

Zonierung und Diversität
makroepibenthischer
Hartbodengemeinschaften im
Kongsfjorden (Spitzbergen, Svalbard)



Bachelorarbeit vorgelegt
von Julia-Berenice Orchard

Bremen, November 2010

Das Titelbild zeigt eine Organismenassoziation auf einem vertikalen Substratwinkel in 200 m Tiefe aus dem Kongsfjorden. Man kann hier die Polychaeten Sabellidae, die Aktinie *Hormathia spp.*, einen Seestern, Schwämme und Bryozoen erkennen.

Erstgutachter: Dr. Jürgen Laudien¹

Zweitgutachter: Prof. Dr. Claudio Richter¹

¹ Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Benthos-Pelagische Prozesse
Columbusstraße, 27568 Bremerhaven

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
1 Einleitung.....	4
1.1 Hydrographie und Biogeographie der Arktis	4
1.2 Arktische Benthosgemeinschaften	8
1.3 Diversität und Zonierung von Benthosgemeinschaften im Kongsfjord	9
1.4 Ziel der Arbeit.....	12
2 Material und Methoden	13
2.1 Untersuchungsgebiet	14
2.2 Repräsentative Probenfläche.....	17
2.3 Optische Erfassung der Benthosgemeinschaften	17
2.4 Auswertung und Analyse	22
2.4.1 Bildanalyse	22
2.4.2 Datenanalyse	22
2.4.2.1 Trophische Struktur und Zoogeographie	22
2.4.2.2 Ökologische Indizes	23
2.4.2.3 Multivariate Methoden.....	24
2.4.2.3.1 Cluster- und MDS-Analysen.....	25
2.4.2.3.2 ANOISM 1	27
2.4.2.3.3 SIMPER-Analyse.....	28
3 Ergebnisse.....	29
3.1 Repräsentative Probenfläche.....	29
3.2 Messung der Leitfähigkeit, Temperatur und Tiefe	30
3.3 Abundanzen	31
3.4 Trophische Struktur und Zoogeographie	36
3.5 Ökologische Indizes.....	38
3.6 Gemeinschaftsanalyse mittels multivarianter Methoden	42
3.6.1 Cluster- und MDS-Analysen der sessilen Makrofauna	42
3.6.2 ANOSIM 1.....	50
3.6.3 SIMPER-Analyse	50
3.7 Charakteristische Arten.....	52
4 Diskussion	63
4.1 Methodendiskussion.....	64

4.1.1 Optische Erfassung der Epibenthosgemeinschaften	64
4.1.1.1 Probenzahl.....	64
4.1.1.2 Hochauflösende Unterwasserkamera montiert auf ein ROV als Beprobungsgerät.....	65
4.1.1.3 Taxonomische Bestimmung	66
4.2 Ergebnisdiskussion	67
4.2.1 Artenanzahl und Abundanzen	67
4.2.1.1 Artenanzahl	67
4.2.1.2 Abundanzen.....	67
4.2.2 Zoogeographie und trophische Struktur	70
4.2.2.1 Zoogeographie.....	70
4.2.2.2 Trophische Struktur und Mobilität.....	72
4.2.3 Ökologische Indizes	74
4.2.3.1 Eisberge und Sedimentationseintrag	75
4.2.4 Gemeinschaftsanalysen.....	76
4.2.4.1 Gemeinschaftsanalyse bezogen auf den bathymetrischen Gradienten	80
4.2.4.2 Gemeinschaftsanalyse bezogen auf den Substratwinkel.....	80
4.2.5 Abiotische und biotische Einflüsse	82
4.2.5.1 Abiotische Einflüsse.....	82
4.2.5.2 Biotische Einflüsse.....	82
4.3 Schlussfolgerung und Ausblick.....	86
5 Literatur	89
6 Anhang.....	94
Danksagung	129

Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit untersuchte die Hartbodenfauna (ausschließlich Epifauna) im Bereich der Tiefen von 30 m bis 200 m des Kongsfjorden. Es wurde untersucht, wie die Lebensgemeinschaften auf dem Hartboden in diesen Tiefen aussehen und wie sich die Lebensgemeinschaften im Vergleich zu den flacheren Tiefen unterscheiden. Weiterhin wurde beobachtet, ob in diesen Tiefen ein Unterschied in Bezug auf diagonale, vertikale und horizontale Substratwinkel besteht.

Zu diesem Zweck wurden Filmaufnahmen auf sechs Tiefenstation mit Hilfe eines kabelgebundenen Unterwasserfahrzeugs (engl. „Remotely Operated Vehicle“, ROV) gemacht. Aus den Sequenzen wurden Standbilder generiert. Insgesamt wurden pro Tiefe und Winkel zehn dieser Bilder auf die Abundanz hin ausgewertet.

Insgesamt konnten 25 Tier- und Algenarten auf den Fotos nachgewiesen werden, die alle für den Kongsfjorden und Spitzbergen schon belegt sind (in Übereinstimmung mit Gulliksen *et al.* 1999). Der Großteil der Tierarten hat eine arktisch-boreale Verteilung (75%), nur 30% haben eine kosmopolitische und 1% eine arktische Verteilung. Die durchschnittliche Abundanz betrug 19,98 Individuen m⁻². Unterschiede in der faunalen Zusammensetzung wurden durch Cluster- und MDS-Analysen der Abundanz in den unterschiedlichen Winkeln und Tiefen aufgezeigt und durch den Einfluss von abiotischen Faktoren erklärt. Unter den sessilen Kolonisten dominiert die Großgruppe der Sabellidae.

Die gefundenen Arten wurden in Bezug auf ihre Nahrungsökologie und die Mobilität klassifiziert. Drei ernährten sich carnivor, vier omnivor und jeweils fünf gelten als aktive und passive Filtrierer. Die meisten Arten sind sessil (80%); nur acht mobile Arten wurden erfasst. Weiterhin wurden folgende ökologische Indizes ermittelt: der Margalef-Index (15 - 5), die Shannon-Weaver-Diversität (0,5 - 1,25) und die Äquität (0,05 - 0,4).

Die makrobenthische Fauna wurde außerdem auf dominante Arten hin analysiert. Diese sind Corallinacea, *Haliclona sp.*, *Hormathia spp.*, *Urticina eques* und die Polychaetenfamilie Sabellidae.

Über die Hartbodengemeinschaften in der untersuchten in der Arktis war bisher wenig bekannt. In der vorliegenden Arbeit lassen sich Tendenzen erkennen, dass sie sich in den Tiefen kaum dafür aber in Bezug auf den Substratwinkel unterscheiden. Dies bestätigt der Trend anderer Untersuchungen. Daher ist es von großer Bedeutung, dass die Hartbodengemeinschaften auch in den kommenden Jahren untersucht werden. Zusätzlich sollten Bedeckungsgrad, abiotische und biotische Umweltbedingungen in die Analyse mit einbezogen werden, da sich so die Gemeinschaftsassoziati on genauer erklären lassen. Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch die Wichtigkeit des Schutzes arktischer Gewässer, über deren Besiedlung wir noch viel zu wenig wissen.

Summary

The focus of this present study was to investigate the rocky bottom community (only the Epifauna) at a depth of 30 m to 200 m in Kongsfjorden, Svalbard. It was investigated how the communities differ in between the bathymetric gradient and the substrate angle (diagonal, horizontal, and vertical).

For this purpose videos were taken with a Remotely Operated Vehicle (ROV). Pictures were generated from these videos and ten pictures for every depth and angle were analyzed.

In total 25 species were identified, which all have been recorded for Kongsfjorden and Svalbard before (according to Gulliksen *et al.* 1999). The majority of the species showed an arctic-boreal distribution (75%), while 30% were cosmopolitan and 1% was arctic. The average abundance was 19.98 individuals m⁻². The cluster-analysis and multidimensional scaling based on the abundance showed little differences between the organisms in the depth and the substrate angle. Differences were explained by the effect of the abiotic factors. Among the sessile colonists Sabellidae dominated.

The found species were then categorised with respect to their feeding ecology and type of mobility. Three species were carnivorous, four omnivorous and five each active and passive suspension feeders. Most of the species (80%) were sessile and only eight species were mobile. Furthermore ecological indices were calculated: the Margalef Index (15 - 5), Shannon-Weaver diversity (0.5 - 1.25) and evenness (0.05 - 0.4).

The macrobenthic fauna were analysed to find dominant species. These were Corallinacea, *Haliclona sp.*, *Hormathia spp.*, *Urticina eques* and the polychaet family Sabellidae.

There is only sparse knowledge concerning the rocky bottom communities in the arctic. This study reveals that communities do not differ in the reference to the depth but to the substrate angle, which was also indicated by other investigations. Thus, it is important to continue the characterization of rocky bottom during the forthcoming years. Supplementary work should be carried out on correlation with the coverage of the substrate, biotic and abiotic parameters as this may explain some of the patterns more clearly. However, the presented results strongly support the importance of protecting the marine arctic, as its colonization is insufficiently known.

1 Einleitung

1.1 Hydrographie und Biogeographie der Arktis

Die Arktis besteht aus den an den Nordpol liegenden Meeres- und Landgebieten. Ihre südliche Abgrenzung kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Während früher der nördliche Polarkreis als Grenze angesehen wurde, werden heute hauptsächlich klimatische und vegetationsgeographische Kriterien herangezogen (Hassol 2004). Der arktische Ozean (= Nordpolarmeer) ist über das Europäische Nordmeer (Grönland-, Island- und Norwegische See) mit dem Atlantik und mit dem Pazifik über die Beringstraße verbunden und gilt als interkontinentales Mittelmeer. Die 600 km breite Framstraße (zwischen Grönland und Spitzbergen, 2600 m Schwellentiefe) ist die Verbindung zwischen beiden Hauptmeeresgebieten (Carmarck 1990). Zum Pazifik besteht eine Verbindung über die Beringstraße (mit 85 km Breite und 50 m Tiefe) (Abbildung 1). Der Hauptaustausch von Wassermassen erfolgt durch die Framstraße über den nach Süden gerichteten Ostgrönlandstrom und den Westspitzbergenstrom, der eine nordwärts gerichtete Komponente des Norwegischen Atlantikstroms ist (Carmarck 1990). Das hydrographische Regime in den Svalbardfjords, inklusive dem Kongsfjorden (79° N) (Beuchel *et al.* 2006) wird so direkt durch den Norwegischen Atlantikstrom beeinflusst. Die Intensität des Westspitzbergenstroms ist abhängig von dem Zustand der Nordatlantischen Ozillation (NAO), die eine Schwankung der Druckverhältnisse zwischen dem Islandtief und dem Azorenhoch darstellt. Die NAO hat einen Einfluss auf die Temperatur und die Strömungen im gesamten Nordatlantik (Tunberg & Nelson 1998) (Abbildung 2).



Abbildung 1: Arktischer Ozean mit angrenzenden Staaten (verändert nach http://ec.europa.eu/fisheries/images/arctic_map.jpg).

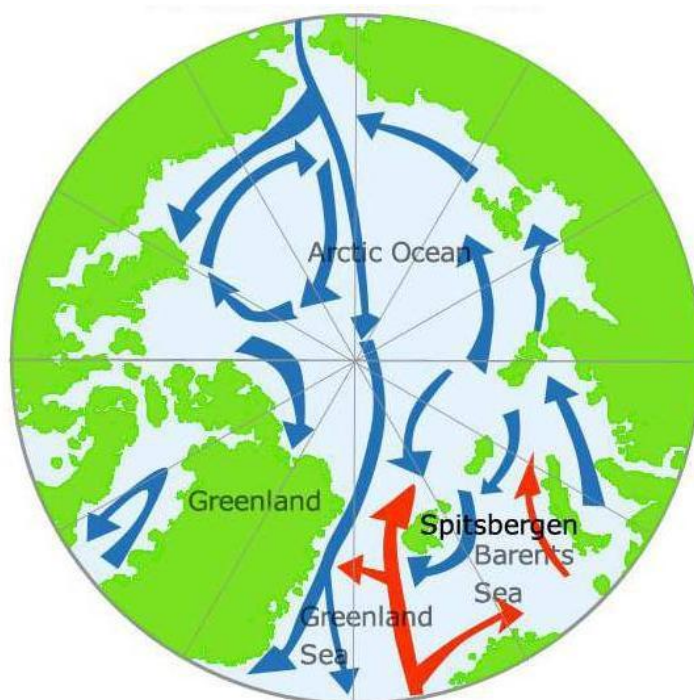


Abbildung 2: Strömungen im Nordpolarmeer: Strömungen des atlantischen (rot) und des arktischen Ozeans (blau).

Die moderne Biogeographie der Arktis kann hauptsächlich als das Ergebnis der erdgeschichtlichen Ereignisse im Quartär gesehen werden (Denton & Hughes 1981) und ist somit jünger als die der Antarktis. Im Vergleich zur Antarktis, die etwa seit 20 Millionen Jahren isoliert ist, daher relativ stabile Umweltbedingungen aufweist und so eine vergleichsweise gut entwickelte und in bestimmtem Tiergruppen endemische Fauna hat, ist die Fauna der Arktis neuzeitlich und beheimatet wenige endemische Arten. Aufgrund der geologischen Entwicklung besteht zur Fauna des Nordatlantiks und -pazifiks noch eine enge verwandtschaftliche Beziehung. Diese wird durch den Austausch von Wassermassen und der damit verbundenen Verbreitungsmöglichkeit für Larven oder Adulten auch heute noch aufrechterhalten. Von einer aktiven Kolonisierung der Arktis kann man seit 14.000 bis 6.000 Jahren ausgehen (Zenkevitch 1963, Dunton 1992, Dayton *et al.* 1994).

Für die Evolution der Arten im arktischen Ozean sind besonders die Grenzen geologischer Epochen markant, da hier ein schneller und deutlicher Wechsel von geomorphologischen, klimatischen und biologischen Zuständen erfolgte (Golikov & Scarlato 1989). Die endemische arktische Fauna hat sich zwar zum Teil schon vor der letzten Eiszeit entwickelt, der Hauptanteil allerdings erst währenddessen (Zenkevitch 1963).

Der arktische Inselarchipel Svalbard ist der nördliche Teil Norwegens (74-81° N und 10-35° E) (Abbildung 1). Der Name „Svalbard“ kommt aus dem Norwegischen und bedeutet „kalte Küste“. Der Archipel ist vom arktischen Ozean (im Bereich des flachen Schelfmeeres der Barentsee) und vom Nordatlantik umgeben (z.B. Gulliksen & Svensen 2004). Der nördliche und östliche Teil Svalbards weist den größten Teil des Jahres eine permanente Eisdecke auf (Piepenburg *et al.* 1996). Im Gegensatz dazu zeigt sich der Einfluss des relativ warmen Nordatlantikstroms, der entlang der norwegischen Küste fließt (Loeng 1991, Pfirman *et al.* 1994), auf der Westseite Svalbards, wo Spitzbergen liegt, das die größte und gleichzeitig die Hauptinsel des Archipels ist. Das Klima ist hier verglichen mit anderen Gebieten auf demselben Breitengrad mild. Daher charakterisieren eher sub-arktische als arktische Eigenschaften diesen Fjord (Herrmann 2004). Der Polartag geht vom 20. April bis zum 23. August, während vom 26. Oktober bis zum 15. Februar die Sonne nicht über den Horizont kommt (Hop *et al.* 2002, Gulliksen & Svensen 2004).

Der eiszeitliche Fjord „Kongsfjorden“ liegt im Westen Spitzbergens bei 79° N, 12° E. Gemeinsam mit dem „Krossfjorden“ mündet er in die Grönlandsee (Abb. 2). Er ist ein großes Wärmereservoir, da er die Wärme im Sommer speichert und nur langsam wieder abgibt.

Dadurch trägt der Fjord zum maritimen, milden Klima der Umgebung bei. Packeis, das sich im Fjordinneren bildet, wird durch Winde in Richtung des Fjordaustausgangs transportiert. Der Süßwassereintrag und die damit verbundene Salinitätsminderung durch Schmelzwasserflüsse und -bäche sind nur saisonal sowie lokal im Oberflächenwasser (einen Dezimeter bis einen Meter) von Bedeutung. Durch die ständige Bewegung der Wassermassen im Fjord gibt es keine bestimmte Schichtung und die Salinitätsminderung kann auch in größeren Tiefen geschehen. Da die Strömungen hauptsächlich windinduziert sind, können die auftretenden Gezeitenströme für das allgemeine Strömungsregime vernachlässigt werden (Ito & Kudoh 1997).

In den Kongsfjorden münden insgesamt fünf Gletscher (Abbildung 3). Die meisten der dort gekalbt Eisberge schmelzen bereits im Fjord und sind verhältnismäßig klein; nur wenige erreichen eine Länge von über 20 m und eine Höhe über dem Wasserspiegel von mehr als 5 m.

Für die Klimaforschung ist der Kongsfjorden sehr wichtig, denn der äußere Fjord wird hauptsächlich durch ozeanographische Faktoren beeinflusst (z.B. Temperatur, Salinität oder das Ausmaß von einströmenden atlantischen Wassermassen), während der innere Teil vom Gletschereinfluss beherrscht wird. In Abhängigkeit vom Klima variieren der atlantische Wassereinstrom sowie die Gletscherschmelze. Die Schwankungen des Verhältnisses von arktischen zu atlantischen Einflüssen zeigt sich vor allem im Pelagial (Lebensraum zwischen der Wasseroberfläche und dem Boden, mit Plankton und Nekton). Die Artenzusammensetzung kann daher variieren. Aufgrund seiner Eigenschaften und Sensibilität sowie seiner Zugänglichkeit wird der Fjord zur Untersuchung möglicher Klimaveränderungen international genutzt (Hop *et al.* 2002, Svendsen *et al.* 2002).

1.2 Arktische Benthosgemeinschaften

Das Benthos bildet neben dem Pelagial und dem Sympagos (Organismen, die mit dem Eis verbunden sind) die drei Hauptlebensräume des polaren, marinen Ökosystems (z.B. Lalli & Parsons 1997, Gulliksen & Svensen 2004). Es beinhaltet alle Lebensformen, die sich dicht über, auf oder im Meeresboden aufhalten. Mehr als 95% der gesamten marinen Floren- und Faunenarten gehören zum Benthos (Tardent 1993, Gulliksen *et al.* 1999, Gulliksen & Svensen 2004).

Größenklassen und Lebensformtypen können als Unterscheidungskriterium für Benthosorganismen herangezogen werden. Die verschiedenen Größenklassen sind das Makro- (> 2 mm), Meio- (0,2 - 2 mm) und Mikrobenthos (< 0,2 mm). Die Lebensformtypen teilen sich auf in die Ernährungsweise (z.B. Karnivore, Omnivore, Substratfresser, Filtrierer etc.), den Mobilitätsgrad (mobil, sessil oder semi-mobil) sowie das Ausmaß an Bioturbation (diffuses Mixen, Oberflächenablagerung, Förderband von der Tiefe an die Oberfläche und umgekehrt) (Tardent 1993, Hop *et al.* 2002).

Die folgenden Aussagen können bis jetzt über Weichbodentiergemeinschaften gemacht werden: Abiotische und biotische Faktoren beeinflussen die Zusammensetzung benthischer Gemeinschaften. Wichtige abiotische Umweltbedingungen sind Neigung und Beschaffenheit des Siedlungssubstrats, Eindringtiefe des Lichts sowie Dauer der Helligkeitsperiode in polaren Gebieten, Wassertemperatur, Wassertiefe und Salinität, Strömungen und ihre Geschwindigkeiten sowie Sedimentationsraten (Jørgensen & Gulliksen 2001, Hop *et al.* 2002, Gulliksen & Svensen 2004, Sahade *et al.* 2004). Untersuchungen von Piepenburg *et al.* (1996) im Meeresgebiet von Svalbard zeigten, dass die wichtigsten Umweltfaktoren für die Erklärung des Faunenmusters eine Kombination aus Wassertiefe und dem Gehalt des gesamten organischen Kohlenstoffs (engl. „total organic carbon“, TOC) in der obersten Sedimentschicht sind.

Die Weichböden werden von Polychaeten, Mollusken und Crustaceen besiedelt (Laudien *et al.* 2004). Die Fischfauna ist hauptsächlich von demersalen Arten geprägt (Hop *et al.* 2002, Herrmann 2004).

Eine faunistische Tiefenzonierung lässt sich oft in der Arktis nachweisen. Im Nordwesten Grönlands erhöht sich beispielweise die Zahl der Invertebraten-Taxa mit zunehmender Tiefe, aber die Abundanz verringert sich (Starmans *et al.* 1999). Auch für die Hart- (Sahade *et al.* 2004) und Weichbodengemeinschaft (Laudien *et al.* 2007) im Kongsfjorden ist die Zunahme der Artendiversität bis in eine bestimmte Tiefe bestätigt.

Hinsichtlich der horizontalen Verteilung benthischer Invertebraten des Kongsfjorden wurde ein Gradient nachgewiesen: Im inneren Bereich sind vor allem kleine, mobile Suspensions- und detritovore Substratfresser anzutreffen, während in Richtung des Fjordausgangs zunehmend sessile Tiere dominieren. Die benthische Biomasse und Diversität nimmt ebenfalls in diese Richtung zu. Als Ursache hierfür können der abnehmende Sedimentationseinfluss der Gletscher und die Zunahme der Substratvielfalt und -struktur gesehen werden (Hop *et al.* 2002, Wlodarska-Kowalczyk *et al.* (1998, 2003, 2004). Diese Art der horizontalen Verteilung vermuten Sahade *et al.* (2004) auch für Hartböden-gemeinschaften.

Typische Vertreter der Hartbodenfauna im Kongsfjorden sind Balaniden, Aktinien, Ascidien, Bryozoen, Schwämme und Muscheln (Jørgensen & Gulliksen 2001, Sahade *et al.* 2004, Beuchel *et al.* 2006).

1.3 Diversität und Zonierung von Benthosgemeinschaften im Kongsfjord

Störungen rufen oft Veränderungen innerhalb benthischer Gemeinschaften hervor und sind als Abweichung von den Normgrößen der ökologischen Faktoren eines Ökosystems definiert. Sie können verschiedene Ursachen haben, von unterschiedlicher Intensität sein (z.B. nur eine punktuelle Katastrophe in einer Gemeinschaft) und dauerhafte oder vorübergehende Veränderungen herbeiführen (Bick 1998). Typische Katastrophen in der Arktis sind Eisbergkratzer und -strandungen. Die Störungen können auch milder sein, wie z.B. erzeugte Strömungen oder Verwirbelungen von Wasserschichten, und müssen nicht zwingend zu einer Auslöschung der Fauna führen (Dayton 1990, Dowdeswell & Forsberg 1992, Dayton *et al.* 1994, Gutt *et al.* 1996, Clarke 2008, Grebmeier & Barry 1991, Sahade *et al.* 1998, Gutt 2001, Gutt & Piepenburg 2003, Laudien *et al.* 2004).

Um die Strukturierung benthischer Gemeinschaften verstehen zu können, muss man wesentliche Faktoren wie die Beschaffenheit der Böden, physikalische Kräfte, denen die Gemeinschaft ausgesetzt ist, Artenzusammensetzung, aber auch biologische Prozesse wie Besiedlung, Sukzession und Interaktionen kennen (z. B., Jørgensen & Gulliksen 2001, Sahade *et al.* 2004, Schmiing 2005).

Biodiversität wird allgemein als die Gesamtheit aller Ausprägungen der biologischen Vielfalt bezeichnet und sie betrachtet daher neben der Artenvielfalt auch die Struktur-, biochemische und genetische Diversität (Gaston 1996). Auf der nördlichen Hemisphäre nimmt die Biodiversität allgemein im marinen Milieu von den Tropen in Richtung der Arktis ab (Kendall & Aschan 1993). Gulliksen und Svensen (2004) zeigten jedoch, dass in der Arktis auch Gebiete mit hoher Produktivität und Diversität existieren.

In einer Biozönose wird die Artenzusammensetzung durch abiotische und biotische Umweltfaktoren beeinflusst. Letztere werden allgemein durch die Wechselbeziehungen, welche die Organismen aufeinander ausüben (z.B. Konkurrenz, Räuber-Feind-Beziehungen, Symbiosen etc.), sowie die Nahrungsverfügbarkeit beschrieben. Im Hinblick auf eine erfolgreiche Besiedlung bzw. die Etablierung von Organismen in einem Lebensraum ist die inner- und zwischenartliche Konkurrenz, d.h. der Wettbewerb um Nahrung, Lebensraum oder andere ökologische Notwendigkeiten, von besonderer Bedeutung (Bick 1998). Unter abiotischen Umweltfaktoren werden die ozeanographischen, klimatischen, chemischen und physikalischen Gegebenheiten verstanden.

In einem Untersuchungsgebiet können die abiotischen Effekte wie einerseits die physikalischen Kräfte, die durch Wellen oder Tiefen- sowie Tidenströmungen gekennzeichnet sind, und andererseits die Verfügbarkeit von Licht und Nahrung eine wichtige Rolle zur Charakterisierung der Gemeinschaften spielen. Wichtige biotische Einflüsse können Konkurrenz um Nahrung und Besiedlungssubstrat sowie unterschiedliche Vermehrungsstrategien sein.

Biotische Faktoren, die entscheidende Auswirkungen auf die Gemeinschaftsstruktur haben, sind Konkurrenz um Nahrungsressourcen und Platz sowie Prädation und Rekrutierung (Menge 1991, Gulliksen & Svensen 2004). Die Vermehrung ist sowohl durch Prä- als auch Post-Besiedlungsprozesse beeinflusst (Fraschetti *et al.* 2002, Schmiing 2005). Es besteht eine erhebliche Limitation durch die Anwesenheit und Dichte der Adulten auf dem Substrat. Außerdem ist das Maß der Rekrutierung abhängig von der Zeit (saisonal und jährlich) und dem Substrat (Turner & Todd 1993).

Weiteren Einfluss auf den Grad der Rekrutierung haben die Larventypen (z.B. [mero-] planktisch, benthisch), ihre Ernährungsweise (planktotroph, lecitroph) (Mileikovsky 1971), die Nahrungsverfügbarkeit (Qui & Quian 1997), die Substratverfügbarkeit, die chemische „Abschreckung“ durch das Substrat (Woodin *et al.* 1997), sowie die Konkurrenz (Young & Chia 1981), die Prädation (Wotton 2002) und die Quote der Larvensterblichkeit in allen Phasen (Fairfull & Harriott 1999).

Die Gründe für die artenarme Flora und Fauna im arktischen Flachwasser sind abiotische Einflüsse wie häufige Störungen durch Eisgang oder Tide, aber auch biotische Faktoren wie wühlende Säuger und bodenfressende Fische (Dayton 1990, Dayton *et al.* 1994).

Die abiotischen Faktoren wirken eher in den flacheren Tiefen (bis 75 m). Daher ist in diesen Tiefen auch eine ungleichmäßigere Verteilung der Organismen zu erwarten als in den größeren, da in diesen Tiefen eher die biotischen Einflüsse ins Gewicht fallen.

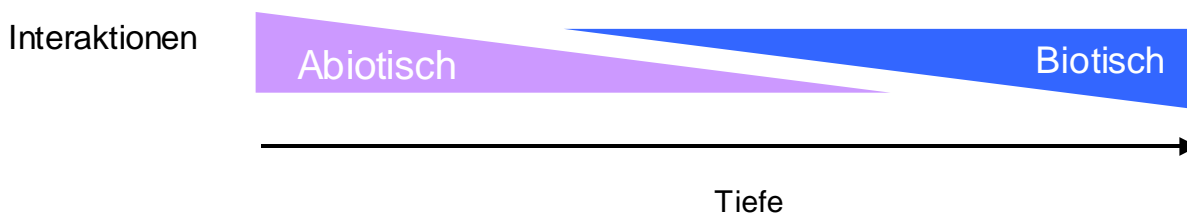


Abbildung 3: Graphische Verdeutlichung der Wirkung von abiotischen und biotischen Einflüssen auf die Tiefe und die Interaktion der Tiere.

Allgemein typische Zonierungen von sublitoralen Hartböden sind an oberster Stelle der *Littorina*-, *Pelvetia*- und *Chthamalus*-Gürtel, die dann in eine Zone aus *Balanus*, *Patella* und *Fucus* übergehen. Danach kommt eine Zone mit Rotalgen. Immer von Wasser bedeckt ist die folgende *Laminaria*-Zone (Nybakken 2001). Diese Zonierung stimmt im Kongsfjorden nur mit der *Laminaria*-Zone überein, denn diese werden im flachen Wasser (ab 5 m) im Kongsfjorden gefunden.

1.4 Ziel der Arbeit

Während die Fauna der Weichböden des Kongsfjorden von 5 m bis 380 m mit unterschiedlichen Methoden analysiert wurde (Wlodarska-Kowalczyk *et al.* 1998, Hop *et al.* 2002, Kendall *et al.* 2003, Wlodarska-Kowalczyk & Pearson 2004, Laudien *et al.* 2007), wurde die Hartbodenfauna lediglich bis in eine Tiefe von 15 m bis 30 m untersucht (Jørgensen & Gulliksen 2001, Sahade *et al.* 2004, Beuchel *et al.* 2006).

Erkenntnisse zu den Hartbodengemeinschaften legen nahe, dass es mit zunehmender Tiefe eine steigende Biodiversität gibt (Sahade *et al.* 2004). Zudem ist die Besiedlung von Hartböden in einer Tiefe von 16 m bis 30 m vom Substratwinkel abhängig (Jørgensen & Gulliksen 2008).

Die vorliegende Arbeit ist die erste Beschreibung der Hartböden-Gemeinschaften in einer Tiefe von 30 m bis 200 m. Folgende Hypothesen sollten überprüft werden:

- Entlang eines Tiefengradienten (30 m bis 200 m) lassen sich keine unterschiedlichen Organismengemeinschaften identifizieren.
- Organismengemeinschaften, die unterschiedliche Substratneigungen (horizontal, vertikal und diagonal) einer Tiefenstufe besiedeln, sind nicht voneinander zu unterscheiden.
- Aufgrund der weniger variablen Umweltbedingungen in zunehmender Wassertiefe unterscheiden sich Organismenassoziationen benachbarter Tiefenstufen im tieferen Sublittoral genauso wie die im flacheren Sublittoral.

2 Material und Methoden

Für diese Arbeit wurde ein bathymetrischer Gradient mit den Tiefenstufen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m sowie drei unterschiedliche Substratwinkel (diagonal, horizontal und vertikal) untersucht, um das Makroepibenthos der Felswände zu beschreiben.

Die Rohdaten sind im Weltdatenzentrum WDC MARE und der dazugehörigen Datenbank PANGAEA archiviert und können über das Internet (Supplementary data are available at doi:10.1594/PANGAEA.753197) aufgerufen werden.

Die Organismen wurden mit Hilfe einer Referenzgröße vermessen. Diese wurde in einer Tiefe von 150 m mit drei Laserpunkten von dem ROV erstellt (Abbildung 4). Die beiden horizontalen Laserpunkte liegen drei, die vertikalen zwei Zentimeter auseinander.

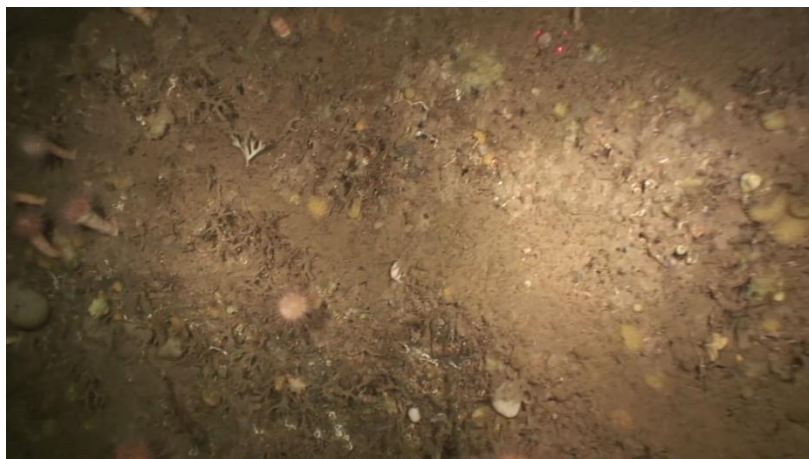


Abbildung 4: Standbild aus 150 m Tiefe im Kongsfjorden, auf dem die drei Laserpunkte zu sehen sind, mit denen die Referenzgrößen bestimmt wurden.

Es wurden zudem Daten zur Leitfähigkeit, Temperatur und Tiefe (engl. „Conductivity, Temperature, Depth“, CTD) aufgenommen. Diese Daten dienen dazu, dass man eine genaue Vorstellung von den abiotischen Faktoren in den untersuchten Tiefen bekommt.

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der Insel Spitzbergen (Abbildung 5) am Kap „Kongsfjordneset“ (78°58,37'N, 11°29,35'O) (Abbildung 6) und liegt auf der nördlichen Seite der Brøgger Halbinsel am Eingang des arktischen Gletscherfjords Kongsfjorden. Letzterer ist ein eiszeitlicher Fjord an der Westküste Spitzbergens, der den nordwestlichen Rand der Brøgger Halbinsel bildet. Die typischen Charakteristika eines Fjords in dieser Region, die auch der Kongsfjord aufweist, sind ein schmaler, langer und tiefer Wasserkörper sowie die fehlende Schwelle an der Fjordmündung. Der Kongsfjorden ist 20 km lang mit einer variablen Breite zwischen 4 und 10 km und hat eine Tiefe von maximal 350 m. Er mündet über die „Kongsfjordrenna“ zwischen dem Berg „Kvadehuken“ und „Kapp Guisnez“ in den Nordatlantik (z.B. Bluhm *et al.* 2001; Jørgensen & Gulliksen 2001; Svendsen *et al.* 2002). Die maximale Temperatur des Oberflächenwassers liegt bei 0°C im Winter und bei 6°C im Sommer, wobei sie ab einer Wassertiefe von 20 m über das ganze Jahr konstant bei ungefähr 3,6°C ist (Bluhm *et al.* 2001, Svendsen *et al.* 2002). Die Gezeiten sind semi-diurnal und weisen einen Tidenhub von ungefähr 2 m auf (Ito & Kudoh 1997). Bedingt durch den Süßwassereintrag im Sommer kann sich die Salinität des Oberflächenwassers verringern und sinkt von 34 psu auf bis zu 28 psu im Fjordinnern. Die 34-Isohaline liegt in dieser Zeit bei 5 m Wassertiefe (Hop *et al.* 2002; Svendsen *et al.* 2002).

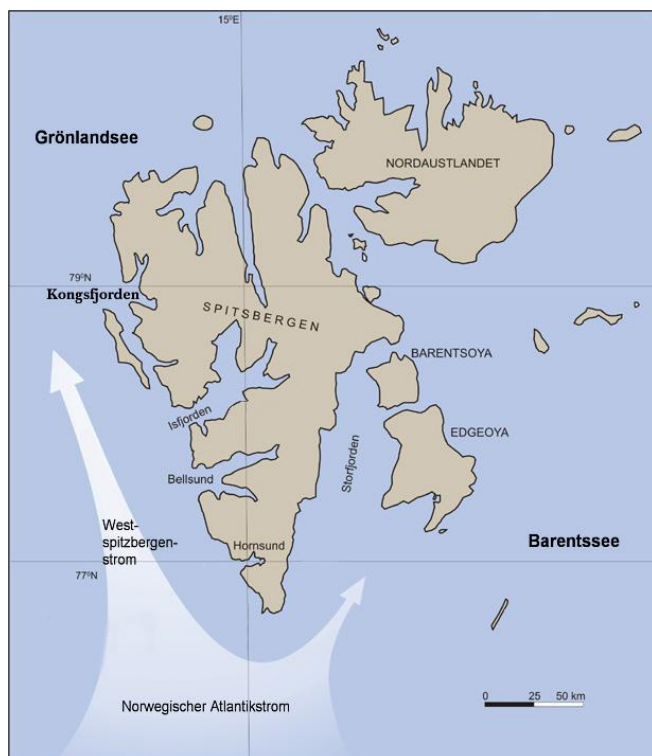


Abbildung 5: Svalbard Archipel mit seinen umgebenden Meeresgebieten und Lage des Untersuchungsgebiets Kongsfjorden an der Westküste Spitzbergens (verändert nach Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences).

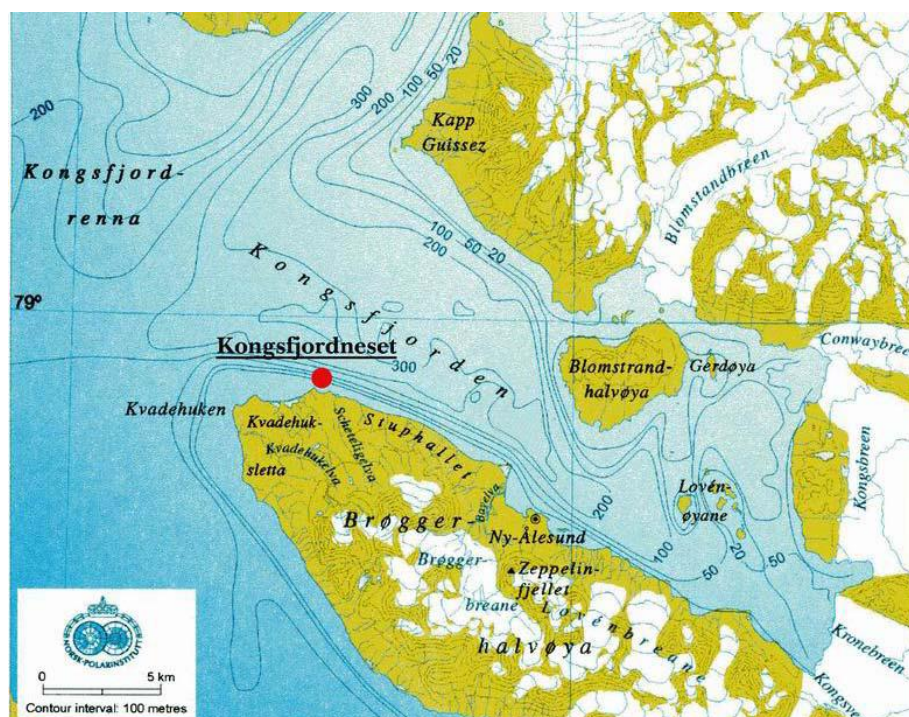


Abbildung 6: Detaillierte Darstellung des Kongsfjorden und relative Lage des Untersuchungsgebiets „Kongsfjordneset“ in dem die Besiedlung des natürlichen Hartbodens mittels ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugs (ROV) aufgenommen wurde (verändert nach Svendsen *et al.* 2002).

In Kongsfjordneset fällt der Meeresboden bis zur 15-m-Tiefenlinie langsam, danach nahezu senkrecht ab. Die felsige Steilwand (Abbildung 7), die sich so ergibt, bietet ideale Voraussetzungen für marine Hartbodengemeinschaften, da ein geringer Süßwassereintrag und geringe Sedimentationsraten vorherrschen und Filtrierer von der Strömung mit Nahrung aus dem atlantischen Ozean profitieren (Svendsen *et al.* 2002).

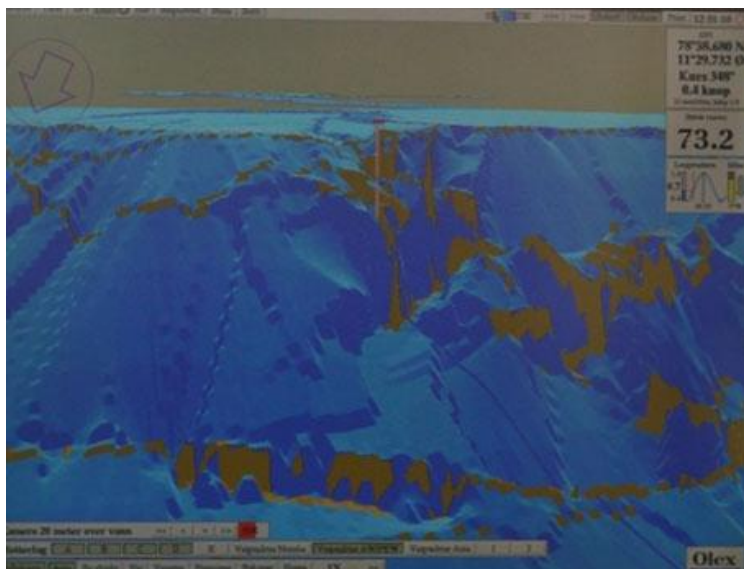


Abbildung 7: Foto des Echolot-Monitors, das die Bathymetrie des Gebietes zeigt: einen flachabfallenden Meeresboden bis 15 m Tiefenlinie und danach eine Abbruchkante.

Zudem wurden an dieser Stelle die höchsten Artenzahlen und Abundanzen makrobenthischer Hartbodenorganismen an vertikalen Untergründen gefunden (Jørgensen & Gulliksen 2001). Die Fauna ist hier besonders durch sessile Filtrierer wie Ascidien, Aktinien, Bryozoen und Cirripedier geprägt (Sahade *et al.* 2004).

2.2 Repräsentative Probenfläche

Um herzufinden, wie viele Replikate (= Probenfläche) benötigt werden, um die Gesamtheit der Lebensgemeinschaften zu beschreiben, können kumulative Arten-Areal-Kurven dienen (Gleason 1922). Diese Kurven stellen die Anzahl der gefundenen Arten mit zunehmender Probenfläche dar, indem die Artenanzahl in Abhängigkeit zu der Fläche aufgetragen wird. Sie geben so einen theoretischen Endwert an, ab welchem Probenumfang alle Makroorganismen in der Gemeinschaft erfasst sind – den so genannten Punkt der minimalen Fläche (engl. „minimum area point“). Es entstehen dabei parabelförmige Kurven, die sich einem Sättigungswert nähern, da man die Artenanzahl gegen die Anzahl der Replikate aufträgt. Diese Kurve, zu der auch bei zunehmender Fläche keine zusätzlichen Arten mehr hinzukommen, verläuft typischerweise asymptotisch.

2.3 Optische Erfassung der Benthosgemeinschaften

Die Daten für diese Arbeit wurden aus Standbildern von Unterwasser-Videosequenzen generiert. Diese Art der Probennahme stellt eine nicht destruktive Probennahme dar (Lundälv, 1971; Torlegard and Lundälv, 1974).

Die Aufnahmen stammen vom Juni 2009 und wurden mit Hilfe des kabelgebundenen Unterwasserfahrzeugs (engl. „Remotely Operated Vehicle“, ROV) „ACHILLE M4“ (Institut Polaire Français Paul Emile Victor, IPEV, Abbildung 8) gemacht. Dieses ROV wurde von Piloten an Bord des Forschungsboots „Teisten“ gesteuert (Abbildung 10). Es ist 72 cm hoch, 60 cm breit und 51 cm lang, hat ein Gewicht von 85 kg und kann bis maximal 300 m Tiefe eingesetzt werden. Das Unterwasserfahrzeug besitzt ein eingebautes Sonar, um messen zu können, auf welcher Tiefe es sich befindet und wie weit es vom Meeresboden entfernt ist. Eine SONY HVR-A1E HDV 1080i Kamera mit einer 300 m ExtremVision Linse (Abbildung 8) liefert Aufnahmen, die nach dem Zeilensprungverfahren aufgenommen werden und aus 1080 Halbbildern mit 1440 horizontalen Pixeln bestehen. Tabelle 1 listet das Tauchdatum, die Tauchtiefe, die Anfangs- und Endkoordinaten, sowie die Transektlänge der einzelnen Tauchgänge des ROVs auf. In 30 m Tiefe wurden keine Endkoordinaten und in 50 m keine Anfangs- und Endkoordinaten aufgenommen.

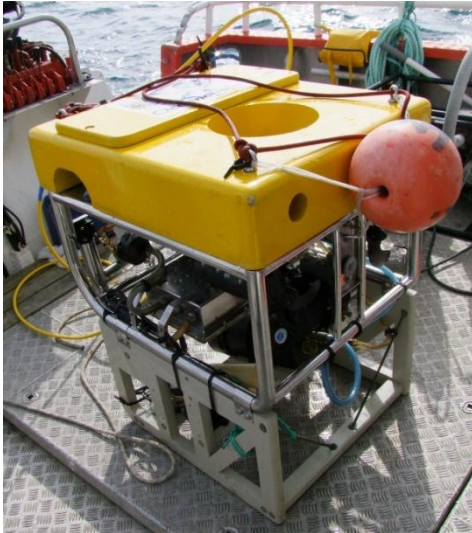


Abbildung 8: ROV „ACHILLE M4“ einsatzbereit auf dem Forschungsboot Teisten.



Abbildung 9: Kamera des ROVs.



Abbildung 10: Kontrollmonitor des ROVs mit darunterliegender Steuereinheit für den Piloten.

Tabelle 1: Tauchdatum, Tauchtiefe, Anfangs- und Endposition, sowie die Transektlänge der Tauchgänge des ROVs.

Tauchdatum	Tauchtiefe	Anfangsposition	Endposition	Transektlänge [km]
09.06.2009	30 m	78°58,690 N, 11°28,612 E	Keine Angabe	0,345
10.06.2009	50 m	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
	150 m	78°59,13 N 11°29,10 E	78°58,726 N 11°29,375 E	47,26
	200m	78°58,835 N 11°28,930 E	78°58,783 N 11°29,273 E	19,25
11.06.2009	75 m	78° 58, 660 N 11° 29, 737 E	78° 58, 651 N 11° 29, 812 E	4,12
	100 m	78° 58, 661 N 11°29, 514 E	78° 58, 692 N 11°29, 633 E	7,22
12.06.2009	30m	78°58 657' N 11° 30, 005 E	78° 58, 634 N 11° 30, 134 E	7,33

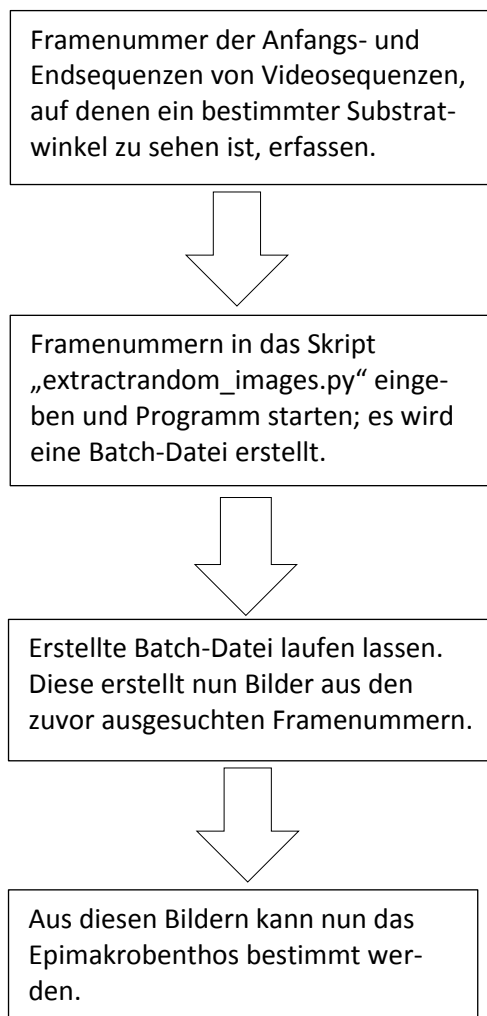
Die Videos wurden digitalisiert um sie dann weiter bearbeiten zu können. Dieser Schritt erfolgte, indem eine Kamera an den Rechner angeschlossen und die Bänder dann über eines der beiden Videoschnittprogramme (iMovie oder Premiere) 1 zu 1 noch einmal abgespielt und währenddessen digitalisiert wurden.

Die Videosequenzen wurden mit Hilfe des Programms Avidemux 2.5 (Mean, Frankreich), einer Open Source-Software (<http://avidemux.sourceforge.net/>, heruntergeladen am 20.08.2010), betrachtet. Die Sequenzen mit den zugehörigen Nummern der Einzelbilder (engl. „Frames“), aus denen sich das Video zusammensetzt und in denen vertikale, horizontale oder diagonale Flächenaufnahmen zu sehen sind, wurden per Hand in eine Textdatei notiert.

Aus diesen Frames wurden anschließend mit Hilfe des eigens für diese Arbeit in Python geschriebenen Skript „extract_random_images.py“ (siehe Anhang) und dem Opensource Programm Ffmpeg (Lizenziert über GNU General Public License 2.0 or later and GNU Lesser General Public License 2.1 or later) (<http://www.ffmpeg.org/>, heruntergeladen am 20.08.2010) zehn zufällige Frames für jede Tiefenstufe und jeden Substratwinkel herausgesucht und dann in Einzelbilder konvertiert. Das Skript „extract_random_images.py“ generiert Zufallszahlen aus den vorher angegebenen Einzelbildnummern. Mit dem Skript „extract_random_images.py“ wurde die Einzelbildnummer aus der vorher angegebenen Sequenz ausgewählt und diese Nummer anschließend so in einen Kommandozeilen-Befehl eingefügt, dass ffmpeg dieses Einzelbild in ein Bitmap-Format konvertiert (.bmp). Bitmap wurde gewählt, da dieses Format nicht verlustbehaftet komprimiert und sich somit die gesamte Bildinformation weiterbearbeiten lässt. Die Befehle gibt das Programm als Batch-Datei aus, so dass sie anschließend mit der Kommandozeile verarbeitet werden können. Der Vorteil ist, dass die Nummer der ausgesuchten Einzelbilder, die Information, um welche Wassertiefe und um welchen Substratwinkel es sich bei dem Bild handelt und die Zeitanzeige als Dateiname des Bildes und in einer Textdatei gespeichert werden (s. Anhang).

Tabelle 2 gibt die durchgeführten Schritte zu besseren Verständlichkeit noch einmal als Flussdiagramm wieder.

Tabelle 2: Flussdiagramm der einzelnen Schritte, um aus den Videosequenzen Standbilder zu generieren.



2.4 Auswertung und Analyse

2.4.1 Bildanalyse

In den generierten zehn Standbildern pro Tiefenstufe und Substratwinkel wurde das Epimakro-benthos bestimmt und quantifiziert. Als Makrobenthos bezeichnet man Organismen, die von einer 1-mm-Sieb-Maschenweite zurückgehalten werden (Dybern *et al.* 1976). Wenn ein Organismus nicht genau zu erkennen war, weil das Bild diesen nicht scharf abbildete (z.B. durch Bewegung des Organismus), wurde die Videosequenz um das Einzelbild herum betrachtet, um den Organismus bestimmen zu können. Ein Bild wurde demjenigen Substratwinkel zugeordnet, der zu über 50% in dem Bild zu erkennen war. Koloniale Organismen (z.B. Schwämme, Bryozoen und Hydrozoen) wurden als ein Individuum gezählt. Die Bestimmung der Organismen wurde, soweit möglich, bis auf Artniveau durchgeführt. Die Bestimmung erfolgte nach Gulliksen und Svensen (2004). Weiterhin wurden Spezialisten am AWI einbezogen (Christian Wiencke, AWI). Eine Berechnung des Bedeckungsgrades erfolgte aufgrund der mangelnden Zeit nicht mehr. Da in taxonomischen Untersuchungen für dieselbe Art oftmals Synonyme verwendet werden, sind hier die derzeit akzeptierten Namen verwendet worden. Eine Liste mit den jeweiligen Synonymen ist in Gulliksen *et al.* (1999) zu finden.

2.4.2 Datenanalyse

Nachdem die Abundanzdaten (s. Anhang) auf einen Quadratmeter extrapoliert wurden, sind multivariate Gemeinschaftsanalysen mit dem Computerprogramm Primer v6 (Clarke & Warwick 2001, Clarke & Gorley 2006) durchgeführt worden.

2.4.2.1 Trophische Struktur und Zoogeographie

Um Aussagen über die Ernährungstypen machen zu können, wurden die gefundenen Organismen vier Ernährungstypen zugeordnet: aktive und passive Filtrierer, Omnivore und Carnivore.

Zur Charakterisierung der Fortbewegung wurden die Organismen zudem in zwei Gruppen aufgeteilt: sessile und mobile Makroorganismen.

Um das Verbreitungsspektrum der einzelnen Arten abzubilden, erfolgt eine zoogeographische Einteilung in die vier Zonen „arktisch“, „arktisch-boreal“, „boreal“ und „kosmopolitisch“ (Wlodarska *et al.* 1996). Die zoogeographischen Gruppen bedeuten:

- „arktisch“ – Arten, die nur in hoch arktischen Regionen auftreten (Dunbar, 1968),
- „arktisch-boreal“ – Arten, die in arktischen und borealen Gewässern vorkommen,
- „boreal“ – Arten, die hauptsächlich im Nordatlantik verbreitet sind; die nördlichste Grenze ist die europäische Arktis,
- „kosmopolitisch“ – Organismen, mit einer sehr großflächigen Verbreitung, von der Arktis bis zum südlichen Mittelmeer sowie in tropischen Regionen.

2.4.2.2 Ökologische Indizes

Zur Charakterisierung der makrozoobenthischen Vielfalt der untersuchten Hartbodengemeinschaft dienen ökologische Indizes. Das einfachste Diversitätsmaß ist die Artenzahl (Krebs 1978). Sie hat aber den Nachteil, dass die Gesamtindividuenanzahl nicht berücksichtigt wird. Drei Indizes, die in der marinen Biologie am gebräuchlichsten sind, tragen dem Rechnung (z.B. Arntz & Rumohr 1982, Starmans *et al.* 1999, Gray 2000) und ermöglichen einen direkten Vergleich mit anderen Arbeiten: i) Taxonomische Diversität (*sensu* Tarazona *et al.* 1988) (Shannon-Weaver-Index), ii) Artenreichtum (engl. „species richness“) (Maraglef-Index) und iii) Äquität (engl. „Evenness“) (Pielou-Äquitäts-Index), die ein Maß der Gleichmäßigkeit der Verteilung der Fauna darstellt.

Der Shannon-Weaver-Diversitätsindex (H' , \log_N) (Shannon & Weaver 1949) dient zur Berechnung der taxonomischen Diversität und ist ein Maß für den Artenreichtum oder die Varietät der Arten (Odum 1983):

$$H' = \sum_{i=1}^k p_i \ln p_i \quad \text{mit } p_i = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

n_i drückt die Individuenzahl der Art i aus. N steht hier für die Gesamtindividuenzahl und k für die Artenanzahl.

Der Margalef-Index (d) dient zur Ermittlung des Artenreichtums und ist ein Maß für die vorhandene Artenanzahl bei einer bestimmten Anzahl von Individuen. Er ergibt sich aus:

$$d = (S-1) \log d = \frac{(S-1)}{\log N} \quad (2)$$

Die sogenannte Äquität wird als Maß herangezogen, um Gemeinschaften mit unterschiedlichen Artenzahlen vergleichen zu können. Sie beschreibt die Homogenität der Artenverteilung innerhalb einer Gemeinschaft (Pielou 1975). Der Pielou-Äquitäts-Index (J') ist eine Funktion der Shannon-Diversität (H') und wird wie folgt berechnet:

$$J' = \frac{H'}{\log S} \quad (3)$$

Dabei gibt $\log S$ die maximal mögliche Diversität wieder, die erreicht werden könnte, wenn alle Arten mit gleichmäßiger Abundanz in dem Habitat vertreten wären (Kratochwil & Schwabe 2001). Die Äquität kann dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Bei $J' = 0$ kommt nur eine Art in der Probe vor und bei $J' = 1$ sind alle Individuen gleichmäßig auf die vorhandenen Arten verteilt.

2.4.2.3 Multivariate Methoden

Um eine Auskunft über Gemeinschaftsstrukturen in den jeweiligen Wassertiefen und den Winkeln geben zu können, sind multivariate Verfahren entwickelt worden, deren Eignung sich in der marinen Ökologie bewiesen hat (Field *et al.* 1982).

Die Abundanzdaten wurden quadratwurzeltransformiert, um den Einfluss dominanter Arten zu reduzieren und so Unterschiede und Gemeinsamkeiten der abgebildeten Gemeinschaften deutlicher zu machen. Darauf folgend wurde eine Ähnlichkeitsmatrix erstellt, die den hier verwendeten Verfahren zu Grunde liegt.

Es wurde der Ähnlichkeitskoeffizient nach Bray und Curtis (1975) ausgesucht, da er das Maß der Ähnlichkeit bzw. die Ähnlichkeit des jeweiligen abgebildeten Artengefüges für den angewandten Parameter (hier Tiefe) repräsentiert (Bray & Curtis 1957). Das wird gewährleistet, da er das Verhältnis von tatsächlicher Ähnlichkeit zur maximal möglichen Ähnlichkeit wiedergibt:

$$S_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^p 2 \min(y_{ij}, y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \quad (4)$$

S_{jk} beschreibt die Ähnlichkeit zwischen den Proben j und k ; y_{ij} bzw. y_{ik} stellen die Abundanz der Art i in der Probe j bzw. k dar.

Ein weiterer Vorteil dieses Koeffizienten gegenüber z.B. der Euklidischen Distanz liegt darin, dass er Nullwerte nicht als Ähnlichkeit berechnet. Bedingt durch die häufigen Nullwerte in der vorliegenden Datenmatrix bietet sich dieses Ähnlichkeitsmaß an.

2.4.2.3.1 Cluster- und MDS-Analysen

Um die Unterschiede und/oder die Ähnlichkeiten in den beprobten Tiefen und auch in den untersuchten Substratwinkeln, die in der Bray-Curtis-Ähnlichkeitsmatrix in Werten dargestellt sind, in einem Diagramm sichtbar zu machen, werden Cluster- und MDS-Analysen durchgeführt. Die vorliegende Clusteranalyse baut auf der oben genannten Ähnlichkeitsmatrix auf. Unter Zuhilfenahme von Clusteranalysen können unterschiedliche Proben anhand ihrer Merkmale in Klassen sortiert werden. Diese sind in sich homogen und unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Merkmale (Kaufmann & Pape 1984). Proben innerhalb einer Gruppe sind ähnlicher zueinander als zu denen anderer Gruppen. Es ist möglich, Stations- oder Artencluster erzeugen zu lassen. Da der hier verwendete Datensatz seltene, aber auch häufige Arten enthält, ist es jedoch nicht sinnvoll, einen Artencluster zu erstellen. Daher wurde hier mit Stationsclustern gearbeitet, die auf einer hierarchischen Gruppierungen der Proben über den Gruppenmittelwert (engl. „group average“) basieren und ein Dendogramm produzieren (Clarke & Warwick 1994).

Um die Daten und die Ergebnisse der Stationscluster graphisch zu veranschaulichen, werden sie über ein Ordinationsverfahren in einem Diagramm dargestellt. Das hier angewendete Verfahren ist die nicht-metrische multidimensionale Skalierung (engl. „multi-dimensional scaling“, MDS). Gleichzeitig gilt dieses Verfahren als Verifizierung der Clusteranalyse (Kruskal & Wish 1978) und ist ein Ordnungsverfahren, das keine Voraussetzung bezüglich der Verteilung und Linearität der Daten erfordert (Clarke & Warwick 1994), was bei einer Hauptkomponenten- und Faktorenanalyse der Fall wäre. Das Ergebnis dieser Diagramme ist eine zweidimensionale „Karte“, in der die Proben entsprechend ihrer Ähnlichkeit zueinander angeordnet sind, wobei die räumliche Distanz zwischen den Punkten (Replikaten) den Ähnlichkeiten der Bray-Curtis-Ähnlichkeitsmatrix entspricht. Je näher die Punkte beieinander liegen, desto ähnlicher sind sie sich – und damit sind sich auch die in den beiden Standbildern abgebildeten Organismenassoziationen ähnlicher in ihrer quantitativen Artenzusammensetzung. Der sogenannte „Stress-Wert“ ist hier das Maß für die statistische Güte der Darstellung. Werte, die $< 0,1$ sind, deuten auf eine gute Ordination, bei der es nur wenig Anlass zu einer Fehlinterpretation gibt. Auch Werte $< 0,2$ lassen immer noch eine brauchbare Interpretation zu, aber Werte $\geq 0,2$ deuten auf eine zufällige Anordnung der Proben in der Ordination hin und sind daher nur mit Vorsicht zu bewerten (Clarke & Warwick 1994).

Die Betrachtung der Hartbodengemeinschaften in den verschiedenen Tiefen erfolgte anhand der Abundanzdaten sessiler Makrofauna. Die mobilen Organismen zählen zwar auch zum Benthos, aber ihr Vorhandensein spiegelt nur eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Beprobung wieder, und da sie eine stark schwankende Größe darstellen, wurden sie bei der Gemeinschaftsanalyse nicht berücksichtigt.

2.4.2.3.2 ANOISM 1

Ein Permutationstest, der einer multivariaten ANOVA entspricht (engl. „Analysis of similarity 1“ (one way)), der, basierend auf einer Ähnlichkeitsmatrix erlaubt den Vergleich von zwei oder mehr Gruppen. Sie entspricht einer Standardunivariaten „1-way“ und „2-way“ ANOVA, hat aber den Vorteil, dass sie als Voraussetzung kein konkretes Verteilungsmuster benötigt. Sie berechnet zunächst die mittleren Rangähnlichkeiten von den Replikaten innerhalb einer Gruppe und dann die zwischen den verschiedenen Gruppen. In diesem Verfahren wird als Erstes ein Testwert R („Global R“) durch Randomisierung, der für die allgemeine Unterscheidbarkeit zwischen den Gruppen steht, ermittelt, in dem die Probenbezeichnungen zufällig gemischt und die Ähnlichkeiten innerhalb und zwischen den Gruppen neu errechnet werden. Im Testverfahren wurden 999 mögliche Permutationen durchgeführt und damit eine Verteilungsstatistik von simulierten R-Werten erstellt. Für ein vorher festgelegtes Signifikanzlevel wird die Wahrscheinlichkeit dafür berechnet, dass R tatsächlich aus dieser Verteilung stammt. Wenn dieser R-Wert nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit dieser Verteilung entstammt, wird die Nullhypothese zurückgewiesen (Clarke & Warwick 1994). Wenn $R = 1$ ist, dann sind alle Replikate innerhalb einer Tiefe (bzw. eines Substratwinkels) ähnlicher zueinander, als ein Replikat einer anderen Tiefe (bzw. eines anderen Substratwinkels). Die Tiefen (bzw. Substratwinkel) sind klar voneinander zu unterscheiden, wenn die Werte für $R > 0,75$ sind. Auch Werte $\approx 0,5$ deuten noch auf gute Unterscheidbarkeit hin, aber es gibt hier schon einige Übereinstimmungen. Kaum noch zu unterscheiden sind Gruppen, deren R-Wert $< 0,25$ ist. Wenn $R = 0$ ist, dann wird die Nullhypothese nicht zurückgewiesen und Ähnlichkeiten zwischen und innerhalb der Tiefen sind durchschnittlich gleich (Clarke & Gorley 2001). Schlussfolgerungen aus der ANOSIM dürfen nur auf die gesamte Population bezogen werden, wenn die Daten, wie hier, eine zufällige Probe dieser Population (hier: alle Tiefen bzw. alle Substratwinkel) sind (Clarke & Gorley 2001).

2.4.2.3.3 SIMPER-Analyse

Wenn die Nullhypothese von der ANOSIM 1 zurückgewiesen wird, dann können die Arten, die für die Unterschiede in den Ähnlichkeiten zwischen und innerhalb den Tiefen bzw. Substratwinkeln verantwortlich sind, mit der sogenannten prozentuale Ähnlichkeit (engl. „similarity analysis percentage“) von den quadratwurzeltransformierten Abundanzdaten, ermittelt werden. Das Ergebnis gibt Auskunft über die paarweisen Unterschiede zwischen den Stationsgruppen und benennt die dafür verantwortlichen Arten. Außerdem werden die durchschnittliche Dissimilarität zweier Gruppen und die dafür verantwortlichen Arten berechnet. Wie gut sich dabei eine Art als Diskriminierende eignet, kann anhand des Verhältnisses des Ähnlichkeitskoeffizienten zur dazugehörigen Standardabweichung erkannt werden. Je größer dieser Quotient ist, desto kleiner ist die Standardabweichung und desto besser kann die jeweilige Art als erklärende Indikatorart für Gemeinsamkeiten oder Unterschiede in den Habitaten herangezogen werden (Clarke & Warwick 1994).

3 Ergebnisse

3.1 Repräsentative Probenfläche

Abbildung 11 zeigt die kumulierten Arten-Areal-Kurven für die jeweiligen Tiefenstufen. Da mit dem Anstieg der Replikanzahl ab einem bestimmten Punkt keine neuen Arten mehr auftreten und die kumulierten Kurven ihr Maximum erreichen, ist die Makrozoobenthosfauna gut erfasst (Gray 2001). Die Mindestreplikanzahl ist in den jeweiligen Tiefen unterschiedlich (bei einer Tiefe von 150 m würden drei Replikate ausreichen, aber bei 100 m erst sechs). Die Betrachtung von zehn Replikaten ist für alle Tiefenstufen ausreichend.

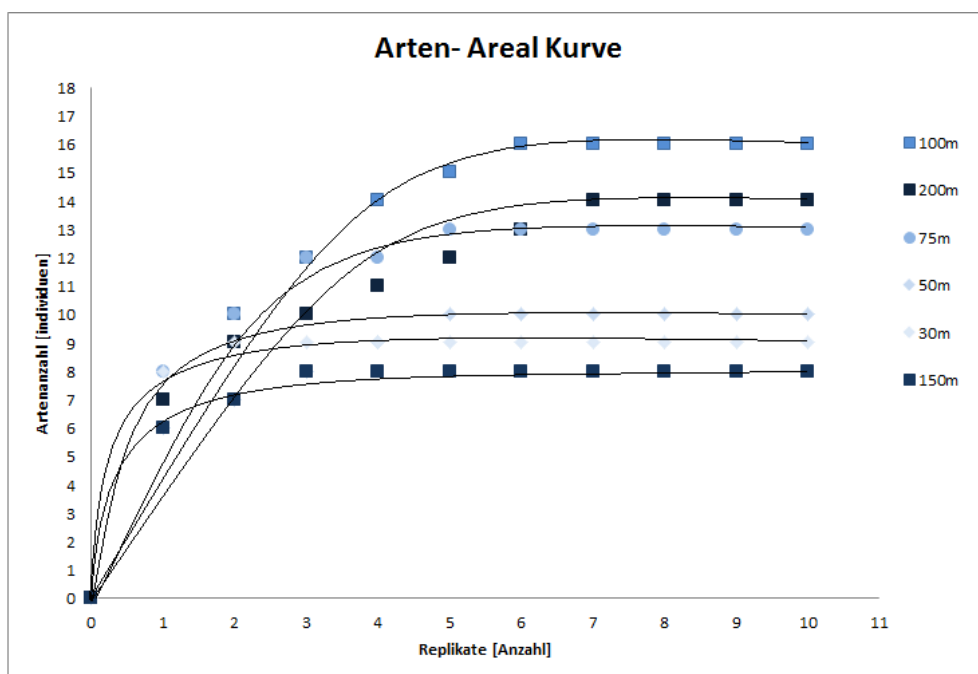


Abbildung 11: Kumulierte Arten-Areal-Kurven für alle Tiefen. Die Anzahl der auftretenden Arten ist der Größe nach sortiert und gegen die Anzahl der Fotos (Replikate) aufgetragen.

3.2 Messung der Leitfähigkeit, Temperatur und Tiefe

In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die CTD-Daten, die bei dem Tauchgang des ROV gemessen wurden, dargestellt.

Abbildung 12 zeigt den CTD-Graph bei Abtauchen bis in eine Tiefe von 200 m. Es ist zu erkennen, dass mit zunehmender Tiefe die Dichte konstant bleibt (liegt bei 30) und Temperatur abnimmt. Ab einer Tiefe von 100 m bleibt die Temperatur zwischen 1,5 °C und 2 °C, in den flacheren Tiefen schwankt sie sehr stark.

Abbildung 13 zeigt die Daten vom Auftauchen. Die Temperatur liegt hier konstant bei 2 °C, bis das ROV an die Oberfläche kommt. Die Dichte nimmt in flacheren Tiefen wieder ab.

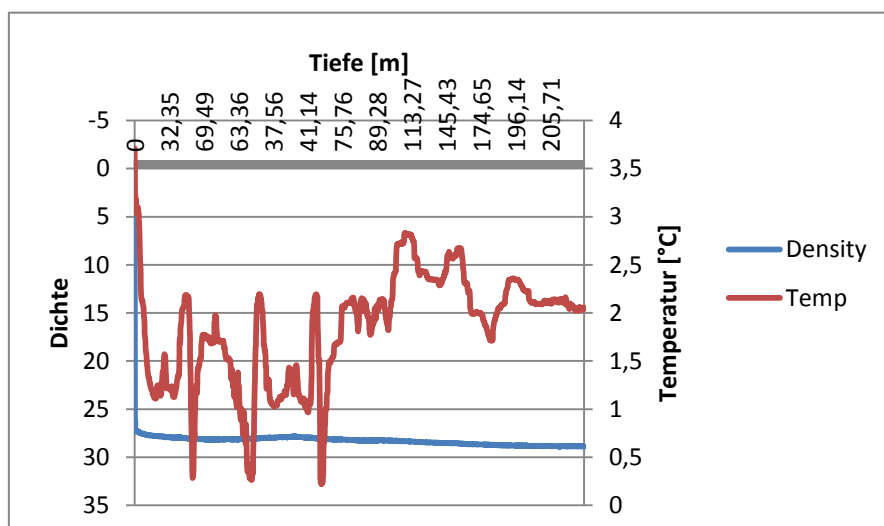


Abbildung 12: Die aufgenommenen CTD-Daten beim Abtauchen des ROV bis in eine Tiefe von 200 m.

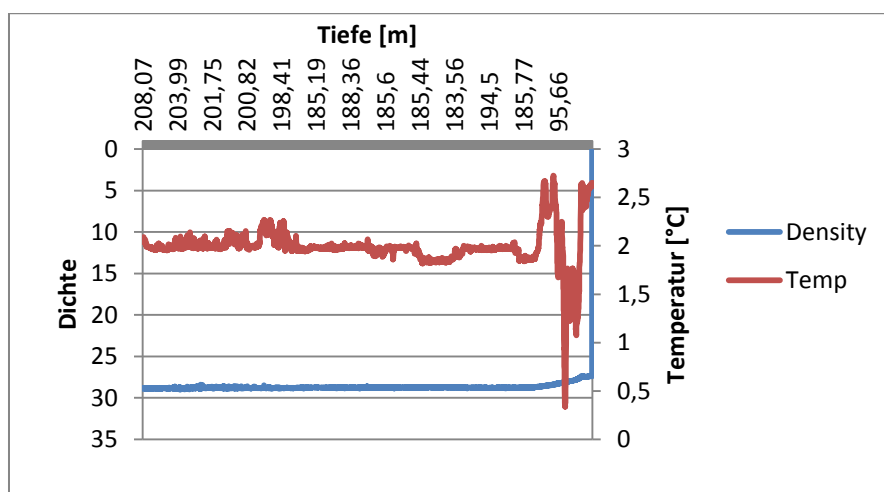


Abbildung 13: Die aufgenommenen CTD-Daten beim Auftauchen des ROV aus einer Tiefe von 200 m.

3.3 Abundanzen

Es konnten insgesamt 13053 Individuen für die sechs Tiefen und die drei Substratwinkel identifiziert werden. Diese Abundanzdaten wurden dann auf eine Fläche von 1 m² extrapoliert und sind für die entsprechenden Tiefen in der Tabelle 3 dargestellt. Es wurden durchschnittlich 19,98 Individuen m⁻² für das Hartbodenhabitat von Kongsfjordneset ermittelt. Insgesamt wurden 25 Taxa identifiziert, die alle schon für den Kongsfjorden und Svalbard nachgewiesen worden sind (Vergleich mit Gulliksen *et al.* 1999, Palerud *et al.* 2004). Davon konnten eine bis zur Familie, fünf bis zu Gattung und 19 bis auf Artniveau bestimmt werden.

Unter „Corallinacea n.d.“ sind verschiedene Algenarten dieser Ordnung zusammengefasst. Wegen fehlender histologischer Untersuchungen lassen sie sich nicht weiter bestimmen. Bei Phaeophyceae konnte nur bis Ordnungsniveau bestimmt werden, da die Aufnahmen in ihrer Qualität nicht ausreichend waren; sie sind daher unter „Phaeophyceae n.d.“ zusammengefasst. Die beiden Aktinienarten *Hormathia nodosa* und *H. digitata* sind unter „*Hormathia spp.*“ zusammengefasst, da es von den Aufnahmen nicht möglich war, beide stets sicher zu unterscheiden. Bei den Holothuroidea sind ebenfalls nicht genug Merkmale zu erkennen, um sie definitiv zu bestimmen, daher wurden sie unter „Holothuroidea n.d.“ zusammengefasst. Auch die Polychaetenfamilie Sabellidae konnte nicht auf Artniveau bestimmt werden, da hier keine Proben zum „ground truthing“ vorlagen. Bei einer Schwamm- und einer Seesterneart, die nicht weiter bestimmt werden konnten, handelt es sich jeweils nur um einzelne Individuen.

Das komplette Tiefenspektrum von 30 m bis 200 m wurde nur von fünf der 25 Arten besiedelt: die Muschel *Chlamys islandica* (Tafel 1, unten) und die Aktinien *Hormathia spp.* (Tafel 1, oben), sowie der Schwamm *Haliclona sp.* (Tafel 1, oben) und die Polychaeten Sabellidae. Die Bryozoe *Crisia denticulata* ist auf den Fotos in allen Tiefen mit Ausnahme von 75 m zu sehen. Die Rotalgenordnung Corallinacea wächst nur in Tiefen bis 75 m.



5 cm



6 cm

Tabelle 3: Durchschnittliche Abundanz der sessilen Benthos-Individuen pro m² in den ausgewerteten Bildern von Kongsfjorden in den Tiefen 30 m bis 200 m im Juni 2009.

Taxa	Abundanzen (Anzahl Ind. m ⁻²)
Polychaeta	15,58
Rhodophyta	1,81
Anthrozoa	1,63
Porifera	0,63
Phaeophyceae	0,11
Bryozoa	0,07
Polyplacophora	0,00268
Cirripedia	0
Holothuroidea	0
Gesamt	19,86

Die wesentlichen Taxa der sessilen Hartbodengemeinschaft sind Polychaeten, Rhodophyta und Anthrozoa (Tabelle 3). Polychaeten machen hinsichtlich ihrer Abundanz 78%, Rhodophyta 9%, Anthrozoa 8%, Porifera 3% und sonstige (einschließlich Phaeophyceae, Bryozoa, Ascidiacea und Polyplacophora) weniger als 1% der Hartbodengemeinschaft aus. Die Cirripedia und die Holothuroidea tauchen in den zufallsgenerierten Fotos nicht auf, obwohl sie auf den Videos in sehr geringen Abundanzen vertreten sind.

Tabelle 4: Identifizierte Organismen mit den durchschnittlichen Abundanz (Individuen pro m²) in den untersuchten Tiefen (30 m bis 200m) sowie den Substratwinkeln diagonal, horizontal und vertikal. Ein „+“ kennzeichnet diejenigen Arten, die auf den Videos zu sehen sind, aber nicht auf den Fotos erschienen.

TAXA	30	50	75	100	150	200	In den Videos
Phaeophyceae							
<i>Phaeophyceae</i> n.d.	1,124	0	0,005	0	0	0	+
Rhodophyta							
<i>Corallinacea</i> n.d.	14,86	3,20	0,07	0	0	0	+
Porifera							
<i>Aplysilla sulfurea</i>	0	0	0,005	0,187	0	0,18	+
<i>Haliclona</i> sp.	0,174	0,36	0,41	2,59	1,20	0,69	+
<i>Phakellia ventilabrum</i>	0	0	0	0	0	0,06	+
<i>Unidentified</i> sp.	0	0	0,098	0,31	0,05	0	+
Anthrozoa							
<i>Hormathia</i> spp.	0,34	0,13	6,34	5,06	0,4508	2,11	+
<i>Urticina eques</i>	0,09	0,098	0,14	0,07	0,032	0	+
Polychaeta							
<i>Sabellidae</i>	0,014	0,416	3,005	8,038	95,692	48,688	+
Bivalvia							
<i>Chlamys islandica</i>	0,018	0,009	0,029	0,028	0,015	0,204	+
Polyplacophora							
<i>Tonicella</i> sp.	0,026	0	0	0	0	0	+
Cirripedia							
<i>Balanus balanus</i>	0	0	0	0	0	0	+
Decapoda							
<i>Eupagurus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	+
<i>Hyas araneus</i>	0	0	0,01	0,008	0,013	0,013	+
Bryozoa							
<i>Crisia denticulata</i>	0,024	0,141	0,061	0,077	0,389	0	+
<i>Reteporella beaniana</i>	0	0	0,025	0	0	0	+
Asteroida							
<i>Henricia</i> sp.	0	0,028	0	0	0	0	+
<i>Pteraster</i> sp.	0	0	0	0,024	0	0	+
<i>Solaster</i> sp.	0	0	0	0	0	0	+
<i>Unidentified</i> sp.	0	0	0	0	0	0,13	+
Echinoidea							
<i>Echinus esculentus</i>	0	0	0,038	0,016	0,016	0,021	+
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,109	0	0,287	0,131	0	0	+
Holothuroidea							
<i>Holothuroidea</i> n.d.	0	0	0	0	0	0	+
Asciacea							
<i>Halocynthia pyriformis</i>	0,047	0,058	0	0	0	0	+
<i>Styela rustica</i>	0	0	0	0	0	0	+

Tabelle 4 und Abbildung 14 zeigen die durchschnittlichen Abundanz der Arten pro m² in Bezug auf die Bathymetrie und die Substratwinkel. Diese Daten dienen als Basis für die Berechnung ökologischer Indizes.

Abbildung 14 gibt die prozentuale Verteilung der Abundanzen der häufigsten Taxa Polychaeta, Rhodophyta, Anthrozoa, Porifera und sonstige (d.h. Phaeophyceae, Bryozoa, Ascidiacea, Echinoidea, Bivalvia, Asteroidea, Decapoda, Cirripedia, Holothuroidea und Polyplacophora) wieder.

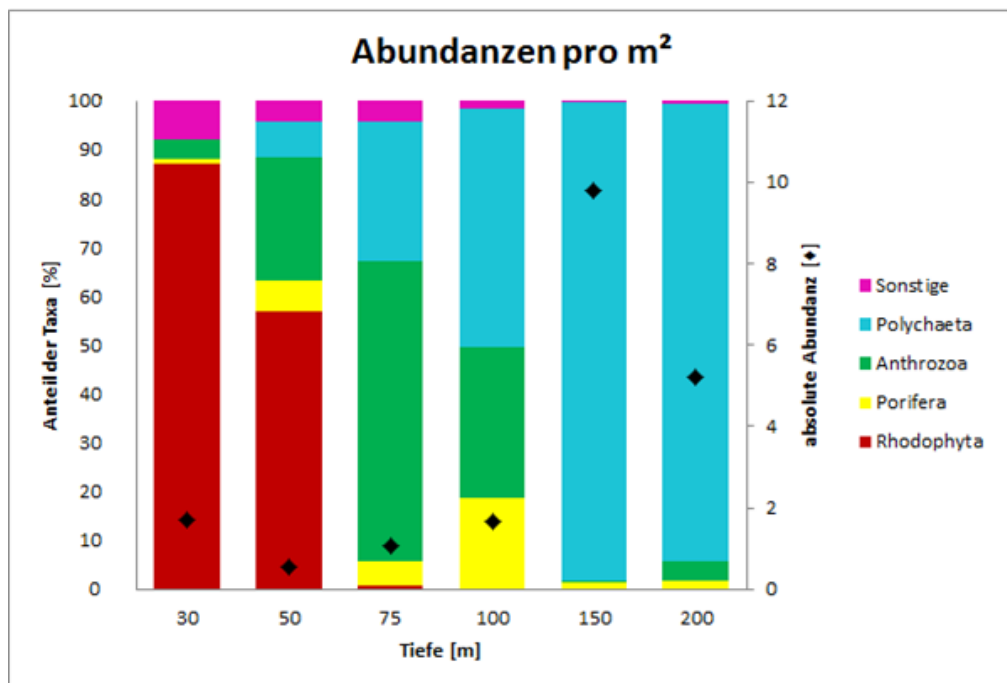


Abbildung 14: Diagramm der prozentualen Verteilung von Abundanzen aller Stationen pro m² der Taxa Polychaeta, Rhodophyta, Anthrozoa, Porifera und sonstige (< 5% Anteil an der Gesamtabundanz, d.h. Phaeophyceae, Bryozoa, Ascidiacea, Echinoidea, Bivalvia, Asteroidea, Decapoda, Cirripedia, Holothuroidea und Polyplacophora).

Als größte Gruppe treten die Rhodophyta in den Tiefen 30 m ($1,48 \pm 2,90$ an dem Gesamtanteil der Taxa) und 50 m ($0,32 \pm 0,62$) auf. Darunter sind sie kaum ($0,007 \pm 1,34$ bei 75 m) oder gar nicht mehr (100 m bis 200 m) zu beobachten. Die Porifera nehmen an Abundanz bis 100 m zu (maximal $0,308 \pm 1,85$), darunter (150 m bis 200 m) machen sie nur noch 1% ($0,095 \pm 9,52$) aus. Die Anthrozoa nehmen mit ihrem Anteil an der Gesamtabundanz bis 75 m (von 4 über 26 Individuen pro m² auf $0,64 \pm 1,34$) zu, darunter nimmt ihr Anteil jedoch wieder ab. Der Anteil der Sonstigen ist bei 30 m am höchsten (8%) und nimmt dann ab, bis sie weniger als 1% ausmachen. Die Polychaeten treten in allen Tiefen auf, haben aber in 30 m nur einen Anteil von $0,0014 \pm 2,90$ an der Gesamtabundanz. Ab einer Tiefe von 50 m treten sie vermehrt auf und machen dann, je tiefer es geht, den Hauptanteil der vertretenen Taxa aus (bei 150 m sogar 98% ($9,56 \pm 18,73$)).

Die höchste absolute Abundanz ist bei 150 m zu finden (mit 10 Individuen pro m^2 , acht Arten). Danach kommen 200 m mit fünf Individuen pro m^2 (insgesamt sieben Arten), 30 m mit zwei Individuen pro m^2 (zehn Arten), 75 m (insgesamt 13 Arten) und 100 m (zehn Arten) mit jeweils einem Individuum pro m^2 und bei 50 m sind es nur noch 0,5 Individuen pro m^2 (neun Arten).

3.4 Trophische Struktur und Zoogeographie

Abbildung 15 zeigt die zoogeographische Einordnung der Arten in den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m. Dabei wurde eine Art als arktisch (nur in 150 und 200 m), 14 als arktisch-boreale und sechs als kosmopolitische Arten klassifiziert. Es sind keine borealen Arten nachgewiesen worden. In allen Tiefen war die zoogeographische Artenzusammensetzung ähnlich, und setzte sich zum Großteil aus den arktisch-borealen (60-75%) und kosmopolitischen Arten (20-30%) zusammen.

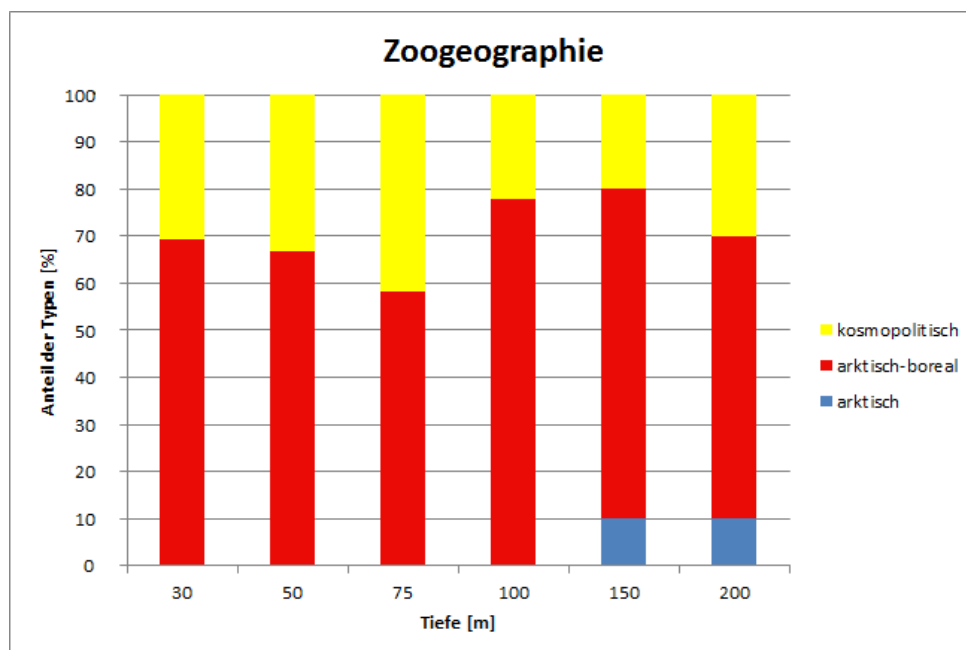


Abbildung 15: Einteilung der Makrofauna der unterschiedlichen Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200m von Kongsfjordneset in die zoogeographische Gruppen kosmopolitisch, arktisch-boreal und arktisch.

Abbildung 16 zeigt die Nahrungstypen (passive Filtrierer, Herbivore, Omnivore und Carnivore) in den jeweiligen Tiefen. Es wurden insgesamt fünf aktive und vier passive Filtrierer, vier omnivore und drei carnivore Arten nachgewiesen.

Aktive Filtrierer machten in allen Tiefen einen Großteil aus (30% bis 50%). In den Tiefen von 30 m bis 75 m machten zudem Carnivore 20% aus. Passive Filtrierer sind in einer Tiefe von 30 m mit 30% vertreten, dann jedoch erst wieder in einer Tiefe von 100 bis 200 m anzutreffen; in den Tiefen dazwischen sind sie lediglich mit <1% vertreten. Omnivore nehmen mit zunehmender Tiefe zu (10%), wobei sie in den flacheren Tiefen <1% liegen. Die Anzahl der Carnivoren ist in Tiefen 30 m bis 150 m gleich (7,69%) und nimmt dann in 200 m Tiefe ab (3,84%).

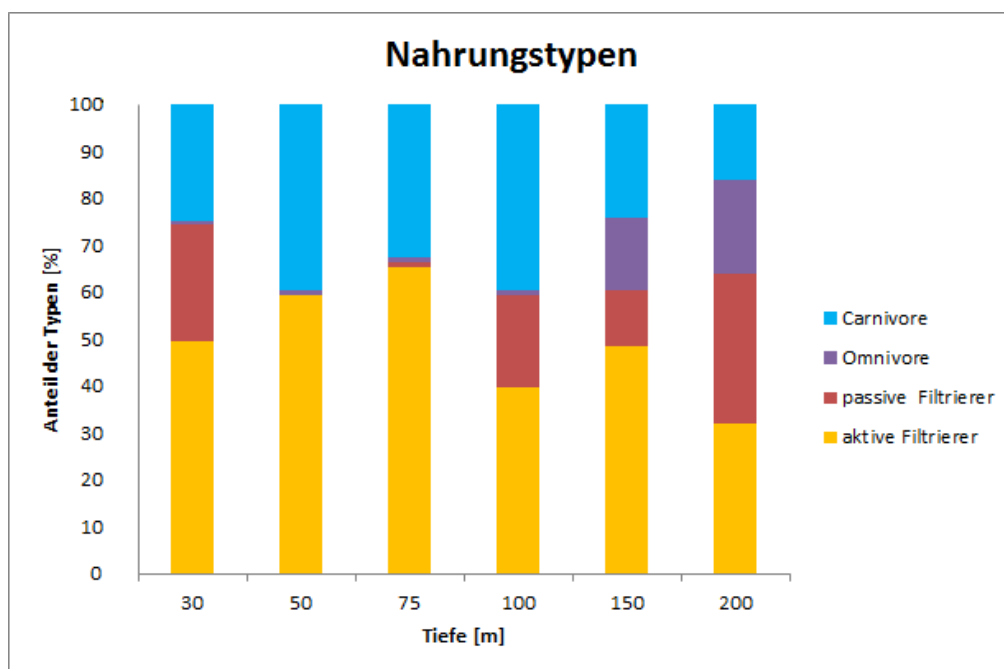


Abbildung 16: Einteilung der Makrofauna der Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200m von Kongsfjordneset hinsichtlich der Nahrungstypen aktive, passive Filtrierer, Omnivore und Carnivore.

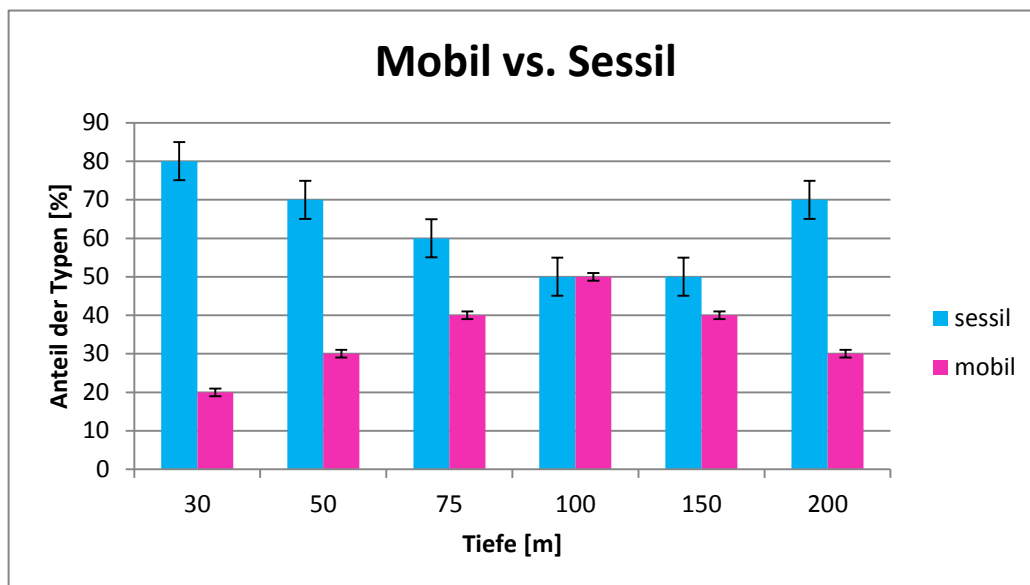


Abbildung 17: Einteilung der Makrofauna der Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200m von Kongsfjordneset mit Angabe der Standardabweichung hinsichtlich der Bewegungsart.

In Abbildung 17 ist die Einteilung der Arten nach ihrer Bewegungsart dargestellt. In allen Tiefen sind sessile Arten anzutreffen, was daran liegt, dass man sich hier auf das Makrozoobenthos und nicht auf die gesamte Fauna inkl. Fischen konzentriert hat. Die wenigen mobilen Arten, die mit aufgenommen wurden, sind Seeigel, Seesterne und Seespinnen, da sie auch zum Makrozoobenthos gezählt werden. Eine ANOVA zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Stationen und den beiden untersuchten Bewegungsarten gibt. In 30 m und 50 m Tiefe sind viele sessile Arten (70-80%) anzutreffen. Der Anteil der mobilen Tiere nimmt bis in eine Tiefe von 100 m zu und macht in dieser Tiefe sogar 50% aus. Tiefer nimmt dieser Anteil leicht ab (45%), ist aber im Vergleich mit den flacheren Tiefen immer noch hoch, denn dort liegt er bei 30-40%.

3.5 Ökologische Indizes

Die in Kapitel 2.3 erwähnten ökologischen Indizes für die Makrofauna in Kongsfjordneset sind in der Abbildung 18 dargestellt.

Die höchste absolute Individuenzahl von 98 Individuen pro m^2 wurde in 150 m Tiefe ermittelt. Danach kommt 200 m Tiefe mit einer Individuenzahl von 52 pro m^2 . 30 Individuen pro m^2 wurden sowohl in 30 m als auch in 100 m ermittelt. In einer Tiefe von 50 m wurde mit 4 Individuen pro m^2 die geringste Individuenzahl ermittelt. In 75 m ist sie mit 10 Individuen pro m^2 am zweitniedrigsten.

Die Grafik der mittleren Individuenzahl (Abbildung 18, linke y-Achse) zeigt eine ähnliche Verteilung wie der Graph mit den absoluten Individuenzahlen (Abbildung 18, rechte y-Achse). Auch hier liegt die höchste mittlere Individuenzahl in 150 m Tiefe mit durchschnittlich 4 Individuen pro m^2 und die geringste bei 50 m mit 0,17 Individuen pro m^2 .

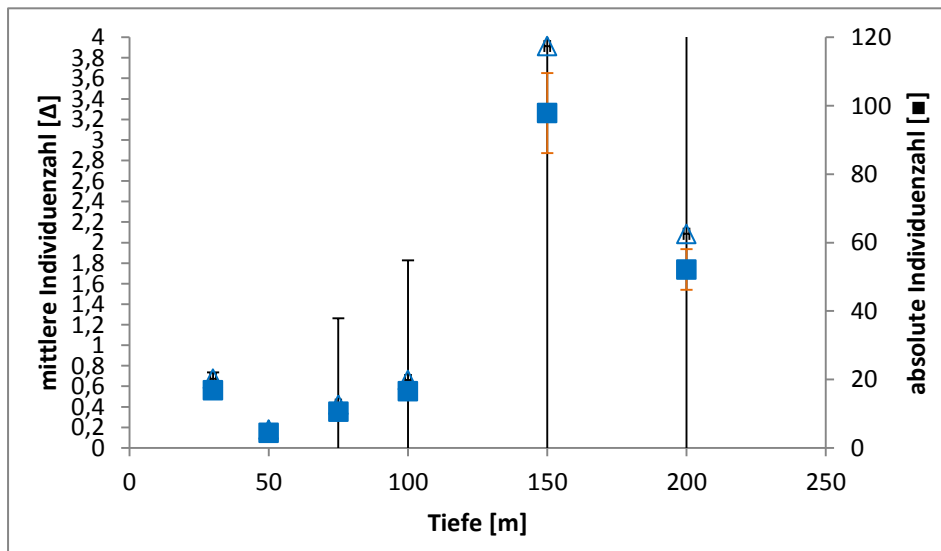


Abbildung 18: Diagramm der Artenzahl (S) bezogen auf die beprobten Tiefen. Die linke y-Achse zeigt die mittlere Artenzahl in den jeweiligen Tiefen [Δ], die rechte y-Achse die absoluten Werte für die Artenzahl [■] (jeweils unter Angabe des Standardfehlers). Orange steht für die mittlere und schwarz für die absolute Individuenzahl.

In Abbildung 19 ist der Artenreichtum (d) dargestellt. Es zeigt sich ein anderes Bild als in Abbildung 18. Hier zeigt die Tiefe von 50 m den höchsten Artenreichtum (15) und die Station auf 150 m den geringsten Artenreichtum (5). Die übrigen Tiefen haben einen Wert von 6 (200m), 8 (30 m und 100 m) und 9 (75 m).

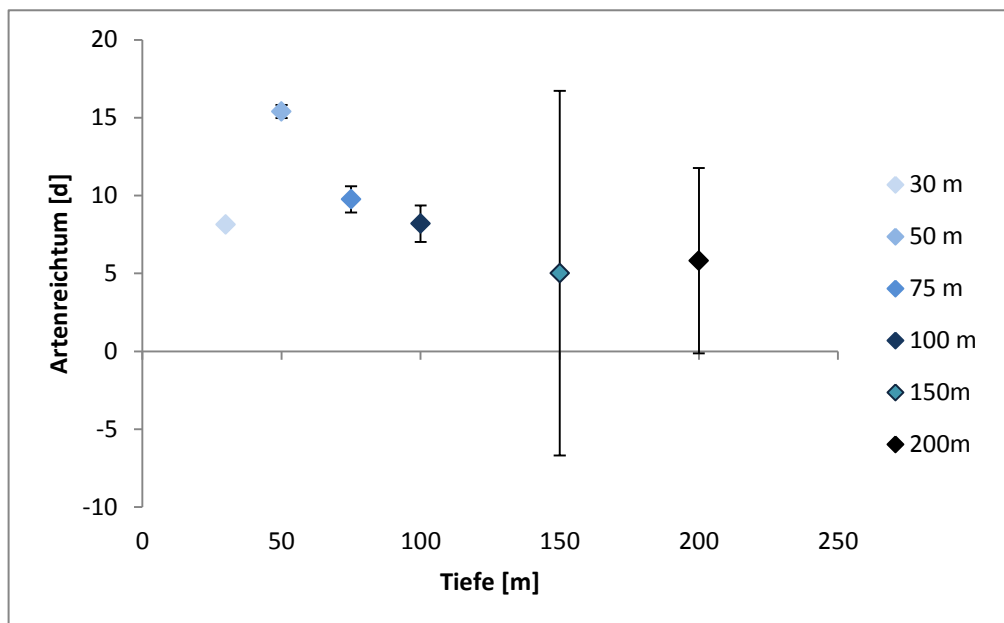


Abbildung 19: Darstellung des Margalef-Index (d) für den Artenreichtum in den unterschiedlichen Tiefen.

Bei der Diversität (H' , Abundanz, Abbildung 20), zeigt sich, dass in 100 m Tiefe die höchste Diversität von 1,25 anzutreffen ist, gefolgt von 75 m mit 1,12 und 150 m mit der geringsten Diversität von 0,13. In 200 m gibt es die zweitgeringste Diversität (0,19). Die Tiefe von 50 m zeigt auch hier eine hohe Diversität (1,06). Auf 30 m liegt die Diversität nur bei 0,5.

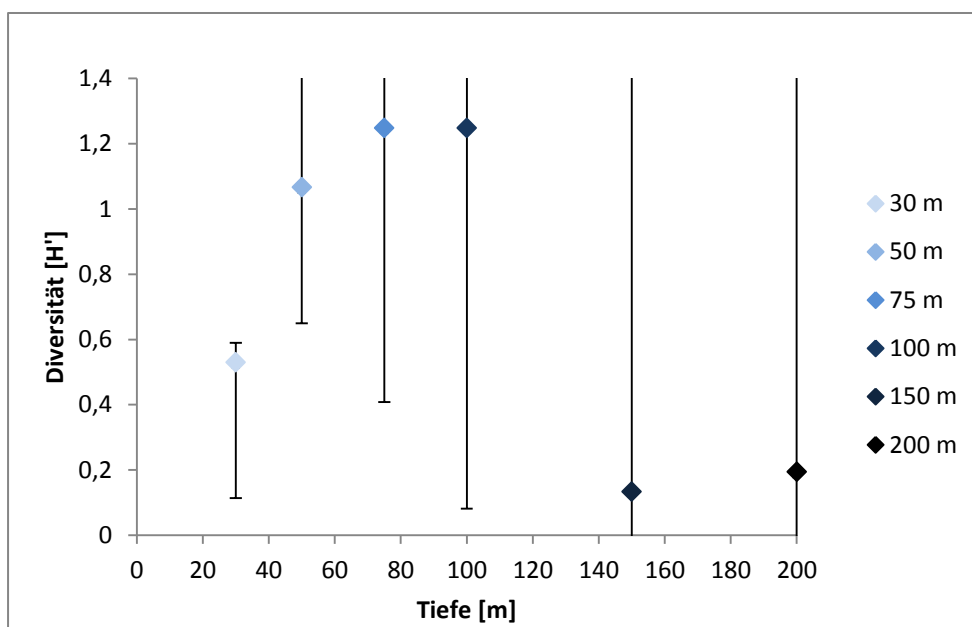


Abbildung 20: Diagramm des Shannon-Weaver-Index (H') für die untersuchten Tiefen.

Die Abbildung 21 zeigt die Äquität der einzelnen untersuchten Tiefen. Da sie eine Funktion der Shannon-Diversität ist, zeigen beide Graphen (Abbildung 19 und Abbildung 20) eine ähnliche Tendenz. Das Maximum konnte bei 100 m mit 0,4 und das Minimum bei 150 m mit 0,05 festgestellt werden. In 75 m ist eine Äquität von 0,35 und bei 50 m eine von 0,33 zu finden. 200 m hat die zweitniedrigste Äquität (0,06) und 30 m eine von 0,16.

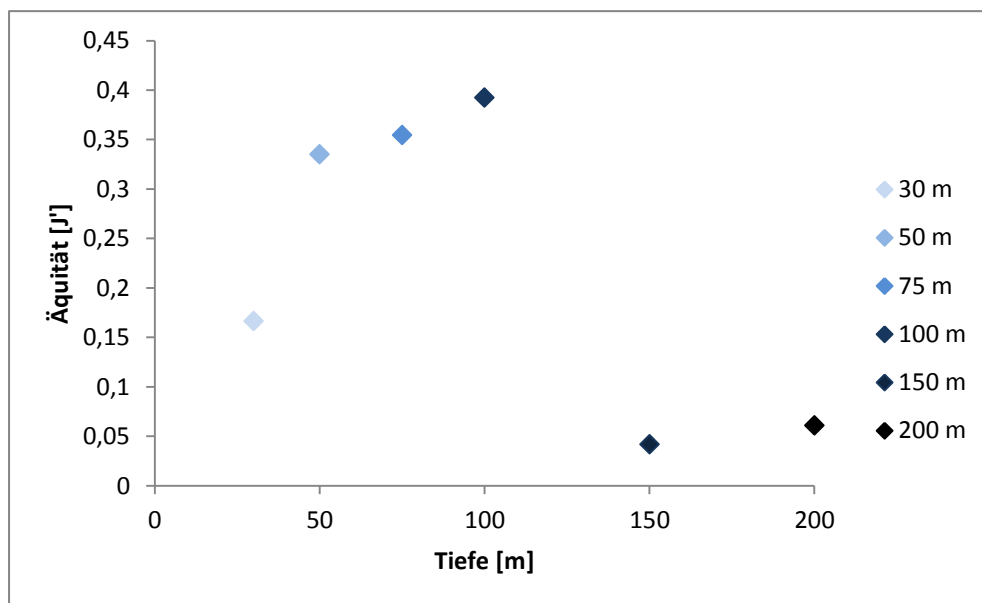


Abbildung 21: Darstellung des Pielou-Index (J') für die Organismenassoziationen.

3.6 Gemeinschaftsanalyse mittels multivarianter Methoden

3.6.1 Cluster- und MDS-Analysen der sessilen Makrofauna

Clusteranalysen wurden für die einzelnen Tiefen und die drei unterschiedlichen Substratwinkel durchgeführt. Weiterhin wurden die Tiefen 30 m und 50 m mit 200 m und zusätzlich die drei Substratwinkel zwischen diesen Tiefen verglichen.

Die Clusteranalysen und MDS-Plots der einzelnen Tiefen zeigen keine winkelspezifische Besiedlung durch Organismenassoziationen, sind aber der Vollständigkeit halber im Anhang (Abbildung A bis Abb. A 13) aufgeführt.

Abbildung 22 gibt das Dendrogramm der Clusteranalyse aller Tiefen wieder. Bei einer Ähnlichkeit von nur 9% trennen sich bereits zwei Gruppen. Die eine enthält Replikate aus 30 m und 50 m und nur vereinzelt aus 75 m und 100 m Tiefe. Die andere Gruppe beinhaltet Organismenassoziationen aus 75 m bis 200 m Wassertiefe. Zur besseren Darstellung wurde hier auf die Unterteilung in die drei untersuchten Winkel verzichtet und nur die Tiefe angegeben. Abbildung 23 zeigt die zugehörige MDS-Grafik, in der der Aufteilung mit einem errechneten Stresswert von 0,13 eine gute statistische Güte des Tests bescheinigt wird.

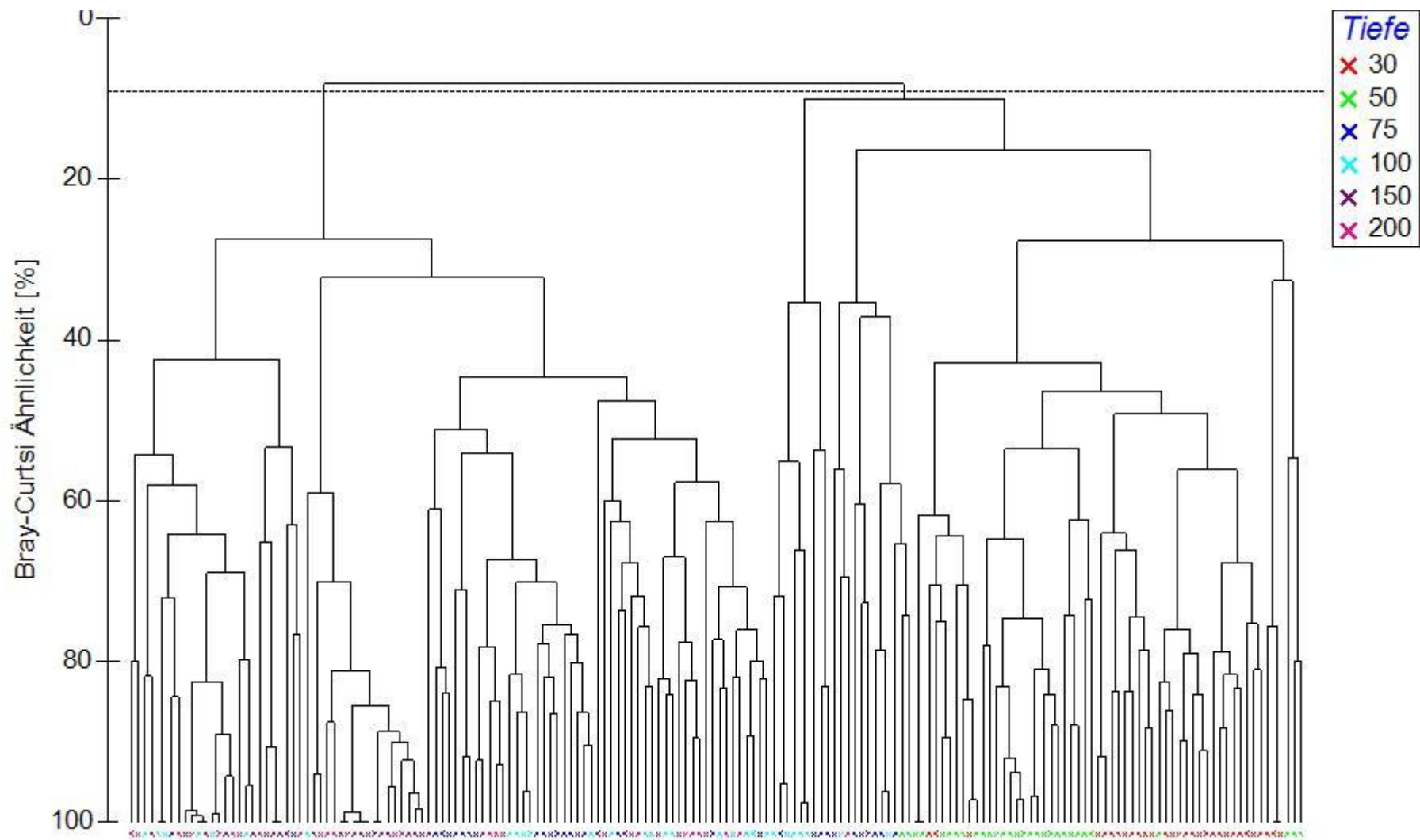


Abbildung 22: Dendrogramm der Clusteranalyse für alle untersuchten Tiefen. Gestrichelte Linie: zwei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 9% getrennt.

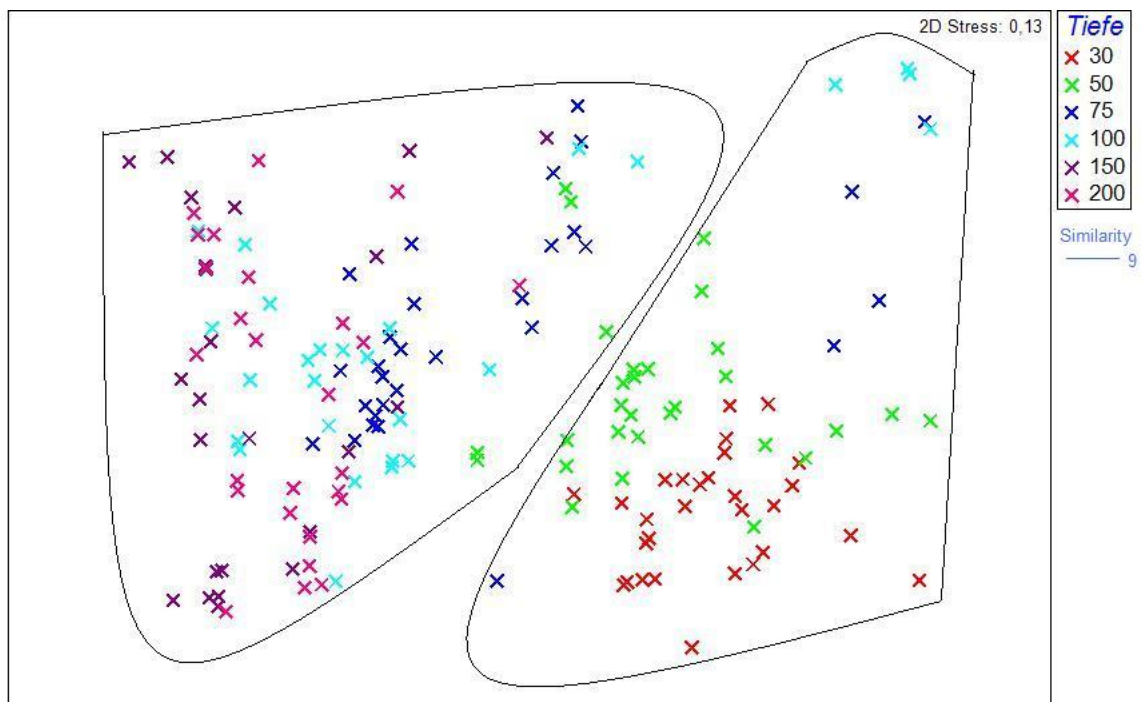


Abbildung 23: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m und 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der besiedelnden Organismenassoziationen in allen Tiefen. Bei einer Ähnlichkeit von 9% werden zwei Gruppen unterschieden.

Abbildung 24 gibt das Dendrogramm der Clusteranalyse der Organismenassoziationen über die Extreme des bathymetrischen Gradienten (30 m und 200 m) wieder. Bei einer Ähnlichkeit von 20% trennen sich zwei Gruppen hinsichtlich der Wassertiefe. Die Abbildung 25 verdeutlicht diese Aufspaltung noch einmal (Stresswert 0,09). Die Gruppen trennen nach der Tiefe und nicht nach dem Substratwinkel auf.

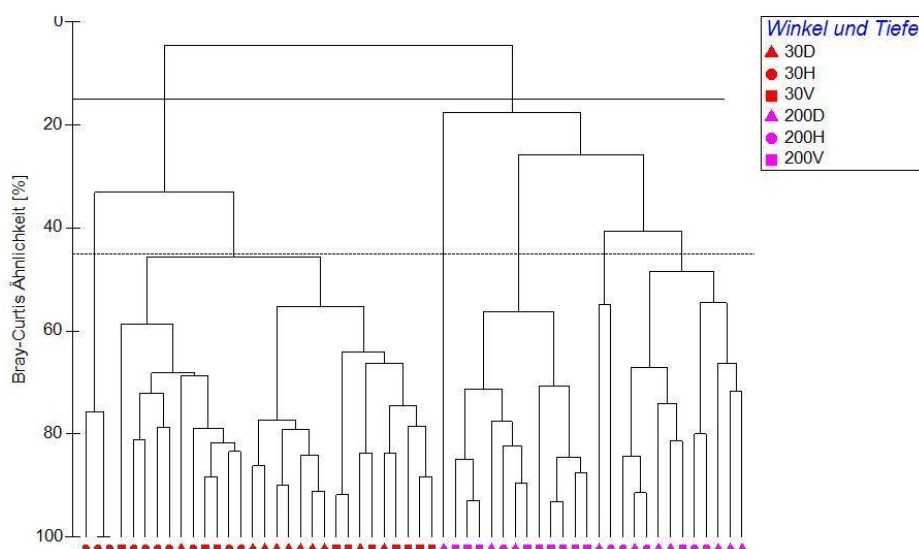


Abbildung 24: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 30 und 200 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 15% definiert. Gestrichelte Linie: sechs Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 45% getrennt.

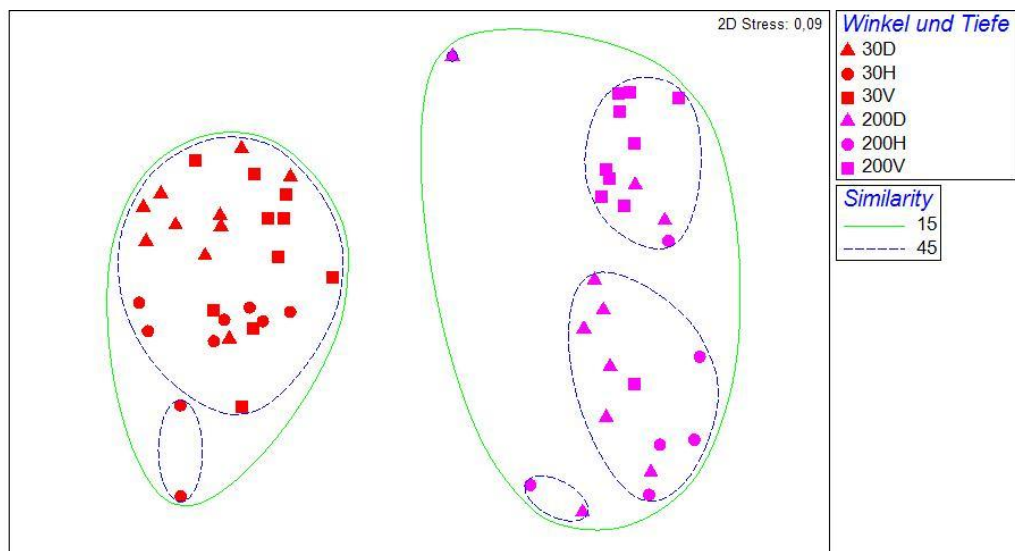


Abbildung 25: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 und 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 15% werden zwei Gruppen, bei einer Ähnlichkeit von 45% sechs Gruppen unterschieden.

Abbildung 26 stellt das Dendrogramm der Clusteranalyse für den Vergleich von 50 m und 200 m dar. Bei einer Ähnlichkeit von 20% werden auch hier zwei Gruppen getrennt, einmal eine die nur Flächen aus 200 m beinhalten und einmal eine Gruppe, die Flächen aus 50 m und eine diagonale Fläche aus 200 m enthält. Abbildung 27 zeigt die dazugehörige MDS-Abbildung und verweist durch den Stresswert von 0,1 auf eine gute statistische Güte.

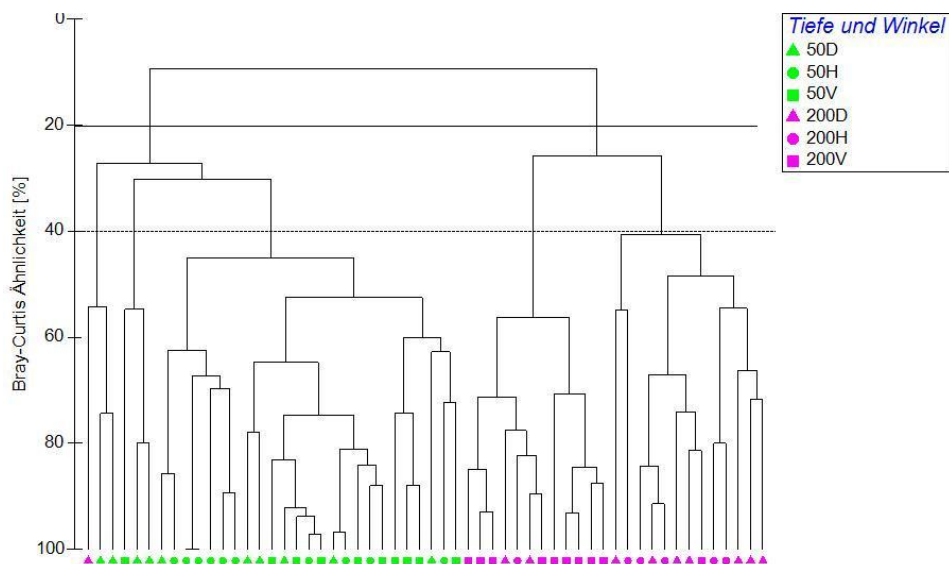


Abbildung 26: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 50 m und 200 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 20% definiert. Gestrichelte Linie: fünf Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 40% getrennt.

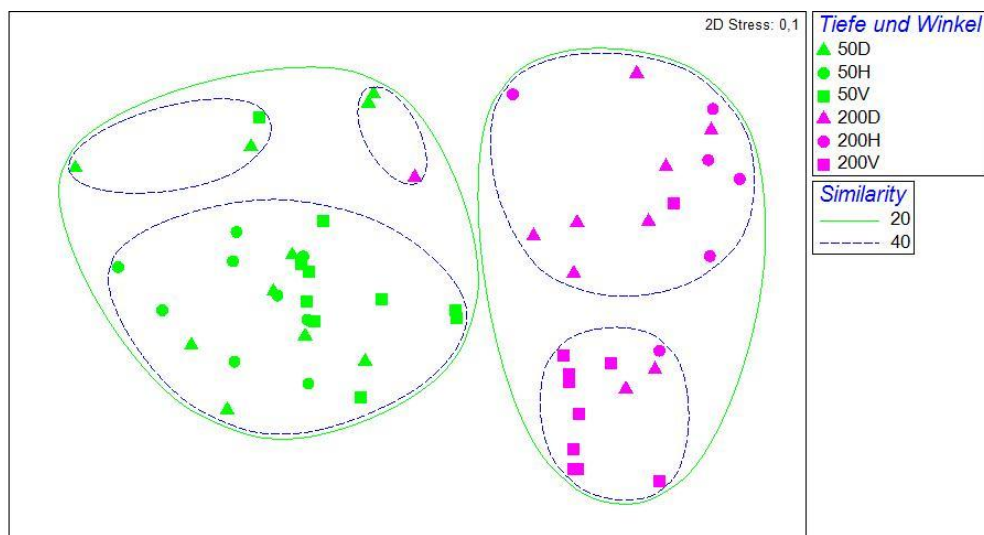


Abbildung 27: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 50 m und 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 20% werden zwei Gruppen, bei einer Ähnlichkeit von 40% fünf Gruppen unterschieden.

Betrachtet man lediglich diagonale Flächen über den gesamten Tiefengradienten (30, 50, 75, 100, 150 und 200 m), trennen sich im Dendrogramm (Abbildung 28) bei einer gewählten Ähnlichkeit von 10% drei Gruppen: eine, die aus Organismenassoziationen aus lediglich 100 m Tiefe besteht, eine zweite, die sich aus Flächen aus 75, 100, 150 und 200 m zusammensetzt und eine dritte, die überwiegend aus Flächen aus 30 m und 50 m besteht. Abbildung 29 zeigt die dazugehörige MDS-Grafik (Stresswert 0,1).

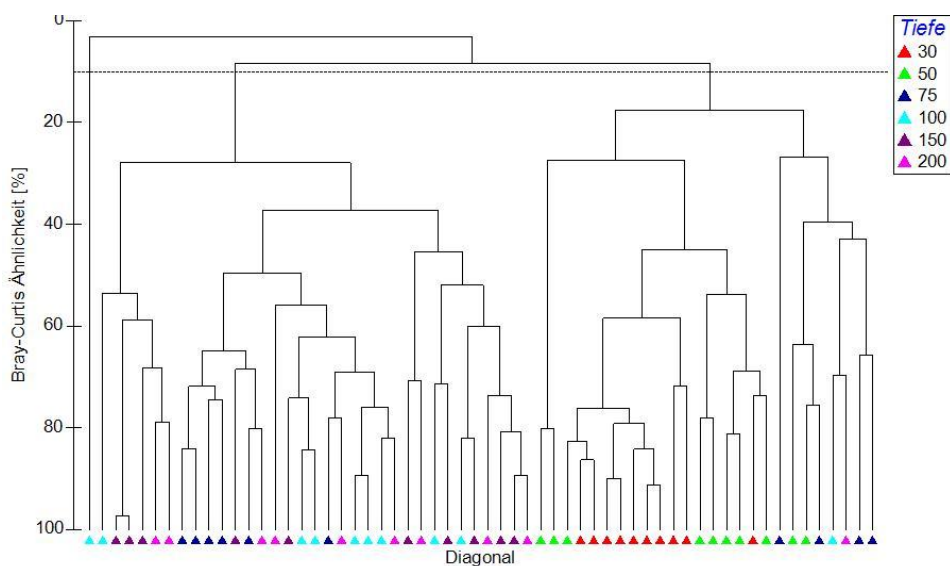


Abbildung 28: Kongsfjordneset-Gemeinschaft diagonal angeordneter Hartböden aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm, durchgezogene Linie: drei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 10% definiert.

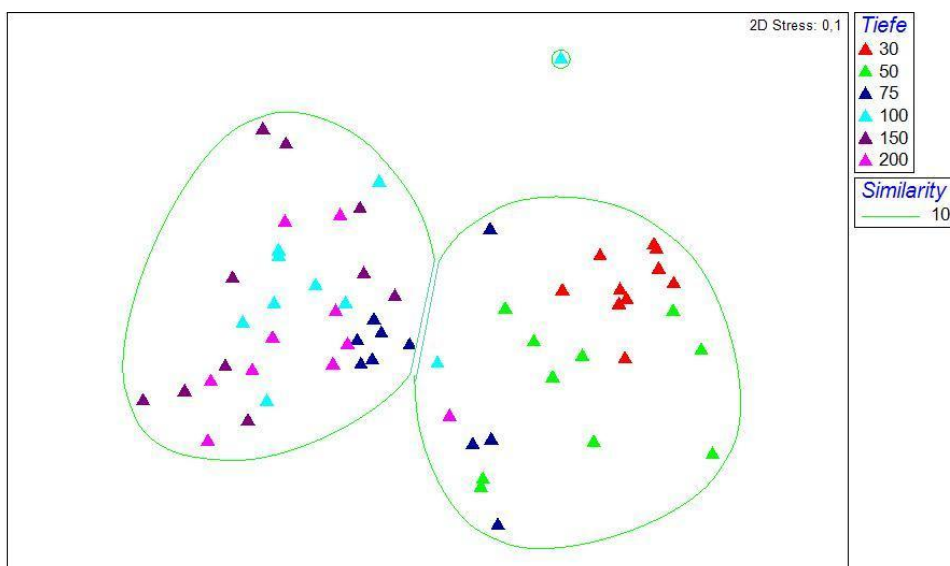


Abbildung 29: Kongsfjordneset-Gemeinschaft diagonal angeordneter Hartböden aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m: Aus der MDS-Analyse resultierende Darstellung visualisiert die Aufteilung, durchgezogene Linie: drei Gruppen werden bei Ähnlichkeit von 10% unterschieden.

Abbildung 30 und Abbildung 31 stellen das Dendrogramm und die MDS-Grafik der Clusteranalyse für horizontale Flächen aus allen Tiefen dar. Bei einer Ähnlichkeit von 5% werden erneut zwei Gruppen getrennt, die sich genau wie bei den diagonalen Flächen einmal aus 75, 100, 150 und 200 m und einmal aus 30, 50, 75 und 100 m Tiefe zusammensetzen. Bei einer Ähnlichkeit von 10% trennt sich die Gruppe 75 m bis 200 m in zwei Untergruppen auf: eine, die aus vier Flächen aus 200 m besteht und die andere, die Flächen aus 75, 100, 150 und 200 m beinhaltet. In der MDS-Grafik (Abbildung 31) zeigt der Stresswert von 0,1 eine gute statistische Güte.

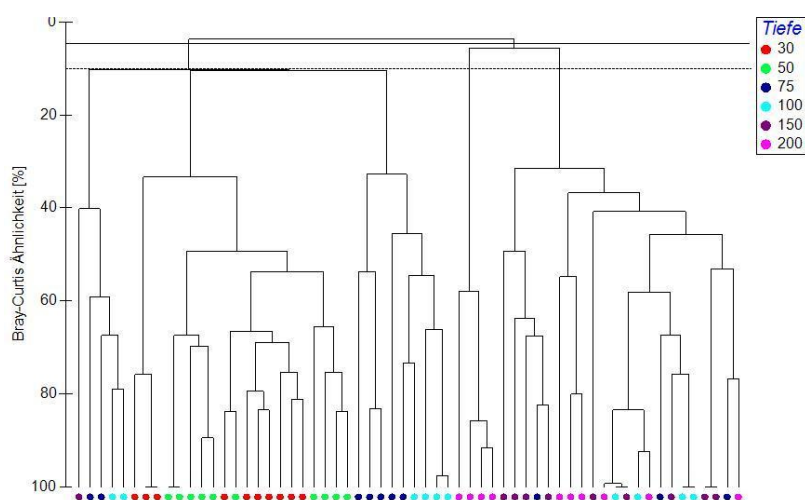


Abbildung 30: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für horizontale Flächen aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m. Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 5% definiert. Gestrichelte Linie: drei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 10% definiert.

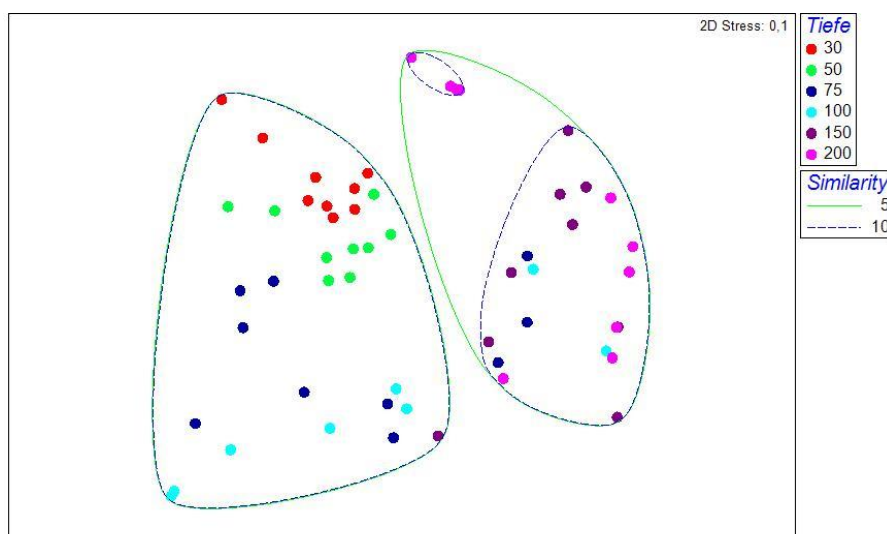


Abbildung 31: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m Wassertiefe. Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der den einen Substratwinkel vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 5% werden zwei Gruppen, bei einer Ähnlichkeit von 10% werden drei Gruppen unterschieden.

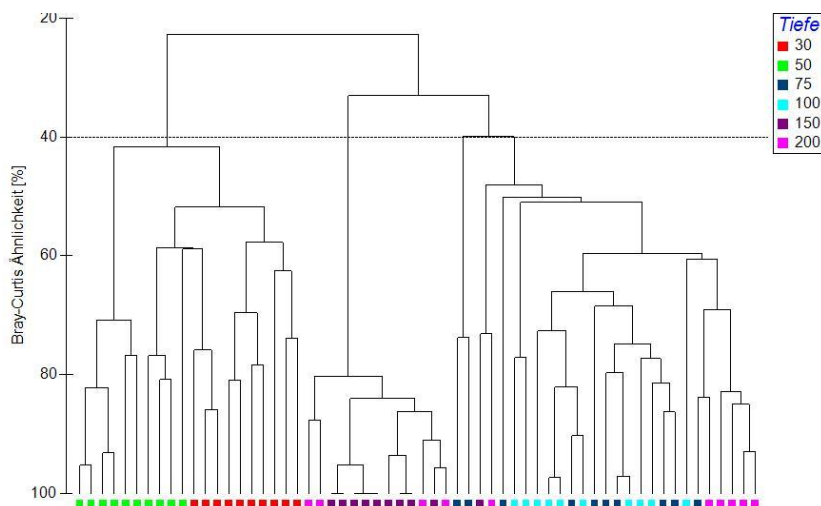


Abbildung 32: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für vertikale Flächen aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m. Durchgehende Linie: vier Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 40% definiert.

Abbildung 32 gibt das Dendrogramm für vertikale Flächen aus allen Tiefen wieder. Bei einer Ähnlichkeit von 40% werden vier Gruppen getrennt. Die erste kommt aus 30 m und 50 m Wassertiefe, die zweite aus 150 m und 200 m, die dritte aus Flächen aus 75 m und die letzte setzt sich aus Flächen der Tiefen 75, 100, 150 und 200 m zusammen. Der Stresswert der MDS-Darstellung von 0,13 (Abbildung 33) zeigt eine gute statistische Güte.

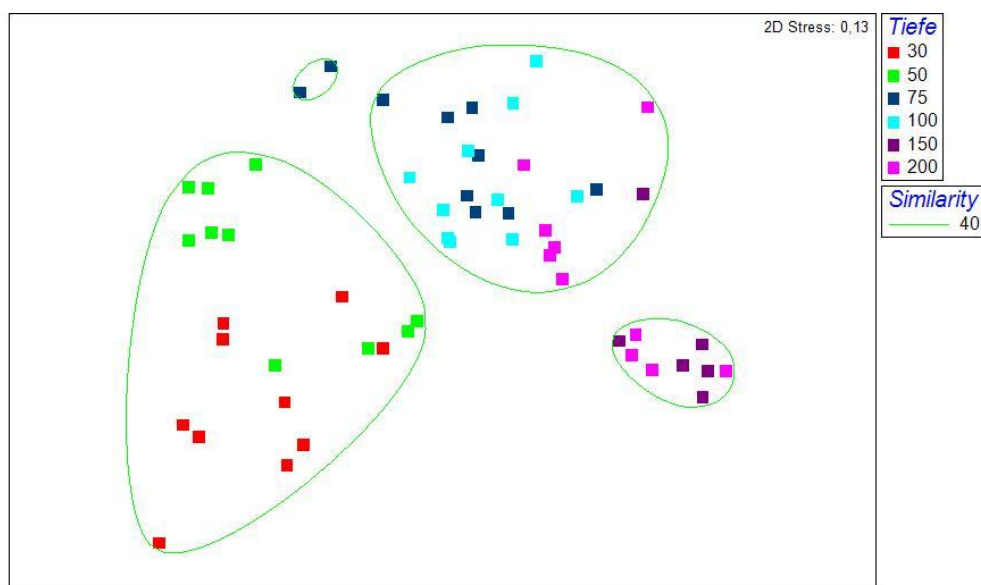


Abbildung 33: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der den einen Substratwinkel vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 40% werden vier Gruppen unterschieden.

3.6.2 ANOSIM 1

Die ANOSIM 1, eine „one-way ANOSIM“, in der als Unterscheidungskriterium die Tiefe der einzelnen Stationen festgelegt wurde, hat einen R-Wert von 0,461 ($p=0,1\%$) für alle Tiefen ergeben, was eine gute Unterscheidbarkeit der Tiefen aber auch einige Überlappungen ausdrückt. Dies wird in Tabelle 5 genauer beschrieben, in der die R-Statistik des paarweisen Vergleichs zu sehen ist. Signifikant unterschieden sich die Gemeinschaften aus 30 m von denen aus 150 m und 200 m. Auch die 50 m Station unterscheidet sich signifikant von der 150 m Station. Die Stationen der Tiefe von 30 m unterscheiden sich gut von denen auf 75 m und 100 m, genauso wie die auf 50 m von 75, 100 und 200 m und die auf 75 m von 150 m, obwohl es hier Unähnlichkeiten gab. Für die restlichen paarweisen Vergleiche gab es kaum erkennbare Unterschiede.

Tabelle 5: R-Statistik als Ergebnisse der paarweisen ANOSIM 1. Klare Unterschiede ($R>0,75$) sind rot, gute Unterschiede ($R\approx 0,5$) türkis und geringe Unterschiede ($R<0,25$) grün gedruckt.

	30	50	75	100	150
50	0,299				
75	0,722	0,462			
100	0,738	0,621	0,095		
150	0,902	0,805	0,315	0,119	
200	0,827	0,702	0,203	0,072	0,029

3.6.3 SIMPER-Analyse

Die SIMPER-Analyse (Tabelle 6) differenziert die ANOSIM noch genauer und liefert so einen Überblick, welche Arten für die Zusammensetzung des typischen Makrozoobenthosmusters der untersuchten Tiefen verantwortlich sind. So beträgt beispielweise die mittlere Ähnlichkeit zwischen den Substratwinkeln und den einzelnen Replikaten in 30 m Wassertiefe 51,68%, wozu die Krustenrotalgenfamilie Corallinacea und ein nicht identifizierter Schwamm mit einer mittleren Ähnlichkeit zwischen den Tiefen (Average Similarity, Av. Sim.) von 39% und 5% beziehungsweise einem prozentualen Beitrag (Contribution %, Con. %) von 75% und 10%, kumuliert zu 75% und 85%, beitragen.

Für die Ähnlichkeiten innerhalb einer Tiefe sind Polychaeten und Cnidaria verantwortlich (Tabelle 6).

Weiterhin kann Tabelle 6 entnommen werden, dass je nach Tiefe nur zwischen zwei und drei Taxa charakteristisch für alle Tiefen sind und so auch das Bild, das was man von diesem Ort vermittelt bekommt, deutlich prägen. Ausgehend von diesen Hauptarten werden im Folgenden Arten als charakteristisch für diese Lebensgemeinschaften bezeichnet, die mindestens zu 20% zur Gemeinschaft beitragen. Im Kapitel 3.6 wird gesondert auf diese Arten eingegangen.

Übereinstimmend mit der ANOSIM 1 und der MDS-Analyse wird auch hier deutlich, dass sich die 30 m und 50 m Tiefe von den anderen Tiefen (75 m bis 200 m) durch ein andersartiges Arteninventar auf den ersten beiden Rangplätzen der SIMPER-Analyse unterscheidet. Die Ähnlichkeit der Tiefen 75 m bis 200 m lässt sich vor allem durch die Anwesenheit der Polychaetenfamilie Sabellidae erklären.

Tabelle 6: Ergebnis der SIMPER-Analyse auf Grundlage der Abundanzen sessiler Makrofauna und Flora des Hartbodens von Kongsfjordneset: Dargestellt sind nur die ranghöchsten Taxa, die zu insgesamt 90% der Ähnlichkeit beitragen, mit durchschnittlicher Abundanz (Av. Abund.), mittlerer Ähnlichkeit zwischen den Stationen (Av. Sim.), Standardabweichung der Ähnlichkeit (Sim/SD), prozentualen Beitrag (Contrib %) und kumulativem Beitrag über die angezeigten Arten (Cum. %). Die Arten, die > 7% zu der Ähnlichkeit beitragen, sind gelb eingefärbt.

	Taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
30 m Station Av. sim.: 51,68	Corallinacea	1,04	39,06	2,42	75,58	75,58
	(Schwamm)Unidentified	0,22	5,16	0,53	9,99	85,57
	sp. <i>Urticina eques</i>	0,13	4,13	0,94	7,99	93,56
50m Station Av. sim.: 47,82	Corallinacea	0,49	31,55	1,64	65,97	65,97
	<i>Hormathia spp.</i>	0,29	14,97	0,95	31,31	97,28
75m Station Av. sim.: 34,34	<i>Hormathia spp.</i>	0,63	22,51	1,18	65,55	65,55
	Sabellidae	0,37	8,77	0,65	25,55	91,1
100 m Station Av. sim.: 31,17	Sabellidae	0,63	19,03	0,92	61,07	61,07
	<i>Haliclona sp.</i>	0,31	5,35	0,57	17,16	78,22
	<i>Hormathia spp.</i>	0,39	4,28	0,45	13,73	91,96
150 m Station Av. sim.: 34,87	Sabellidae	2,22	32,09	1,12	92,04	92,04
200 m Station Av. sim.: 31,39	Sabellidae	1,45	23,33	1,04	74,32	74,32
	<i>Haliclona sp.</i>	0,19	3,2	0,57	10,19	84,51
	<i>Hormathia spp.</i>	0,26	2,36	0,43	7,51	92,02

3.7 Charakteristische Arten

Im Folgenden wird auf Verbreitung, Ökologie sowie Biologie der ranghöchsten Arten, die aus der statistischen Methode SIMPER (Kapitel 3.5.3) resultieren, eingegangen. Dabei werden die Arten betrachtet, die mit mindestens 20% zur Ähnlichkeit der Gemeinschaftsstruktur beitragen (siehe Tabelle 6, gelbe Markierung). Um die Arten zu bestimmen und Aussagen über ihre Verbreitung in Svalbard zu machen, wurden sie mit Palerud *et al.* (2004) verglichen. Die Fotos der Arten wurden mit denen von Gulliksen *et al.* (1999) verglichen.

Corallinacea (P.C.Silva & H.W.Johansen 1986)

Systematik: Klasse: Rhodophyceae, Ordnung: Corallinales, Familie: Corallinaceae



Diese Rotalgenordnung stellt eine kosmopolitische, kalzifizierende Art dar und ist pink, rot oder violett gefärbt (Tafel 2, oben). Den Kalk deponieren sie in den Zellwänden des Thallus. Sie bedecken meistens Gestein und können bis in eine Tiefe von 268 m gefunden werden (Raven *et al*, 2006), wenn sie dort genug Licht bekommen. In dieser Studie sind Krustentalgen bis in eine Tiefe von 75 m nachgewiesen worden. Sie bilden einen Flechtthallus aus Pseudoparenchym aus. Dieser wird nach zwei Bauschemata unterscheiden: den Zentralfaldentyp (axial, uniaxial) und den Springbrunnetyp (multiaxial). Die axialen Kalkrotalgen haben eine verzweigte, baumartige Erscheinung und heften sich mit Hilfe eines kalzifizierten, wurzelähnlichen Rhizoids an das Substrat. Diese Pflanzen sind flexibel, da sie nicht-kalzifizierte Teile haben, die die kalzifizierten teilen. Die multiaxialen Kalkrotalgen bilden eine vom Mikrometerbereich bis hin zu einigen Zentimetern dicke Kruste. Sie wachsen sehr langsam und sind auf Felsen, Muscheln oder anderen Algen zu finden; es gibt sowohl epiphytische als auch als epizotische Arten.

Haliclona sp. (Bowerbank 1866)

Systematik: Klasse: Porifera, Ordnung: Haplosclerida, Familie: Chalinidae



Haliclona sp. ist ein Schwamm, bei dem die Form über dünne und kleine Flächen (3 cm im Durchmesser) bis hin zu großen kissenartigen Formen variiert, die einen Durchmesser von 15 cm aufweisen (Tafel 2, links). Sie sind solitäre Schwämme. Die Farbe geht von einem leichten Braun bis hin zum Violetten. Die Oberfläche weist in gleichmäßigen Abständen unregelmäßig große Löcher auf. Der Osculus kann zwischen 0,5 mm und 2 mm im Durchmesser variieren. Diese Art ist kosmopolitisch und im Sublittoral bis in 100 m Tiefe zu finden.

Hormathia spp. (Gosse 1859)

Systematik: Klasse: Anthozoa, Ordnung: Actiniaria, Familie: Hormathiidae



Hormathia spp. ist eine kosmopolitische Art und ist bereits für die norwegische Küste und auch Svalbard, inklusive dem Kongsfjorden nachgewiesen (Sahade *et al.* 2004, Palerud *et al.* 2004) (Tafel 2, rechts). Da die beiden häufigen Arten *Hormathia nodosa* und *H. digitata* auf Fotos nur schwer zu unterscheiden sind, wurden beide Arten in dieser Gruppe zusammengefasst. *H. nodosa* besitzt einen zylindrischen Scapus mit einer „rindenähnlichen“ Struktur, die charakteristische Knoten aufweist. *H. digitata* ist durch einen kegelförmigen, glatteren Körper mit einer ausgedehnten Pedalscheibe charakterisiert. Diese Aktinien besiedeln das Eulitoral sowie das Bathyal. In dieser Studie wurden sie für alle Tiefen nachgewiesen. Sie präferieren felsigen Untergrund, sind teilweise jedoch auch auf Schnecken oder Krabben zu finden. Ihre Fußscheibe kann einen Durchmesser von bis zu 80 mm und das Tier eine Höhe von insgesamt 100 mm erreichen. Am Körper können Knötchen zu sehen sein. Ungefähr 100 zurückziehbare Tentakel sind um die orale Scheibe in Ringen, die ein Vielfaches von sechs Tentakeln tragen, angeordnet. Sie erscheint in weißen bis rosa Tönen, die Mundöffnung ist tief rosa oder pink gefärbt und die Tentakel erscheinen in Orange oder Hellbraun. Mit ihren Tentakeln fangen die Tiere ihre Nahrung; sie sind carnivor (Moen & Svenson, 2004).

Urticina eques (Gosse 1859)

Systematik: Klasse Anthozoa, Ordnung: Actiniaria, Familie Actiniidae



Diese Aktinie (Tafel 2, links) hat starke Tentakel, die eine Länge von bis zu 300 mm aufweisen und in Vielfachen von zehn angeordnet sind. Der Körper kann in Scapus und Capitulum unterteilt werden. Der Scapus weist kleine, leicht gefärbte nicht adhäsive Warzen auf. Die Aktinie hat eine Farbe von Rot bis ins Gelbliche. Die Pedalscheibe hat einen Durchmesser von 300 mm. Ihr Habitat ist auf Felsen und Schalen auf dem Boden. Normalerweise findet man sie im Sublittoral, sie kommt aber auch bis in einer Tiefe von 100 m vor. Diese Art ist kosmopolitisch.

Sabellidae (Latreille 1825)

Systematik: Klasse Polychaeta, Ordnung Sabellida, Familie Sabellidae



Diese Polychaetenfamilie (Tafel 2, unten) umfasst arktisch-boreale Arten und wurde auch schon aus vielen Regionen von Svalbard beschrieben, einschließlich dem Kongsfjorden (Hermann 2004, Sahade *et al.* 2004). Dort wurde sie bis zu einer Tiefe von 30 m nachgewiesen. In dieser Studie ist sie in allen Tiefen (30 m bis 200 m) vertreten. Innerhalb dieser Familie sind federartige Tentakel weit verbreitet, mit denen die Tiere aktiv kleine Partikel aus dem Wasser filtrieren. Die Polychaeten leben in einer membranösen Röhre, die sie aus Sand oder Detritus herstellen.

Tafel 2 zeigt die charakteristischen Arten der vorgefundenen Gemeinschaften.

Um ein Eindruck der vorgefundenen Lebensgemeinschaften zu vermitteln, sind diese auf den Tafeln 3 bis 5 abgebildet.

Sie zeigen die vorgefundenen Organismenassoziationen auf den untersuchten Substratwinkeln in den beprobten Tiefen.

Tafel 2: Abbildungen der dominanten Arten: Corallinacea (oben), *Haliclona* sp. (rechts), *Hormathia* spp. (rechts), *Urticina eques* (links, Foto von Jürgen Laudien) und Sabellidae (unten)

Tafel 3: vorgefundene Organismenassoziationen in 30 m bis 50 m Tiefe im Kongsfjorden

Tafel 4: vorgefundene Organismenassoziationen in 75m bis 150 m Tiefen im Kongsfjorden

Tafel 5: vorgefundene Organismenassoziationen in 200 m Tiefe im Kongsfjorden

Tafel 2







Tafel 5



4 Diskussion

Mit Hilfe eines ROV erfolgte eine Erfassung der Abundanzen der Makroepizoobenthos-Organismen von Kongsfjordneset. Daraus ließen sich ökologische Größen ermitteln, die zum Vergleich der Tiefenstufen und Substratwinkel und mit anderen Habitaten dienen. Weiterhin wurde mit Hilfe statistischer Analysen ermittelt, ob sich die Organismenassoziationen unterscheiden lassen. So konnten dominante und charakteristische Arten der Assoziationen in den untersuchten Tiefen ermittelt werden. In diesem Kapitel werden die angewandten Methoden und die Ergebnisse einzeln diskutiert und kritisch hinterfragt. Anschließend werden Schlussfolgerungen aus der Untersuchung gezogen und es folgt ein Ausblick für künftige Studien. Da die Klimaveränderungen und menschliche Eingriffe ernsthafte Bedrohungen für das Ökosystem der Arktis sind, befasst sich der Schlussteil mit der Schützenswürdigkeit der Arktis.

4.1 Methodendiskussion

4.1.1 Optische Erfassung der Epibenthosgemeinschaften

4.1.1.1 Probenzahl

Bei der Erstellung eines Plans zur Probenahme (engl. „sampling design“) ist die statistisch zufällige Festlegung (engl. „random sampling“) von Stationen und Replikaten das optimale Verfahren (Elliott 1977). Aus diesem Grund wurden zehn Standbilder der jeweiligen Tiefenstufen und unterschiedlichen Substratwinkel ausgewertet, die zuvor mit Hilfe von Zufallszahlen aus einer Serie von Einzelbildern bestimmt wurden. Der eventuell entstandene systematische Fehler minimiert sich mit zunehmender Probenanzahl. Die Arten-Areal-Kurven (Abbildung 11) verdeutlichen, dass zehn Fotos für die Analyse ausreichen. Die Auswertung war zeitlich im Rahmen dieser Arbeit gerade noch möglich, da die Identifizierung der Organismen von Fotos und den kurz davor und danach entstandenen Videokurzsequenzen vergleichsweise lange dauert. Nachteil der Auswahl von Replikaten ist allerdings, dass sehr seltene Arten, die nur ein bis zweimal in den Videos zu sehen sind (*Solaster sp.*, *Pagurus sp.*, *Holothuroidea sp.*), nicht auf den ausgekoppelten Standbildern zu sehen sind und somit das gesamte Arteninventar von den vollständigen Videosequenzen ermittelt werden musste. Da diese Arten mit insgesamt weniger als 5% der Gesamtabundanz (vgl. Abbildung 14 unter Sonstige) kaum Relevanz für die Gemeinschaftsanalyse haben, ist deren Nichtberücksichtigung vertretbar.

Die Extrapolation der Abundanzdaten auf 1 m^2 war nötig, da die Distanz der Kamera des ROVs zu den Organismen variierte (Erfassung unterschiedlich großer Bildausschnitte) und die Daten so standardisiert werden mussten. Obwohl die erfassten Transekte unterschiedlich lang waren (maximal 47 km) (vgl. Tabelle 1), hatten die auf den Standbildern zu sehenden Areale stets einen Mindestabstand von $> 1,5 \times$ dem Bildausschnitt und können so als unabhängige Replikate betrachtet werden (Conover 1980, Coen 1988).

4.1.1.2 Hochauflösende Unterwasserkamera montiert auf ein ROV als Beprobungsgerät

Die optische Probennahme dieser Arbeit wurde mit Hilfe des ROVs „ACHILLE M4“ durchgeführt. Dieses Gerät wurde zur Untersuchung gewählt, da es einen guten Eindruck der Organismen-Assoziationen unterschiedlicher Wassertiefen (bis 200 m) vermittelt und man direkt über Nah- oder Fernaufnahmen das Habitat beschreiben kann. Dabei kam eine hochauflösende Videokamera (Daten s. Kapitel 2.2) zum Einsatz, die ein annähernd vergleichbares Resultat wie die in den Studien von z.B. Sahade *et al.* (2004) und Beuchel und Gulliksen (2008) benutzten Fotokameras lieferte.

Optische Verfahren in Zusammenhang mit kabelgebundenen Unterwasserfahrzeugen haben die Vorteile, dass die Kamera und die Beleuchtungseinheit von einem Boot aus bedient werden können. Diese Art der Beprobung ist nicht destruktiv, die Gemeinschaften bleiben ungestört und können über mehrere Jahre verfolgt werden (z.B. Rumohr 1995, Schmiing 2005, Beuchel *et al.* 2006, Beuchel & Gulliksen 2008). Vertikale Hartbodengemeinschaften lassen sich außerhalb des Einsatzbereichs von Forschungstauchern kaum anders beproben. Der Einsatz von optischen Methoden ermöglicht zudem die Untersuchung großer Areale und liefert innerhalb kürzester Zeit eine große Datenmenge (Rumohr 1995). Die Methode ist außerdem zur Beschreibung des Arteninventars von polarem Benthos etabliert (Dayton *et al.* 1994, Barthel *et al.* 1991, Barthel & Gutt 1992, Jørgensen & Gulliksen 2001, Teixido *et al.* 2002).

Obwohl im Beprobungszeitraum (9.-12. Juni 2009) eine leichte Trübung des Wasser beobachtet wurde, die auf die Planktonblüte und den Sedimenteintrag durch schmelzende Eisberge und Schmelzwasserbäche und -flüsse im Wasserkörper zurückzuführen ist (Svendsen *et al.* 2002), lieferte die hochauflösende Kamera Bilder in hervorragender Qualität. Diese konnten gut für die Identifikation der Organismen genutzt werden. Außerdem kann der ROV-Pilot und der Wissenschaftler am Monitor in Echtzeit entscheiden, ob von dem gerade optisch erfassten Organismus oder der Teil-Gemeinschaft Nahaufnahmen oder sogar Aufnahmen von einem anderen Winkel gemacht werden sollen. Zudem können Organismen lebend untersucht werden, was die Möglichkeit birgt, Interaktionen der benthischen Organismen mit ihrer Umwelt zu beobachten.

Darüber hinaus ermöglichte die am Rahmen des ROV installierte Sonde die parallele Aufzeichnung von Daten zur Leitfähigkeit, Temperatur und Tiefe (engl. „Conductivity, Temperature, Depth“, CTD) (s. Kapitel 3.2).

Nachteile dieser Probennahmetechnik ist jedoch, dass sessile und freibewegliche Makroinfauna < 1 cm nicht quantitativ erfasst werden kann und daher optisch schwer unterscheidbare und versteckt lebende Arten unentdeckt bleiben (Barthel *et al.* 1991; Roberts *et al.* 1994; Jørgensen & Gulliksen 2001; Sahade *et al.* 2004). So haben Jørgensen und Gulliksen (2001) nur etwa 45% (34) der Arten von Fotos identifiziert, die im gleichen Gebiet durch direkte Beprobungsmethoden (73) erfasst wurden. Auch Sahade *et al.* (2004) haben nur 22 Taxa des Hartbodens im selben Gebiet (Kongsfjordneset) mittels Fotoanalysen erfasst. Die Sedi- mentaufwirbelung, die bisweilen durch das Positionieren des ROVs entsteht, macht es teilweise schwierig, die Organismen zu identifizieren, und auch der Bewuchs durch andere Organismen verhindert eine präzise Bestimmung. Generell ist die Bestimmung der Tiere an Hand von Fotos limitiert, da manche Charakteristika einzelner Arten nur mit Hilfe von Proben und dem Mikroskop erkannt werden können, wie z. B. bei Schwämmen, die über die Form ihrer Nadeln identifiziert werden.

Die Vorteile der Probenahme von sensiblen vertikaler Hartbodengemeinschaften, insbesondere, dass ein Eindruck der Lebensgemeinschaft, der Substrate und deren Neigung und den Lebensbedingungen gewonnen werden kann, überwiegen jedoch im Rahmen dieser Fragestellung bei weitem die Nachteile.

4.1.1.3 Taxonomische Bestimmung

Die Bestimmungsliteratur, die für die Identifizierung der abgebildeten Individuen genutzt wurde, ist in Kapitel 2.3.1 aufgeführt. Um die vorgefundenen Arten mit zukünftigen Untersuchungen vergleichbar machen zu können, sind alle Organismen mit Angabe der/des Erstbeschreiber(s) im Anhang aufgeführt. Teilweise konnten Organismen durch die rein optische Erfassung nicht bis zur Art identifiziert werden. In Zukunft könnte man dem entgegenwirken, indem man Ground-Truth-Daten zur Stützung und Validierung der Klassifikation von Bilddaten erhebt. Dies könnte z.B. mit Hilfe von Saugapparaten (Auster & Tusting 1997) (oder deutlich schlechter mit Dredgenfängen) erfolgen. Mit Hilfe der auf den Standfotos identifizierten Organismen ist es aber möglich, charakteristische Taxa in diesem System festzustellen.

4.2 Ergebnisdiskussion

4.2.1 Artenzahl und Abundanzen

4.2.1.1 Artenzahl

Die in Kapitel 2.4.1 aufgeführte Artenliste (Tabelle 4) beinhaltet 25 Taxa, die alle bereits für den Kongsfjorden und Svalbard nachgewiesen wurden (vgl. Sahade *et al.* 2004, Palerud *et al.* 2004, Beuchel *et al.* 2006). Hinsichtlich der Artenzahl bestimmen Seesterne und Schwämme die Hartbodenfauna von Kongsfjordneset (jeweils vier); die Individuenzahl wird hingegen von Polychaeten und Krustenrotalgen (16 und 2 Individuen m⁻², vgl. Kapitel 3.2) dominiert. Für Kongsfjordneset haben Sahade *et al.* (2004) und Beuchel und Gulliksen (2008) mit den hier untersuchten Organismenassoziationen vergleichbare Gemeinschaften nachgewiesen. Da die Aufnahmen von Sahade *et al.* (2004) im Sommer 2001 erfolgten, können die Unterschiede in den Abundanzen kaum durch interannuelle Schwankungen in den Gemeinschaften zustande kommen. Die Liste der gefundenen Arten ist nicht komplett (s. Tabelle 4), da durch die Art der Probennahme nicht alle Organismen, die in dieser Gemeinschaft leben, erfasst werden können (vgl. Kapitel 4.1.1.2) und es sogar zu einer Unterschätzung der Biodiversität in diesem Gebiet kommen kann (Beuchel & Gulliksen 2008). Da noch keine anderen Hartboden-Studien zu den hier untersuchten Tiefen unterhalb von 30 m vorliegen, kann kein direkter Vergleich hinsichtlich der Biodiversität vorgenommen werden. In den flacheren Tiefen (16 m und 30 m) haben Jørgensen und Gulliksen (2001) 34 Taxa (inkl. Braunalgen, die allerdings ab 30 m kaum mehr vorkommen, Hop *et al.* 2002) durch Unterwasserphotographie identifiziert. Wenn die Infauna mitbetrachtet wird (Untersuchungen mittels Saugpumpe, Jørgensen & Gulliksen 2001), können bis zu dreimal mehr Arten identifiziert werden.

4.2.1.2 Abundanzen

Die dominanten Schlüsselorganismen ändern sich nicht über den untersuchten bathymetrischen Gradienten.

Seltene Arten sind hier *Balanus sp.*, *Holothuroidea sp.*, *Pagurus sp.* sowie der Seestern *Solaster sp.* Hinsichtlich der Abundanz dominieren auf den drei untersuchten Substratwinkeln in 30 m und 50 m die Krustenrotalgen und Aktinien auf den vertikalen Flächen, in einer Tiefe von 75 m bis 200 m neben den Aktinien vor allem die Polychaeten. Auch auf den diagonalen Substratflächen sind diese häufig anzutreffen. Auf den horizontalen Flächen sind Seeigel, die Seespinne *Hya araneus*, *Holothuroidea* sowie vereinzelt Aktinien zu finden. Das Bild der horizontalen Flächen bleibt über den Tiefengradienten im Hinblick auf die Abundanzen und die gefundenen Arten gleich.

Ein Vergleich entlang des bathymetrischen Gradienten zeigt, dass Corallinacea in den Tiefen bis 75 m vorkommen. Das weite, als Habitat nutzbare Tiefenspektrum hängt sicherlich mit der verfügbaren photosynthetisch aktiver Strahlung für Krustenrotalgen zusammen, die bis in den kurzwelligen Bereich durch die Phycobillisome genutzt werden kann. Theoretisch erreicht diese Strahlung eine Tiefe von 200 m (Bischof, K. pers. Mttlg.). Durch die Trübung des Wassers sowie die Absorption durch Plankton kann es jedoch sein, dass über den Jahresgang nicht genug Licht durch das Wasser gelangt, das für die Photosynthese der Corallinacea genutzt werden kann. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit ist, dass das zur erfolgreichen Besiedlung benötigte freie Substrat fehlt. Dieses ist in den Tiefen von 100 m bis 200 m praktisch nicht vorhanden, da die Felsen dicht von Polychaeten und anderer sessiler Fauna besiedelt sind (s. Titelbild und Tafeln 3 bis 5). Zu prüfen wäre, ob diese Organismen die stärkeren Konkurrenten sind und evtl. sich ansiedelnde Krustenrotalgen nach einer Zeit auskonkurrieren, z.B. durch schnelleres Wachstum (arktische Corallinacea wachsen sehr langsam, J. Laudien pers. Mttlg.).

Weiterhin zeigt die vorliegende Studie, dass der Anteil der Polychaeten (s. Abbildung 14) stark mit der Tiefe zunimmt und in 150 m Wassertiefe bis zu 90% der Gesamtorganismenanzahl ausmacht. Die hohe Individuenanzahl wird wahrscheinlich dadurch begünstigt, dass diese passiven Filtrierer einen konstanten Nahrungseintrag haben und es auch genug gelösten Aragonit gibt, um die Kalk-Röhren zu bauen. Auch in anderen Studien verschiedener Klimazonen dominieren Vertreter der Gemeinschaft der Sabellidae (Diaz-Castaneda, 2000 in acht Meter Tiefe und auf künstlichem Substrat). Unterschiede hinsichtlich der Besiedlung unterschiedlicher Substratwinkel werden deutlich. Die Borstenwürmer dominieren auf den vertikalen Flächen, sind aber auch auf diagonalen Substratwinkeln zu finden. Auf horizontalen Substraten sind sie gar nicht vertreten.

Die Anemonen Arten *Hormathia digitata* und *H. nodosa* wurden in allen Tiefen nachgewiesen, sind hier jedoch aufgrund der schweren Unterscheidbarkeit von Fotos zu *Hormathia spp.* zusammengefasst. Diese Anemonen haben ihren größten Anteil in den Tiefen von 30 m bis 75 m, wo sie bis zu 60% der Arten ausmachen. Beuchel und Gulliksen (2008) wiesen eine ähnlich hohe Abundanz für *Hormathia spp.* nach (144.2 ± 75.1 Abundanz / Bedeckung), Sahade *et al.* (2004) fanden *Hormathia nodosa* zwar auf nahegelegenen Hartböden, jedoch erstaunlicherweise nicht in Kongsfjordneset zwischen 5 m und 30 m. Die durch die vorliegende Studie nachgewiesenen hohen Abundanzen sind wahrscheinlich darin begründet, dass die Anemonen in diesen Tiefen genug Nahrung finden und sich gegen konkurrierende Arten durchsetzen können; sie können sogar andere Arten auf Grund ihrer Platzeinnahme und Ernährungsweise verdrängen (Beuchel *et al.* 2006).

Die absolute Individuenanzahl erreichte in Tiefen von 150 m und 200 m ihr Maximum, obwohl hier die wenigsten Taxa gefunden wurden. In den Tiefen 50 m und 75 m lag die Gesamtindividuenanzahl am niedrigsten, obgleich hier die meisten Taxa gefunden wurden. Die Tiefen 30 m und 100 m liegen sowohl mit ihrer absoluten Abundanz als auch mit der Anzahl der bestimmten Taxa im Mittelfeld. Dies kann durch den konstanten Nahrungseintrag in den tieferen Tiefen erklärt werden sein, so dass die Tiere mehr Energie in die Reproduktion (im Gegensatz zur Erholung von Störungen) investieren können und die Nachkommen nicht verdriften, sondern sich in der Nähe der Elterntiere niederlassen.

4.2.2 Zoogeographie und trophische Struktur

4.2.2.1 Zoogeographie

Der arktische Ozean ist verglichen mit der geologischen Geschichte ein junges Meeresgebiet. Erst vor ca. zwei bis drei Millionen Jahren bildeten sich die kalten Gewässer mit gebietsweiser mehrjähriger Eisbedeckung (Curtis 1975). Die arktische marine Fauna ist im Gegensatz zur antarktischen noch im Stadium der aktiven Evolution und Adaption (Dunbar 1968). Daher wird die arktisch litorale Fauna auch von vielen Autoren als „unentwickelt“ beschrieben (z.B. Zenkevitch 1963, Bernard 1979). Im Gegensatz zur Antarktis konnte sich noch keine speziell angepasste Fauna entwickeln (Clarke & Crame 1989). Die arktische marine Fauna kann in autochthone Formen sowie Immigranten aus dem Nordatlantik und Nordpazifik unterteilt werden (Zenkevitch 1963). Benthische Arten mit rein arktischer bzw. sub-arktischer Verbreitung bilden in der Arktis in keiner taxonomischen Gruppe die Mehrheit, da die anpassungsfähigeren arktisch-borealen Arten aufgrund ihrer hohen Toleranz gegenüber abiotischen Faktoren vorherrschen (Curtis 1975). Am Ende des Pleistozäns waren sie aufgrund ihrer Toleranz beim Nachwandern entlang des Kontinentalschelfs begünstigt. Durch die Eismassenverschiebung Richtung Norden ergab sich hier für die litoral-benthischen Tiere die Möglichkeit, in Richtung Norden zu wandern. Daher ist die Arktis heute auch von thermophilen Taxa des atlantischen Ozeans besiedelt, obwohl sich ursprünglich die meisten Arten aus den eurybiotischen Taxa der autochthonen arktischen Fauna entwickelten (Zenkevitch 1963). Dies lässt sich z.B. entlang des Kontinentalschelfs der Sibirischen See in Richtung Schelfhang beobachten: Hocharktische Arten werden graduell von thermophilen Arten ersetzt, die Zahl der arktisch-borealen Taxa nimmt zu und vereinzelt sind auch boreale Arten anzutreffen. Ableitbar ist dieses Muster aus der Verteilung atlantischer Wassermassen und der Fauna entlang des Schelfs (Gorbunov 1939).

Auch das durch die vorliegende Arbeit nachgewiesene Arteninventar bestätigt diese Beobachtung: Die arktisch-borealen Arten machen 70% der Gesamtarten aus. Die zweithäufigste Gruppe sind Tiere mit kosmopolitischer Verbreitung (30%), deren Vorkommen durch den Einfluss der warmen Wassermassen des Westspitzbergenstroms ermöglicht wird (Kapitel 3.4 und Tabelle 7, Abbildung 34 Beprobungsort A). Als rein arktische Arten wurde lediglich *Euphausia sp.* in 150 m und 200 m Tiefe nachgewiesen – ein Charakteristikum des marin-arktischen Benthos (Curtis 1973). Als Ursache für diese Verteilung gilt der Nordatlantikstrom (Abbildung 34, roter Pfeil), der mit seinen nördlichsten Ausdehnungen die Westküste von Svalbard und damit auch den Kongsfjorden beeinflusst (Svendsen *et al.* 2002).

Tabelle 7: Zoogeographische Zonen in Prozent zur Gesamtindividuenzahl verschiedener Autoren. (A) vorliegende Studie und (N) Wlodarska *et al.* 1996. Unterschieden wurden die Zonen arktisch (Arkt.), arktisch-boreal (Arkt.-bor.), boreal und kosmopolitisch (Kosmo.). Die Beprobungsorte Kongsfjorden (A) und Tikhaja-Bucht (N) sind in Abbildung 34 dargestellt und wurden der Tabelle 7 folgend mit entsprechenden Buchstaben versehen.

	Beprobungsort	Arkt.	Arkt.-bor.	Boreal	Kosmo.
A	Kongsfjorden (1)	2%	70%	0%	28%
N	Tikhaja-Bucht (5)	28%	45%	2%	11%

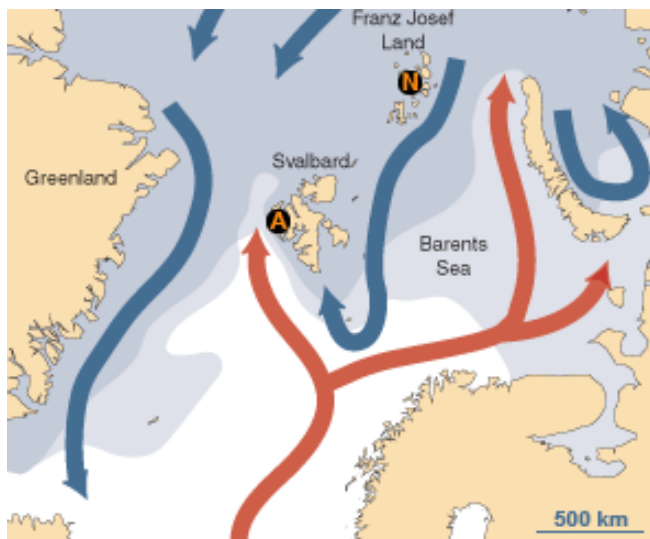


Abbildung 34: Strömungen im arktischen Ozean. A kennzeichnet das Untersuchungsgebiet im Kongsfjorden, Svalbard, N die Tikhaja-Bucht, Franz-Josef-Land (verändert nach Hermann 2004). Die roten Pfeile stellen die Strömungen des atlantischen und die blauen Pfeile die des arktischen Ozeans dar.

Die Studie von Schmiing (2005) aus demselben Untersuchungsgebiet und einer Tiefe von 20 m zeigt, dass ebenfalls arktisch-boreale Arten (70%) dominieren und Tiere mit arktischer (14%), kosmopolitischer (7%) und borealer (9%) Verbreitung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auch eine Studie der Weichbodenfauna im Kongsfjorden (Laudien *et al.* 2004) zeigt ein ähnliches Ergebnis: arktisch-boreale Arten (58%) dominieren vor kosmopolitischen (34%) und arktischen Arten (8%).

Eine zoogeographische Einteilung für den Fjord „Skoddebukta“, Südwestspitzbergen (Wlodarska *et al.* 1996) zeigt, dass etwa 45% der Arten als arktisch-boreal, 30% als typisch arktisch, 10% als kosmopolitisch und 5% als boreal identifiziert wurden. Weitere Untersuchungen von Wlodarska *et al.* (1996) aus dem Kongsfjorden zeigen eine klare Abgrenzung von Regionen mit typischen Gemeinschaften, die jedoch alle von arktisch-borealen Arten dominiert werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Kongsfjorden derzeit von atlantischem Wasser geprägt und so im Vergleich zu anderen Fjorden auf demselben Breitengrad ein „warmer Fjord“ (Tabelle 7, A) ist. Auch in „Skoddebukta“ zeigt sich dieser Einfluss. Das begünstigt arktisch-boreale Arten und erklärt die vorliegenden Ergebnisse. Vergleicht man die Daten mit einem anderen Fjord, der von arktischen Wassern umgeben ist und somit als „kalt“ gilt, wie etwa der Tikhaja-Bucht in Franz-Josef-Land (Tabelle 7, N) (Abbildung 34), dominieren mit Curtis (1973) übereinstimmend ebenfalls die arktisch-borealen Arten (45%), jedoch ist der Anteil der arktischen Arten mit 28% deutlich höher; zudem sind boreale Arten (2%) vertreten. Dieses Muster ist wiederum durch die große Abundanz von Polychaeten und Bivalven mit hohem Verbreitungspotential bedingt. Obwohl Kongsfjorden geographisch in der Arktis liegt, lässt sich anhand der Zoogeographie darauf schließen, dass es sich eher um einen sub-arktischen Fjord handelt (Hop *et al.* 2002).

4.2.2.2 Trophische Struktur und Mobilität

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Gemeinschaft in allen Tiefen von Filtrieren (aktive und passive) dominiert wird. Die Seeigel *Echinus esculentus* und *Strongylocentrotus sp.*, die sich herbiomnivor ernähren, sind in allen Tiefen mit einem gleichen Anteil von 20% vertreten. Carnivore treten auch auf allen Tiefen in Erscheinung, während Omnivore im Vergleich mit den anderen Ernährungsweisen kaum vertreten sind. Auch Sahade *et al.* (2004) wiesen sich in tieferen Stationen (20 m und 30 m) und ähnlichem Untersuchungsgebiet Filtrierer als die dominante Organismengruppe nach. Die Organismen dieses Ernährungstyps sind durch den Einstrom von mit Nahrung angereichertem atlantischem Wasser begünstigt.

In Studien, die an anderen Stellen im Kongsfjorden durchgeführt wurden, sind auch die Filtrierer der dominante Ernährungstyp. Der hohe anorganische Anteil im Wasser (bis zu $800 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ an der Gletscherfront und 20 g m^{-3} in der Mitte des Fjords) (Svendsen *et al.* 2002) bewirkt eine Verdünnung der Nahrung und eine Verstopfung der Filterorgane (Moore 1977), was dazu führt, dass hier weniger Filtrierer gefunden werden.

In Kongsfjordneset bleibt der Anteil an Filtrierer in allen Tiefen gleich groß (Abbildung 16). Eine Erklärung hierfür kann sein, dass es genug organische Partikel in allen Tiefen gibt, die als Nahrung dienen können. Besonders begünstigt sind Filtrierer an exponierten und flachen Stellen (hier vertikale und diagonale Flächen), die nahe dem Primärproduktionsmaximum liegen (Petersen 1978) und nicht, wie auf horizontalen Flächen, zusedimentiert werden. Damit wäre die Dominanz der Filtrierer indirekt mit dem Lichteinfall korreliert, wenn nicht biologischen Faktoren wie Konkurrenz, das Muster überdecken würden. Dass Herbiomnivore auch auf allen Tiefen vorkommen, obwohl der herbivore Anteil der Nahrung in den Tiefen 100 m bis 200 m nicht mehr nachweisbar ist, kann darauf zurückgeführt werden, dass es sich um mobile Arten handelt und sie durch Wanderbewegungen in diese Tiefen kommen.

Weiterhin lässt sich in steigender Tiefe eine Abnahme der carnivoren Arten und eine Zunahme der omnivoren Arten erkennen. Auch für die Weichbodenfauna im Kongsfjorden ist dies zu beobachten (Hermann 2004). Das lässt sich darauf zurückführen, dass Fische, die zum größten Teil Räuber sind, die auf Sicht jagen, in dieser Studie nicht erfasst wurden. Im Gegensatz dazu kommen Omnivore, da sie Generalisten sind, bis in 200 m Tiefe vor, da sie sich von allen verfügbaren Nahrungsarten ernähren können.

Die Einteilung der gefundenen Arten nach ihrer Bewegungsart, die direkt mit der Ernährungsweise verknüpft ist, zeigt (Abbildung 17), dass es in den untersuchten Tiefen mehr sessile als mobile Organismen gibt. Das ist darauf zurückzuführen, dass die sessilen Organismen auf den Fotos besser erfasst werden können als mobile Arten. Da der Anteil der mobilen mit der Tiefe zunimmt, kann darauf zurückgeführt werden, dass sie in diesen Tiefen einen Vorteil haben. Es kann aber auch sein, dass sie in den Tiefen ab 75 m und 100 m durch Wellen nicht verdriftet werden und sie sich auf die Nahrungssuche und Reproduktion konzentrieren können und nicht ihre gesamte Energie in das Zurückwandern investieren müssen. In flacheren Tiefen ist der Nährstoffeintrag hoch genug, dass sich sessile Tiere ernähren können.

4.2.3 Ökologische Indizes

In der vorliegenden Arbeit wurden Diversitätsindizes für Abundanzdaten der untersuchten Kaltwassergemeinschaft berechnet (s. Kapitel 3.5). Die Werte des Shannon-Weaver-Index schwankten zwischen 0,13 und 1,24 (H' , Abundanz). Die Gemeinschaft in 150 m zeigt die geringste Diversität (0,13). Verantwortlich hierfür ist die Dominanz der Polychaeten, die in dieser Tiefe rund 90% der gefunden Individuen ausmachen (Abbildung 20). Bestätigt wird die hohe Dominanz auch durch den Äquitätsindex, der bei einer Tiefe von 150 m den geringsten Wert von 0,05 aufweist und somit auf eine ungleiche Verteilung der Individuen hindeutet. Zudem zeigt diese Tiefe mit fünf Taxa den geringsten Artenreichtum (Abbildung 19, Margalef-Index).

Die Stationen in 75 m und 100 m Wassertiefe zeigen für den Diversitätsindex Werte von 1,12 bzw. 1,25 (Abbildung 20) und damit die höchste Diversität von Kongsfjordneset. Auch die Verteilung der acht (75 m) bzw. neun (100 m) Arten ist auf diesen Tiefen eher homogen (J' von 0,35 bzw. 0,4) (Abbildung 21).

Mit H' von 1,06 zeigt die Gemeinschaft in 50 m Wassertiefe den dritthöchsten Wert des Shannon-Weaver-Index. Zudem ist eine hohe Homogenität (J' : 0,33) und ein vergleichsweise hoher Artenreichtum (15) zu verzeichnen, obwohl hier die geringste Individuenzahl gefunden wurde.

Im selben Untersuchungsgebiet wurde auf vertikalen Flächen ein Shannon-Diversitätsindex von 3,17 bis 3,45 und auf horizontalen Flächen und Überhängen ein Indexwert von 0,58 und 1,59 (Jørgensen & Gulliksen 2001, mit Infauna und in einer Wassertiefe von 20 m bis 30 m) ermittelt. Für eine andere Hartbodengemeinschaft in Schweden (Thomasson & Tunberg 2005) sind die Werte für die Shannon-Weaver-Diversität (1 bis 2,25) und der Äquitätsindex (0,4 bis 1) noch höher. Die ermittelten Werte für die Shannon-Weaver-Diversität liegen bei 30 m bei 2,96 (Jørgensen & Gulliksen 2001), was aufgrund der zusätzlich mit erfassten Infauna deutlich höher ist, als der hier errechnete Wert für 30 m.

Stellt man die hier gemessene Diversität der von Sahade *et al.* (2004) in Kongsfjordneset in 15, 20, 25 und 30m gemessenen gegenüber, lässt sich in beiden Arbeiten einen Anstieg der Diversität mit zunehmender Tiefe erkennen. In der vorliegenden Arbeit liegt das Maximum bei 75 m und 100 m Tiefe. Grund für die Schwankungen der Diversität von ähnlichen Habitaten können verschiedene Sedimentationsraten sein (Kendall & Aschan 1993; Wlodarska *et al.* 1996). Es kann hier nur angenommen werden, dass der abiotische Faktor Wassertiefe die Ursache für die Unterschiede der Diversität entlang des Tiefengradienten ist. Ähnliches wurde auch schon von Herrmann (2004) vermutet. Eine mögliche Erklärung der vorgefundenen Diversität können auch weitere abiotische Faktoren wie das einfallende bzw. das ab einer bestimmten Tiefe fehlende Licht sein.

4.2.3.1 Eisberge und Sedimentationseintrag

Der beobachtete Unterschied in der Diversität entlang des Tiefengradienten (Kapitel 4.2.3) kann nicht wie in früheren Arbeiten (Jørgensen & Gulliksen 2001, Laudien *et al.* 2004, Sahade *et al.* 2004) durch den Einfluss von vorbeitreibenden Eisbergen erklärt werden. Die untersuchten Flächen liegen in einer Tiefe, in der der Meeresboden kaum bis gar nicht von Eisbergen gestört wird. Auch Jørgensen und Gulliksen (2001) wählten eine Tiefe von 20 m und 30 m, um diesen Einfluss ausschließen zu können. Zwar können die von der Gletscherfront abgebrochenen Eisbrocken vor dem Abschmelzen noch so groß sein, dass sie abhängig von der Wassertiefe am Boden tiefe Kratzspuren hinterlassen. Dowsdeswell und Forsberg (1992) fanden aber heraus, dass im Kongsfjorden nur noch 0,5% der Eisberge unter 21 m störend auf die Bodengemeinschaft wirken.

Da die hier untersuchten Gemeinschaften tiefer liegen als die bisher untersuchten Gemeinschaften (Jørgensen & Gulliksen 2001, Sahade *et al.* 2004, Laudien *et al.* 2007), kann man sagen, dass Störungen durch Eisberge unterhalb 30 m zu vernachlässigen sind, zumal offensichtliche Spuren auf dem Videotranssekt nicht festgestellt wurden.

Hier kann eher davon ausgegangen werden, dass der Eintrag von Schmelzwasser über Bäche oder Flüsse einen indirekten Einfluss auf die benthischen Gemeinschaften haben kann, so dass diese in der euphotischen Zone die Primärproduktion beeinflussen (Elverhøi *et al.* 1980, 1983, Eisma 1986, Görlich *et al.* 1987, Eilertsen *et al.* 1989, Sexton *et al.* 1992, Gonzales *et al.* 1994). Diese beeinflusst wiederum benthische Gemeinschaften durch das Vorhandensein von Nahrung und Trübung des Wassers durch die Sedimentation des „Marine Snow“. In den aufgezeichneten Videos ist eine starke Trübung des Wassers ab einer Tiefe von 100 m zu beobachten. Diese kann durch das Vorhandensein des „Marine Snow“ zustande gekommen sein, der durch das Absterben des Phyto- und Zooplankton infolge von osmotischem Schock oder Lichtmangel entstand. Letzteres hat auch Auswirkungen auf den Krustenrotalgenbewuchs, der bei einer Tiefe von 75 m limitiert ist.

Einen weiteren Einfluss, den Eisberge haben können, ist der Eintrag von anorganischem Material. Das kann zu einem Anstieg in dem vorhandenen gelösten mineralischen Sediment führen, das wiederum für die deutliche horizontale Zonierung der Gemeinschaften innerhalb des Kongsfjorden (Gulliksen *et al.* 1985, Kendall 1994, Holte *et al.* 1996, Holte & Gulliksen 1998, Hop *et al.* 2002) verantwortlich ist. So kann es auch für den Unterschied in den beprobten Tiefen verantwortlich sein. Zajączkowski und Włodarska-Kowalczyk (2007) führen auf, dass der Eintrag des organischen Materials in der hier vorliegenden Distanz zum Gletscher keinen Einfluss auf die Gemeinschaft mehr hat, sondern eher der Wind, die Wellen und die Tide. Sie stellen heraus, dass auch Strömungen, die zwar klein sind, aber immer noch Sediment verschleppen, zu dem Sedimenteintrag und zur Trübung des Wassers beitragen können.

4.2.4 Gemeinschaftsanalysen

Gemeinschaftsanalysen mittels multivarianter Methoden zeigen, dass es eine Tendenz sowohl bezüglich des Einflusses der Wassertiefe als auch des Substratwinkels auf die Gemeinschaftsstruktur gibt (Kapitel 3.6).

Die „Ausreißer“ lassen sich dadurch erklären, dass die Fauna im Kongsfjorden aufgrund der komplizierten hydrographischen Verhältnisse auch an eng benachbarten Stellen sehr verschieden sein kann (Svendsen *et al.* 2002). Dadurch können sich einzelne Replikate innerhalb eines Tiefenhorizonts und hinsichtlich eines Substratwinkels von den übrigen unterscheiden. So lässt sich die Gruppe aus horizontalen Replikaten in 30 m durch die Abwesenheit der Anemonen *Hormathia spp.* erklären, während es andere horizontale Flächen gibt, die Siedlungssubstrat aufweisen und so genutzt werden. Die beiden kleinen Gruppen auf 50 m, die aus diagonalen und einer horizontalen Flächen bestehen, sind nicht von Corallinacea und der Anemone *Urticina eques* (Tafel 2) besiedelt. In diesen Tiefen spielen auch noch andere Faktoren eine Rolle, wie z.B. Konkurrenz auf dem Substrat und hohe Sedimentationsraten. In 200 m Tiefe ist die einzelne vertikale Fläche innerhalb der horizontalen und diagonalen Flächen in 200 m Tiefe durch die Abwesenheit der Anemonen *Hormathia spp.* zu erklären, die auch in der restlichen Sequenz dieser Tiefe nicht nachweisbar ist.

Da keine Umwelt-Daten zu den unterschiedlichen Tiefen von Kongsfjordneset verfügbar sind, lässt sich hier nur vermuten, dass die geringfügigen Unterschiede der Organismenassoziationen innerhalb der Tiefen gegenüber den deutlichen Differenzen zwischen den jeweiligen Tiefen und zwischen den flacheren und tieferen Substraten (150 m und 200 m) durch abiotische Umweltbedingungen sowie die Sedimentationsrate von organischem Material und damit der Verfügbarkeit von Nahrung zustande kommen.

Die SIMPER-Analyse zeigt, dass vor allem die Arten *Hormathia spp.*, *Urticina eques*, *Haliclona sp.* und Vertretern der Familie Sabellidae und Corallinacea für die Gemeinsamkeiten der Organismenassoziationen in allen Tiefen verantwortlich sind. Insbesondere die Tiefen 30 m und 50 m sind durch die Anwesenheit von Corallinacea geprägt. Auch in den Arbeiten mit natürlichem Substrat in 15 m Tiefe (Beuchel *et al.* 2006) oder auf künstlichem Substrat in einer Wassertiefe von 20 m (Schmiing 2005) zeigt sich ein hoher Bedeckungsgrad des Substrates (20% der zu besiedelten Fläche nach dreijähriger Expositionszeit oder 60-70% der Abundanz auf natürlichem Substrat) mit korallinen Rotalgen.

Die Studie von Jørgensen und Gulliksen (2001) zeigte ebenfalls, dass die Aktinien *U. eques* und *Hormathia spp.* einen Großteil der gefunden Organismen in einer Tiefe von 20 m und 30 m ausmachten. In 20 m und 30 m tragen zudem die Seepocken *B. balanus*, die Muschel *Hiatella arctia* und die Ascidie *Didemnum albidum* zur Charakterisierung der Hartbodenfauna bei. Diese Arten wurden in der vorliegenden Studie kaum bzw. gar nicht gefunden, so dass vermutet werden kann, dass die Methode diesen Unterschied hervorruft. Allerdings wurden in 30 m und 50 m Tiefe sehr viele *H. arctia* -Schalen gefunden, was auf eine Massenmortalität hindeuten könnte. Es kann hier nicht ausgeschlossen werden, dass die koloniale Ascidie *D. albidum* (http://www.tauchprojekt.de/fauna/didemnum_albidium.jpg, gesehen am 5. 11. 2010), die vom Habitus her einem Schwamm ähnelt, mit einem solchen in Einzelfällen verwechselt wurde. Die Fotos sind darauf hin noch einmal untersucht worden, es lässt sich aber eine Verwechslung nicht ausschließen.

Da sich koralline Rotalgen ihrerseits als hemmender Faktor für die Ansiedlung anderer Algen und auch Invertebraten (Breitenburg 1984) erweisen können und die Metamorphose von Seeigeln begünstigen können (Rahmani & Ueharai 2001), kann ein negativer Effekt (Inhibition und Fraßdruck) auf Invertebraten zustande kommen. Dieser konnte in der vorliegenden Studie und von Schmiing (2005) nicht nachgewiesen werden. Unmittelbar auf bzw. neben den Kalkrotalgen wuchsen Balaniden, Ascidien und Anemonen (s. Tafel 2). Auffällig in 30 m zu beobachten war jedoch, dass dort, wo Kalkrotalgen siedelten, keine anderen Algen zu sehen waren und letztere erst in einigem Abstand wuchsen. Ob dies an einem hemmenden Effekt, herbivoren Räubern, einer geringen Sporenzahl im Wasser oder Umwelteinflüssen liegt (Svendsen *et al.* 2002), ist anhand der vorliegenden Daten nicht weiter differenzierbar.

Seeigel, insbesondere der Seeigel *Strongylocentrotus droebachiensis* wurden in allen Tiefen nachgewiesen. Durch seine Funktion als Schlüsselorganismus, der primär Algen frisst und damit die Bestände der Krustenrotalgen und auch Braunalgen klein hält, sorgt er auch dafür, dass sich andere Organismen z.B. Aktinien, Balaniden oder Bryozoen auf dem freien Substrat ansiedeln können (Sahade *et al.* 2004). Seine Dichte schwankt in der Hartbodengemeinschaft erheblich zwischen den Jahren (Beuchel *et al.* 2006). In den Jahren zwischen 1994 und 1996 verdoppelte sich seine relative Abundanz (von etwa 15% auf 40%), was durch den Anstieg der Abundanz der Braunalgen als Nahrungsgrundlage zu begründen ist. Da sich *S. droebachiensis* nicht ausschließlich herbivor, sondern sich auch von Schwämmen, Bryozoen und Tunicaten ernährt (Briscore & Sebens 1988), ist sein Vorkommen auch in größeren Tiefen erklärbar, wo keine Braun- oder Krustenrotalgen mehr nachgewiesen wurden.

Die Beweidung durch Seeigel hat in den flacheren Gewässern einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung der Organismen. So hält er die Braunalgen auf einer bestimmten Länge und sichert so auch anderen Organismen, die sonst überwuchert werden, einen Raum. So fand Sebens (1985, 1986) heraus, dass sie die meisten sessilen und sesshaften Organismen auf horizontalem Substratwinkel abgeweidet haben und nur eine Schicht Krustenrotalgen zurückbleibt. An dieser Stelle können sich dann auch wieder andere Organismen, z.B. Aktinien oder Ascidien ansiedeln, da genug Raum und Substrat vorhanden ist.

Die beprobten Organismenassoziationen zeigen bei größer werdenden Tiefensprüngen eine zunehmende Unterscheidbarkeit. Die R-Werte der ANOSIM werden bis 150 m Wassertiefe, im Vergleich zur 30 m Gemeinschaft, größer (Abbildung 35), was für eine fortschreitende Veränderung der Gemeinschaften spricht. Im paarweisen Test zeigen die Tiefen 30 m und 150 m mit $R=0,9$ deutlich Unterschiede, was besonders durch die Corallinacea und die Polychaeten zu erklären ist, wobei erstere nicht in 150 m und letztere selten in 30 m vorkommen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist im Kapitel 4.2.5.2 gegeben.

Ab einer Tiefe von 50 m lässt sich kaum bis gar kein ein Unterschied zwischen Temperatur und Salinität feststellen. Weitere abiotische Umweltbedingungen, die eine entscheidende Rolle spielen könnten, ist der Eintrag von Nahrung durch den Einstrom von atlantischem Meerwasser sowie die Einwirkung von Eisbergen. All dies wird in Kapitel 4.2.5 noch einmal näher untersucht.

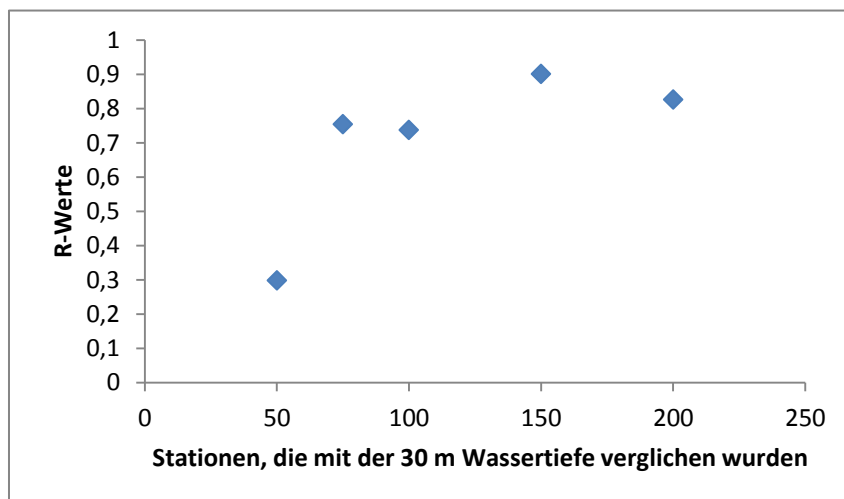


Abbildung 35: R-Werte der ANOSIM 1, bei der unterschiedliche Stationen paarweise mit der Station in 30 m Wassertiefe verglichen wurden.

4.2.4.1 Gemeinschaftsanalyse bezogen auf den bathymetrischen Gradienten

Die Gemeinschaftsanalyse zeigt keine klaren Unterschiede bezogen auf den Tiefengradienten. Es lässt sich nur eine Tendenz erkennen, in der sich die Replikate aus 30 m und 50 m ähnlicher sind als die aus den anderen Tiefen. Weiterhin lässt sich erkennen, dass sich die Organismenassoziationen in 150 m und 200 m ähnlicher sind als die aus den anderen Tiefen. Die Organismenassoziationen in 75 m und 100 m können den Organismenassoziationen aus 30 m und 50 m sowie denen aus 150 m und 200 m zugeordnet werden.

4.2.4.2 Gemeinschaftsanalyse bezogen auf den Substratwinkel

Generell lässt sich sagen, dass sich die vorgefundenen Organismenassoziationen hinsichtlich des Substratwinkels in 30 m und 50 m bzw. die in 150 m und 200 m Tiefe sehr ähnlich sind. In den Tiefen 75 m und 100 m gibt es unterschiedliche Replikate, die teilweise denen in einer Tiefe von 30 m und 50 m und teilweise denen in einer Tiefe von 150 m und 200 m ähnlicher sind. In den Replikaten aus 30 m und 50 m Tiefe unterscheiden sich die untersuchten Substratwinkel kaum in den darauf siedelnden Organismenassoziationen. Für diesen geringen Unterschied sind die Krustenrotalgen und die Aktinien verantwortlich. Es kann nicht bestätigt werden, dass es einen bevorzugten Substratwinkel für die Organismenassoziationen in allen Tiefen gibt.

Die diagonalen Substratwinkel in den untersuchten Tiefen grenzen sich nicht deutlich von denen auf vertikalen und horizontalen Substratwinkeln ab (Abb. A1 - Abb. A13, s. Anhang). Es kann aber festgestellt werden, dass sich die diagonalen und vertikalen Flächen mit zunehmender Tiefe ähnlicher werden als den horizontalen Flächen. Das kann auf eine ähnliche Besiedlung des Substratwinkels durch Polychaeten zurückgeführt werden.

Die Organismenassoziationen, die horizontale Substratwinkel besiedeln, werden mit zunehmender Tiefe bezogen auf das Substrat immer homogener und sich so ähnlicher. Eine Begründung kann die Abwesenheit der Steine und Felsen auf den horizontalen Flächen in zunehmender Tiefe sein.

Die Organismenassoziationen auf vertikalen Substratwinkeln in den untersuchten Tiefen werden denjenigen auf diagonalen Substratwinkeln ähnlicher als denen auf horizontalen Substratwinkeln. Auch hier spielt wahrscheinlich eine ähnliche Besiedlung eine Rolle.

Die Schlussfolgerungen von Jørgensen und Gulliksen (2001), dass sich horizontale Flächen zweier Tiefen ähnlicher als die unterschiedlichen Substratwinkel innerhalb einer Tiefe sind, können durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden. Das kann auch daran liegen, dass in der vorliegenden Studie keine Infauna beprobt wurde. Die Infauna ist eher auf horizontalen Flächen zu finden, da es dort Sediment gibt, das sie besiedeln können. Darauf ist auch der Unterschied bei Jørgensen und Gulliksen (2001) zurückzuführen. Für reine Hartbodenfauna trifft dies nicht zu, da das Substrat in allen Winkeln für die Organismen als Besiedlungssubstrat dienen kann. Daher kommen auch die geringen Unterschiede in Bezug auf die Organismenassoziationen auf den Substratwinkel zu Stande. Da auch die Nahrung durch turbulente Strömungen eingetragen wird, keine Lichtabhängigkeit besteht und sich die Sedimentationsraten mit zunehmender Tiefe an den exponierten horizontalen Flächen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht von denen auf anderen Neigungen unterscheiden, können alle Substratwinkel als Siedlungsort benutzt werden.

4.2.5 Abiotische und biotische Einflüsse

4.2.5.1 Abiotische Einflüsse

Die aufgenommenen CTD-Daten (Abbildung 12 und Abbildung 13) lassen auf eine konstante Salinität und einen konstanten Betrag von gelöstem Material in der Wassersäule schließen. Damit nimmt der Nahrungseinstrom nicht mit zunehmender Tiefe ab und die fehlende Nahrung kann somit nicht für die Unterschiede in den Gemeinschaftsassoziationen verantwortlich sein.

4.2.5.2 Biotische Einflüsse

Konkurrenz und Besiedlungssubstrat

Die Organismenassoziation, die auf vertikalen Flächen leben, sind meistens durch krustenbildende, häufig koloniale Invertebraten charakterisiert. Dominante Arten auf diesen Flächen sind Ascidien, Aktinien und Schwämme. Diese Organismen konkurrieren miteinander um Siedlungssubstrat. Sebens (1985, 1986) zeigte, dass eine Hierarchie existiert, nach der Organismen andere überwachsen können. Dieses Bild der Überwucherung zeigt sich auch auf den vertikalen Flächen in den hier untersuchten Tiefen (Titelbild). Es kann somit vermutet werden, dass Krustenrotalgen in einer Tiefe von 30 m bis 75 m von Aktinien, Ascidien und vereinzelt Polychaeten überwachsen werden. Krustenrotalgen können aber auch den freien Platz um andere Organismen besiedeln. Unterhalb von 75 m scheinen Polychaeten die stärksten Konkurrenten zu sein und bedecken den größten Teil des Substrats, während Aktinien oder Ascidien nicht mehr so häufig anzutreffen sind.

Vermehrung

Die Unterschiede in den untersuchten Tiefen können auch von der Rate und der Art der Vermehrung abhängen. Wenn Aktinien, Ascidien oder Polychaeten hohem abiotischem Stress, z.B. starker Strömung oder wenig Nahrung, ausgesetzt sind, so dass sie viel Energie verwenden müssen, um sich selbst an Ort und Stelle zu halten und mit genügend Nahrung zu versorgen, kann es sein, dass die Anzahl der Nachkommen zurückgeht und sich so weniger Organismen dieser Art auf der Tiefenstufe finden lassen. Dieses Phänomen kann mit der Thorson-Regel begründet werden (Thorson 1950, 1957, Mileikovsky 1971). Diese besagt, dass benthische Invertebraten in polaren Gewässern oft Nachkommen produzieren, die nur kurz als Plankton, dafür häufiger als benthische Larven zu finden sind. Da sich die Larven schnell ansiedeln müssen, um nicht verdriftet zu werden, tun sie dies auf geeignetem Substrat in unmittelbarer Nähe zu den Eltern. Dies führt direkt zu einer höheren Abundanz der stärksten Konkurrenten. Krustenrotalgen können zudem das Siedeln von Evertrebratenlarven hemmen. Graham und Sebens (1996) beschrieben, dass Larven in größerer Abundanz über Substrat, das nicht von Krustenrotalgen kolonisiert war, zu finden waren.

Testen der Hypothesen

Die zu testenden Hypothesen waren erstens, dass sich entlang eines Tiefengradienten (30 m bis 200 m) keine unterschiedlichen Organismengemeinschaften identifizieren lassen, zweitens, dass die Organismengemeinschaften, die unterschiedliche Substratneigungen (horizontal, vertikal und diagonal) in einer Tiefenstufe besiedeln, nicht voneinander zu unterscheiden sind und drittens, dass sich aufgrund der weniger variablen Umweltbedingungen in zunehmender Wassertiefe Organismenassoziationen benachbarter Tiefenstufen im tieferen Sublittoral genauso wie die im flacheren Sublittoral unterscheiden.

Aufgrund der Abundanzdaten und der multivarianten Statistik muss die erste Hypothese zurückgewiesen werden. Es ließen sich verschiedene Organismengemeinschaften entlang eines Tiefengradienten feststellen.

Die zweite Hypothese kann nur für eine Tiefe von 150 m und 200 m zurückgewiesen werden. In den anderen Tiefen stimmt die Hypothese, denn es kann kein Unterschied ausgemacht werden.

Aufgrund der hier gewonnen Einblicke in die Organismenassoziationen kann die dritte Hypothese zurückgewiesen werden. Die Organismenassoziationen ab einer Tiefe von 100 m sind sich ähnlicher als die im flacheren Sublittoral.

Eine mögliche Hypothese für die Erklärung des Diversitätsanstiegs bis in eine Tiefe von 100 m (Abbildung 20) kann sein, dass es unterschiedliche Gemeinschaften gibt, die besser an eine flache oder tiefere Tiefe angepasst sind.

Da sind zu einem die an das „Flachwasser“ angepassten Organismen (bis in eine Tiefe von 30 m), die aufgrund ihrer Struktur besser an die physikalischen Störungen in dieser Tiefe angepasst sind. Die physikalischen Störungen können Oberflächen- sowie Tidenströmungen, die Variabilität im Licht und die Resuspension von organischem Material durch Wellen sein. Die im „Flachwasser“ lebenden Organismen sind vor allem Krustenrotalgen, Aktinien und Ascidien.

Zum anderen gibt es die Gemeinschaften, die an das „Tiefwasser“ angepasst sind, ab einer Tiefe von 150 m vorkommen und sich an einen konstanten Eintrag von Sedimenten, abwesendes Licht und kaum mechanische Störungen durch Wellen und Strömungen gewöhnt haben. Diese im „Tiefwasser“ lebenden Gemeinschaften werden durch die hohe Abundanz von Polychaeten charakterisiert.

Eine weitere Erklärung für die Diversitätszunahme liefert die „physical control hypothesis“ (McLachlan 1990). Sie besagt, dass sich mit zunehmender Tiefe die Einflüsse der physikalischen Umwelteinflüsse auf die Organismen reduzieren. Diese Einflüsse sind z.B. Variabilität im Lichtregime, Resuspension durch Wellen sowie Oberflächen- und Tidenströmungen. Diese Abschwächung bedingt eine höhere Diversität. Abbildung 36 fasst diese Einflüsse noch einmal zusammen. Diese Zunahme der Diversität kann in dieser Studie bis in eine Tiefe von 100 m bestätigt werden.

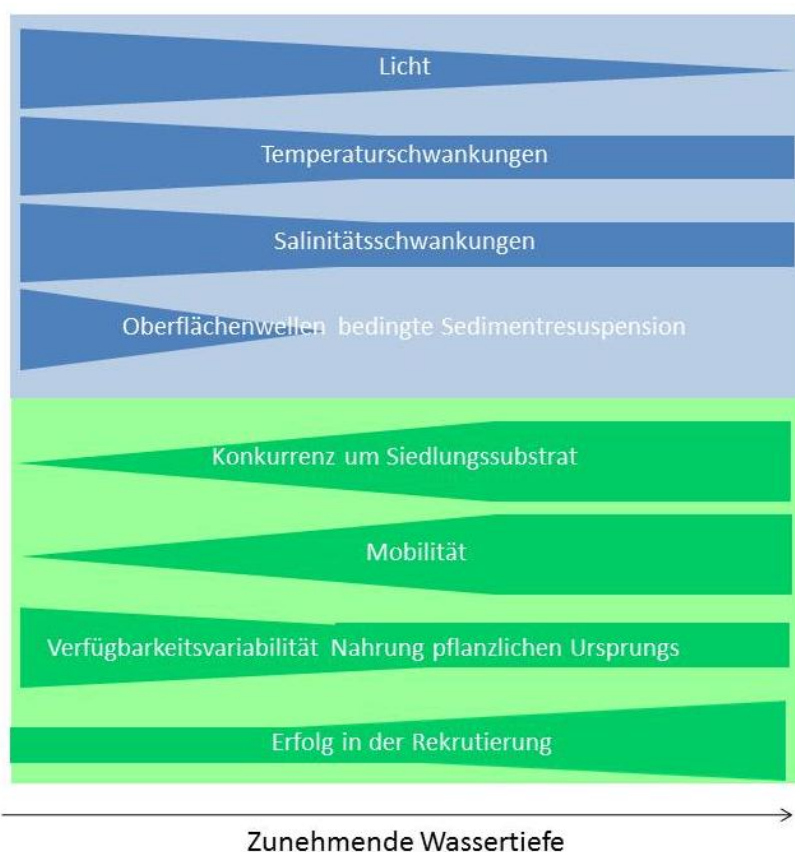


Abbildung 36: Zusammenfassung der wichtigsten abiotischen und biotischen Faktoren der Hartbodengemeinschaften ab einer Tiefe von 30 m im Kongsfjorden.

Die Gemeinschaft in einer „mittleren Tiefe“ (50 m bis 100 m) ist durch die Anwesenheit von Vertretern beider Gemeinschaften charakterisiert. Die Arten addieren sich, wodurch ein Anstieg in der Diversität auf diesen Tiefen zu beobachten ist.

Eine weitere Erklärung hierfür ist die „habitat harshness hypothesis“ (Defeo *et al.* 2001, 2003), die besagt, dass die Tiere, je härter die Umweltbedingungen sind, desto weniger Energie in ihre Fortpflanzung stecken können und umso höher ist auch die Mortalität. Je geringer aber die physikalischen Störungen sind, desto eher wirken biotische Interaktionen. Damit lässt sich der Anstieg der Individuenzahl mit zunehmender Tiefe erklären. Denn in 150 m kann davon ausgegangen werden, dass die physikalischen Einflüsse so gering sind, dass sich die Organismen nur durch Konkurrenz um Nahrung und Raum beeinflussen. Wie die CTD-Graphen (Abbildung 12 und Abbildung 13) ergeben haben, beeinflussen sich die Organismen nicht durch eine Konkurrenz um die Nahrung, da es da einen konstanten Einstrom dieser vorliegt, sondern konkurrieren um den Besiedlungsraum.

4.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Es wird allgemein davon ausgegangen, dass sich Klimaveränderungen zuerst in polaren Gewässern manifestieren. In der Arktis lässt sich das anhand der veränderten Eisbedingungen und der Verteilung atlantischer bzw. arktischer Wassermassen bereits heute bestätigen. Davon zeugt auch die Ansiedlung borealer Arten in diesen Breiten (Willis *et al.* 2007, Cottier *et al.* 2007). Da sich Veränderungen von Umweltbedingungen im Kongsfjorden aktuell erkennbar machen (z.B. Gletscherrückzug und Einwanderung neuer Arten, Kwasniewski *et al.* 2005), ist dieser Fjord ein geeignetes Untersuchungsgebiet, um klimabedingte Änderungen auf Artengemeinschaften zu untersuchen und vorherzusagen. Voraussetzung dafür ist jedoch die Kenntnis der natürlichen Variabilität benthischer Gemeinschaften auf unterschiedlichen Substraten und in verschiedenen Tiefen sowie ein Verständnis der Systemfunktion.

Die vorliegende Untersuchung inventarisiert erstmals sublitorale Hartbodengemeinschaften von 30 m bis 200 m Wassertiefe und schließt eine wichtige Wissenslücke in der Beschreibung von Lebensgemeinschaften auf arktischen marinen Hartböden. Über den Tiefengradienten variierende abiotische und biotische Umweltfaktoren beeinflussen wahrscheinlich die Epizoobenthosgemeinschaft. Um ein detailliertes Bild zu bekommen, welche Faktoren genau das gefundene Muster modulieren, sind weiterführende Studien sowohl zur Variation der Umweltfaktoren in untersuchten Tiefen als auch zur In- und Epifauna auf Hartboden im Kongsfjorden nötig.

Der zunehmende Einstrom von wärmerem Wasser führt zu einer Dichtezunahme des Wassers und könnte sich so direkt auf die Anzahl gelöster organischer Partikel auswirken. Das würde die Verfügbarkeit von Nahrung für Filtrierer direkt beeinflussen. Um eine Veränderung in dem Anteil der gelösten Partikel zu messen, wären Untersuchungen mit Sinkstofffallen und Trübungssensoren in der Wassersäule nötig.

Zur Erhellung der Frage, ob die Tiefenverteilung von Krustenrotalgen in mittlerer Tiefe durch biotische oder abiotischen Faktoren dominiert wird, könnte man z.B. in den Tiefen ab 75 m ein Beleuchtungsexperiment durchführen, um herauszufinden, ob Krustenrotalgen in diesen Tiefen wegen der Lichtlimitation nicht wachsen. Auch könnte man Sukzessionsexperimente analog zu Beuchel und Gulliksen (2008) durchführen, um herauszufinden, ob Krustenrotalgen das Substrat zuerst besiedeln und anschließend durch hierarchische Konkurrenz von anderen Besiedlern verdrängt werden.

Ein Informationsgewinn würde man erreichen, wenn die Infauna analog zu Jørgensen und Gulliksen (2001) in den hier untersuchten Tiefen mit berücksichtigt werden könnte (z.B. Saugapparat an ROV gekoppelt).

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen jedoch, dass die Diversität mit zunehmender Tiefe bis einschließlich 100 m steigt. Danach fällt die Diversität mit zunehmender Tiefe wieder, während die Abundanz pro m^2 steigt. Da noch keine anderen Studien vorliegen, lässt sich vermuten, dass auch dies mit abiotischen und biotischen Einflüssen zusammenhängt.

Der Tiefengradient kann als Erklärung für diesen Befund dienen. Denn mit der Tiefe nehmen vor allem die physikalischen Interaktionen ab, die störend auf eine Gemeinschaft wirken (McLachlan 1990, Abbildung 36). Es müssten also in Zukunft auch abiotische Messungen wie Strömungen, Süßwassereintrag, Lichteinfall etc. in diesen Tiefen durchgeführt werden, um genaue Aussagen darüber treffen zu können, in wie weit sie sich mit steigender Tiefe ändern und so Einfluss auf die Gemeinschaften nehmen. Diese Messungen könnten z.B. mit einem Wasserschöpfer, der an ein ROV gekoppelt wird, gemacht werden.

Ferner sollten biotische Interaktionen wie Prädation und Konkurrenz explizit untersucht werden, um Variationen innerhalb des Benthos erklären zu können. Um herauszufinden, wie sich die Prädation im Benthos auswirkt, könnte man bestimmte Areale in den entsprechenden Tiefen mit Hilfe eines gut ausgerüsteten ROVs (Manipulator unabdingbar) abzäunen, um Räuber oder Herbivore auszuschließen. Dann könnte man die Veränderung der Gemeinschaft mehrere Jahre in diesen Versuchsarealen beobachten. Konkurrenz könnte analog zu Beuchel und Gulliksen (2008) durch die Beobachtung der Sukzession auf freigekehlten Flächen untersucht werden, um zu herauszufinden, welche Organismen sich gegenseitig auskonkurrieren. Durch eine Untersuchung dieser biotischen Interaktionen lassen sich Aussagen über die Wirkweise der unterschiedlichen Faktoren auf die Verbreitung der Organismen entlang eines Tiefengradienten ableiten.

Der Einfluss der Substratneigung auf die siedelnde Lebensgemeinschaft in unterschiedlichen Tiefen ist durch die Ergebnisse dieser Studie nicht eindeutig geklärt. Daher sollten sich weiterführende Studien dieses Themas annehmen. Es kann auf der Datenlage bisher nur der Trend abgeleitet werden, dass Substratwinkel nicht nur in flachen Tiefen (20 m und 30 m) (Jørgensen & Gulliksen 2001) einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung haben, sondern auch in tieferen Tiefen (ab 30 m). Mit den gewonnenen Daten aus den Tiefen lässt sich erkennen, dass der Substratwinkel mit zunehmender Tiefe wichtiger wird. So sind diagonale und vertikale Flächen stärker mit Epibenthos besiedelt als horizontale Flächen.

Die vorliegende Studie ist die Basis zum Verständnis der Hartbodengemeinschaft in den Tiefen 30 bis 200 m im Kongsfjorden. Die vorgenommene Inventarisierung sollte bald weiter ausgebaut werden, z.B. durch „Ground Truthing“, um alle Organismen bis auf Artniveau bestimmen zu können und somit auch ein genaueres Bild von den Gemeinschaften in diesen Tiefen zu gewinnen. Weiterhin könnten Langzeitstudien, die sich mit abiotischen und biotischen Interaktionen beschäftigen, auf diese Studie zurückgreifen, um eine Vorstellung von der Manipulation der Gemeinschaften zu bekommen.

Um in Zukunft Ergebnisse aus Forschungsarbeiten besser miteinander vergleichen zu können, wäre eine Datenbank für Benthosorganismen auf Hartboden wünschenswert, die die Rohdaten und Fotos im Internet kostenlos zur Verfügung stellt.

5 Literatur

- Arntz, W.E. & Laudien, J. (2006) Die Mär vom grenzenlosen Reichtum: Was macht die Ozeane (un)produktiv? *HGG Journal* Heidelberger Geographische Gesellschaft, **19+20**, 3-22.
- Arntz, W.E. & Rumohr, H. (1982) An experimental study of macrobenthic colonization and succession, and the importance of seasonal variation in temperate latitudes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **64**, 17-45.
- Auster, P.J. & Tusting, R.F. (Guest eds) (1997) Scientific sampling systems for submersible vehicles. *Marine Technology Society Journal*, **31** (3), 83.
- Barnes, D.K.A. & Rothery, P. (1996) Competition in encrusting Antarctic bryozoan assemblages: outcomes, influences and implications. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **196**, 267-284.
- Barthel D, Gutt J (1992) Sponge associations in the Eastern Weddell Sea. *Antarctic Science* **4**, 137-150.
- Barthel D, Gutt J, Tendal OS (1991) New information on the biology of Antarctic deep-water sponges derived from underwater photography. *Marine Ecology Progress Series* **69**, 303-307.
- Bernard, F.R. (1979). Bivalve mollusks of the Western Beaufort Sea. Contributions in Science. *Natural History Museum Los Angeles County. Natural History Museum Los Angeles County: Los Angeles, CA (USA)* **1**, 313, 1-80.
- Beszczynska-Möller A, Weslawski JM, Walczowski W, Zajaczkowski M (1997) Estimation of glacier melt-water discharge into Svalbard coastal waters. *Oceanologia* **39**, 289-298.
- Beuchel, F. & Gulliksen, B. (2002) Monitoring of rocky-bottom biotopes in northern Norway and Svalbard using image analyses. *ICES Council Meeting Documents*.
- Beuchel, F. & Gulliksen, B. (2008) Temporal patterns of benthic community development in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard): results of a 24-year manipulation study (1980-2003). *Polar Biology*, **31** (8), pp. 913-924.
- Beuchel, F., Gulliksen, B., Carroll, M. L. (2006) Long-term patterns of rocky bottom macrobenthic community structure in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) in relation to climate variability (1980-2003). *Journal of Marine Systems*, **63**, Issues 1-2, pp. 35-48.
- Bick, H. (1998) *Grundzüge der Ökologie*, 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm. pp. 368.
- Bluhm B, Iken K, Laudien J, Lippert H (2001) German activity in cold water scientific diving. In: Jewett SC (ed) Cold water diving for science. Proceedings of the 21st annual scientific diving symposium, American academy of underwater sciences. University of Alaska Sea Grant, AK-SG-01-06, Fairbanks, pp 1-4.
- Bowden, D.A. (2005) Seasonality of recruitment in Antarctic sessile marine Benthos. *Marine Ecology Progress Series*, **297**, 101-118.
- Bram, J.B., Page, H.M., Dugan, J.E. (2004) Spatial and temporal variability in early successional patterns of an invertebrate assemblage at an offshore oil platform. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **317**, 223-237.
- Bray, J.R. & Curtis, J.T. (1957) An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**, 325-349.
- Breitburg, D.L. (1984) Residual effects of grazing: inhibition of competitor recruitment by encrusting coralline algae. *Ecology*, **65**, 1136-1143.
- Campbell, Neil A.; Reece, Jane B. (2006) *Biologie*, Pearson Studium München.
- Carmack, E.C. (1990) *Large-Scale physical oceanography of Polar Oceans*. In: Walker, O.S. (Hrsg.). Polar Oceanography, Part A: Physical science. Academic Press, San Diego. pp. 171-222.
- Clarke, A (2008). Marine benthic populations in Antarctica: Patterns and Processes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **366** (2008), 48-55.
- Clarke, A. & Crame, J.A. (1989). The origin of the Southern Ocean marine fauna. In: Crame, J.A. (Hrsg.) Origins and evolution of the Antarctic Biota. *Geological Society Special Publication* **47**, pp. 253-268.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N. (2006) *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth. pp 17-88.
- Clarke, K.R. & Warwick, R.M. (2001) *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation 2nd edition*. Natural Environmental Research Council, Plymouth.
- Coen, L.D., 1988: Herbivory by Caribbean majid crabs: feeding ecology and plant susceptibility. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **122**, 257-276.
- Coleman, M.A. (2003) Effects of ephemeral algae on coralline recruits in intertidal and subtidal habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **282**, 67-84.
- Connell, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* **199**, 1302-1310.
- Connell, J.H. & Slayter, R.O. (1977) Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, **111**, 1119-1144.
- Conover, W.J., 1980: Practical nonparametric statistics, 2nd edn. Wiley, New York.

- Cottier FR., Nilsen F., Inall ME., Gerland S., Tverberg V., Svendsen H. (2007) Wintertime warming of an Arctic shelf in response to large-scale atmospheric circulation *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, **34**, L10607
- Curtis, M.A. (1973). The marine benthos of arctic and sub-arctic continental shelves. *Polar Record*, **17** (111), 595-626.
- Curtis, M.A. (1977). Life cycles and population dynamics of marine benthic polychaetes from the Disko Bay area of West Greenland. *Ophelia* **16** (1), 9-58.
- Curtis, M.A. (1975) The marine Benthos of Arctic and Sub-Arctic continental shelves. *Polar Record*, **17**, 595-626.
- Dayton, P.K. (1989) Interdecadal Variation in an Antarctic Sponge and Its Predators from Oceanographic Climate Shifts. *Science*, **245**, 1484-1486.
- Dayton, P.K. (1990) Polar Benthos. In: Smith, W.O. (Hrsg.) *Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology and Geology*. Academic Press, London. pp. 631-686.
- Dayton, P.K., Mordida, B.J., Bacon, F. (1994) Polar Marine Communities. *American Zoologist*, **34**, 90-99.
- Denton, G.H., Hughes, T.J. (1981). *The last great Ice sheets*. Wiley, New York.
- Diaz-Castaneda, V. (2000) The early establishment and development of a polychaete community settled on artificial substrata at Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, **67**, 321-335.
- Dowdeswell, J.A. & Forsberg, C.F. (1992) The size and frequency of icebergs and bergy bits derived from tidewater glaciers in Kongsfjorden, northwest Spitsbergen. *Polar Research*, **11**, 81-91.
- Dunbar, M.J. (1968) *Ecological development in polar regions: a study in evolution*, pp. 1-119. Prentice Hall, Englewood Clifford, New Jersey.
- Dunton, K. (1992) Arctic biogeography: The paradox of the marine benthic fauna and flora. *Trends in Ecology & Evolution*, **7**, 183-189.
- Dybern, B.I., Ackefors, H. & Elmgren, R. (1976). *Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea*. Baltic Marine Biologist Publication, pp. 1-99.
- Eilertsen, H. c., Taasen J.P & Weslawski, J.M (1989). Phytoplankton studies in the fjords of west Spitzbergen: physical environment and production in spring and summer. *Journal of Plankton Research* **11**, 1245-1260.
- Eisma, D. (1986). Flocculation and deflocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*. **20**, 183-199.
- Elliott, J.M. (1977). *Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates*: Scientific publication No. 25. Freshwater Biological Association, Ambleside, pp. 159.
- Elverhøi A, Liestøl O, Nagy J (1980) Glacial erosion, sedimentation and microfauna in the inner part of Kongsfjorden, Spitsbergen. *Norsk Polarinstitutt Skrifter* **172**, 33-60.
- Elverhøi A, Lønne Ø, Seland R (1983) Glaciomarine sedimentation in a modern fjord environment, Spitsbergen. *Polar Research* **1**, 127-149.
- Fairfull, S.J.L. & Harriott, V.J. (1999) Succession, space and coral recruitment in a subtropical fouling community. *Marine & Freshwater Research*, **50**, 235-242.
- Farrow GE, Syvitsky JPM, Tunnicliffe V (1983) Suspended particulate loading on the macrobenthos in a highly turbid fjord: Knight Inlet British Columbia. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences/Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* **40** (Suppl 1), 273-288.
- Fraschetti, S., Giangrande, A., Terlizzi, A., Boero, F. (2002) Pre- and post-settlement events in benthic community dynamics. *Oceanologica Acta*, **25**, 285-295.
- Gaston, K.J. (Hrsg.) (1996) *Biodiversity: a Biology of Numbers and Difference*. Blackwell Science, Oxford. pp. 396.
- Gleason, H.A. (1922). On the relation between species and area. *Ecology* **3**, 158-162.
- Golikov, A.N. & Scarlato, O.A. (1989) *Evolution of Arctic ecosystems during the Neogene Period*. In: Herman, Y. (Hrsg.). *The arctic seas: Climatology, Oceanography, Geology and Biology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. pp. 257-275.
- Gonzalez, H. E., Gonzalez, S. R. & Brummer, G. J. A. 1994: Short-term sedimentation pattern of zooplankton, faeces and microplankton at a permanent station in the Bornafjorden (Norway) during April - May 1992. *Marine Ecology Progress Series* **105**, 31-45.
- Gorbunov, G. (1939) Bottom population of the Soviet Arctic seas (auf Russisch). *Problems of the Arctic*, **7-8**.
- Görlich K, Weslawski JM, Zajaczkowski M (1987) Suspension settling effect on macrobenthos biomass distribution in the Hornsund fjord Spitsbergen. *Polar Research* **5**, 175-192.
- Graham, K.R., Sebens, K.P. (1996). The Distribution of Marine Invertebrate Larvae Near Vertical Surfaces in the Rocky Subtidal Zone. *Ecology*, **77** (3), 933-949.
- Gray JS (2001) Marine diversity: the paradigms in patterns of species richness examined. *Scientia Marina* **65**(2), 41-56.
- Gray, J.S. (2000) The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **250**, 23-49.
- Grebmeier JM, Barry JP (1991) The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: A benthic perspective. *Journal of Marine Systems*, **2** (1991), 495-518.

- Gulliksen B, Holte B, Jakola KJ (1985) *The soft bottom fauna in van Mijenfjord and Raudfjord, Svalbard*. In: Gray J, Christiansen ME (eds) Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. Wiley, New York, pp. 199-215.
- Gulliksen, B., Palerud, R., Brattegard, T. & Sneli, J.-A. (1999). Distribution of marine benthic macroorganisms at Svalbard (including Bear Island) and Jan Mayen. DN rapport / Direktoratet for Naturforvaltning. pp. 1-148.
- Gulliksen, B. & Svensen, E. (2004) *Svalbard and life in polar oceans*. Kom forlag, Kristiansund. pp. 160.
- Gutt, J. (2001) On the direct impact of ice on marine benthic communities, a review. *Polar Biology* **24**, 553-564.
- Gutt, J., Piepenburg, D. (2003). Scale-dependent impact on diversity of Antarctic benthos caused by grounding of icebergs. *Marine Ecology Progress Series* **253**, 77-83.
- Gutt, J., Starmans, A., Dieckmann, G. (1996) Impact of iceberg scouring on polar benthic habitats. *Marine Ecology Progress Series*, **137**, 311-316.
- Hassol, S.J. (2004) *Impacts of warming arctic*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 139.
- Herrmann, M. (2004) Makrozoobenthos-Gemeinschaften arktischer Weichböden: Struktur und Bedeutung als Nahrungsgrundlage demersaler Fische. Diplomarbeit, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Holte B, Gulliksen B (1998) Common macrofaunal dominant species in the sediments of some north Norwegian and Svalbard glacial fjords. *Polar Biology* **19**, 375-382.
- Holte, B. & Gulliksen, B. (1987). Benthic communities and their physical environment in relation to urban pollution from the city of Tromsø, Norway. 2. Soft-bottom communities. *Sarsia* **72**, 133-141
- Holte, B. & Oug, E. (1996). Soft-bottom macrofauna and responses to organic enrichment in the subarctic waters of Tromsø, Northern Norway. *Journal of Sea Research* **36**(3/4), 227-237.
- Holte, B., Dahle, S., Gulliksen, B. & Næs, K. (1996). Some macrofaunal effects of local pollution and glacier-induced sedimentation, with indicative chemical analyses, in the sediments of two Arctic fjords. *Polar Biology* **6**, 549- 557.
- Holte, B., K.-J. Jakola & B. Gutliksen, 1987. Benthic communities and their physical environment in relation to urban pollution from the city of Tromsø, Norway. 1. The physical environment: hydrography, plant nutrients, organic enrichment, heavy metals, and redox conditions. *Sarsia* **72**, 125-132.
- Hop H., Pearson T., Hegseth E.N., Kovacs K.M, Wiencke C., Kwasniewski S, Eiane K, Mehlum F., Gulliksen B, Wlodarska-Kowalczyk M., Lydersen C., Weslawski JM, Cochran S., Gabrielsen G.W., Leakey R., Lønne O.J., Zajaczkowski M., Falk-Petersen S., Kendall M., Wängberg S-Å., Bischof K., Voronkov A.Y., Kovaltchouk N.A., Wiktor J., Poltermann M., di Prisco G., Papucci C. & Gerland S. (2002) The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Research* **21**(1), 167-208.
- Ito, H. & Kudoh, S. (1997) Characteristics of water in Kongsfjorden, Svalbard. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology*, **11**, 211-232.
- Jørgensen, L.L. & Gulliksen, B. (2001) Rocky Bottom fauna in arctic Kongsfjord (Svalbard) studied by the means of suction sampling and photography. *Polar Biology*, **24**, 113-121.
- Kendall, M.A. & Aschan, M. (1993). Latitudinal gradients in the structure of macrobenthic communities: A comparison of Arctic, temperate and tropical sites. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **172**, 157-169.
- Kohler, K. E., Gill, S. M., 2005. Coral Point Count with Excel extensions (CPCE): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* **32** (9), 1259-1269.
- Kotwicki, L., Szymelfenig, M., De Troch, M., Zajaczkowski, M. (2004). Distribution of meiofauna in Kongsfjorden, Spitsbergen. *Polar Biology*. **27**, 661-669.
- Kratochwil, A. & Schwabe, A. (2001) *Ökologie der Lebensgemeinschaften: Biozönologie*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 756.
- Kruskal, J.B. & Wish, M. (1978). *Multidimensional Scaling*. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences: 11. Sage Publications, Newbury Park, CA. pp. 93.
- Kwasniewski, S., Hop, H., Falk-Petersen, S., Pedersen, G., 2003. Distribution of Calanus species in Kongsfjorden, a glacial fjord in Svalbard. *Journal of Plankton Research*, **25**, 1-20.
- Lalli, C.M. & Parsons, T.R. (1997) *Biological Oceanography: an introduction*, 2. Auflage. Butterworth Heinemann, Oxford. pp. 314.
- Laudien, J., Herrmann, M., Arntz, W. (2004) Soft bottom community structure and diversity in Kongsfjorden (Svalbard). In: Wiencke, C. (Hrsg.) The coastal ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard. Synopsis of biological research performed at the Koldewey Station in the years 1991 - 2003. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*, **492**, 91-102.
- Loeng, H. (1991). Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea. *Polar Research*, **10**, 5-18.
- Lundälv, T., 1971. Quantitative studies on rocky bottom biocoenoses by underwater photogrammetry. *Thalassia Jugoslavica* **7** (1), 201-208.

- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA., pp. 203.
- Menge, B.A. (1991) Relative importance of recruitment and other causes of variation in rocky intertidal community structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **146**, 69-100.
- Mileikovsky, S.A. (1971) Types of larval development in marine bottom invertebrates, their distribution and ecological significance: a re-evaluation. *Marine Biology*, **10**, 193-213.
- Moen, F. E. & Svenson, E. (2004) *Marine fish & invertebrates of Northern Europe*. Kom forlag, Kristiansund.
- Moore PG (1977) Inorganic particulate suspensions in the sea and their effects on marine animals. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* **15**, 225-363.
- Nentwig, W., Bacher, S., Brandl, R (2007) *Ökologie kompakt*, 5. Auflage, Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Nybakken, J. W. (2001) *Marine biology : an ecological approach*. 5. Auflage, Benjamin Cummings, San Francisco. pp.246
- Odum, E.P. (1983). *Grundlagen der Ökologie*. Thieme, Stuttgart [u.a.]. pp. 836.
- Palerud, R., Gulliksen, B., Brattegard, T., Snøli, J.-A., Vader, W. (2004) The marine macro-organisms in Svalbard waters. In: P. Prestrud, H. Strøm, H. V. Goldman (Hrsg.). A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard. *Norsk Polarinstitutt. Skrifter*, **201**: 5-56.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., Torres, F.J.R. (1998) Fishing down marine food webs. *Science*, **279**, 860-863.
- Petersen, G.H. (1978). Life cycles and population dynamics of marine benthic bivalves from the Disko Bugt area of West Greenland. *Ophelia* **17**, 95-120.
- Pfirman, S.L., Bauch, D. & Gammelsrød, T. (1994). The Northern Barents Sea: Water mass distribution and modification. In: Johannessen, O.M., Muench, R.D. & Overland, J.E. (Hrsg). *The Polar Oceans and Their Role in Shaping the Global Environment*. pp.77-94.
- Pielou, E.C. (1975). *Ecological Diversity*. Wiley, New York [u.a.]. pp. 165.
- Piepenburg, D., Chernova, N.V., von Dorrien, C.F., Gutt, J., Neyelov, A.V., Rachor, E., Saldanha, L., Schmid, M.K. (1996) Megabenthic communities in the waters around Svalbard. *Polar Biology*, **16**, 431-446.
- Prisco, G., Papucci, C., Gerland, S. (2002) The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Research*, **21**, 167-208.
- Qui, J.W. & Quian, P.-Y. (1997) Effects of food availability, larval source and culture method on larval development of *Balanus amphitrite amphitrite* Darwin: implications for experimental design. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **217**, 47-61.
- Rahmani, M.A. & Ueharai, T. (2001) Induction of Metamorphosis and Substratum Preference in Four Sympatric and Closely Related Species of Sea Urchins (Genus *Echinometra*) in Okinawa. *Zoological Studies*, **40**, 29-43.
- Roberts DE, Fitzhenry SR, Kennelly SJ (1994) Quantifying subtidal macrobenthic assemblages on hard substrata using a jump camera method. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **177**, 157-170.
- Rumohr H (1995) Monitoring the marine environment with imaging methods. *Scientia Marina* **59**, 129-138
- Sahade R, Tatián M, Kowalke J, Kühne S, Esnal GB (1998) Benthic faunal associations on soft substrates at Potter Cove, King George Island, Antarctica. *Polar Biology* **19**, 85-91.
- Sahade, R., Stellfeldt, A., Tatián, M., Laudien, J. (2004) Macro-epibenthic communities and diversity of Arctic Kongsfjorden, Svalbard, in relation to depth and substrate. Wiencke, Christian. The coastal ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard. Synopsis of biological research performed at the Koldewey Station in the years 1991 - 2003. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*, **492**, 103-111.
- Schaefer, M. (2003) *Wörterbuch der Ökologie*, 4. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin. pp. 452.
- Schmiing, M. (2005) Sukzession in benthischen Makrofauna-Gemeinschaften in der Arktis- ein Jahresvergleich. Diplomarbeit, Fachbereich 2, Universität Bremen. pp. 12.
- Sexton D. J., Dowdeswell J. A., Solheim A. & Elverhoi, A. 1992: Seismic architecture and sedimentation in northwest Spitsbergen fjords. *Marine Geology*, **103**, 53-68.
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Chicago: University Illinois Press: pp.111.
- Starmans, A., Gutt, J., Arntz, W. (1999) Mega-epibenthic communities in Arctic and Antarctic shelf areas. *Marine Biology*, **135**, 269-280.
- Svensen, H., Beszczynska-Møller, A., Hagen, J.O., Lefauconnier, B., Tverberg, V., Ørbæk, J.B., Bischof, K., Papucci, C., Zajaczkowski, M., Azzolini, R., Bruland, O., Wiencke, C., Winther, J.-G., Dallmann, W. (2002) The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard. *Polar Research*, **21**, 133-166.

- Syvitski J. P. M., Farrow G. E., Atkinson R.J.A., Moore P. G., Andrews J. T. (1989) Baffin Island fjord macrobenthos: bottom communities and environmental significance. *Arctic* **42**, 232-247.
- Tarazona, J., Salzwedel, H. & Arntz, W.E. (1988). Oscillations of macrobenthos in shallow waters of the Peruvian central coast induced by El Niño 1982-83. *Journal of Marine Research* **46**, 593- 611.
- Tardent, P. (1993) *Meeresbiologie: eine Einführung*, 2. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. pp. 305.
- Teixido N., Garrabou J., Arntz W. E. (2002) Spatial pattern quantification of Antarctic benthic communities using landscape indices. *Marine Ecology Progress Series* **242**, 1-14.
- Thomasson, M.A., Tunberg, B.G. (2005). Composition and vertical distribution of the motile epifauna on a vertical rock wall in Gullmarsfjorden, western Sweden, using an alternative sampling approach. *Marine Biology Research*, **1**, 107-117.
- Thorson, G. (1957) *Bottom communities (sublittoral or shallow shelf)*. In "Treatise on Marine Ecology and Palaeoecology" (Ed J.W. Hedgpeth). *Geological Society of America*. pp. 461-534.
- Thorson, G. (1950) Reproduction and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biological review*, **25**, 1-45.
- Torlegard, A.K., Lundälv, T.L., 1974. Under-water analytical system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **40** (3), 287-293.
- Tunberg, B.G., Nelson, W.G., 1998. Do climatic oscillations influence cyclical patterns of soft bottom macrobenthic communities on the Swedish west coast? *Marine Ecology-Progress Series* **170**, 85-94.
- Turner, S.J. & Todd, C.D. (1993) The early development of epifaunal assemblages on artificial substrata at two intertidal sites on an exposed rocky shore in St. Andrews Bay, N.E. Scotland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **166**, 251-272.
- Wahl, M. (1987) Epibiosis und Antifouling im Meer. Die Abwehrmechanismen der kolonialen Seescheide *P. lacazei* gegenüber dem Besiedlungsdruck durch potentielle Epibionten. Dissertation, Christian-Albrecht-Universität zu Kiel. pp. 140.
- Wahl, M. (1989) Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Marine Ecology Progress Series*, **58**, 175-189.
- Weslawski, JM; Koszteyn, J; Zajaczkowski, M; Wiktor, J; Kwasniewski, S (1995) Fresh water in Svalbard fjord ecosystems In: Skjoldal HR, Hopkins C, Erikstad KE, Leinaas HP (eds) *Ecology of Fjords and Coastal Waters: Proceedings of the mare Nor Symposium on the Ecology of Fjords and Coastal Waters*, Tromsø, Norway, 5-9 December, 1994. Elsevier, Amsterdam, pp. 229-241.
- Willis KJ., Cottier FR., Kwasniewski S. (2007) Impact of warm water advection on the winter zooplankton community in an Arctic fjord. *Polar Biology*, **31** (4), 475-481.
- Wittig, R. & Streit, B. (2004) *Ökologie*. Uni-Taschenbücher GmbH, Stuttgart. pp. 304.
- Wlodarska, M., Weslawski, J.M. & Gromisz, S. (1996). A comparison of the macrofaunal community structure and diversity in two Arctic glacial bays - a 'cold' one off Franz Josef Land and a 'warm' one off Spitsbergen. *Oceanologia* **38** (2), 251-283.
- Wlodarska-Kowalczyk M, Pearson TH (2003) Soft-bottom macrobenthic faunal associations and factors affecting species distributions in Arctic glacial fjord (Kongsfjord, Spitsbergen). *Polar Biology*, **27**, 155-167
- Wlodarska-Kowalczyk, M., Kendall, M.A., Weslawski, J.M., Klages, M., Soltwedel, T. (2004) Depth gradients of benthic standing stock and diversity on the continental margin at a high-latitude ice-free site (off Spitsbergen, 79°N). *Deep-Sea Research*, **1** (51), 1903-1914.
- Wlodarska-Kowalczyk, M., Wesawski, J.M. & Kotwicki, L. (1998). Spitsbergen glacial bays macrobenthos - a comparative study. *Polar Biology*. **20**, 66-73.
- Woodin, S.A., Lindsay, S.M., Lincoln, D.E. (1997) Biogenic bromophenols as negative recruitment cues. *Marine Ecology Progress Series*, **157**, 303-306.
- Wotton, J.T. (2002) Mechanisms of successional dynamics: Consumers and the rise and fall of species dominance. *Ecological Research*, **17**, 249-260.
- Young, C.M. & Chia, F.-S. (1981) Laboratory evidence for delay of metamorphosis of larval settlement in response to a dominant competitor. *International Journal of Invertebrate Reproduction*, **3**, 221-226.
- Zajaczkowski, M., Włodarska-Kowalczyk, M. (2007). Dynamic sedimentary environments of an Arctic glacier-fed river estuary (Adventfjorden, Svalbard). I. Flux, deposition, and sediment dynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **74** (1-2), 285-296.
- Zajaczkowski, M.J., Legezynska, J., (2001). Estimation of zooplankton mortality caused by an Arctic glacier outflow. *Oceanologia* **43**, 341e3
- Zenkevitch, L. (1963). *Biology of the Seas of the U.S.S.R.* George Allen & Unwin, London. pp. 956-995.

6 Anhang

Das Python-Skript, das für die Generierung der Standbilder aus den Videos dient:

```

from itertools import chain, starmap
from os import sep
from random import sample

# Tuples of start frame and end frame each...
with open('videos.txt') as infile:
    videos = eval(infile.read())

frame_count = 50
frame_rate = 25

for infile_base_name, selections in videos.items():
    for description, selection in selections.items():
        directory_name = infile_base_name + '_' + description
        with open(directory_name + '.bat', 'w') as outfile:
            print(
                'MKDIR {} \n'.
                format(directory_name),
                file=outfile
            )
            print(
                'REM Selections frame count (k) : {:06} \n'.
                format(frame_count),
                file=outfile
            )
            selection_number = 1
            for selection_start, selection_end in selection:
                print(
                    'REM Selection {0:03} start frame : {1:06} \n'.
                    'REM Selection {0:03} end frame : {2:06} \n'.
                    format(
                        selection_number,
                        selection_start,
                        selection_end
                    ),
                    file=outfile
                )
                selection_number += 1
            for frame in sorted(
                sample(
                    list(
                        chain(
                            *starmap(
                                lambda selection_start, selection_end:
                                    range(selection_start, selection_end + 1),
                                    selection
                            )
                        )
                    ),
                    frame_count
                )
            ):
                # Time position in seconds.
                position = frame / float(frame_rate)
                print(
                    'ffmpeg '
                    '# -ss *must* precede -i!'
                    '-ss {position:8.3f} '
                    '-i {infile_base_name}.m4v '
                    '-vframes 1 '
                    '# -s WxH '
                    '{directory_name}'
                    '{sep}'
                    '{infile_base_name}_ '
                    '{frame:06}_ '
                    '{hours:02.0f}h'
                    '{minutes:02.0f}m'
                    '{seconds:06.3f}s'
                    '.bmp'.
                    format(
                        infile_base_name=infile_base_name,
                        position=position,
                        directory_name=directory_name,
                        sep=sep,
                        frame=frame,
                        hours=position // 3600,
                        minutes=position // 60 % 60,
                        seconds=position % 60
                    ),
                    file=outfile
                )

```

Im Folgenden sind die Cluster- und MDS-Analysen der einzelnen Tiefen aufgeführt.

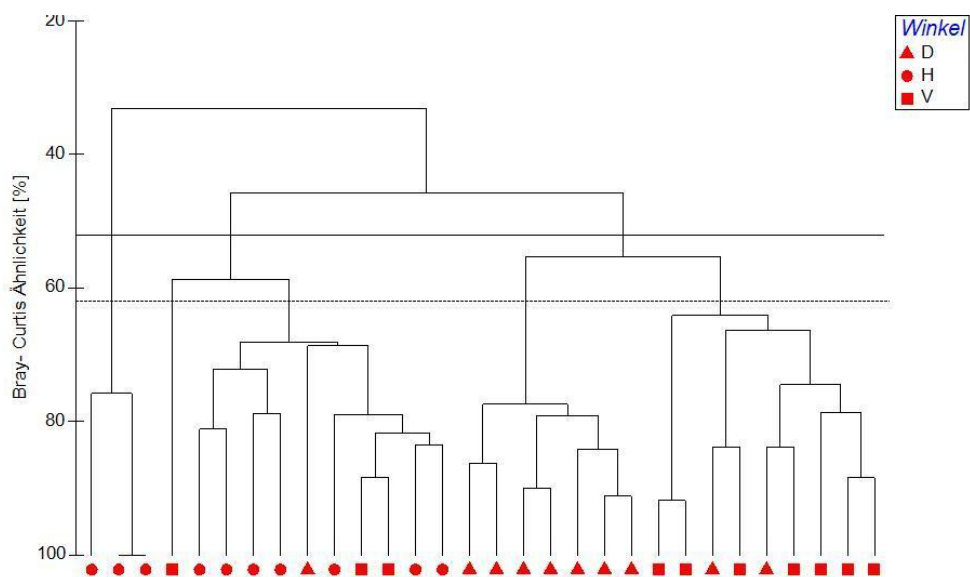


Abbildung A 1: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m Wassertiefe: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 30 m und den drei Substratwinkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: drei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 52% unterschieden. Gestrichelte Linie: fünf Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 62% getrennt.

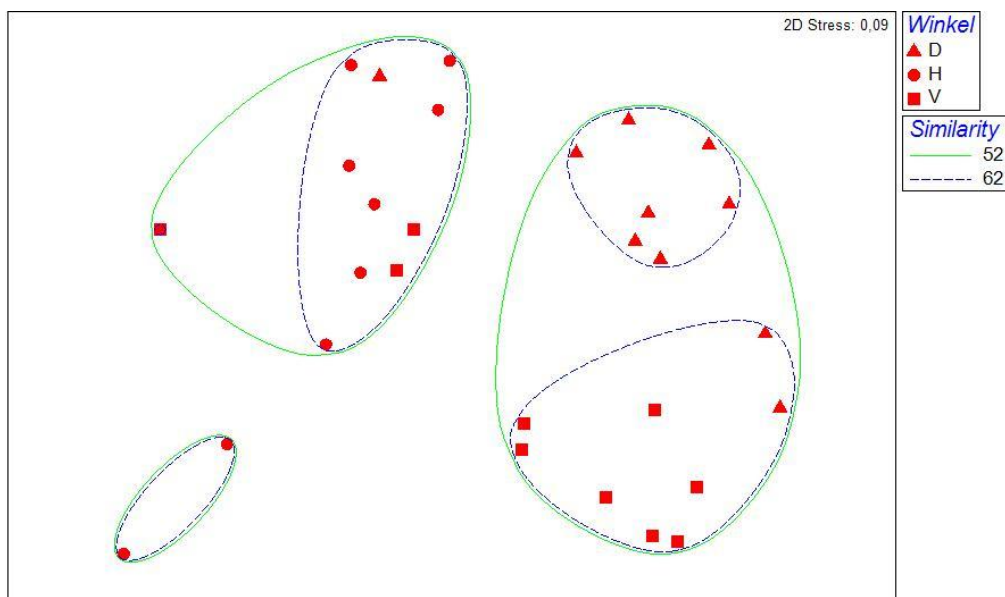


Abbildung A 2: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m Wassertiefe: Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Bei einer Ähnlichkeit von 52% sind drei (durchgezogene Linie), bei einer Ähnlichkeit von 62% vier Gruppen deutlich zu trennen (gestrichelte Linie).

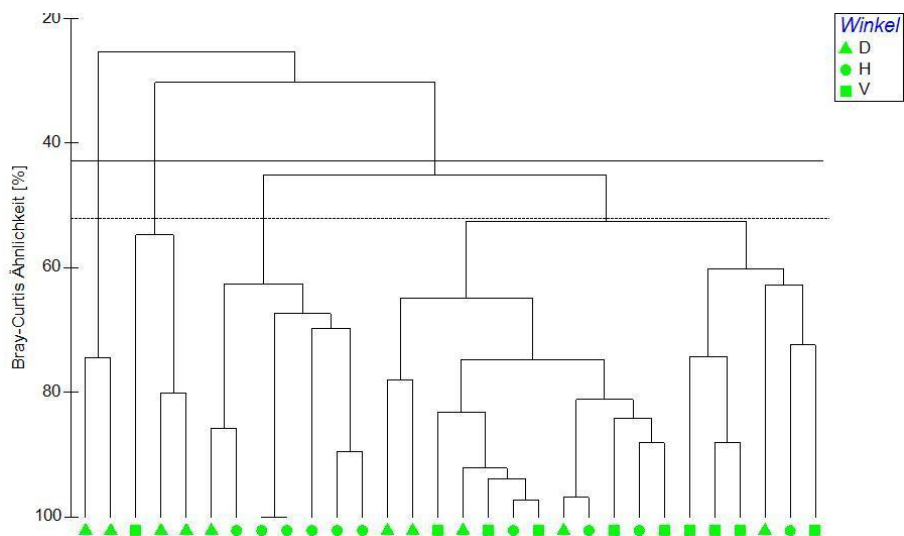


Abbildung A 3: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 50 m Wassertiefe: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: drei Gruppen werden bei der Ähnlichkeit von 42% definiert. Gestrichelte Linie: vier Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 50% getrennt.

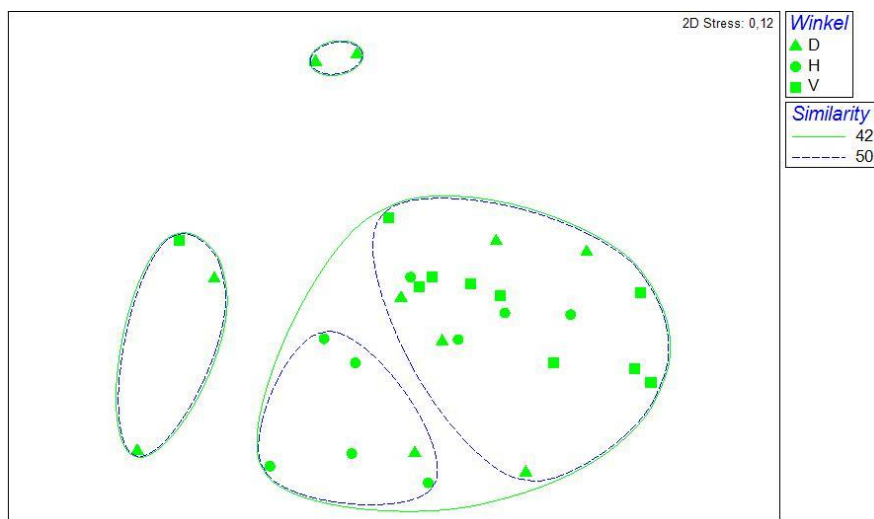


Abbildung A 4: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 50 m Wassertiefe: Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 42% werden drei, bei einer Ähnlichkeit von 50% vier Gruppen unterschieden.

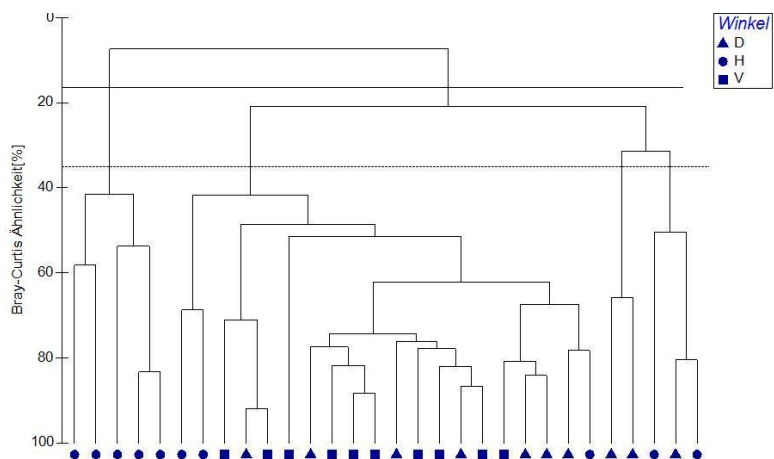


Abbildung A 5: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 75 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei gewählten Ähnlichkeit von 15% definiert. Gestrichelte Linie: vier Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 35% getrennt.

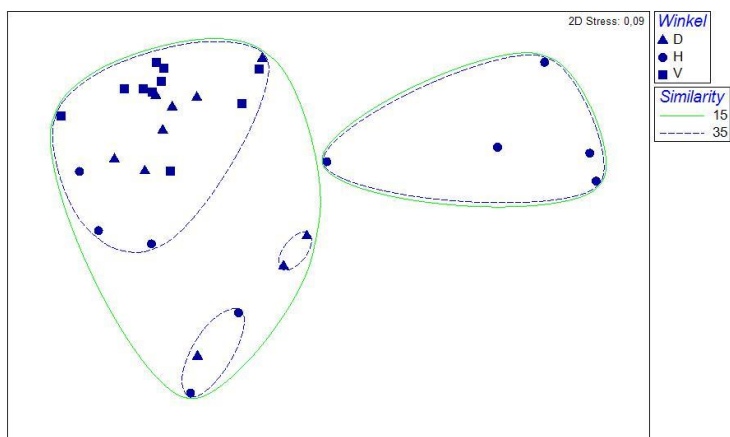


Abbildung A 6: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 75 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 15% werden zwei, bei einer Ähnlichkeit von 35% vier Gruppen unterschieden.

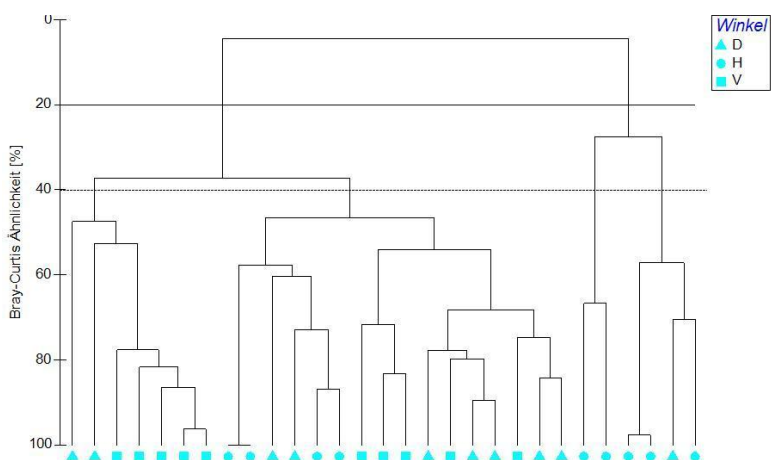


Abbildung A 7: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 100 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 20% definiert. Gestrichelte Linie: vier Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 40% getrennt.

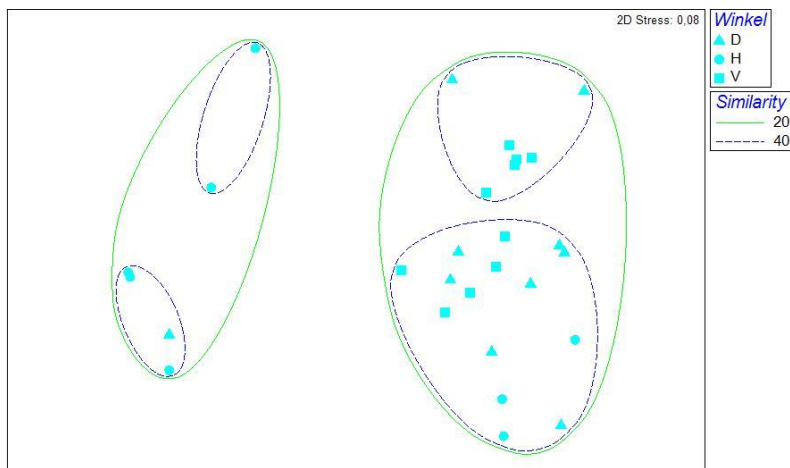


Abbildung 37: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 100 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 20% werden zwei, bei einer Ähnlichkeit von 40% vier Gruppen unterschieden.

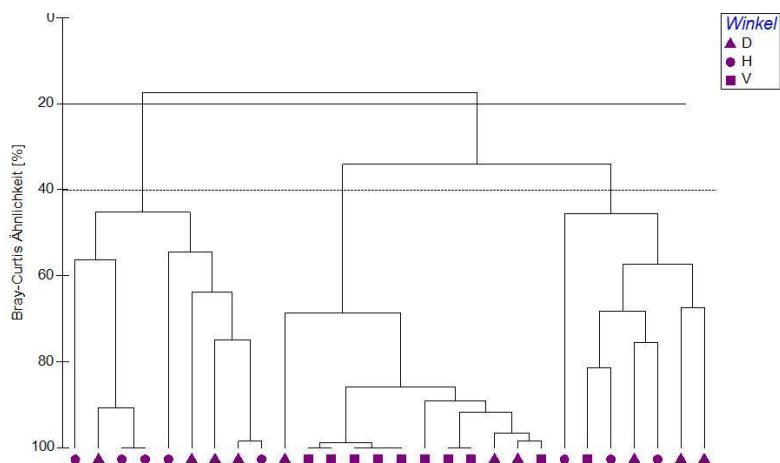


Abbildung A 10: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 150 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 20% definiert. Gestrichelte Linie: drei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 40% getrennt.

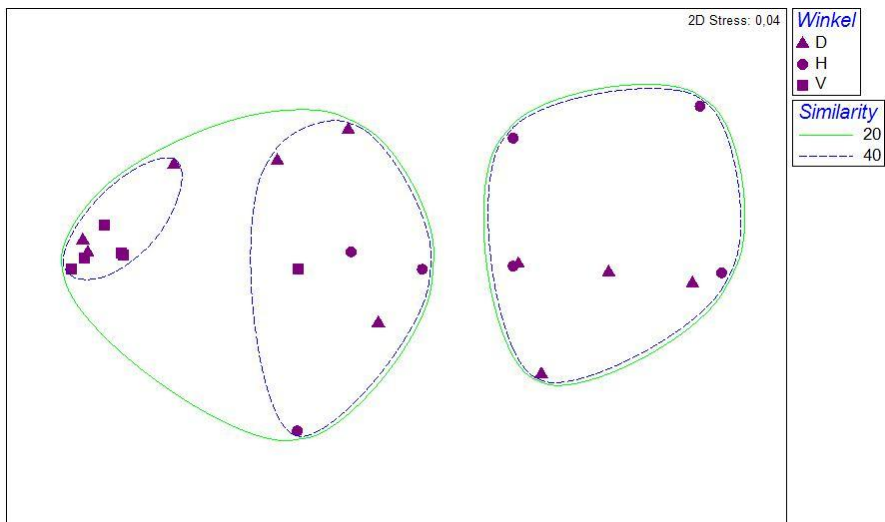


Abbildung A 11: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 150 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 20% werden zwei, bei einer Ähnlichkeit von 40% drei Gruppen unterschieden.

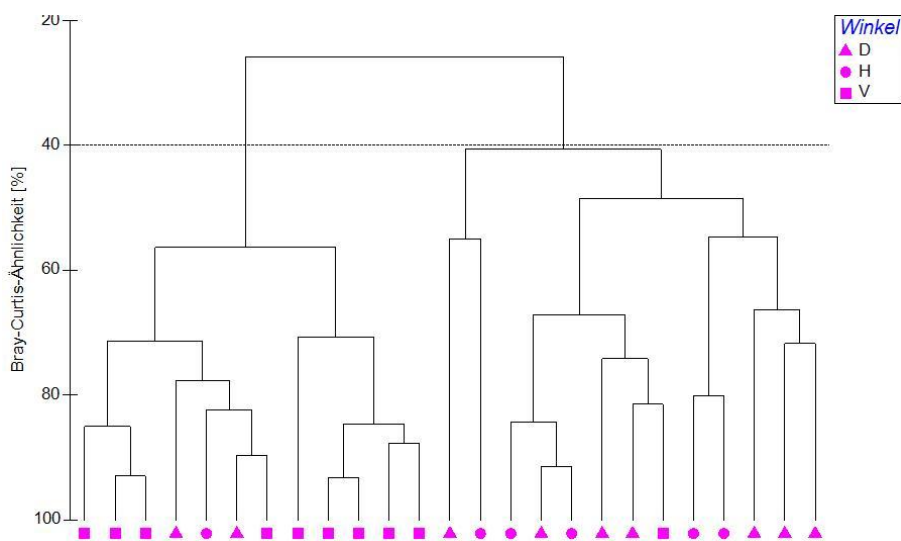


Abbildung A 12: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 200 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: eine Gruppe wird bei einer Ähnlichkeit von 40% definiert.

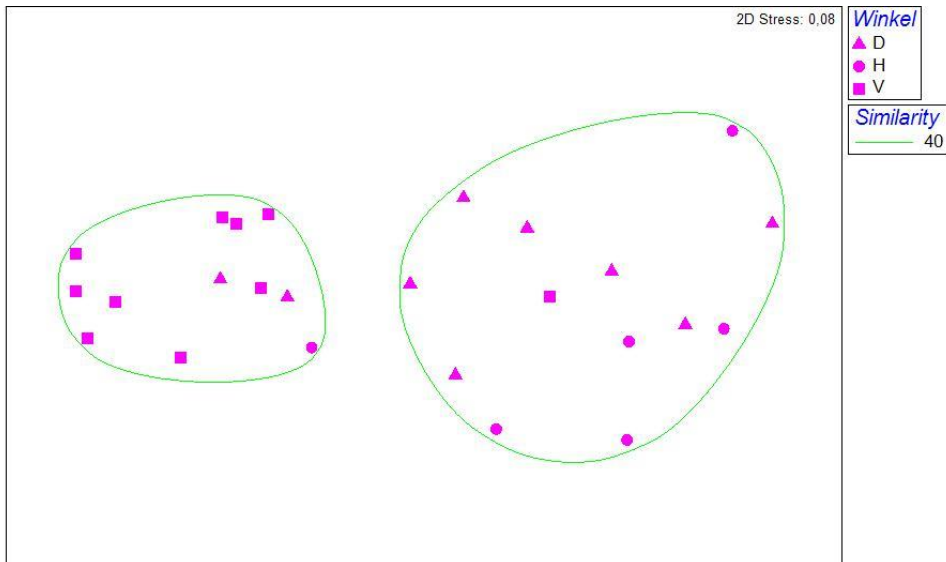


Abbildung A 13: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 40% wird eine Gruppe unterschieden.

Tabelle A 1: Ökologische Indizes dargestellt als Mittelwerte aller Replikate unter Angabe der Standardfehler (SE) für Shannon-Weaver-Index (H'), Pielou-Index (J') und Margalef-Index (d).

Stationen	H'	J'	d
30	0,52950638	0,16661341	8,14519175
50	1,06543988	0,33524916	15,393235
75	1,12644004	0,35444335	9,75875257
100	1,24756381	0,39255591	8,19498906
150	0,13334487	0,04195803	5,01792468
200	0,19357385	0,06090956	5,81702006

Tabelle A 2: Für die alphabetisch sortierten makrozoobenthischen Arten wurde eine Ernährungstypeneinteilung vorgenommen: Es wurde zwischen herbivoren, omnivoren, karnivoren Arten sowie zwischen aktiven und passiven Filtrieren unterschieden.

aktive Filtriere		
<i>Chlamys islandica</i>	<i>Halocynthia sp.</i>	<i>Styela rustica</i>
<i>Crisia denticulate</i>	<i>Henrica sp.</i>	<i>Reteporella beaniana</i>
<i>Euphasia superba</i>	<i>Sabellidae</i>	
passive Filtrierer		
<i>Aplysilla sulfurea</i>	<i>Haliclona sp.</i>	<i>Porifera n.d.</i>
<i>Balanus balanus</i>	<i>Phakellia ventilabrum</i>	
Herbivore		
<i>Echinus esculentus</i>	<i>Strongylocentrotus sp</i>	<i>Tonicella sp</i>
Onnivore		
<i>Hyas araneus</i>	<i>Pagurus bernhardus</i>	
Carnivore		
<i>Hormathis sp.</i>	<i>Urticina sp.</i>	
<i>Pteraster sp.</i>	<i>Solaster sp.</i>	

Tabelle A 3: Für die alphabetisch sortierten makrozoobenthischen Arten wurde eine zoogeographische Einteilung vorgenommen. Unterschieden wurde zwischen arktischen, arktisch-borealen, borealen und kosmopolitischen Arten.

Arktisch

Euphasia superba

Arktisch-boreal

Balanus balanus	Hormathis sp.	Phakellia ventilabrum
Crisia denticulate	Hyas araneus	Strongylocentrotus sp.
Haliclona sp.	Pteraster sp.	Solaster sp.
Halocynthia sp.	Sabellidae	Reteporella beaniana
Henrica sp.		

Boreal

Pagurus bernhardus

Kosmopolitisch

<i>Aplysilla sulfurea</i>	<i>Echinus esculentus</i>	<i>Tonicella sp.</i>
<i>Corallinacea</i>	<i>Holothuroidae n.d.</i>	
<i>Chlamys islandica</i>	<i>Phaeophyceae</i>	

Fortsetzung Tab. A 4

9	19	32	96	73	52	86	28	91	67	37	87	68	53	53	82	15	13	41	16	94	47	96	70	29	96	16	61	36	
30v	63,	62,	48,	52,	71,	39,	51,	68,	83,	73,	51,	53,	31,	31,	46,	50,	34,	37,	39,	39,	50,	65,	70,	32,	56,	79,	64,	64,	73,
10	98	24	28	52	58	54	97	22	73	97	92	16	27	27	57	62	43	58	59	66	83	84	32	11	41	52	69	69	41

Fortsetzung Tab. A 5

9	48	24	51	35	66	91	45	80	80	59	35	30	80	33	04	30	36	80	96	48	85	84	27	62	81	62	77	66	
50v 10	63, 16	22, 20	45, 59	32, 77	60, 95	78, 51	49, 43	27, 57	48, 46	51, 74	60, 60	54, 60	43, 30	48, 54	66, 77	33, 36	85, 56	43, 30	60, 98	28, 91	70, 19	44, 95	84, 76	83, 81	65, 98	45, 16	30, 66	35, 17	36, 79

Fortsetzung Tab. A6

9	43	26	12	16	19	77	82	68	37	33	9	79	54	64	69	10	0	0	0	0	65	51	91	59	11	05	30	57	
75v 10	17, 98	53, 88	47, 15	42, 56	48, 67	41, 64	22, 05	15, 34	13, 06	53, 92	8,9 8	17, 94	38, 66	49, 85	40, 23	26, 43	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	66, 98	49, 36	49, 68	19, 47	48, 69	64, 43	23, 97	47, 70	56, 01

v9	98	47	0	43	62	55	82	94	03	76	0	0	99	48	85	85	78	0	74	44	37	22	55	40	94	24	85			
100	21,	29,	0,0	41,	36,	48,	48,	51,	50,	45,	0,0	0,0	19,	8,6	34,	34,	24,	0,0	8,2	48,	49,	37,	40,	34,	73,	84,	87,	78,		
v10	61	88	0	29	72	27	95	24	02	98	0	0	11	2	12	12	19	0	6	23	43	44	69	45	06	39	54	23		

Tabelle A 10: Ergebnisse der SIMPER-Analyse auf Grundlage der Abundanz der sessilen Makrofauna und der Flora der Tiefenstationen im Kongsfjorden. Dargestellt sind die Arten, die zu 80% zur Trennung zweier Gemeinschaften beitragen, mit mittlerer Verschiedenheit in % (Av. Diss.) zwischen zwei Gruppen, dem Quotienten aus mittlerer Verschiedenheit und zugehöriger Standardabweichung (Diss./SD) sowie dem prozentualen (Contrib. %) und kumulativen Beitrag (Cum. %).

	Taxa	Av. Diss.	Diss./SD	Contrib. %
Groups 30 & 50 Av. Diss. = 60,78	Corallinales	1,04	0,49	24,89
	Hormathia spp.	0,12	0,29	10,21
	Unidentified sp.1	0,22	0,00	8,98
	Urticina eques	0,13	0,04	5,37
	Haliclona sp.	0,06	0,08	3,62
	Strongylocentrotus sp	0,05	0,00	1,85
Groups 30 & 75 Av. Diss. = 89,36	Corallinales	1,04	0,02	33,07
	Hormathia spp.	0,12	0,63	18,40
	Sabellidae	0,01	0,37	11,44
	Unidentified sp.1	0,22	0,00	7,90
	Urticina eques	0,13	0,05	5,03
	Haliclona sp.	0,06	0,10	4,34
	Strongylocentrotus sp	0,05	0,07	4,12
Groups 50 & 75 Av. Diss. = 78,72	Corallinales	1,04	0,02	33,07
	Hormathia spp.	0,29	0,63	22,00
	Corallinales	0,49	0,02	21,55
	Sabellidae	0,06	0,37	14,63
	Haliclona sp.	0,08	0,10	5,53
	Strongylocentrotus sp	0,00	0,07	4,31
Groups 30 & 100 Av. Diss. = 93,88	Urticina eques	0,04	0,05	3,51
	Corallinales	1,04	0,00	34,28
	Sabellidae	0,01	0,63	17,93
	Hormathia spp.	0,12	0,39	10,34
	Haliclona sp.	0,06	0,31	8,21
	Unidentified sp.1	0,22	0,00	8,10
Groups 50 & 100 Av. Diss. = 88,99	Urticina eques	0,13	0,03	4,92
	Strongylocentrotus sp	0,05	0,06	3,69
	Corallinales	0,49	0,00	22,99
	Sabellidae	0,06	0,63	22,68
	Hormathia spp.	0,29	0,39	17,56
	Haliclona sp.	0,08	0,31	10,08

	Strongylocentrotus	0,00	0,06	4,47
	sp			
	Crisia denticulata	0,03	0,02	2,63
Groups 75 &	Hormathia <i>spp.</i>	0,63	0,39	23,53
100	Sabellidae	0,37	0,63	19,92
Av. Diss. =	Haliclona sp.	0,10	0,31	9,69
71,84	Strongylocentrotus	0,07	0,06	6,12
	sp			
	Urticina eques	0,05	0,03	2,52
	Crisia denticulata	0,02	0,02	2,11
	Unidentified sp.1	0,02	0,05	1,54
Groups 30 &	Sabellidae	0,01	2,22	40,29
150	Corallinales	1,04	0,00	29,72
Av. Diss. =	Unidentified sp.1	0,22	0,00	7,01
97,14	Haliclona sp.	0,06	0,22	5,34
	Hormathia <i>spp.</i>	0,12	0,09	4,43
	Urticina eques	0,13	0,01	4,29
Groups 50 &	Sabellidae	0,06	2,22	47,71
150	Corallinales	0,49	0,00	19,81
Av. Diss. =	Hormathia <i>spp.</i>	0,29	0,09	11,62
93,90	Haliclona sp.	0,08	0,22	6,42
Groups 75 &	Sabellidae	0,37	2,22	41,61
150	Hormathia <i>spp.</i>	0,63	0,09	19,26
Av. Diss. =	Haliclona sp.	0,10	0,22	6,70
80,52	Strongylocentrotus	0,07	0,00	3,30
	sp			
	Crisia denticulata	0,02	0,05	2,39
Groups 100 &	Sabellidae	0,63	2,22	41,73
150	Hormathia <i>spp.</i>	0,39	0,09	10,28
Av. Diss. =	Haliclona sp.	0,31	0,22	9,26
73,73	Strongylocentrotus	0,06	0,00	3,47
	sp			
	Crisia denticulata	0,02	0,05	2,99
Groups 30 &	Corallinales	1,04	0,00	32,53
200	Sabellidae	0,01	1,45	29,42
Av. Diss. =	Unidentified sp.1	0,22	0,00	7,71
95,98	Hormathia <i>spp.</i>	0,12	0,26	6,93
	Haliclona sp.	0,06	0,19	5,26
	Urticina eques	0,13	0,00	4,63
Groups 50 &	Sabellidae	0,06	1,45	35,62
200	Corallinales	0,49	0,00	21,97
Av dis = 91,17	Hormathia <i>spp.</i>	0,29	0,26	13,89
	Haliclona sp.	0,08	0,19	6,78
	Chlamys islandica	0,01	0,07	4,73
Groups 75 &	Sabellidae	0,37	1,45	31,42
200	Hormathia <i>spp.</i>	0,63	0,26	20,96
Av dis = 76,57	Haliclona sp.	0,10	0,19	6,69

	Chlamys islandica	0,01	0,07	4,12
	Strongylocentrotus sp	0,07	0,00	3,68
	Urticina eques	0,05	0,00	1,94
Groups 100 & 200	Sabellidae	0,63	1,45	32,83
Av dis = 72,25	Hormathia spp.	0,39	0,26	12,77
	Haliclona sp.	0,31	0,19	9,57
	Chlamys islandica	0,01	0,07	4,34
	Strongylocentrotus sp	0,06	0,00	3,89
	Aplysilla sulfurea	0,03	0,06	2,03
	Sabellidae	0,63	1,45	32,83
Groups 150 & 200	Sabellidae	2,22	1,45	44,28
Av dis = 68,71	Haliclona sp.	0,22	0,19	7,09
	Hormathia spp.	0,09	0,26	6,84
	Chlamys islandica	0,01	0,07	3,66

Tabelle A 11: Artenliste makrozoobenthischer Organismen mit Autoren und Synonymen.

Phaeophyceae:	<i>Phaeophyceae</i> n.d.	
Rhodophyta:	<i>Corallinacea</i> n.d. Linnaeus 1758	
Porifera:	<i>Aplysilla sulfurea</i> Schulze, 1878	Synonym: <i>Aplysilla sulphurea</i> Schulze, 1878
	<i>Haliclona</i> sp.	
	<i>Phakellia ventilabrum</i> Linnaeus, 1767	
Anthrozoa:	<i>Hormathia nodosa</i> Fabricii, 1780	Synonym: <i>Actinauge nodosa</i> Fabr.; <i>Actinia nodosa</i> ; <i>Actinia nodosa</i> Fabric.; <i>Actinia nodosa</i> Fabricii, 1780; <i>Actinoloba nodosa</i> Linn.; <i>Chondractinia nodosa</i> Fabr.; <i>Chondractinia nodosa</i> (Fabr.); <i>Chondractinia nodosa</i> (Fabr.) Lütken.; <i>Chondractinia nodosa</i> (Fabr.) Lütken.; <i>Chondractinia nodosa</i> (Fabricius); <i>Chondractinia nodosa</i> Fabr.; <i>Hormathia nodosa</i> (Fabr.); <i>Hormathia nodosa</i> (Fabr.) Hadd.; s <i>Hormathia nodosa</i> (Fabricius); <i>Hormathia nodosa</i> (Fabricius), 1780; <i>Hormathia nodosa</i> Fabr. 1780; <i>Metridium nodosum</i>
	<i>Hormathia digitata</i> O.F. Müller, 1776	
	<i>Urticina eques</i> Gosse 1859	
Polychaeta:	<i>Sabellidae</i> Latreille, 1825	
Bivalvia:	<i>Chlamys islandica</i> Röding, 1798	Synonym: <i>Chlamys costellata</i> Verrill & Bush in Verrill, 1897, <i>Ostrea cinnabarina</i> Born, 1778, <i>Pecten islandicus</i> Müller, 1776
Polyplacophora:	<i>Tonicella</i> sp. Fabricius, 1780	
Cirripedia:	<i>Balanus balanus</i> Linnaeus, 1758	
Decapoda:	<i>Eupagurus</i> sp. Brandt, 1851	
	<i>Hyas araneus</i> Linnaeus, 1758	
Bryozoa:	<i>Crisia denticulata</i> Lamarck, 1816	
	<i>Reteporella beaniana</i> King, 1846	

- Asteroida:** *Henricia* sp. Gray, 1840
- Pteraster* sp. Müller & Troschel, 1842 Synonym: *Hexaster* Perrier, 1891, *Lophopteraster* Verrill, 1895, *Marsipaster* Sladen, 1882 (*Pteraster (Apterodon)* Fisher, 1940, *Pteraster (Retaster)* Perrier, 1878, *Pteraster (Temnaster)* Verrill, 1894, *Pterasterides* Verrill, 1909, *Retaster* Perrier, 1878, *Temnaster* Verrill, 1894
- Solaster* sp. Forbes, 1839
- Echinoidea:** *Echinus esculentus* Linnaeus, 1758 Synonym: *Echinus aurantiacus* de Blainville, 1825, *Echinus globiformis* de Lamarck, 1801, *Echinus pseudomelo* de Blainville, 1825, *Echinus quinqueangulatus* de Blainville, 1825, *Echinus quinqueangulosus* de Blainville, 1834, *Echinus Schwartzii* Nilsson & Holst, 1817, *Echinus sphaera* O.F. Müller, 1776, *Echinus subangulosus* de Blainville, 1826, *Echinus violaceus* de Blainville, 1825
- Strongylocentrotus* sp. Brandt, 1835
- Holothuroidea:** Holothuroidea n.d.
- Asciacea:** *Halocynthia pyriformis* Rathke, 1806 Synonym: *Cynthia pyriformis* (Rathke, 1806), *Pyura pectinicola* Michaelsen, 1908, *Pyura pyriformis* (Rathke, 1806), *Rhabdocynthia pyriformis* (Rathke, 1806), *Tethyum pyriforme* (Rathke, 1806), *Tethyum pyriformis*
- Styela rustica* Linnaeus, 1767 Synonym: *Ascidia monoceros* Moeller, 1842, *Ascidia quadridentata* Linnaeus, 1767, *Ascidia rustica* Linnaeus, 1767, *Cynthia condylomata* Packard, 1867, *Cynthia monoceros* (Moeller, 1842), *Cynthia rustica* (Linnaeus, 1767), *Gonicarpa rustica* (Linnaeus, 1767), *Halocynthia rustica* (Linnaeus, 1767), (*Polycarpa monoceros* (Moeller, 1842), *Polycarpa rustica* (Linnaeus, 1767), *Styela monoceros* (Moeller, 1842), *Tethyum rusticum* (Linnaeus, 1767), *Vannamea kurilensis* Oka, 1932

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arktischer Ozean mit angrenzenden Staaten (verändert nach http://ec.europa.eu/fisheries/images/arctic_map.jpg).	5
Abbildung 2: Strömungen im Nordpolarmeer: Strömungen des atlantischen (rot) und des arktischen Ozeans (blau).	5
Abbildung 3: Graphische Verdeutlichung der Wirkung von abiotischen und biotischen Einflüssen auf die Tiefe und die Interaktion der Tiere.	11
Abbildung 4: Standbild aus 150 m Tiefe im Kongsfjorden, auf dem die drei Laserpunkte zu sehen sind, mit denen die Referenzgrößen bestimmt wurden.	13
Abbildung 5: Svalbard Archipel mit seinen umgebenden Meeresgebieten und Lage des Untersuchungsgebiets Kongsfjorden an der Westküste Spitzbergens (verändert nach Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences).	15
Abbildung 6: Detaillierte Darstellung des Kongsfjorden und relative Lage des Untersuchungsgebiets „Kongsfjordneset“ in dem die Besiedlung des natürlichen Hartbodens mittels ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugs (ROV) aufgenommen wurde (verändert nach Svendsen <i>et al.</i> 2002).	15
Abbildung 7: Foto des Echolot-Monitors, das die Bathymetrie des Gebietes zeigt: einen flachabfallenden Meeresboden bis 15 m Tiefenlinie und danach eine Abbruchkante.	16
Abbildung 8: ROV „ACHILLE M4“ einsatzbereit auf dem Forschungsboot Teisten.	18
Abbildung 9: Kamera des ROVs.	18
Abbildung 10: Kontrollmonitor des ROVs mit darunterliegender Steuereinheit für den Piloten.	18
Abbildung 11: Kumulierte Arten-Areal-Kurven für alle Tiefen. Die Anzahl der auftretenden Arten ist der Größe nach sortiert und gegen die Anzahl der Fotos (Replikate) aufgetragen.	29
Abbildung 12: Die aufgenommenen CTD-Daten beim Abtauchen des ROV bis in eine Tiefe von 200 m.	30
Abbildung 13: Die aufgenommenen CTD-Daten beim Auftauchen des ROV aus einer Tiefe von 200 m.	30
Abbildung 14: Diagramm der prozentualen Verteilung von Abundanzen aller Stationen pro m ² der Taxa Polychaeta, Rhodophyta, Anthrozoa, Porifera und sonstige (< 5% Anteil an der Gesamtabundanz, d.h. Phaeophyceae, Bryozoa, Ascidiacea, Echinoidea, Bivalvia, Asteroidea, Decapoda, Cirripedia, Holothuroidea und Polyplacophora).	35
Abbildung 15: Einteilung der Makrofauna der unterschiedlichen Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200m von Kongsfjordneset in die zoogeographische Gruppen kosmopolitisch, arktisch-boreal und arktisch.	36
Abbildung 16: Einteilung der Makrofauna der Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200m von Kongsfjordneset hinsichtlich der Nahrungstypen aktive, passive Filtrierer, Omnivore und Carnivore.	37
Abbildung 17: Einteilung der Makrofauna der Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200m von Kongsfjordneset mit Angabe der Standartabweichung hinsichtlich der Bewegungsart.	38

- Abbildung 18: Diagramm der Artenanzahl (S) bezogen auf die beprobten Tiefen. Die linke y-Achse zeigt die mittlere Artenanzahl in den jeweiligen Tiefen [Δ], die rechte y-Achse die absoluten Werte für die Artenanzahl [\blacksquare] (jeweils unter Angabe des Standardfehlers). Orange steht für die mittlere und schwarz für die absolute Individuenzahl. 39
- Abbildung 19: Darstellung des Margalef-Index (d) für den Artenreichtum in den unterschiedlichen Tiefen. 40
- Abbildung 20: Diagramm des Shannon-Weaver-Index (H') für die untersuchten Tiefen. 40
- Abbildung 21: Darstellung des Pielou-Index (J') für die Organismenassoziationen. 41
- Abbildung 22: Dendrogramm der Clusteranalyse für alle untersuchten Tiefen. Gestrichelte Linie: zwei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 9% getrennt. 43
- Abbildung 23: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m und 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der besiedelnden Organismenassoziationen in allen Tiefen. Bei einer Ähnlichkeit von 9% werden zwei Gruppen unterschieden. 44
- Abbildung 24: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 30 und 200 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 15% definiert. Gestrichelte Linie: sechs Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 45% getrennt. 45
- Abbildung 25: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 und 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 15% werden zwei Gruppen, bei einer Ähnlichkeit von 45% sechs Gruppen unterschieden. 45
- Abbildung 26: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für eine Tiefe von 50 m und 200 m und den drei Winkeln diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V). Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 20% definiert. Gestrichelte Linie: fünf Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 40% getrennt. 46
- Abbildung 27: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 50 m und 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 20% werden zwei Gruppen, bei einer Ähnlichkeit von 40% fünf Gruppen unterschieden. 46
- Abbildung 28: Kongsfjordneset-Gemeinschaft diagonal angeordneter Hartböden aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm, durchgezogene Linie: drei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 10% definiert. 47
- Abbildung 29: Kongsfjordneset-Gemeinschaft diagonal angeordneter Hartböden aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m: Aus der MDS-Analyse resultierende Darstellung visualisiert die Aufteilung, durchgehende Linie: drei Gruppen werden bei Ähnlichkeit von 10% unterschieden. 47
- Abbildung 30: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für horizontale Flächen aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m. Durchgehende Linie: zwei Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 5% definiert. Gestrichelte Linie: drei Gruppen werden bei einer Ähnlichkeit von 10% definiert. 48

- Abbildung 31: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m Wassertiefe. Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der den einen Substratwinkel vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 5% werden zwei Gruppen, bei einer Ähnlichkeit von 10% werden drei Gruppen unterschieden. 48
- Abbildung 32: Aus der Clusteranalyse resultierendes Dendrogramm für vertikale Flächen aus den Tiefen 30, 50, 75, 100, 150 und 200 m. Durchgehende Linie: vier Gruppen werden bei einer willkürlich gewählten Ähnlichkeit von 40% definiert. 49
- Abbildung 33: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der den einen Substratwinkel vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 40% werden vier Gruppen unterschieden. 49
- Abbildung 34: Strömungen im arktischen Ozean. A kennzeichnet das Untersuchungsgebiet im Kongsfjorden, Svalbard, N die Tikhaia-Bucht, Franz-Josef-Land (verändert nach Hermann 2004). Die roten Pfeile stellen die Strömungen des atlantischen und die blauen Pfeile die des arktischen Ozeans dar. 71
- Abbildung 35: R-Werte der ANOSIM 1, bei der unterschiedliche Stationen paarweise mit der Station in 30 m Wassertiefe verglichen wurden. 80
- Abbildung 36: Zusammenfassung der wichtigsten abiotischen und biotischen Faktoren der Hartbodengemeinschaften ab einer Tiefe von 30 m im Kongsfjorden. 85
- Abbildung 37: Kongsfjordneset-Hartbodengemeinschaft in 100 m Wassertiefe Die aus der MDS-Analyse resultierende Grafik visualisiert die Aufteilung der die drei Substratwinkel diagonal (D), horizontal (H) und vertikal (V) besiedelnden Organismenassoziationen. Bei einer Ähnlichkeit von 20% werden zwei, bei einer Ähnlichkeit von 40% vier Gruppen unterschieden. 98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tauchdatum, Tauchtiefe, Anfangs- und Endposition, sowie die Transektlänge der Tauchgänge des ROVs.	19
Tabelle 2: Flussdiagramm der einzelnen Schritte, um aus den Videosequenzen Standbilder zu generieren.	21
Tabelle 3: Durchschnittliche Abundanz der sessilen Benthos-Individuen pro m ² in den ausgewerteten Bildern von Kongsfjorden in den Tiefen 30 m bis 200 m im Juni 2009.	33
Tabelle 4: Identifizierte Organismen mit den durchschnittlichen Abundanzen (Individuen pro m ²) in den untersuchten Tiefen (30 m bis 200m) sowie den Substratwinkeln diagonal, horizontal und vertikal. Ein „+“ kennzeichnet diejenigen Arten, die auf den Videos zu sehen sind, aber nicht auf den Fotos erschienen.	34
Tabelle 5: R-Statistik als Ergebnisse der paarweisen ANOSIM 1. Klare Unterschiede (R>0,75) sind rot, gute Unterschiede (R≈0,5) türkis und geringe Unterschiede (R<0,25) grün gedruckt.	50
Tabelle 6: Ergebnis der SIMPER-Analyse auf Grundlage der Abundanzen sessiler Makrofauna und Flora des Hartbodens von Kongsfjordneset: Dargestellt sind nur die ranghöchsten Taxa, die zu insgesamt 90% der Ähnlichkeit beitragen, mit durchschnittlicher Abundanz (Av. Abund.), mittlerer Ähnlichkeit zwischen den Stationen (Av. Sim.), Standardabweichung der Ähnlichkeit (Sim/SD), prozentualem Beitrag (Contrib %) und kumulativem Beitrag über die angezeigten Arten (Cum. %). Die Arten, die > 7% zu der Ähnlichkeit beitragen, sind gelb eingefärbt.	52
Tabelle 7: Zoogeographische Zonen in Prozent zur Gesamtindividuenzahl verschiedener Autoren. (A) vorliegende Studie und (N) Wlodarska <i>et al.</i> 1996. Unterschieden wurden die Zonen arktisch (Arkt.), arktisch-boreal (Arkt.-bor.), boreal und kosmopolitisch (Kosmo.). Die Beprobungsorte Kongsfjorden (A) und Tikhaja-Bucht (N) sind in Abbildung 34 dargestellt und wurden der Tabelle 7 folgend mit entsprechenden Buchstaben versehen.	71

Tafelverzeichnis

Tafel 1: Die auf allen Tiefenstufen vorkommenden Arten <i>Hormathia</i> spp., <i>Chlamys islandica</i> und <i>Haliclona</i> sp.	32
Tafel 2: Abbildungen der dominanten Arten: Corallinacea (oben), <i>Haliclona</i> sp. (rechts), <i>Hormathia</i> spp. (rechts), <i>Urticina eques</i> (links, Foto von Jürgen Laudien) und Sabellidae (unten).	59
Tafel 3: Vorgefundene Organismenassoziationen in 30 m bis 50 m Tiefe im Kongsfjorden.	60
Tafel 4: Vorgefundene Organismenassoziationen in 75m bis 150 m Tiefe im Kongsfjorden.	61
Tafel 5: Vorgefundene Organismenassoziationen in 200 m Tiefe im Kongsfjorden.	62

Danksagung

Mein Dank gilt vielen Menschen, die mich während meines Studiums und meiner Bachelorarbeit begleitet und mir auch dabei geholfen haben, scheinbar unlösbare Probleme zu lösen.

Mein herzlicher Dank gilt Dr. Jürgen Laudien, der mich durch alle Phasen dieser Arbeit betreut hat und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand, mich immer wieder ermutigt hat und einfach der beste Betreuer war, den ich mir je vorstellen konnte.

Ganz besonders hat es mich gefreut, dass mir Prof. Dr. Claudio Richter als Zweitgutachter zur Seite stand.

Bei den beiden ROV-Piloten, Alain Pottier und Dominique Fleury möchte ich mich auch herzlichst bedanken, denn ohne sie wären die Aufnahmen für diese Bachelorarbeit nicht zustande kommen.

Dank gilt auch Maike Thomsen, die die Aufnahmen digitalisiert hat und mir bei den vielen Problemen mit denen stets geholfen hat.

Weiterhin möchte ich für die technische Unterstützung Rainer Sieger von PANGAEA, der mir schnell und auch unkompliziert Lösungen für meine Probleme angeboten hat.

Bjørn Gulliksen, Jørgen Belge, Christian Wiencke und Andreas Bick gilt großer Dank für die Hilfe bei der Bestimmung schwieriger Arten aus dem Kongsfjorden.

Danken möchte ich auch der Arbeitsgruppe „Bentho-Pelagische Prozesse“ am AWI, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Besonders hervorheben möchte ich hier Carin Jantzen, die meine Arbeit Korrektur gelesen hat.

Nach diesen „wissenschaftlichen Fachkräften“ möchte ich es nicht versäumen, den Menschen zu danken, die für mich in dieser Zeit unerlässlich waren: Carsten Lindner (danke für das Immer-zur-Seite-Stehen und Computerprobleme lösen), Katharina Burbach, ohne deren Aufmunterung ich bestimmt schon in der Anfangszeit des Bachelors aufgegeben hätte, und Anna-Maria Ohlms, dich mich immer in meinen Vorhaben unterstützt und an mich geglaubt hat.

Weiterhin möchte ich Katharina Reusch und Melanie Koch danken, die mir bei jedem Problem zur Seite standen und mir einfach dadurch vieles erleichtert haben.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner restlichen Familie bedanken, die mir mein Studium nicht nur durch finanzielle Hilfe erleichterten. Weitaus bedeutungsvoller war der Glaube an mich und die Befürwortung und Unterstützung meiner Ideen und Träume; ihr seid unersetzbar!

Zu diesem Kreise gehört auch Carsten Lindner: ohne Dich wäre ich mit Sicherheit nicht hier!

Erklärung über selbstständige Arbeit

Hiermit erkläre ich, Julia-Berenice Orchard, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel in Anspruch genommen habe.

Bremen, 7. November 2010