
- Ivlev, V. S. (1961). Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale Univ. Press, New Haven.
- Jacobs, J. (1974). Quantitative measurement of food selection, a modification of the Forage Ratio and the Ivlev's Electivity Index. *Oecologia* 14: 413-417.
- Jaenicke, L., Boland, W. (1982). Signalstoffe und ihre Reception im Sexualzyklus mariner Braunalgen. *Angewandte Chemie* 94 (9): 655-670.
- Jarre-Teichmann, A. (1992). Steady-state modelling of the Peruvian upwelling ecosystem. Dissertation, Universität Bremen, 153 pp.
- Jarre-Teichmann, A., Pauly, D. (1993). Seasonal changes in the Peruvian upwelling ecosystem. in: Christensen, V., Pauly, D. (eds.) Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM No. 649, 307-314.
- Jazdzewski, K., Jurasz, W., Kittel, W., Presler, E., Presler, P., Sicinski, J. (1986). Abundance and biomass estimates of the benthic fauna in Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. *Pol. Biol.* 6: 5-16.
- Jazdzewski, K., De Broyer, C., Teodorczyk, W., Konopacka, A. (1991). Survey and distributional patterns of the amphipod fauna of Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. *Pol. Polar Res.* 12 (3): 461-472.
- Jensen, A., Indergaard, M., Holt, T. J. (1985). Seasonal variation in the chemical composition of *Saccorhiza polyschides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Bot. Mar.* 28: 375-381.
- Jernakoff, P. (1985). Interactions between the limpet *Patelloida latistrigata* and algae on an intertidal rock platform. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 23: 71-78.

Literatur

- Johnson, C. R., Mann, K. H. (1986). The importance of plant defence abilities to the structure of subtidal seaweed communities: the kelp *Laminaria longicruris* de la Pylaie survives grazing by the snail *Lacuna vincta* (Montagu) at high population densities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 97 (3): 231-267.
- Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61 (1): 65-71.
- Johnston, I. A., Battram, J. (1993). Feeding energetics and metabolism in demersal fish species from Antarctic, temperate and tropical environments. *Mar. Biol.* 115: 7-14.
- Karsten, U., Wiencke, C., Kirst, G. O. (1991b). The effect of salinity upon the physiology of eulittoral green macroalgae from Antarctica and southern Chile. II. Intracellular inorganic ions and organic compounds. *J. Exp. Bot.* 42: 1533-1539.
- Karsten, U., Wiencke, C., Kirst, G. O. (1991a). The effect of salinity changes upon the physiology of eulittoral green macroalgae from Antarctica and Southern Chile. I. Cell viability, growth, photosynthesis and dark respiration. *J. Plant Physiol.* 138: 667-673.
- Kiest, K. A. (1993). A relationship of diet to prey abundance and the foraging behaviour of *Trematomus bernacchii*. *Pol. Biol.* 13: 291-296.
- Kirst, G. O., Wiencke, C. (1994). Ecophysiology of polar algae. *J. Phycol.* 31: 181-199.
- Kittredge, J. S., Takahashi, F. T., Lindsey, J., Lasker, R. (1974). Chemical signals in the sea: marine allelochemicals and evolution. *Fish. Bull. U.S.* 72: 1-11.
- Klages, M., Gutt, J. (1990). Comparative studies on the feeding behavior of high Antarctic amphipods (Crustacea) in laboratory. *Pol. Biol.* 11: 73-79.
- Klöser, H., Ferreyra, G., Schloss, I., Mercuri, G., Laturus, F., Curtosi, A. (1994 a). Hydrography of Potter Cove, a small fjord-loke inlet on King George Island (South Shetlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 38: 523-537.
- Klöser, H., Mercuri, G., Laturus, F., Quartino, M. L., Wiencke, C. (1994 b). On the competitive balance of macroalgae at Potter Cove (King George Island, South Shetlands). *Pol. Biol.* 14: 11-16.
- Klöser, H., Quartino, M. L., Wiencke, C. (in Vorbereitung). Distribution of macroalgae and macroalgal communities in gradients of physical conditions in Potter Cove, King George Island, Antarctica.
- Klumpp, D. W., Salita-Espinosa, J. T., Fortes, M. D. (1993). Feeding ecology and trophic role of sea urchins in a tropical seagrass community. *Aquatic Bot.* 45: 205-229.
- Knox, G. A. (1970). Antarctic marine ecosystems. in: Holdgate, M. W. (ed.) *Antarctic Ecology*, Vol.I. Academic Press, London, 69-96.
- Knox, G. A., Lowry, J. K. (1977). A comparison between the benthos of the Southern Ocean and the North Polar Ocean with special reference to the amphipoda and

- the polychaeta. in: Dunbar, M. J. (ed.) Polar Oceans. Arctic Inst. of North America, Calgary, 423-462.
- Kock, K. -H (1985). Krill consumption by Antarctic Notothenioid Fish. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds.) Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs. Springer-Verlag, Berlin, 437-444.
- Kofoed, L. H. (1975). The feeding biology of *Hydrobia ventrosa* (Montagu). I. The assimilation of different components of the food. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 19: 233-241.
- Kohler, C. C., Ney, J. J. (1982). A comparison of methods for quantitative analysis of feeding selection of fishes. Environ. Biol. Fish. 7 (4): 363-368.
- Koop, K., Field, J. G. (1981). Energy transformations by the supralittoral isopod *Ligia dilatata* Brandt. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 53: 221-233.
- Krebs, C. J. (1989). Ecological methodology. Harper & Row Publishers, New York.
- Kremer, B. P. (1981). Aspects of carbon metabolism in marine macroalgae. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 19: 41-94.
- Lamb, I. M., Zimmermann, M. H. (1977). Benthic marine algae of the Antarctic Peninsula. Antarct. Res. Ser. 23: 130-229.
- Larson, B. R., Vadas, R. L., Keser, M. (1980). Feeding and nutritional ecology of the sea urchin *Strongylocentrotus drobachiensis* in Maine, USA. Mar. Biol. 59: 49-62.
- Lawrence, J. M. (1975). On the relationship between marine plants and sea urchins. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 13: 213-286.
- Lawson, G. S., Tyler, P. A., Young, C. M. (1993). Attraction of deep-sea amphipods to macrophyte food falls. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 169: 33-39.
- Levin, P. S. (1994). Small-scale recruitment variation in a temperate fish: the roles of macrophytes and food supply. Environ. Biol. Fish. 40: 271-281.
- Levitt, G. J., Bolton, J. J. (1990). Seasonal primary production of understory Rhodophyta in an upwelling system. J. Phycol. 26: 214-220.
- Lewis, S. M., Wainwright, P. C. (1985). Herbivore abundance and grazing intensity on a Caribbean coral reef. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 87: 215-228.
- Linkowski, T. B., Presler, P., Zukowski, C. (1983). Food habits of nototheniid fishes (*Nototheniidae*) in Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands). Pol. Polar Res. 4 (1-4): 79-95.
- Lipski, M. (1987). Variations of physical conditions, nutrients and chlorophyll a contents in Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, 1979). Pol. Polar Res. 8 (4): 307-332.

Literatur

- Littler, M. M., Littler, D. S. (1980). The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: Field and laboratory tests of a functional form model. *Am. Nat.* 116: 25-44.
- Littler, M. M., Taylor, P. R., Littler, D. S. (1983). Algal resistance to herbivory on a Caribbean Barrier Reef. *Coral Reefs* 2: 111-118.
- Lubchenco, J., Gaines, S. D. (1981). A unified approach to marine plant-herbivore interactions. I. Populations and communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 12: 405-437.
- Luxmoore, R. A. (1985). The energy budget of a population of the antarctic isopod *Serolis polita*. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds.) *Antarctic Nutrients Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, 389-396.
- Luxmoore, R. A. (1982 a). The reproductive biology of some serolid isopods from the Antarctic. *Pol. Biol.* 1: 3-11.
- Luxmoore, R. A. (1982 b). Moulting and growth in serolid isopods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 56: 63-85.
- Mac Cormack, W. P., Fraile, E. R. (1990). Bacterial flora of newly caught Antarctic fish *Notothenia neglecta*. *Pol. Biol.* 10: 413-417.
- Mann, K. H. (1972). Ecological energetics of the sea-weed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. II. Productivity of the seaweeds. *Mar. Biol.* 14: 199-209.
- Mann, K. H. (1988). Production and use of detritus in various freshwater, estuarine, and coastal marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 33: 910-930.
- Märkel, K. (1966). Über funktionelle Radulatyphen bei Gastropoden unter besonderer Berücksichtigung der Rhipidoglossa. *Vie et Milieu* 17: 1121-1138.
- Martín, J. D., Darias, J. (1978). Algal Sesquiterpenoids. in: Scheuer, P. J. (ed.) *Marine Natural Products*. Academic Press Inc., New York, 125-174.
- McClintock, J. B. (1994). Trophic biology of antarctic shallow-water echinoderms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 111: 191-202.
- McClintock, J. B., Pearse, J. S., Bosch, I. (1988). Population structure and energetics of the shallow-water antarctic sea star *Odontaster validus* in contrasting habitats. *Mar. Biol.* 99: 235-246.
- McClintock, J. B., Janssen, J. (1990). Pteropod abduction as a chemical defence in a pelagic antarctic amphipod. *Nature* 346: 462-464.
- McConnell, O. J., Hughes, P. A., Targett, N. M., Daley, J. (1982). Effects of secondary metabolites from marine algae on feeding by the sea urchin, *Lytechinus variegatus*. *J. Chem. Ecol.* 8 (12): 1437-1453.
- McGinnis, A. J., Kasting, R. (1964). Chromic oxide indicator method for measuring food utilization in a plant-feeding insect. *Science* 144: 1464-1465.

-
- McShane, P. E., Gorfine, H. K., Knuckey, I. A. (1994). Factors influencing food selection in the abalone *Haliotis rubra* (Mollusca: Gastropoda). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 176: 27-37.
- Medlin, L. K., Priddle, J. (1990). Polar marine diatoms. BAS Natural Environment Research Council, Cambridge, 214 pp.
- Menge, B. A. (1976). Organization of the New England rocky intertidal community: Role of predation, competition, and environmental heterogeneity. Ecol. Monogr. 46: 355-393.
- Menge, B. A., Sutherland, J. P. (1987). Community regulation: Variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. Am. Nat. 130: 730-757.
- Miller, K. A., Pearse, J. S. (1991). Ecological studies of seaweeds in McMurdo Sound, Antarctica. Amer. Zool. 31: 35-48.
- Moe, R. L., DeLaca, T. E. (1976). Occurrence of macroscopic algae along the Antarctic Peninsula. Antarctic Journal U.S. 11: 20-24.
- Montagna, P. A. (1983). Live controls for radioisotope tracer food chain experiments using meiofauna. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12: 43-46.
- Montgomery, W. L., Gerking, S. D. (1980). Marine macroalgae as food for fishes: An evaluation of potential food quality. Environ. Biol. Fish. 2: 143-153.
- Moreno, C. A., Zamorano, J. M. (1980). Selección de los alimentos en *Notothenia coriiceps neglecta* del cinturón de macroalgas de Bahía South Antarctica. Ser. Cient. INACH 25-26: 33-43.
- Morris, T. E., Hickman, C. S. (1981). A method for artificially protruding gastropod radulae and a new model of radula function. The Veliger 24 (2): 85-90.
- Naylor, S., Hanke, F. J., Manes, L. V., Crews, P. (1982). Chemical and biological aspects of marine monoterpenes. Fortschritte d. Chem. org. Naturstoffe 44: 189-241.
- Neori, A., Cohen, I., Gordin, H. (1991). *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents - II. Growth rate, yield and C:N ratio. Bot. Mar. 34: 483-489.
- Neushul, M. (1965). Diving observations of sub-tidal Antarctic marine vegetation. Bot. Mar. 8 (2-4): 235-243.
- Newell, R. C. (1979). Biology of intertidal animals. Marine Ecological Surveys LTD, Faversham, Kent, 781 pp.
- Newell, G.E., Newell, R.C. (1963). Marine Plankton. Hutchinson Educational LTD, London, 244 pp.
- Nicotri, M. E. (1980). Factors involved in herbivore food preference. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 42: 13-26.

Literatur

- Norris, J. N., Fenical, W. H. (1985). Natural products chemistry: Uses in ecology and systematics. in: Littler, M. M., Littler, D. S. (eds.) Handbook of phycological methods; Ecological field methods: Macroalgae. Cambridge University Press, Cambridge, 121-146.
- Ogden, J. C., Lobel, P. S. (1978). The role of herbivorous fishes and urchins in coral reef communities. *Env. Biol. Fish.* 3 (1): 49-63.
- Orth, R. J., van Montfrans, J. (1984). Epiphyte-Seagrass relationships with an emphasis on the role of micrograzing: A review. *Aquat. Bot.* 18: 43-69.
- Packard, T. T., Blasco, D., Barber, R. T. (1978). *Mesodinium rubrum* in the Baja California Upwelling System. in: Boje, R., Tomczak, M. (eds.) Upwelling ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, 73-89.
- Padilla, D. K. (1985). Structural resistance of algae to herbivores. A biochemical approach. *Mar. Biol.* 90: 103-109.
- Paine, R. T. (1971). Energy flow in a natural population of the herbivorous gastropod *Tegula funebris*. *Limnol. Oceanogr.* 16 (1): 86-98.
- Paine, R. T. (1965). Natural history, limiting factors and energetics of the ophisthobranch *Navanax inermis*. *Ecology* 5: 603-619.
- Paine, R. T., Vadas, R. L. (1969). Calorific values of benthic marine algae and their postulated relation to invertebrate food preference. *Mar. Biol.* 4: 79-86.
- Paloheimo, J. E. (1979). Indices of food type preference by a predator. *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 470-473.
- Parker, T., Chapman, A. R. O. (1994). Separating the grazing effects of periwinkles and amphipods on a seaweed community dominated by *Fucus distichus*. *Ophelia* 39 (2): 75-91.
- Parsons, T. R., Takahashi, M., Hargrave, B. (1984). Biological oceanographic processes. Pergamon Press, Oxford. 209-215.
- Paul, V. J. (1987). Feeding deterrent effects of algal natural products. *Bull. Mar. Sci.* 41 (2): 514-522.
- Paul, V. J., Hay, M. E. (1986). Seaweed susceptibility to herbivory: Chemical and morphological correlates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 33 (3): 255-264.
- Paul, V. J., Hay, M. E., Duffy, J. E., Fenical, W., Gustafson, K. (1987). Chemical defense in the seaweed *Ochtodes secundiramea* (Montagne) Howe (Rhodophyta): Effects of its monoterpenoid components upon diverse coral-reef herbivores. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 114: 249-260.
- Paul, V. J. (1992). Chemical defenses of benthic marine invertebrates. in: Paul, V. J. (ed.) Ecological roles of marine natural products. Cornell University Press, New York, 164-188.

- Pauly, D., Christensen, V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255-257.
- Pawlik, J. R. (1992). Induction of marine invertebrate larval settlement: Evidence for chemical cues. in: Paul, V. J. (ed.) *Ecological roles of marine natural products*. Cornell University Press, New York, 189-236.
- Paya, I., Santelices, B. (1989). Macroalgae survive digestion by fishes. *J. Phycol.* 25: 186-188.
- Pearse, J. S. (1965). Reproductive periodicities in several contrasting populations of *Odontaster validus* Koehler, a common Antarctic asteroid. *Biol. Antarct. Seas II, Antarct. Res. Ser.* 5: 39-85.
- Pearse, J. S., Hines, A. H. (1979). Expansion of a Central California kelp forest following the mass mortality of sea urchins. *Mar. Biol.* 51: 83-91.
- Peckham, V. (1964). Year-round scuba diving in the Antarctic. *Pol. Rec.* 12(77): 143-146.
- Pennings, S. C., Pablo, S. R., Paul, V. J., Duffy, J. E. (1994). Effects of sponge secondary metabolites in different diets on feeding by three groups of consumers. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 180: 137-149.
- Peters, R. H. (1984). Methods for the study of feeding, grazing and assimilation of zooplankton. in: Downing, J. A., Rigler, F. H. (eds.) *Secondary productivity in fresh waters*. I.B.P. Handbook No.17, Blackwell Sci. Publ., 336-412.
- Pfeffer, G. (1887). Die Krebse von Süd-Georgien nach der Ausbeute der Deutschen Station 1882-83. *Jahrb. Hamb. Wiss. Anst.* 4: 44-150.
- Pfister, C. A., Hay, M. E. (1988). Associational plant refuges: convergent patterns in marine and terrestrial communities result from differing mechanisms. *Oecologia* 77: 118-129.
- Phillips, D. W., Towers, G. H. N. (1982). Chemical ecology of red algal bromophenols II. Exudation of bromophenols by *Rhodomela larix* (Turner) C. Agardh. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 58 (2-3): 295-302.
- Picken, G. B. (1980). The distribution, growth, and reproduction of the Antarctic limpet *Nacella (Patinigera) concinna* (Strebel 1908). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 42: 71-85.
- Picken, G. B. (1979). Growth, production and biomass of the antarctic gastropod *Laevilacunaria antarctica* Martens 1885. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 40: 71-79.
- Picken, G. B. (1985). Marine habitats - Benthos. in: Bonner, W. N., Walton, D. W. H. (eds.) *Key environments - Antarctica*. Pergamon Press, Oxford, 154-172.
- Pollsello, P., Toffanin, R., Murano, E., Paoletti, S., Rizzo, R., Kvam, B. J. (1992). Lipid extracts from different algal species: ¹H- and ¹³C-NMR spectroscopic studies as a new tool to screen differences in the composition of fatty acids, sterols and carotenoids. *J. Appl. Phycol.* 4: 315-322.

Literatur

- Pomeroy, W. M., Levings, C. D. (1980). Association and feeding relationships between *Eogammarus confervicolus* (Amphipoda, Gammaridae) and benthic algae on Sturgeon and Roberts Banks, Frazer River Estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 1-10.
- Poore, A. G. (1994). Selective herbivory by amphipods inhabiting the brown alga *Zonaria angustata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 107: 113-123.
- Proksch, P. (1991). Biologisch aktive Naturstoffe in marinen Invertebraten: Chemoökologische Betrachtung am Beispiel von Schwämmen und marinen Nacktschnecken. *Biologie in unserer Zeit* 21 (1): 26-30.
- Pyke, G. H., Pulliam, H. R., Charnov, E. L. (1977). Optimal foraging: A selective review of theory and tests. *Quart. Rev. Biol.* 52 (2): 137-154.
- Quast, J. C. (1968). Observations on the food of the kelp-bed fishes. in: North, W. J., Hubbs, C. L. (eds.) Utilization of kelp-bed resources in Southern California. *Fish Bulletin, California*, 109-111; 140-124.
- Quigley, M. A., Vanderploeg, A. (1991). Ingestion of live filamentous diatoms by the Great Lakes amphipod, *Diporeia* sp.: A case study of the limited value of gut contents analysis. *Hydrobiol.* 223: 141-148.
- Raffaelli, D. (1985). Functional feeding groups of some intertidal molluscs defined by gut contents analysis. *J. Moll. Stud.* 51: 233-239.
- Raffaelli, D. (1979). The grazer-algae interaction in the intertidal zone on New Zealand rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 38: 81-100.
- Ragan, M. A. (1976). Physodes and phenolic compounds of brown algae. Composition and significance of physodes *in vivo*. *Bot. Mar.* 19: 145-154.
- Ragan, M. A., Jensen, A. (1977). Quantitative studies on brown algal phenols. I. Estimation of absolute polyphenol content of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. and *Fucus vesiculosus* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 30: 209-221.
- Ragan, M. A., Craigie, J. S. (1978). Phenolic compounds in brown and red algae. in: Hellebust, J. A., Craigie, J. S. (eds.) *Handbook of phycological methods*. 157-179.
- Ragan, M. A., Glombitza, K. -W (1986). Phlorotannins, brown algal polyphenols. in: Round, F. E., Chapman, D. J. (eds.) *Progress in phycological Research*. 129-241.
- Rakusa-Suszczewski, S. (1980). Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay (South Shetland Islands) as a part of the near shore Antarctic ecosystem. *Pol. Polar Res.* 1 (1): 11-27.
- Rakusa-Suszczewski, S. (1993). Matter transport and budgets in the Admiralty Bay area. in: Rakusa-Suszczewski, S. (ed) *The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warschau, 199-212.

- Rakusa-Suszczewski, S., Zielinki, K. (1993). Macrophytobenthos. in: Rakusa-Suszczewski, S. (ed.) The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Polish Academy of Sciences, Warschau, 57-60.
- Rauschert, M. (1984). Beobachtungen der marinen Fauna im Litoral und Benthos von King George (Südshetlandinseln, Antarktis). in: Bannasch, R., Feiler, K., Rauschert, M. (eds.) Fortsetzung der biologischen Untersuchungen im Gebiet der sowjetischen Antarktisstation Bellingshausen. Geodätische und geophysikalische Veröffentlichungen, Reihe 1, Heft 11, Berlin, 38-55.
- Rauschert, M. (1991). Ergebnisse der faunistischen Arbeiten im Benthos von King George Island (Südshetlandinseln, Antarktis). Berichte zur Polarforschung 76: 75 pp.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., Richards, F. A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. in: Hill, M. N. (ed.) The sea. Wiley, 26-77.
- Reichardt, W., Dieckmann, G. (1985). Kinetics and trophic role of bacterial degradation of macro-algae in Antarctic Coastal Waters. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. Antarctic Nutrients Cycles and Food Webs. Springer-Verlag, Antarctic Nutrients Cycles and Food Webs, p. 115-122.
- Richardson, M. G. (1975). The dietary composition of some Antarctic fish. Br. Antarct. Surv. Bull. 41 & 42: 113-120.
- Richardson, M. G. (1977). The ecology (including physiological aspects) of selected Antarctic marine invertebrates associated with inshore macrophytes. Ph.D. Thesis, British Antarctic Survey, Cambridge, 296 pp.
- Richardson, M. G. (1979). The distribution of Antarctic marine macroalgae related to depth and substrate. Br. Antarct. Surv. Bull. 49: 1-13.
- Richardson, M. G., Whitaker, T. M. (1979). An Antarctic fast-ice food chain: Observations on the interactions of the amphipod *Pontogeneia antarctica* Chevreux with ice-associated micro-algae. Br. Antarct. Surv. Bull. 47: 107-115.
- Rieper-Kirchner, M. (1989). Microbial degradation of North Sea macroalgae: field and laboratory studies. Bot. Mar. 32: 241-252.
- Robotham, P. W. J. (1977). Feeding habits and diet in two populations of spined loach *Cobitis taenia* (L.). Freshw. Biol. 7: 469-477.
- Roese, M., Speroni, J., Drabble, M., Pascucci, C. (1993). Medición de corrientes en Caleta Potter, Antártida. Resúmenes de las jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Puerto Madryn, 1993
- Round, F. E., Hickman, M. (1984). Phytobenthos sampling and estimation of primary production. in: Holme, N. A., McIntyre, A. D. (eds.) Methods for study of marine benthos. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 245-283.
- Sachs, L. (1978). Angewandte Statistik. Springer Verlag, Berlin, 550 pp.

Literatur

- San-Martin, A., Rovirosa, J. (1985). Monoterpenos halogenados de *Plocamium cartilagineum* de la Antartica. Ser. Cient. INACH. 32: 93-98.
- Santelices, B. (1992). Digestion survival in seaweeds: An overview. in: John, D. M., Hawkins, S. J., Price, J. H. (eds.) Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos. Clarendon Press, Oxford, 363-384.
- Santelices, B. (1990). Patterns of reproduction, dispersal and recruitment in seaweeds. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 28: 177-276.
- Schalk, P. H., Brey, T., Bathmann, U., Arntz, W., Gerdes, D., Dieckmann, G., Ekau, W., Gradinger, R., Plötz, J., Schnack-Schiel, S. B., Siegel, V., Smetacek, V. S., Van Franeker, J. A. (1993). Towards a conceptual model of the Weddell Sea Ecosystem, Antarctica. in: Christensen, V., Pauly, D. (eds.) Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM, No. 649, 323-337.
- Schloss, I., Klöser, H., Ferreyra, G., Curtosi, A., Mercuri, G., Pinola, E. (1994a). Factors governing phytoplankton and particulate matter variation in Potter Cove, King George Island, Antarctica. SCAR Symposium, Venice
- Schloss, I., Ferreyra, G., Pinola, E., Mercuri, G., Curtosi, A. (1994). Variación de la biomasa fitoplanctónica y del material particulado en suspensión en relación a algunos parametros ambientales en Caleta Potter. Contr. Inst. Antárt. Argent.: Estructura y dinamica de un ecosistema costero Antártico 419: 17-30.
- Schnack, S. B. (1985) Feeding by *Euphausia superba* and Copepod species in responding to varying concentrations of phytoplankton. in: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds.) Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs. Springer-Verlag, Berlin, 311-323.
- Schneider, F. I., Mann, K. H. (1991). Species specific relationship of invertebrates to vegetation in seagrass bed. II. Experiments on the importance of macrophyte shape, epiphyte cover and predation. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 145: 119-139.
- Schultze, K., Janke, K., Krüß, A., Weidemann, W. (1990). The macrofauna and macroflora associated with *Laminaria digitata* and *L. hyperborea* at the island of Helgoland (German Bight, North Sea). Helgoländer Meeresunters. 44: 39-51.
- Shabica, S. V. (1976). The natural history of the antarctic limpet *Patinigera polaris* (Hombron and Jacquinet). Thesis at the Oregon State University, UMI
- Shannon, L. V., Pillar, S. C. (1986). The Benguela Ecosystem, Part III. Plancton. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 24: 64-170.
- Sicinski, J. (1993). *Polychaeta*. in: Rakusa-Suszczewski, S. (ed) The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. 101-107.
- Sieg, J., Wägele, J. W. (eds.) (1990). Fauna der Antarktis. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 197 pp.
- Simpson, R. D. (1976). Physical and biotic factors limiting the distribution and abundance of littoral molluscs on Maquarie Island (Sub-Antarctic). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 21: 11-49.

- Skottsberg, C. (1941). Communities of marine algae in Subantarctic and Antarctic waters. K. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar / Tredje Serien 19 (4): 1-95.
- Slocum, C. J. (1980). Differential susceptibility to grazers in two phases of an intertidal alga: Advantages of heteromorphic generations. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 46: 99-110.
- Smetacek, V., Scharek, R., Nöthig, E. -M (1990). Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. in: Kerry, K. R., Hempel, G. (eds.) Antarctic ecosystems. Ecological change and conservation. Springer-Verlag, Berlin, 103-114.
- Sokal, R. R. / Rohlf, F.J. (1992). Biometry, 2nd edition. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 207 pp.
- Stallard, M. O., Faulkner, D. J. (1974). Chemical constituents of the digestive gland of the sea hare *Aplysia californica* - I. Importance of diet. Comp. Biochem. Physiol. 49 B: 25-35.
- Steinberg, P., Van Altena, I. (1992). Tolerance of marine invertebrate herbivores to brown algal phlorotannis in temperate Australasia. Ecol. Monogr. 62 (2): 189-222.
- Steinberg, P. D. (1984). Algal chemical defense against herbivores: Allocation of phenolic compounds in the kelp *Alaria marginata*. Science 223: 405-407.
- Steinberg, P. D. (1986). Chemical defense and the susceptibility of tropical marine brown algae to herbivores. Oecologia 69 (4): 628-630.
- Steinberg, P. D. (1988). Effects of quantitative and qualitative variation in phenolic compounds on feeding in three species of marine invertebrate herbivores. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 120 (3): 221-237.
- Steinberg, P. D., Edyvane, K., De Nys, R., Birdsey, R., Van Altena, I. A. (1991). Lack of avoidance of phenolic-rich brown algae by tropical herbivorous fishes. Mar. Biol. 109: 335-343.
- Steinberg, P. D., Paul, V. J. (1990). Fish feeding and chemical defenses of tropical brown algae in Western Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 58: 253-259.
- Steinberg, P. D. (1985). Feeding preferences of *Tegula funebris* and chemical defenses of marine brown algae. Ecol. Monogr. 55(3): 333-349.
- Steinberg, P. D. (1992). Geographical variation in the interaction between marine herbivores and brown algal secondary metabolites. in: Paul, V. J. (ed.) Ecological roles of marine natural products. Cornell University Press, New York, 51-92.
- Steneck, R. S., Watling, L. (1982). Feeding capabilities and limitation of herbivore molluscs: A functional group approach. Mar. Biol. 68: 299-319.
- Stierle, D. B., Sims, J. J. (1979). Marine natural products XV: Polyhalogenated cyclic monoterpenes from red alga *Plocamium cartilagineum* of Antarctica. Tetrahedron 35: 1261-1265.

Literatur

- Strauss, R. E. (1979). Reliability estimates for Ivlev's Electivity Index, the Forage Ratio, and a proposed Linear Index of Food Selection. *Trans. Am. Fish. Soc.* 108: 344-352.
- Sumich, J. L. (1992). An introduction to the biology of marine life. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, 143-145.
- Swanson, G. A., Meyer, M. I., Serie, J. R. (1974). Feeding ecology of breeding blue-winged teals. *J. Wildl. Manage.* 38(3): 396-407.
- Swynnerton, G. H., Worthington, E. B. (1940). Note on the food of fish in Haweswater (Westmorland). *J. Anim. Ecol.* 9: 183-187.
- Targett, T. E. (1981). Trophic ecology and structure of coastal Antarctic fish communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4: 243-263.
- Targett, T. E., Radtke, R. L. (1985). Growth and feeding ecology studies on coastal Antarctic fishes. *Antarctic Journal* 19 (5): 147-148.
- Taylor, P. R., Littler, M. M., Littler, D. S. (1986). Escapes from herbivory in relation to the structure of mangrove island macroalgal communities. *Oecologia* 69: 481-490.
- Thomas, D. N., Wiencke, C. (1991). Photosynthesis, dark respiration and light independent carbon fixation of endemic Antarctic macroalgae. *Pol. Biol.* 11: 329-337.
- Thurston, M. H. (1970). Growth in *Bovallia gigantea* Pfeffer (Crustacea: Amphipoda). in: Holdgate, M. W. (ed.) *Antarctic Ecology*. Academic Press, London, 269-278.
- Thurston, M. H. (1968). Notes on the life history of *Bovallia gigantea* (Pfeffer) (Crustacea, Amphipoda). *Br. Antarct. Surv. Bull.* 16: 57-64.
- Tiedtke, J. E., Kock, K. H. (1989). Structure and composition of the demersal fish fauna around Elephant Island. *Arch. Fisch. Wiss.* 39 (Beih.1): 143-169.
- Tischler, W. (1993). Einführung in die Ökologie. Fischer Verlag, Stuttgart.
- Tréguer, P., Jacques, G. (1992). Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. *Pol. Biol.* 12: 149-162.
- Tugwell, S., Branch, G. M. (1989). Differential polyphenolic distribution among tissues in the kelps *Ecklonia maxima*, *Laminaria pallida* and *Macrocystis angustifolia* in relation to plant-defence theory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 129: 219-230.
- Tymiak, A. A., Rinehart, JR K. L., Bakus, G. J. (1985). Constituents of morphologically similar sponges. *Aplysia* and *Smenospongia* species. *Tetrahedron* 41 (6): 1039-1047.
- Underwood, A. J. (1980). The effects of grazing by gastropods and physical factors on the upper limits of distribution of intertidal macroalgae. *Oecologia* 46: 201-213.

Literatur

- Underwood, A. J., Jernakoff, P. (1984). The effects of tidal height, wave-exposure, seasonality and rock-pools on grazing and the distribution of intertidal macroalgae in New South Wales. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 75: 71-96.
- Vadas, R. L., Elner, R. W. (1992). Plant-animal interactions in the north-west Atlantic. in: John, D. M., Hawkins, S. J., Price, J. H. (eds.) *Plant-animal interactions in the marine benthos*. Clarendon Press, Oxford, 33-60.
- Velimirov, B., Field, J. G., Griffiths, C. L., Zoutendyk, P. (1977). The ecology of kelp-bed communities in the Benguela upwelling system. Analysis of biomass and spatial distribution. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 30: 495-518.
- Wahl, M. (1989). Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: Some basic aspects. *Mar. Ecol. Proc. Ser.* 58: 175-189.
- Watanabe, K., Miyakado, M., Ohno, N., Okada, A., Yanagi, K., Moriguchi, K. (1989). A polyhalogenated insecticidal monoterpene from the red algae, *Plocamium telfairiae*. *Phytochemistry* 28 (1): 77-78.
- Watson, D. C., Norton, T. A. (1983). Algal palatability and selective grazing by littorinid snails. *Br. Phycol. J.* 18 (2): 212.
- Weeks, J. M., Rainbow, P. S. (1990). A dual-labelling technique to measure the relative assimilation efficiencies of invertebrates taking up trace metals from food. *Functional Ecology* 4: 711-717.
- Weykam, G., Iken, K., Klöser, H., Gómez, I., Wiencke, C. (eingereicht). Photosynthetic characteristics and C:N ratios of macroalgae from King George Island. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*
- White, M. G., Robins, M. W. (1972). Biomass estimates from Borge Bay, Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 31: 45-50.
- Whittaker, R. H., Feeny, P. P. (1971). Allelochemicals: Chemical interactions between species. *Science* 171: 757-770.
- Wiencke, C. (1990a). Seasonality of brown macroalgae from Antarctica - a long-term culture study under fluctuating antarctic daylengths. *Pol. Biol.* 10: 589-600.
- Wiencke, C. (1990b). Seasonality of red and green macroalgae from Antarctica - a long-term study under fluctuating antarctic daylengths. *Pol. Biol.* 10: 601-607.
- Wiencke, C., Clayton, M. N. (1990). Sexual reproduction, life history, and early development in culture of the Antarctic brown alga *Himantothallus grandifolius* (Desmarestiales, Phaeophyceae). *Phycologia* 29 (1): 9-18.
- Wiencke, C., Rahmel, J., Karsten, U., Weykam, G., Kirst, G. O. (1993). Photosynthesis of marine macroalgae from Antarctica: Light and temperature requirements. *Bot. Acta* 106: 78-87.
- Wiencke, C., tom Dieck, I. (1989). Temperature requirements for growth and temperature tolerance of macroalgae endemic to the Antarctic region. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 54: 189-197.

Literatur

- Wieser, W. (1952). Investigations on the macrofauna inhabiting seaweeds on rocky coasts. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 31: 145-173.
- Wightman, J. A. (1975). An improved technique for measuring assimilation efficiency by the ^{51}Cr - ^{14}C twin tracer method. *Oecologia* 19: 273-284.
- Williams, G. A., Seed, R. (1992). Interactions between macrofaunal epiphytes and their host algae. in: John, D. M., Hawkins, S. J., Price, J. H. (eds.) *Plant-animal interactions in the marine benthos*. Clarendon Press, Oxford, 189-212.
- Wilson, G. D., Thistle, D., Hessler, R. R. (1976). The Plakarthriidae (Isopoda: Flabellifera): déjà vu. *Zool. J. Linn. Soc.* 58: 331-343.
- Winkler, H. (1994). Charakterisierung der Isopodenfauna (Crustacea, Malacostraca) des Scotia-Bogens aus biogeographischer Sicht: Ein multivariater Ansatz. *Berichte zur Polarforschung* 139: 1-196.
- Winter, F. C., Estes, J. A. (1992). Experimental evidence for the effects of polyphenolic compounds from *Dictyoneurum californicum* Ruprecht (Phaeophyta: Laminariales) on feeding rate and growth in the red abalone *Haliotis rufescens* Swainson. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 155: 263-277.
- Wolff, M. (1989). On assessing a fish species role in its community by stomach and gut content analysis: A critical note with suggestions. *Medio Ambiente* 10 (1): 80-83.
- Worthington, D. G., Fairweather, P. G. (1989). Shelter and food: Interactions between *Turbo undulatum* (Archaeogastropoda: Turbinidae) and coralline algae on rocky seashores in New South Wales. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 129: 61-79.
- Wright, J. R. (1977). Ph.D.Thesis, Liverpool University, 136 pp.
- Wright, I. L. C. (1984). Biologically active marine metabolites: Some recent examples. *Proc. N.S. INST. SCI.* 34: 133-161.
- Wylie, C. R., Paul, V. J. (1988). Feeding preferences of the surgeonfish *Zebrasoma flavescens* in relation to chemical defenses of tropical algae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45: 23-32.
- Yang, J. S., Deuk, S. J. (1993). The three-month continuous observation of oceanographic parameters in King George Island. *Korean J. Pol. Res.* 4 (2): 11-15.
- Zielinski, K. (1981). Benthic macroalgae of Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands) and circulation of algal matter between the water and the shore. *Pol. Polar Res.* 2 (3-4): 71-94.
- Zielinski, K. (1990). Bottom macroalgae of the Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands, Antarctica). *Pol. Polar Res.* 11 (1-2): 95-131.

8. Anhang

Tab.A-1: *Laevilacunaria antarctica* (Kap.3.2.3.2)

Berechnung des mittleren Kotballenvolumens (KB Vol.) und des durchschnittlichen Volumens produzierter Kot pro Schnecke pro 24 h (Vol. Kot / Ind.) aus dem mittleren Kotballendurchmesser pro Algenart (mittl. Ø KB) und der Anzahl produzierter Kotballen pro Algenart pro 24 h (Anz. KB / 24 h).

Formel zur Berechnung des Kugelvolumens: $V = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$

	<i>M.hariotii</i>	<i>I.cordata</i>	<i>P.decipiens</i>	<i>P.cartilag.</i>	<i>A.utricularis</i>	<i>A.mirabilis</i>	<i>D.menziesii</i>	<i>H.grandif.</i>
mittl. Ø KB (µm)	249,03 ±46,90	235,73 ±41,37	222,27 ±48,21	260,99 ±40,42	254,39 ±49,68	258,79 ±58,40	270,89 ±54,60	256,83 ±62,00
KB Vol (mm ³)	0,00809	0,00686	0,00575	0,00931	0,00862	0,00908	0,01041	0,00887
Anz. KB / 24 h	66,2	51,8	1,9	69,1	58,1	9,2	27,9	2,1
Vol. Kot / Ind. (mm ³)	0,535	0,355	0,014	0,643	0,500	0,084	0,277	0,019

Tab.A-2: *Gondogeneia antarctica* (Kap.3.2.3.4)

H-Test nach Kruskal und Wallis der mittleren Magenfüllwerte (MFW) von *G. antarctica* aus verschiedenen Algen-Netzproben. (R = Rang)

H_0 : Die Magenfüllwerte der Tiere aus verschiedenen Algen-Netzproben unterscheiden sich nicht.

	Mono B		Iri A&B		Gig A		Georg B		Ploc A		Adeno A		Phae A		Dmen A		Danc A	
	MFW	R	MFW	R	MFW	R	MFW	R	MFW	R	MFW	R	MFW	R	MFW	R	MFW	R
	100	55,5	100	55,5	0,0	6,0	0,0	6,0	100	55,5	50,0	26,0	75,0	39,0	50,0	26,0	0,0	6,0
	100	55,5	75,0	39,0	0,0	6,0	100	55,5	100	55,5	50,0	26,0	87,5	46,0	62,5	34,0	37,5	17,5
	75,0	39,0	50,0	26,0	12,5	12,5	75,0	39,0	87,5	46,0	0,0	6,0	0,0	6,0	25,0	15,0	50,0	26,0
	87,5	46,0	100	55,5	50,0	26,0	50,0	26,0	75,0	39,0	100	55,5	0,0	6,0	50,0	26,0	12,5	12,5
	100	55,5	25,0	15,0	50,0	26,0	75,0	39,0	50,0	26,0	100	55,5	0,0	6,0	75,0	39,0	50,0	26,0
	75,0	39,0	0,0	6,0					0,0	6,0			50,0	26,0	25,0	15,0		
	100	55,5	100	55,5											0,0	6,0		
	100	55,5	87,5	46,0											37,5	17,5		
	75,0	39,0	50,0	26,0											87,5	46,0		
	100	55,5	50,0	26,0											50,0	26,0		
ΣR_i	496,0		350,5		76,5		165,5		228,0		169,0		129,0		250,5		88,0	
ΣR_i^2	246016,0		122850,3		5852,25		27390,25		51984,00		28561,00		16641,00		62750,25		7744,00	
n_j	10		10		5		5		6		5		6		10		5	
ΣR_j^2	24601,60		12285,03		1170,45		5478,05		8664,00		5712,20		2773,50		6275,03		1548,80	
$/n_j$																		

$$\Sigma R_i^2/n_i = 68511,65$$

$$H = [12/n_i \cdot (n_i+1)] \cdot \Sigma R_j^2/n_j - 3 \cdot (n_i+1) = [12/62 \cdot (62+1)] \cdot 68511,65 - 3 \cdot (62+1) = 21,47$$

Tabellenwert für H (für k-1 Freiheitsgrade, $n_i \geq 5$ und $k \geq 4$): **15,51** auf dem 95%igem Signifikanzniveau

$H > H_{Tabelle}$, d.h. die Nullhypothese wird abgelehnt

Tab.A-3: Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica* (Kap.4.2.2)

Konsumtion von *L. antarctica* unterschiedlicher Größe an verschiedenen Makroalgenarten, Konsumtionswerte in mg.

Konsumtion an:					
Größe [mm]	<i>M. hariotii</i>	<i>P. decipiens</i>	<i>G. skottsbergii</i>	<i>P. cartilagineum</i>	<i>I. cordata</i>
2	0,0132	0,0033	0,0420	0,0283	0,0894
3	0,0339	0,0095	0,0763	0,0329	0,1178
4	0,0661	0,0273	0,1386	0,0692	0,1552
5	0,1109	0,0788	0,2518	0,1453	0,2045
6	0,1694	0,2274	0,4575	0,3051	0,2696

Konsumtion an:					
Größe [mm]	<i>G. confluens</i>	<i>C. racovitzae</i>	<i>A. utricularis</i>	<i>D. menziesii</i>	Rest
2	0,0839	0,0099	0,0145	0,0294	0,0262
3	0,1528	0,0149	0,0359	0,0451	0,0433
4	0,2338	0,0199	0,0681	0,0610	0,0699
5	0,3252	0,1200	0,1120	0,0772	0,1188
6	0,4258	0,2460	0,1681	0,0936	0,1969

Tab.A-4: Konsumtion von *Laevilacunaria antarctica* in einzelnen Probenquadraten (Kap.5.2.3)

Berechnung der Gesamtkonsumtion von *L. antarctica* an Makroalgen in verschiedenen Probenquadraten. N ist die Anzahl der Schnecken pro Größenklasse (GK), C_i sind die Konsumtionsraten an den verschiedenen Algenarten (i). $C_{ges./GK}$ ist die Gesamtkonsumtion pro Größenklasse und C_{Probe} die Gesamtkonsumtion pro Probenquadrat, C_{m^2} pro Quadratmeter und $C_{kg Alg.}$ pro kg Trockengewicht Algen. Die prozentualen Biomasseanteile der einzelnen Algenarten in den Proben sind angegeben.

Probe Nr. 10/93-1, Eulitoral

I. cordata: 90%, Rest: 10%

GK	N	$C_{I. cordata}$	C_{Rest}	$C_{ges./GK}$	C_{Probe}	C_{m^2}	$C_{kg Alg.}$
1	0	0	0	0	13,3811	53,52	(keine Daten)
2	24	0,1060	0,0043	2,6472			
3	29	0,1397	0,0070	4,2543			
4	17	0,1841	0,0119	3,3320			
5	12	0,2426	0,0197	3,1476			

Probe Nr. 10/93-2, Eulitoral

I. cordata: 83%, *G. skottsbergii*: 13%, *P. decipiens*: 3,5%, Rest: 0,5%

GK	N	$C_{I. cordata}$	$C_{G. skottsbg.}$	$C_{P. decip.}$	C_{Rest}	$C_{ges./GK}$	C_{Probe}	C_{m^2}	$C_{kg Alg.}$
1	2	0,0742	0,0055	0,0001	0,0001	0,1598	20,3875	81,55	353,34
2	38	0,0978	0,0099	0,0003	0,0002	4,1116			
3	31	0,1288	0,0180	0,0010	0,0004	4,5942			
4	29	0,1697	0,0327	0,0028	0,0006	5,9682			
5	19	0,2238	0,0595	0,0080	0,0010	5,5537			

Probe Nr. 10/93-3, Eulitoral

A. utricularis: 41%, *I. cordata*: 30%, *M. harioitii*: 17%, *P. decipiens*: 9%, *G. skottsbergii*: 3%

GK	N	$C_{A. utricul.}$	$C_{I. cordata}$	$C_{M. harioit.}$	$C_{P. decip.}$	$C_{G. skottsbg.}$	$C_{ges./GK}$	C_{Probe}	C_{m^2}	$C_{kg Alg.}$
1	1	0,0059	0,0268	0,0022	0,0003	0,0019	0,0371	3,3405	13,36	127,50
2	6	0,0145	0,0353	0,0056	0,0009	0,0035	0,3588			
3	9	0,0276	0,0466	0,0109	0,0025	0,0064	0,8460			
4	7	0,0454	0,0614	0,0183	0,0071	0,0116	1,0066			
5	5	0,0681	0,0809	0,0279	0,0205	0,0210	1,0920			

Probe Nr. 10/93-4, Eulitoral

I. cordata: 50%, *M. harti*: 15,5%, *A. utricularis*: 15,5%, *P. decipiens*: 10%, *G. skottsbergii*: 5%, Rest: 4%

GK	N	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{M. harti}</i>	<i>C_{A. utricularis}</i>	<i>C_{P. decip.}</i>	<i>C_{G. skotts.}</i>	<i>C_{Rest}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	3	0,0447	0,0020	0,0023	0,0003	0,0021	0,0016	0,1590	6,8548	27,42	456,99
2	12	0,0589	0,0053	0,0010	0,0038	0,0026	0,0026	0,9264			
3	9	0,0776	0,0103	0,0106	0,0027	0,0693	0,0042	1,5723			
4	7	0,1023	0,0172	0,0174	0,0079	0,1259	0,0071	1,9446			
5	5	0,1348	0,0263	0,0261	0,0227	0,2288	0,0118	2,5255			

Probe Nr. 11/93-1, Sublitoral

N. ligulatum: 62%, *C. racovitzae*: 12%, *A. mirabilis*: 10,5%, *G. skottsbergii*: 5,5%, *D. menziesii* 2,5%, *A. utricularis*: 2,5%, Rest: 5%

GK	N	<i>C_{N. ligul.}</i>	<i>C_{C. racov.}</i>	<i>C_{A. mirabi}</i>	<i>C_{G. skotts.}</i>	<i>C_{D. menz.}</i>	<i>C_{A. utric.}</i>	<i>C_{Rest}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	6	0,0000	0,0015	0,0000	0,0024	0,0007	0,0003	0,0014	0,0378	3,2870	13,15	15,37
2	9	0,0000	0,0017	0,0000	0,0043	0,0010	0,0008	0,0023	0,0909			
3	15	0,0000	0,0023	0,0000	0,0078	0,0014	0,0016	0,0038	0,2535			
4	11	0,0000	0,0139	0,0000	0,0141	0,0018	0,0026	0,0064	0,4268			
5	35	0,0000	0,0285	0,0000	0,0256	0,0022	0,0039	0,0106	2,4780			

Probe Nr. 11/93-2, Sublitoral

I. cordata: 80%, *N. ligulatum*: 9%, *C. racovitzae*: 6%, *G. skottsbergii*: 5%

GK	N	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{N. ligul.}</i>	<i>C_{C. racov.}</i>	<i>C_{G. skotts.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	9	0,0715	0,0000	0,0006	0,0021	0,6678	17,0030	68,01	81,51
2	7	0,0942	0,0000	0,0009	0,0038	0,6923			
3	17	0,1242	0,0000	0,0012	0,0069	2,2491			
4	15	0,1636	0,0000	0,0072	0,0126	2,7510			
5	42	0,2157	0,0000	0,0148	0,0229	10,6428			

Probe Nr. 11/93-3, Sublitoral

C. racovitzae: 58,5%, *G. skottsbergii*: 18,5%, *I. cordata*: 13%, *P. cartilagineum*: 4,5%, *A. mirabilis*: 4%, Rest: 1,5%

GK	N	<i>C_{C. racov.}</i>	<i>C_{G. skotts.}</i>	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{P. cartil.}</i>	<i>C_{A. mirab.}</i>	<i>C_{Rest}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	22	0,0058	0,0078	0,0116	0,0013	0,0000	0,0000	0,5837	9,0743	36,30	49,08
2	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	10	0,0701	0,0468	0,0266	0,0065	0,0000	0,0002	1,1690			
5	32	0,1437	0,0851	0,0350	0,0137	0,0000	0,0003	7,3216			

Probe Nr. 11/93-4, Eulitoral

A. utricularis: 69,5%, *I. cordata*: 15%, *M. hartiotti*: 14%, Rest: 1,5%

GK	N	<i>C. A. utricul.</i>	<i>C. I. cordata</i>	<i>C. M. hartiotti</i>	<i>C. Rest</i>	<i>C. ges./GK</i>	<i>C. Probe</i>	<i>C. m²</i>	<i>C. kg. Alg.</i>
1	7	0,0101	0,0134	0,0018	0,0000	0,1774			
2	0	0	0	0	0	0			
3	0	0	0	0	0	0	1,6678	6,67	24,74
4	12	0,0778	0,0307	0,0155	0,0002	1,4904			
5	0	0	0	0	0	0			

Probe Nr. 11/93-5, Eulitoral

A. utricularis: 61%, *I. cordata*: 21%, *M. hartiotti*: 17%, Rest: 1%

GK	N	<i>C. A. utricul.</i>	<i>C. I. cordata</i>	<i>C. M. hartiotti</i>	<i>C. Rest</i>	<i>C. ges./GK</i>	<i>C. Probe</i>	<i>C. m²</i>	<i>C. kg. Alg.</i>
1	5	0,0089	0,0188	0,0022	0,0002	0,1505			
2	4	0,0220	0,0247	0,0058	0,0003	0,2112			
3	3	0,0417	0,0326	0,0112	0,0005	0,2580	1,0136	4,05	14,93
4	3	0,0687	0,0429	0,0189	0,0008	0,3939			
5	0	0	0	0	0	0			

Probe Nr. 11/93-6, Eulitoral

P. decipiens: 42,5%, *M. hartiotti*: 32%, *I. cordata*: 24%, Rest: 1,5%

GK	N	<i>C. P. decip.</i>	<i>C. M. hartiotti</i>	<i>C. I. cordata</i>	<i>C. Rest</i>	<i>C. ges./GK</i>	<i>C. Probe</i>	<i>C. m²</i>	<i>C. kg. Alg.</i>
1	35	0,0014	0,0042	0,0215	0,0004	0,9625			
2	13	0,0040	0,0109	0,0283	0,0007	0,5707			
3	10	0,0116	0,0212	0,0372	0,0011	0,7110	4,1760	16,70	61,41
4	7	0,0335	0,0355	0,0491	0,0018	0,8393			
5	5	0,0966	0,0542	0,0647	0,0030	1,0925			

Probe Nr. 11/93-7, Eulitoral

P. decipiens: 50%, *M. hartiotti*: 25,5%, *I. cordata*: 23,5%, *A. utricularis*: 1%

GK	N	<i>C. P. decip.</i>	<i>C. M. hartiotti</i>	<i>C. I. cordata</i>	<i>C. A. utricul.</i>	<i>C. ges./GK</i>	<i>C. Probe</i>	<i>C. m²</i>	<i>C. kg. Alg.</i>
1	33	0,0017	0,0034	0,0210	0,0002	0,8679			
2	10	0,0048	0,0086	0,0277	0,0005	0,4160			
3	6	0,0137	0,0169	0,0365	0,0006	0,4062	2,9487	11,79	24,86
4	7	0,0394	0,0283	0,0481	0,0008	0,8162			
5	2	0,1137	0,0432	0,0634	0,0009	0,4424			

Probe Nr. 11/93-8, Eulitoral*C. racovitzae*: 94%, *I. cordata*: 5%, Rest: 1%

GK	N	C _{C. racov.}	C _{I. cordata}	C _{Rest}	C ges./GK	C _{Probe}	C m ²	C kg Alg.
1	13	0,0093	0,0045	0,0003	0,1833	0,8571	3,43	24,49
2	0	0	0	0	0			
3	2	0,0187	0,0078	0,0007	0,0544			
4	3	0,1128	0,0102	0,0012	0,3730			
5	1	0,2312	0,0135	0,0020	0,2467			

Probe Nr. 11/93-9, Eulitoral*I. cordata*: 84%, *C. racovitzae*: 4%, *A. utricularis*: 5%, *P. decipiens*: 6%, Rest: 1%

GK	N	C _{I. cordata}	C _{C. racov.}	C _{A. utricul.}	C _{P. decip.}	C _{Rest}	C ges./GK	C _{Probe}	C m ²	C kg Alg.
1	26	0,0751	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	1,9942	14,9262	59,70	243,10
2	15	0,0990	0,0006	0,0018	0,0006	0,0004	1,5360			
3	17	0,1304	0,0008	0,0034	0,0016	0,0007	2,3273			
4	15	0,1718	0,0048	0,0056	0,0047	0,0012	2,8215			
5	24	0,2265	0,0098	0,0084	0,0136	0,0020	6,2472			

Probe Nr. 11/93-10, Eulitoral*I. cordata*: 87%, *A. utricularis*: 9,5%, *M. hariotii*: 3%, Rest: 0,5%

GK	N	C _{I. cordata}	C _{A. utricul.}	C _{M. hariot.}	C _{Rest}	C ges./GK	C _{Probe}	C m ²	C kg Alg.
1	45	0,0778	0,0014	0,0004	0,0001	3,5865	16,3536	65,41	280,99
2	5	0,1025	0,0034	0,0010	0,0002	0,5355			
3	15	0,1350	0,0065	0,0020	0,0004	2,1585			
4	19	0,1779	0,0106	0,0033	0,0006	3,6556			
5	25	0,2346	0,0160	0,0051	0,0010	6,4175			

Probe Nr. 12/93-1, Sublitoral*G. skottsbergii*: 59%, *C. racovitzae*: 37%, Rest: 4%

GK	N	C _{G. skottsbg.}	C _{C. racov.}	C _{Rest}	C ges./GK	C _{Probe}	C m ²	C kg Alg.
1	9	0,0248	0,0037	0,0011	0,2664	18,9960	75,98	160,57
2	5	0,0450	0,0055	0,0017	0,2610			
3	15	0,0818	0,0074	0,0028	1,3800			
4	23	0,1486	0,0444	0,0048	4,5494			
5	34	0,2699	0,0910	0,0079	12,5392			

Probe Nr. 12/93-2, Sublitoral*D. menziesii*: 57%, *A. utricularis*: 24%, *P. decipiens*: 9%, *N. ligulatum*: 6%, Rest: 4%

GK	N	<i>C.D. menz.</i>	<i>C.A. utricul.</i>	<i>C.P. decip.</i>	<i>C.N. ligul.</i>	<i>C</i> Rest	<i>C</i> ges./GK	<i>C</i> Probe	<i>C</i> m ²	<i>C</i> kg Alg.
1	12	0,0168	0,0035	0,0003	0,0000	0,0011	0,2604	8,1987	32,79	114,19
2	0	0	0	0	0	0				
3	18	0,0348	0,0163	0,0025	0,0000	0,0028	1,0152			
4	32	0,0440	0,0269	0,0071	0,0000	0,0048	2,6496			
5	35	0,0534	0,0403	0,0205	0,0000	0,0079	4,2735			

Probe Nr. 12/93-3, Sublitoral*D. menziesii*: 81%, *P. decipiens*: 13%, *I. cordata*: 3%, Rest: 3%

GK	N	<i>C.D. menz.</i>	<i>C.P. decip.</i>	<i>C.I. cordata</i>	<i>C</i> Rest	<i>C</i> ges./GK	<i>C</i> Probe	<i>C</i> m ²	<i>C</i> kg Alg.
1	33	0,0238	0,0004	0,0027	0,0007	0,9108	7,71	30,86	64,44
2	3	0,0365	0,0013	0,0035	0,0012	0,1275			
3	14	0,0494	0,0036	0,0047	0,0019	0,8344			
4	26	0,0625	0,0105	0,0061	0,0032	2,1398			
5	31	0,0758	0,0302	0,0081	0,0053	3,7014			

Probe Nr. 12/93-4, Sublitoral*A. mirabilis*: 86%, *D. menziesii*: 8%, *A. utricularis*: 4%, *P. decipiens*: 2%

GK	N	<i>C.A. mirab.</i>	<i>C.D. menz.</i>	<i>C.A. utricul.</i>	<i>C.P. decip.</i>	<i>C</i> ges./GK	<i>C</i> Probe	<i>C</i> m ²	<i>C</i> kg Alg.
1	7	0,0000	0,0024	0,0006	0,0001	0,0217	0,4161	1,66	1,89
2	0	0	0	0	0	0			
3	4	0,0000	0,0049	0,0027	0,0006	0,0328			
4	8	0,0000	0,0062	0,0045	0,0016	0,0984			
5	14	0,0000	0,0075	0,0067	0,0046	0,2632			

Probe Nr. 12/93-5, Sublitoral*I. cordata*: 88%, *A. utricularis*: 11%, *G. confluens*: 1%

GK	N	<i>C.I. cordata</i>	<i>C.A. utricul.</i>	<i>C.G. conflu.</i>	<i>C</i> ges./GK	<i>C</i> Probe	<i>C</i> m ²	<i>C</i> kg Alg.
1	9	0,0789	0,0016	0,0005	0,7290	12,4925	49,97	583,76
2	5	0,1039	0,0040	0,0009	0,5440			
3	16	0,1369	0,0076	0,0014	2,3344			
4	15	0,1804	0,0125	0,0020	2,9235			
5	23	0,2378	0,0188	0,0026	5,9616			

Probe Nr. 12/93-6, Sublitoral

C. racovitzae: 51%, *G. skottsbergii*: 15,5%, *G. confluens*: 16,5%, *P. cartilagineum*: 8%, *N. ligulatum*: 5%, Rest: 4%

GK	N	C _{C. racov.}	C _{G. skotts.}	C _{G. confl.}	C _{P. cartil.}	C _{N. ligulat.}	C _{Rest}	C ges./GK	CProbe	C m ²	C kg Alg.
1	24	0,0051	0,0065	0,0138	0,0023	0,0000	0,0011	0,6912	13,9320	55,73	211,09
2	5	0,0076	0,0118	0,0252	0,0026	0,0000	0,0017	0,2445			
3	9	0,0102	0,0215	0,0386	0,0055	0,0000	0,0028	0,7074			
4	23	0,0612	0,0390	0,0537	0,0116	0,0000	0,0048	3,9169			
5	28	0,1255	0,0709	0,0703	0,0244	0,0000	0,0079	8,3720			

Probe Nr. 12/93-7, Sublitoral

C. racovitzae: 51%, *P. decipiens*: 24,5%, *N. ligulatum*: 16%, *A. mirabilis*: 2,5%, *G. confluens*: 2,5%, Rest: 3,5%

GK	N	C _{C. racov.}	C _{P. decip.}	C _{N. ligulat.}	C _{A. mirab.}	C _{G. conflu.}	C _{Rest}	C ges./GK	CProbe	C m ²	C kg Alg.
1	7	0,0046	0,0008	0,0000	0,0000	0,0020	0,0009	0,0581	1,3242	5,30	16,09
2	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	3	0,0612	0,0192	0,0000	0,0000	0,0078	0,0040	0,2766			
5	5	0,1255	0,0555	0,0000	0,0000	0,0102	0,0067	0,9895			

Probe Nr. 12/93-8, Sublitoral

I. cordata: 51%, *N. ligulatum*: 16,5%, *A. utricularis*: 15%, *P. decipiens*: 13%, *P. cartilagineum*: 2%, *A. mirabilis*: 1,5%, Rest: 1%

GK	N	C _{I. cordata}	C _{N. ligulat.}	C _{A. utricul.}	C _{P. decip.}	C _{P. cartil.}	C _{A. mirab.}	C _{Rest}	C ges./GK	CProbe	C m ²	C kg Alg.
1	10	0,0456	0,0000	0,0022	0,0004	0,0006	0,0000	0,0002	0,4880	9,1770	36,71	133,39
2	5	0,0601	0,0000	0,0054	0,0012	0,0007	0,0000	0,0003	0,3370			
3	3	0,0792	0,0000	0,0102	0,0036	0,0015	0,0000	0,0005	0,2835			
4	23	0,1043	0,0000	0,0168	0,0102	0,0032	0,0000	0,0008	3,0935			
5	25	0,1375	0,0000	0,0252	0,0296	0,0067	0,0000	0,0014	4,9750			

Probe Nr. 12/93-9, Eulitoral

I. cordata: 92,5%, *C. racovitzae*: 6,5%, Rest: 1%

GK	N	C _{I. cordata}	C _{C. racov.}	C _{Rest}	C ges./GK	CProbe	C m ²	C kg Alg.
1	19	0,0828	0,0006	0,0003	1,5903	19,1665	76,67	121,85
2	3	0,1091	0,0010	0,0004	0,3315			
3	16	0,1437	0,0127	0,0007	2,5136			
4	19	0,1894	0,0077	0,0012	3,7677			
5	41	0,2497	0,0157	0,0020	10,9634			

Probe Nr. 12/93-10, Eulitoral

I. cordata: 46%, *C. racovitzae*: 34%, *G. skottsbergii*: 19%, Rest: 1%

GK	N	<i>C. cordata</i>	<i>C. racov.</i>	<i>G. skottsbergii</i>	<i>C</i> _{Rest}	<i>C</i> _{ges./GK}	<i>C</i> _{Probe}	<i>C</i> _{m²}	<i>C</i> _{kg Alg.}
1	17	0,0411	0,0034	0,0080	0,0003	0,8976			
2	2	0,0542	0,0051	0,0145	0,0004	0,1484			
3	11	0,0714	0,0068	0,0263	0,0007	1,1572	17,2495	68,99	91,80
4	27	0,0941	0,0408	0,0478	0,0012	4,9653			
5	34	0,1240	0,0836	0,0869	0,0020	10,0810			

Probe Nr. 12/93-11, Eulitoral

I. cordata: 98,5%, *P. decipiens*: 1%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>C. cordata</i>	<i>C. p. decip.</i>	<i>C</i> _{Rest}	<i>C</i> _{ges./GK}	<i>C</i> _{Probe}	<i>C</i> _{m²}	<i>C</i> _{kg Alg.}
1	10	0,0881	0,0000	0,0001	0,8822			
2	3	0,1162	0,0001	0,0001	0,3492			
3	16	0,1530	0,0003	0,0002	2,4560	16,8269	67,31	98,75
4	25	0,2016	0,0009	0,0004	5,0725			
5	30	0,2658	0,0025	0,0006	8,0670			

Probe Nr. 12/93-12, Eulitoral

A. utricularis: 53,5%, *M. hartiotti*: 31%, *I. cordata*: 15%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>A. utricularis</i>	<i>M. hartiotti</i>	<i>C. cordata</i>	<i>C</i> _{Rest}	<i>C</i> _{ges./GK}	<i>C</i> _{Probe}	<i>C</i> _{m²}	<i>C</i> _{kg Alg.}
1	68	0,0077	0,0041	0,0134	0,0002	1,7272			
2	0	0	0	0	0	0			
3	2	0,0364	0,0205	0,0233	0,0004	0,1612	2,9335	11,73	28,79
4	1	0,0598	0,0344	0,0307	0,0007	0,1256			
5	5	0,0898	0,0525	0,0404	0,0012	0,9195			

Probe Nr. 12/93-13, Eulitoral

P. decipiens: 74%, *M. hartiotti*: 13%, *A. utricularis*: 6,5%, *I. cordata*: 6,5%

GK	N	<i>C. p. decip.</i>	<i>M. hartiotti</i>	<i>A. utricularis</i>	<i>C. cordata</i>	<i>C</i> _{ges./GK}	<i>C</i> _{Probe}	<i>C</i> _{m²}	<i>C</i> _{kg Alg.}
1	16	0,0045	0,0017	0,0010	0,0060	0,2112			
2	1	0,0070	0,0044	0,0024	0,0079	0,0217			
3	2	0,0202	0,0086	0,0045	0,0104	0,0874	2,2624	9,05	15,01
4	9	0,0583	0,0144	0,0074	0,0137	0,8446			
5	5	0,1683	0,0220	0,0111	0,0181	1,0975			

Probe Nr. 1/94-1, Sublitoral

A. mirabilis: 57%, *D. menziesii*: 36%, *P. decipiens*: 6,5%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>C_{A. mirab.}</i>	<i>C_{D. menz.}</i>	<i>C_{P. decip.}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	39	0,0000	0,0106	0,0002	0,0001	0,4251	4,6108	18,44	9,15
2	6	0,0000	0,0162	0,0006	0,0002	0,1020			
3	13	0,0000	0,0220	0,0018	0,0004	0,3146			
4	23	0,0000	0,0278	0,0053	0,0006	0,7751			
5	60	0,0000	0,0337	0,0152	0,0010	2,9940			

Probe Nr. 1/94-2, Sublitoral

D. menziesii: 46%, *P. decipiens*: 53,5%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>C_{D. menzi.}</i>	<i>C_{P. decip.}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	18	0,0135	0,0018	0,0001	0,2772	16,5415	66,17	34,07
2	3	0,0208	0,0051	0,0002	0,0783			
3	10	0,0280	0,0146	0,0003	0,4290			
4	34	0,0355	0,0422	0,0005	2,6588			
5	79	0,0431	0,1219	0,0008	13,0982			

Probe Nr. 1/94-3, Sublitoral

C. racovitzae: 46,5%, *G. confluens*: 22%, *I. cordata*: 15,5%, *N. ligulatum*: 10,5%, *P. cartilagineum*: 2%, Rest: 3,5%

GK	N	<i>C_{C. racov.}</i>	<i>C_{G. conflu.}</i>	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{N. ligul.}</i>	<i>C_{P. cartil.}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	29	0,0046	0,0185	0,0138	0,0000	0,0006	0,0010	1,1165	8,5985	34,39	76,91
2	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	6	0,0092	0,0514	0,0239	0,0000	0,0014	0,0026	0,5310			
4	15	0,0556	0,0715	0,0315	0,0000	0,0029	0,0044	2,4885			
5	17	0,1139	0,0937	0,0415	0,0000	0,0061	0,0073	4,4625			

Probe Nr. 1/94-4, Sublitoral

G. skottsbergii: 51,5%, *I. cordata*: 27%, *A. mirabilis*: 13,5%, *P. cartilagineum*: 3%, *G. confluens*: 2,5%, Rest: 2,5%

GK	N	<i>C_{G. skotts.}</i>	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{A. mirab.}</i>	<i>C_{P. cartil.}</i>	<i>C_{G. conflu.}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	16	0,0216	0,0241	0,0000	0,0008	0,0022	0,0006	0,7888	13,9710	55,88	106,57
2	1	0,0393	0,0318	0,0000	0,0009	0,0040	0,0010	0,0770			
3	8	0,0714	0,0419	0,0000	0,0019	0,0061	0,0017	0,9840			
4	14	0,1297	0,0552	0,0000	0,0041	0,0085	0,0029	2,8056			
5	28	0,2356	0,0728	0,0000	0,0085	0,0111	0,0047	9,3156			

Probe Nr. 1/94-5, Eulitoral

I. cordata: 94,5%, *P. decipiens*: 5%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{P. decip.}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	14	0,0847	0,0002	0,0000	1,1890	19,2526	77,01	96,41
2	6	0,1116	0,0005	0,0000	0,6728			
3	7	0,1470	0,0014	0,0001	1,0393			
4	34	0,1937	0,0041	0,0001	6,7286			
5	36	0,2553	0,0118	0,0002	9,6228			

Probe Nr. 1/94-6, Eulitoral

A. urticularis: 83%, *M. harti*: 16,5%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>C_{A. urticul.}</i>	<i>C_{M. harti.}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	71	0,0121	0,0022	0,0001	1,0210	1,9961	7,98	24,17
2	5	0,0299	0,0056	0,0001	0,1780			
3	1	0,0567	0,0109	0,0002	0,0678			
4	2	0,0932	0,0183	0,0004	0,2238			
5	3	0,1399	0,0280	0,0006	0,5055			

Probe Nr. 1/94-7, Eulitoral

P. decipiens: 93,5%, *M. harti*: 4,4%, *I. cordata*: 2%, Rest: 0,1%

GK	N	<i>C_{P. decip.}</i>	<i>C_{M. harti.}</i>	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	32	0,0031	0,0006	0,0020	0,0000	0,1834	0,8768	3,51	6,48
2	0	0	0	0	0				
3	5	0,0255	0,0028	0,0034	0,0001	0,1589			
4	1	0,0736	0,0048	0,0045	0,0001	0,0830			
5	2	0,2124	0,0073	0,0059	0,0002	0,4516			

Probe Nr. 1/94-8, Eulitoral

I. cordata: 99,5%, Rest: 0,5%

GK	N	<i>C_{I. cordata}</i>	<i>C_{Rest.}</i>	<i>C_{ges./GK}</i>	<i>C_{Probe}</i>	<i>C_{m²}</i>	<i>C_{kg Alg.}</i>
1	17	0,0892	0,0001	1,5173	17,4018	69,61	76,19
2	3	0,1176	0,0001	0,3531			
3	10	0,1549	0,0001	1,5500			
4	25	0,2041	0,0002	5,1075			
5	34	0,2606	0,0004	8,8740			

Tab.A-5: C/N-Verhältnisse (Kap.5.1.1 & 5.2.1)

N-, C- und C/N-Mittelwerte (\pm Stabw.) antarktischer Makroalgen

- Screening

Algenart	Datum	N-Gehalt	C-Gehalt	C/N-Verhältnis
Grünalgen				
<i>E. bulbosa</i>	12.11.93	58,5 \pm 0,71	361,0 \pm 21,21	6,21 \pm 0,30
<i>M. hariotii</i>	12.11.93	45,0 \pm 1,41	351,5 \pm 6,36	7,84 \pm 0,16
<i>U. penicilliformis</i>	12.11.93	54,0	303,0	5,60
Rotalgen				
<i>B. callitricha</i>	18.11.93	40,0 \pm 2,83	323,0 \pm 14,14	8,03 \pm 0,22
<i>C. racovitzae</i>	3.10.93	49,5 \pm 2,12	361,0 \pm 12,73	7,29 \pm 0,04
<i>D. lancifolia</i>	8.11.93	65,5 \pm 6,36	328,5 \pm 23,33	5,02 \pm 0,13
<i>G. confluens</i>	19.11.93	46,0 \pm 1,41	321,5 \pm 7,78	7,01 \pm 0,12
<i>G. skottsbergii</i>	18.11.93	25,0 \pm 1,41	269,5 \pm 6,36	10,62 \pm 0,38
<i>G. antarcticus</i>	16.11.93	52,0 \pm 1,41	310,5 \pm 7,78	5,98 \pm 0,01
<i>H. crustigena</i>	8.11.93	48,5 \pm 2,12	294,0 \pm 7,07	6,08 \pm 0,16
<i>I. cordata</i>	13.11.93	31,0 \pm 1,41	281,5 \pm 0,71	9,16 \pm 0,34
<i>K. antarctica</i>	30.11.93	40,0 \pm 1,41	331,5 \pm 3,54	8,27 \pm 0,32
<i>N. ligulatum</i>	3.10.93	54,0 \pm 0,00	337,5 \pm 0,71	6,28 \pm 0,04
<i>P. decipiens</i>	13.11.93	51,5 \pm 0,71	287,5 \pm 3,54	5,60 \pm 0,04
<i>P. plocamioides</i>	18.11.93	38,0 \pm 2,83	323,0 \pm 5,66	8,43 \pm 0,44
<i>P. plumosa</i>	3.12.93	33,0 \pm 0,00	329,5 \pm 4,95	10,09 \pm 0,11
<i>P. cartilagineum</i>	3.11.93	43,5 \pm 4,95	327,5 \pm 16,26	7,34 \pm 0,54
<i>P. endivifolium</i>	16.11.93	61,0 \pm 0,00	386,5 \pm 10,61	6,35 \pm 0,13
Braunalgen				
<i>A. utricularis</i>	29.11.93	29,5 \pm 0,71	338,5 \pm 7,78	11,61 \pm 0,01
<i>A. mirabilis</i>	13.11.93	28,5 \pm 0,71	319,0 \pm 1,41	11,12 \pm 0,28
<i>C. jaquinotii</i>	19.10.93	24,0 \pm 1,41	283,0 \pm 0,00	11,88 \pm 0,71
<i>D. anceps</i>	3.11.93	35,5 \pm 0,71	355,5 \pm 3,54	10,09 \pm 0,03
<i>D. antarctica</i>	3.10.93	28,5 \pm 3,54	320,0 \pm 8,49	11,2 \pm 1,57
<i>D. menziesii</i>	18.11.93	40,0 \pm 0,00	295,0 \pm 2,83	7,32 \pm 0,11
<i>G. geminatus</i>	16.11.93	44,0 \pm 2,83	329,0 \pm 5,66	7,49 \pm 0,66
<i>H. obovata</i>	3.12.93	22,5 \pm 0,71	339,5 \pm 0,71	15,16 \pm 0,69
<i>H. grandifolius</i>	31.10.93	20,5 \pm 0,71	314,0 \pm 4,24	15,19 \pm ,060
<i>P. antarcticus</i>	29.11.93	55,5 \pm 9,19	347,5 \pm 41,72	6,32 \pm 0,31

- saisonale Proben

Algenart	Monat	N-Gehalt	C-Gehalt	C/N-Verhältnis
<i>P. decipiens</i>	September	43,0 ± 4,24	345,0 ± 4,24	8,05 ± 0,64
<i>P. decipiens</i>	Oktober	57,0 ± 0,00	332,5 ± 2,12	5,86 ± 0,06
<i>P. decipiens</i>	November	51,5 ± 0,71	287,5 ± 3,54	5,60 ± 0,04
<i>P. decipiens</i>	Dezember	39,5 ± 0,71	252,5 ± 4,95	6,38 ± 0,02
<i>P. decipiens</i>	Januar	42,0 ± 0,00	347,5 ± 4,95	8,31 ± 0,16
<i>P. decipiens</i>	Februar	38,0 ± 0,00	310,0 ± 1,41	8,14 ± 0,06
<i>I. cordata</i>	September	27,5 ± 0,71	257,5 ± 4,95	9,40 ± 0,04
<i>I. cordata</i>	Oktober	27,5 ± 0,71	256,0 ± 4,24	9,22 ± 0,08
<i>I. cordata</i>	November	31,0 ± 1,41	281,5 ± 0,71	9,16 ± 0,34
<i>I. cordata</i>	Dezember	27,0 ± 0,00	284,5 ± 4,95	10,51 ± 0,02
<i>I. cordata</i>	Januar	31,0 ± 1,41	304,5 ± 4,95	9,82 ± 0,23
<i>A. mirabilis</i>	September	27,5 ± 0,71	312,0 ± 16,97	11,46 ± 0,30
<i>A. mirabilis</i>	Oktober	28,0 ± 1,41	319,0 ± 4,24	11,31 ± 0,39
<i>A. mirabilis</i>	November	28,5 ± 0,71	319,0 ± 1,41	11,12 ± 0,28
<i>A. mirabilis</i>	Dezember	28,0 ± 0,00	363,5 ± 0,71	12,92 ± 0,00
<i>A. mirabilis</i>	Januar	21,0 ± 0,00	352,0 ± 8,49	16,86 ± 0,06
<i>A. mirabilis</i>	Februar	22,0 ± 1,41	316,5 ± 13,44	14,39 ± 0,21
<i>D. menziesii</i>	September	36,5 ± 3,54	365,5 ± 10,61	10,05 ± 1,27
<i>D. menziesii</i>	Oktober	38,5 ± 3,54	298,5 ± 41,72	7,76 ± 0,25
<i>D. menziesii</i>	November	40,0 ± 0,00	295,0 ± 2,83	7,32 ± 0,11
<i>D. menziesii</i>	Dezember	33,5 ± 0,71	310,0 ± 7,07	9,24 ± 0,12
<i>D. menziesii</i>	Januar	36,5 ± 2,12	410,0 ± 9,90	11,25 ± 0,23
<i>D. menziesii</i>	Februar	38,5 ± 2,12	369,5 ± 17,68	9,55 ± 1,04

Tab.A-6: C/N-Verhältnisse (Kap.5.2.1)

Test auf signifikante Unterschiede des Stickstoff-Gehalts bei Grün-, Rot- und Braunalgen (ANOVA). Angaben zum N-Gehalt in mg/g TG Alge.

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algengruppe	2	1320,068	660,034	5,691	0,0092
Rest	25	2899,458	115,978		

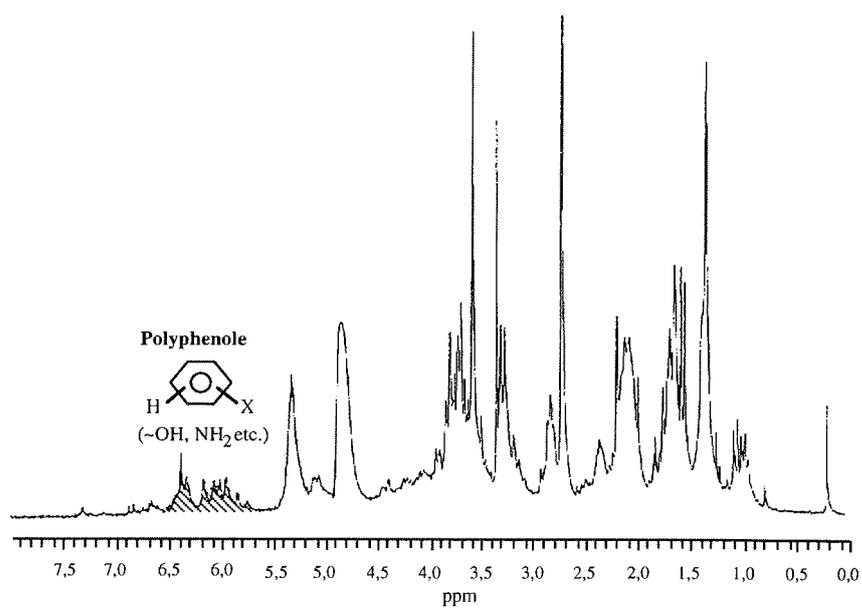
abhängige Variable: N-Gehalt

b) Mittelwert-Tabelle

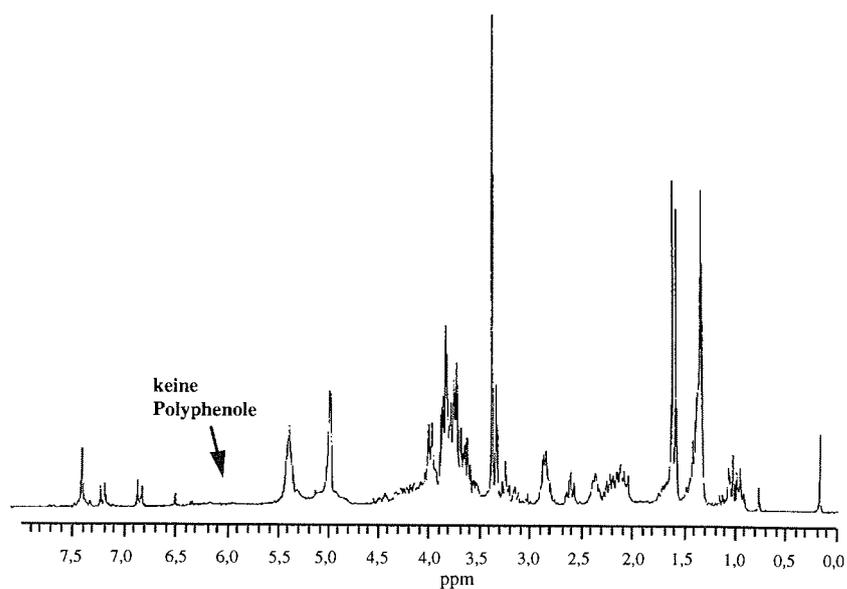
Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Grünalgen	3	52,5	6,87
Rotalgen	15	45,2	11,09
Braunalgen	10	32,9	10,97

Tab.A-7: $^1\text{H-NMR}$ (Kap.5.)

a: $^1\text{H-NMR}$ eines Extrakts polarer Verbindungen der Braunalge *Desmarestia menziesii*

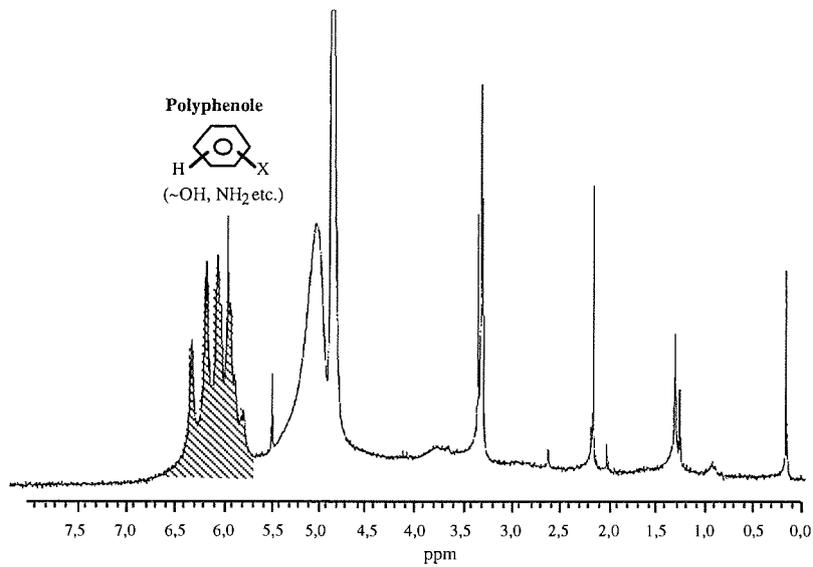


b: $^1\text{H-NMR}$ eines Extrakts polarer Verbindungen der Braunalge *Ascoseira mirabilis*



Tab.A-8: $^1\text{H-NMR}$ (Kap.5.)

$^1\text{H-NMR}$ einer Acetonfraktion eines Extrakts polarer Verbindungen von *Himantothallus grandifolius* (ausgewaschen aus einer Sephadex-Säule).



Tab.A-9: Fraßtests mit denaturierten Algen (Kap.5.2.4)

Test auf signifikante Unterschiede in der Kotballenproduktion von *Laevilacunaria antarctica* beim Fraß an Testalgen-Agar, Kontrollalgen-Agar und ohne Agar (ANOVA).

Ascoseira mirabilis -Agar

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algenagar	2	95421,5	47710,8	308,9	0,0001
Rest	11	1699,2	154,5		

abhängige Variable: Kotballenproduktion

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Testagar	8	302,6	11,9
Blindwert	3	96,3	8,7
Kontrollagar	3	213,3	16,6

Phaeurus antarcticus-Agar

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algenagar	2	35222,1	17611,0	132,6	0,0001
Rest	11	1461,3	132,8		

abhängige Variable: Kotballenproduktion

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Testagar	8	196,5	11,9
Blindwert	3	80,3	6,1
Kontrollagar	3	214,3	13,9

Himantothallus grandifolius-Agar

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algenagar	2	34329,2	17164,6	33,5	0,0001
Rest	11	5636,8	512,4		

abhängige Variable: Kotballenproduktion

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Testagar	8	195,3	17,7
Blindwert	3	87,3	10,4
Kontrollagar	3	227,3	40,2

Curdia racovitzae-Agar

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algenagar	2	26149,7	13074,9	44,4	0,0001
Rest	11	3239,5	294,5		

abhängige Variable: Kotballenproduktion

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Testagar	8	178,3	17,6
Blindwert	3	85,0	7,9
Kontrollagar	3	208,0	21,3

Palmaria decipiens-Agar

a) ANOVA

Ursache	Freiheitsgrade	Σ Abw-Quad.	mittl. Quad.	F-Wert	P-Wert
Algenagar	2	37224,9	18612,4	47,6	0,0001
Rest	11	4300,0	390,9		

abhängige Variable: Kotballenproduktion

b) Mittelwert-Tabelle

Faktor	N	Mittelwert	Standard-Abweich.
Testagar	8	214,5	21,5
Blindwert	3	86,0	10,2
Kontrollagar	3	202,0	20,9

Tab.A-10: Abschätzung der Gesamtkonsumtion (Kap.6)

Regression von Frischgewicht und Konsumtion bei *Laevilacunaria antarctica* und die Berechnungen der Konsumtion einzelner Herbivorer aus deren mittlerem Individualgewicht.

Regressionsgleichung von *L. antarctica* von Gramm Frischgewicht (x) und log (mg Konsumtion) (y):

$$y = 0,013x - 1.423 , r^2 = 0,969$$

Konsumtion verschiedener evertebrater Herbivorer, errechnet aus ihrem mittleren Individualgewicht:

Herbivorenart	mittl. Ind.gewicht [FG]	Kons.·d ⁻¹ ·Ind ⁻¹ [mg]	Abundanz (N·m ⁻²)	Kons.·d ⁻¹ ·m ⁻² [mg]
<i>L. antarctica</i>	30,89	0,0952	300	28,56
<i>G. antarctica</i>	41,78	0,132	300	39,6
<i>P. punktatisimum</i>	0,004	0,0378	300	11,34
Nereidae	34,8	0,107	300	32,1

Anmerkung: Alle weiteren Daten sind bei Bedarf über die Autorin zu beziehen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die auf die eine oder andere Weise zu dieser Arbeit beigetragen haben:

Herr Prof. Dr. Wolf Arntz hat sich immer für meine Arbeit eingesetzt, mir bei allen Schwierigkeiten geholfen und die Durchführung der Arbeit vielfach erst ermöglicht. Ich danke ihm für die Betreuung, seine guten kritischen Anmerkungen und das in mich gesetzte Vertrauen.

Dr. Tom Brey danke ich für seine intensive Betreuung, für all die guten Diskussionen, Tips und Hinweise bei der Durchführung dieser Arbeit, für seine Hilfe bei Statistikproblemen, für seine unendliche Geduld beim Lesen meiner Manuskripte und sein unerschütterliches Vertrauen, daß "das schon was wird".

Dr. Jorge Palermo (Universität Buenos Aires) und seiner Arbeitsgruppe danke ich ganz besonders für seine freundliche Hilfe und fachliche Unterstützung und die Bereitstellung von Geräten und Materialien zur chemischen Analyse von Algenextrakten während meines Aufenthalts in Argentinien.

Ein großer Dank geht an die vielen Kolleginnen und Kollegen, die mir durch die Bereitstellung von Probenmaterial oder bei der Bestimmungsarbeit geholfen haben: E. Barrera-Oro und P. Casaux (beide Instituto Antártico Argentino) überließen mir Fische aus ihren Fängen, L. Quartino (Instituto Antártico Argentino) stellte mir ihre Daten zur Makroalgenbiomasse in der Potter Cove zur Verfügung, von S. Kühne (Alfred-Wegener-Institut) erhielt ich Proben von *O. validus* und Dr. G. Weykam (Alfred-Wegener-Institut) stellte mir Algenproben für die C/N-Analyse zur Verfügung. Dr. C. Wiencke (Alfred-Wegener-Institut) half bei der Bestimmung der Makroalgen und allen "algentechnischen" Fragen, Dr. M. Rauschert (Alfred-Wegener-Institut) bestimmte einige Amphipoden für mich und Dr. A. Brandt (Institut für Polarökologie) half mir bei der Bestimmung der Isopoden.

Dr. B. Niehoff, Dr. A. Jarre-Teichmann, Dr. K. Weber und Dr. H. Goerke und meinem Vater H. Iken danke ich für die hilfreichen Anmerkungen beim Lesen meines Manuskripts. Vor allem Dr. B. Niehoff hat sich am Ende um so manche Formulierung und motivierendes Wort verdient gemacht! Vielen Dank dafür.

Besonders bedanke ich mich auch bei allen argentinischen und deutschen Kolleginnen und Kollegen, die ich hier leider nicht alle namentlich nennen kann, ohne die die beiden Expeditionen nach Jubany nicht so erfolgreich verlaufen wären und deren Freundschaft ich sehr schätze.

Ganz besonders danke ich auch allen Freundinnen, Freunden und meinen Eltern, die mich während dieser Zeit unterstützt und motiviert haben. Ein besonderes herzliches Danke geht dabei an Corinna Dahm und Barbara Niehoff, die immer und überall für mich da waren und es immer noch sind. Guillermo, gracias por todo!!!