

Einfluss des Substrat-Neigungswinkels auf die Hartsubstratlebensgemeinschaft im Comau Fjord, Chile



Svantje Gottschlich
Holtenauer Str. 226
24105 Kiel

Matrikel-Nummer: 1005620

Abgabe: 05.12.2014

Erstgutachter: Prof. Dr. Dieter Piepenburg

Zweitgutachter: Dr. Jürgen Laudien

Abstract

The substratum of the Chilean fjord region features a huge variety of inclination angles. In this study the impact of substrates inclination angles and exposition on hard-bottom assemblages is examined. On top the characteristics of abiotic parameters such as light intensity, current velocity and sedimentation rate at distinct angles have been observed. This study revealed differences in community structure at distinct inclination angles. Multivariate analyses showed clusters of similar assemblages. A photo census-analysis demonstrated that Bryozoa mainly settle on overhanging and sheltered substrate, while Octocorallia are more abundant at steep exposed surfaces. Rhodophyta are most abundant at horizontal exposed substrate, while Chaetopteridae colonize mainly horizontal sheltered surfaces and Serpulidae vertical substratum. The observed distinct structures may be caused by distinct habitats at different inclinations arised from a variation in abiotic parameters. Horizontal substrata are characterized by highest light intensity, decreasing towards overhanging substrata, obviously higher light intensities were measured at exposed compared to sheltered surfaces. There is no evidence indicating differences in current velocity in relation to substrate inclination. Highest sedimentation rates were observed at sheltered horizontal surfaces. This variation of abiotic parameters presumably effects species composition. As a result distinct communities form at different inclination angles due to different preferences on the amount of light intensity and sedimentation rate and differences in competitiveness.

Zusammenfassung

Das chilenische Fjordsystem weist eine Vielzahl an Neigungswinkeln auf. Es wurde der Einfluss des Substratneigungswinkels und der Exposition des Substrats auf die Hartsubstratlebensgemeinschaft untersucht. Ferner wurde die Ausprägung der abiotischen Parameter Lichtintensität, Strömung und Sedimentation an den entsprechenden Neigungswinkeln beschrieben. Die vorliegende Studie hat nachgewiesen, dass sich die Artengemeinschaften auf Hartsubstraten an unterschiedlichen Neigungswinkeln unterscheiden. Multivariate Analysen lassen Cluster erkennen, die ähnliche Artengemeinschaften zusammenfassen. Eine Fotoanalyse zeigt, dass Bryozoa überhängende, geschützte Substrate präferieren und Octocorallia an überhängenden Flächen, exponierten Flächen am abundantesten sind. Rhodophyta wurden auf nach oben geneigten, exponierten Substraten am häufigsten verzeichnet, Chaetopteridae auf nach oben geneigten, geschützten Flächen und Serpulidae auf vertikalen Substraten. Eine Erklärung dafür liefern Unterschiede der abiotischen Parameter, die an unterschiedlichen Neigungswinkeln unterschiedliche Habitate bilden. Auf horizontalen Substraten konnte eine erhöhte Lichtintensität nachgewiesen werden, die abnimmt, je weiter sich das Substrat im Überhang befindet. Allgemein ist die Lichtintensität auf exponierten Substraten höher als auf geschützten. Unterschiede in der Strömung konnten nicht nachgewiesen werden. Es zeigt sich eine erhöhte Sedimentation auf horizontalen, verdeckten Substraten. Diese abiotischen Unterschiede beeinflussen vermutlich die Arten, so dass unterschiedliche Artengemeinschaften auf Substraten unterschiedlicher Neigungswinkel siedeln. Dafür sind die Präferenzen der Arten für Lichtintensität und Sedimentation sowie deren Konkurrenzvermögen gegenüber anderen Arten verantwortlich.

Inhalt

1	Abkürzungsverzeichnis	VI
2	Abbildungsverzeichnis	VII
3	Tabellenverzeichnis	IX
4	Einleitung.....	- 1 -
4.1	Hartsubstrat-Lebensgemeinschaften und Habitate	- 1 -
4.2	Ziele der Arbeit	- 4 -
5	Material und Methoden	- 5 -
5.1	Untersuchungsgebiet	- 5 -
5.2	Versuchsaufbau	- 6 -
5.3	Fotodokumentation und Analyse	- 7 -
5.4	Abiotische Parameter	- 10 -
5.4.1	Lichtintensität	- 11 -
5.4.2	Strömung	- 11 -
5.4.3	Sedimentation	- 12 -
5.5	Identifikation der Arten	- 16 -
5.6	Statistische Auswertung	- 16 -
6	Ergebnisse.....	- 19 -
6.1	Analyse der Lebensgemeinschaften auf verschiedenen Substratwinkeln	- 19 -
6.1.1	Deskriptive Analyse	- 19 -
6.1.2	SIMPER-Analyse.....	- 22 -
6.1.3	ANOSIM	- 26 -
6.1.4	Multivariate Analysen	- 27 -
6.2	Einfluss der abiotischen Faktoren	- 30 -
6.2.1	Strömung	- 30 -
6.2.2	Lichtintensität	- 31 -
6.2.3	Sedimentation	- 32 -
7	Diskussion.....	- 39 -
7.1	Methodendiskussion	- 39 -
7.2	Abiotische Faktoren.....	- 41 -
7.3	Biotische Unterschiede.....	- 43 -
7.4	Ausblick.....	- 47 -
8	Fazit	- 47 -
9	Danksagung	- 48 -
10	Referenzen	X

11	Erklärung	XV
12	Anhang.....	XVI

1 Abkürzungsverzeichnis

Verwendete Abkürzung	Erläuterung
AWI	Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar-und Meeresforschung
C_{ges}	Gesamtkohlenstoff
C_{org}	organischer Kohlenstoff
Fundación Huinay	Feldstation der Huinay Scientific Field Station
Ind.	Individuen
N	Stickstoff
PAR	Photosynthetisch aktive Strahlung (photosynthetic active radiation)
nmMDS	Nicht-metrische multidimensionale Skalierung
PG	Prüfgröße
S	Schwefel
s.	siehe
SA	Standartabweichung
u. a.	Unter anderem
u. U.	Unter Umständen
v. a.	Vor allem
z. T.	Zum Teil
z. B.	Zum Beispiel

2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Hjulström-Diagramm: Zusammenhang zwischen Korngröße und den für Erosion und Sedimentation erforderlichen kritischen Fließgeschwindigkeiten. Größere Partikel sedimentieren bei höheren Grenzgeschwindigkeiten als kleinere. Kleinere Partikel werden bei geringeren Fließgeschwindigkeiten transponiert. Oberhalb der Grenzgeschwindigkeit findet keine Sedimentation statt. (Geodz.com)	3
Abb. 2	Position der Feldstation der Fundación Huinay und des Beprobungsgebiets Jetty. Abbildung verändert nach Haas (2014)	6
Abb. 3	Positionen der Bewuchsplatten an den Zementröhren	7
Abb. 4	Bewuchsplatte 30 am 30.01.2014. Bearbeitet ist <i>Smittina</i> sp. bei Photoshop CS4 mit dem Zählungs- und Lassowerkzeug zur Bestimmung der Abundanz und des Flächeninhalts der Art.	8
Abb. 5	Winkelmessung der Kachelposition 1a an Röhre 3 mit Hilfe des Kreiswinkelmessers 2.1.	9
Abb. 6	Zementröhre mit verschiedenen Kachelpositionen der Winkelkategorien außen. rot = 2a, blau = 1a, gelb = 3a, schwarz = 4a.	10
Abb. 7	Zementröhre 3 auf 20m Tiefe im Comau Fjord. Orangefarbene Felder zeigen Positionen der Messungen der abiotischen Faktoren.	10
Abb. 8	Gipseier nach Bergung. a) Gipsei in Tüte b) Gipsei an Halterung	12
Abb. 9	Sedimentfalle Nr. 8 an Schraubzwinde befestigt, inklusive Gipsei.	14
Abb. 10	Installierte Sedimentfallen an Röhre 3.	14
Abb. 11	Flächenbedeckung [cm^2/m^2] unterschiedlicher Arten in verschiedenen Winkelkategorien bei logarithmischer Skalierung (\log_{10}). Rot gekennzeichnete Arten weisen besonders hohe Flächenbedeckungen auf.	21
Abb. 12	nmMDS-Plot basierend auf Abundanzdaten der Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien. Die Daten sind quadratwurzeltransformiert. Die Ähnlichkeit wurde mit einer S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse gemessen. Der 2D-Stresswert liegt bei 0,09. Die grüne Linie zeigt Ähnlichkeiten nach Bray-Curtis von 40%, die dunkelblaue Linie von 60 % und die hellblaue Linie von 70%.	28
Abb. 13	nmMDS-Plot basierend auf Flächenbedeckungsdaten der Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien. Die Daten sind transformiert mittels der 4. Wurzel. Die Ähnlichkeit wurde mit einer S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse gemessen. Der 2D-Stresswert liegt bei 0,1. Die grüne Linie zeigt Ähnlichkeiten nach Bray-Curtis von 40 %, die dunkelblaue Linie von 60 % und die hellblaue Linie von 70 %.	28
Abb. 14	Dendrogramm der Cluster-Analyse der Abundanzen der Arten der unterschiedlichen Winkelkategorien. Die Daten sind quadratwurzeltransformiert und die Ähnlichkeit wurde mit Hilfe der S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse bestimmt. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse ($p = 5 \%$) sind in rot und schwarz dargestellt. Die schwarzen Bereiche geben die Pfade mit 95%iger Wahrscheinlichkeit an, der Verlauf der roten Pfade ist unsicherer mit geringerer Genauigkeit.	29

Abb. 15	Dendrogramm der Cluster-Analyse der Flächenbedeckung der Arten der unterschiedlichen Winkelkategorien. Die Daten sind transformiert mit der vierten Wurzel und die Ähnlichkeit wurde mit Hilfe der S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse bestimmt. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse ($p = 5\%$) sind in rot und schwarz dargestellt. Die schwarzen Bereiche geben die Pfade mit 95%iger Wahrscheinlichkeit an, der Verlauf der roten Pfade ist unsicherer mit geringerer Genauigkeit.	30
Abb. 16	Prozentualer Masseverlust der Gipseier an den verschiedenen Winkelpositionen (A-D, L, M, siehe Abb. 7) nach einer Inkubationszeit von 25 Tagen. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.	31
Abb. 17	Lichtintensität (Mittelwert \pm SA, N = 3) an den verschiedenen Winkelpositionen außen an der Zementröhre 1. An den unteren Positionen der Zementröhre (A, F) herrscht eine geringere Lichtintensität, als an den oberen Positionen (C, D).	31
Abb. 18	Lichtintensität (Mittelwert \pm SA, N = 3) an den verschiedenen Winkelpositionen innen an der Zementröhre 1. An den unteren Positionen der Zementröhre (M, G) herrscht eine höhere Lichtintensität, als an den Positionen im starken Überhang (J).	32
Abb. 19	Masse der Sedimente an verschiedenen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA). Winkelkategorie 2a und 2i sind signifikant unterschiedlich. Zwischen 1a und 2a sowie 1a und 2i konnten keine signifikanten Unterschiede identifiziert werden.	33
Abb. 20	nmMDS-Plot der Massen der Sedimentation in unterschiedlichen Winkelkategorien. Die Daten sind normalisiert. Die Ähnlichkeit wurde mithilfe der D1 euklidischen Entfernung berechnet. Eingezeichnet sind in grün Entfernungen von 1,2. Der Stress-Wert beträgt 0,01. Umso größer der Durchmesser der Kreise, desto größer die Masse der Sedimente.	34
Abb. 21	Volumen der Sedimentproben an unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA). Winkelkategorie 2a und 2i sind signifikant unterschiedlich. Zwischen 1a und 2a sowie 1a und 2i konnten keine signifikanten identifiziert werden.	35
Abb. 22	Prozentualer Anteil des Stickstoffgehalts (N) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).	36
Abb. 23	Prozentualer Anteil des Schwefelgehalts (S) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).	36
Abb. 24	Prozentualer Anteil des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).	37
Abb. 25	Prozentualer Anteil des gesamten Kohlenstoffs (C_{ges}) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).	38

3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Einteilung der Kachelpositionen in Winkelkategorien abhängig von der Lage der Zementröhren (Röhre 1-3)	9
Tab. 2	Positionen (siehe Abb. 8) der nummerierten Gipseier an den drei verschiedenen Röhren	12
Tab. 3	Auflistung der Winkelkategorien mit entsprechenden Sedimentfallen sowie deren Gewindetypen	12
Tab. 4	Zuordnung der Sedimentproben zu den verschiedenen Winkelkategorien (Tab. 1), äquivalent denen der Bewuchsplatten	14
Tab. 5	Auflistung der Sedimentproben (Nummer entspricht Sedimentfallnummer), des genutzten Pyknometers sowie u.U. genutzten Inletts. Kammergröße beträgt 10 cm ³ .	15
Tab. 6	Durchschnittliche Abundanz der Arten pro m ² auf Bewuchsplatten der unterschiedlichen Winkelkategorien sowie Gesamtabundanz der Art auf Bewuchsplatten aller Winkelkategorien und die Gesamtabundanz aller Arten auf Bewuchsplatten der einzelnen Winkelkategorien.	19/20
Tab. 7	Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Abundanzdaten der Artengemeinschaften der Winkelkategorien bis zu einer Ähnlichkeit von 90 %	22/23
Tab. 8	Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Flächenbedeckungsdaten der Artengemeinschaften der Winkelkategorien bis zu einer Ähnlichkeit von 90 %	24
Tab. 9	Ergebnisse der paarweisen Vergleiche der Abundanz-Daten der Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien mit Hilfe der ANOSIM mit R-Werten > 0.5 und p < 5 %	26

4 Einleitung

4.1 Hartsubstrat-Lebensgemeinschaften und Habitate

Im Benthos können zwei Hauptsubstrattypen unterschieden werden. Zum einen ist Hartsubstrat wie z.B. Granit vorhanden. Zum anderen besteht ein Großteil des Meeresbodens aus Weichsubstrat wie z.B. Sand. Hartsubstrat existiert in jeder Zone der Meere, von Küstenregionen bis hin zu hydrothermalen Quellen in der Tiefsee (Van Dover, 2000). In all diesen Regionen wird das Substrat von verschiedensten Organismen besiedelt, die vielfältige Lebensgemeinschaften bilden.

Sublitorale, steinige Habitate weisen eine komplexe Struktur auf (Barry und Dayton, 1991) und sind von artenreichen, benthischen Lebensgemeinschaften geprägt (Garrabou et al., 1998; Antoniadou und Chintiroglou, 2005). Morphologische Formen wie Überhänge, Abhänge, Risse und Podeste verschiedener Neigungswinkel und Orientierungen sowie unterschiedliche Substrate bilden diese heterogene Umgebung. Sie sorgen für hohe Variabilität an abiotischen und biotischen Faktoren, wie z.B. Lichtintensität, Strömung, Sedimentation und Barrieren für Prädatoren, wodurch sie das Ansiedeln epibenthischer Organismen beeinflussen (Miller et al., 2008). Ebenfalls Einfluss auf die Artenzusammensetzung hat der Abstand des Substrats zum Meeresgrund sowie die Beschattung (Glasby, 1999). Bei einem künstlichen Riff änderte sich die Artengemeinschaft bereits 2 m über dem Meeresboden (Ardizzone und Chiment, 1982 *vide* Spagnolo, 2014).

Ein weiterer wichtiger Faktor, der Einfluss auf die Lebensgemeinschaft hat, ist das Platzangebot. Platzmangel verursacht Wettbewerb, besonders bei sessilen Arten (Maughan und Barnes, 2000). Aus diesem Grund haben Störungen des Lebensraums besonders in platzlimitierten Lebensräumen einen großen Effekt, da dadurch neues Besiedlungssubstrat verfügbar wird und so ein erneuter Start zur Besiedelung und Sukzession gegeben ist (Menge et al., 2005).

Durch all diese Parameter entstehen verschiedene Mikrohabitate, die je nach vorherrschenden Bedingungen von unterschiedlich strukturierten Artengemeinschaften besiedelt werden. So ist im tropischen, subtidalen Gebiet eine erhöhte Lichtintensität sowie erhöhte Sedimentation auf horizontalen Flächen festzustellen, weshalb diese von konkurrenzstärkeren Arten besiedelt werden. Die konkurrenzschwächeren und gegenüber Sedimentation empfindlicheren Arten siedeln an vertikalen Wänden (Baynes, 1999). Auf horizontalen, sehr sedimentreichen Hartsubstraten siedeln z.T. sowohl Hart- als auch Weichsubstratbewohner. An vertikalen Substraten siedeln meist Hartsubstratarten. Dabei handelt es sich häufig um sessile Evertibraten, Krustenrotalgen und Filtrierer (Baynes, 1999).

Im Comau Fjord in Chile sind signifikante Unterschiede der Lebensgemeinschaften trotz ähnlicher Neigungswinkel an zwei verschiedenen Standorten zu verzeichnen (Reichel, 2012). Zwischen den Standorten sind Unterschiede abiotischer Parameter wie der Jahresdurchschnittstemperatur und dem Meerwasser-pH feststellbar.

Die auf dem Hartsubstrat siedelnde Artengemeinschaft ändert sich über die Zeit. Grund dafür ist der Prozess der Sukzession. Als Sukzession wird die Abfolge von Pflanzen- oder Tierarten über die Zeit an einem bestimmten Ort bezeichnet (Connell und Slatyer, 1977; Klein, 2008). Sie ist ein kontinuierlicher, gerichteter Prozess, bei dem verschiedene Lebensgemeinschaften aufeinander folgen, sobald neues Substrat vorhanden ist oder die Lebensgemeinschaft auf bereits bestehendem

Substrat durch äußere Einflüsse verändert wurde (Berlow, 1997). Sukzession endet, sobald sich die Artengemeinschaft nicht mehr verändert und die sogenannte Klimaxgesellschaft entstanden ist (Pidwirny, 2006). Diese bleibt erhalten, bis es wieder zur Störung kommt und erneut der Prozess der Sukzession beginnt. Es gibt verschiedene Modelle, die den Verlauf der Sukzession beschreiben (Thoreau, 1860; Connell und Slatyer, 1977), u. a. das Förderungs-, das Hemmungs- und das Toleranzmodell.

Im Comau Fjord wurde das Toleranz-Modell von Connell und Slatyer (1977) als am zutreffendsten erachtet (Reichel, 2012). Dieses besagt, dass in dem Lebensraum alle Arten bereits zu Beginn der Sukzession siedeln, die sich auf dem entsprechenden Substrat etablieren und dort als Adulte überleben können. Die zu Beginn der Sukzession siedelnden Arten verändern die Umwelt in dem Maß, dass der Lebensraum für Arten der frühen Sukzession ungeeignet ist, aber für später siedelnde Arten keinen oder nur geringen Effekt hat. Mit der Zeit siedeln und wachsen Juvenile späterer in der Sukzession vorkommender Arten während der Anwesenheit gesunder adulter Pionierarten. Die Arten der frühen Sukzession verringern sich allmählich. Dieser Prozess setzt sich so lange fort, bis Umweltbedingungen geschaffen sind, die keine anderen Arten tolerieren können. An diesem Punkt der Sukzession ist die Klimaxgesellschaft erreicht. Diese Arten der späten Sukzession können laut dem Toleranzmodell entweder erst später siedelnde Arten sein, aber auch früh siedelnde Arten, die langsam wachsen.

Die kritischen abiotischen Faktoren, durch die die Umwelt verändert wird, können von Umgebung zu Umgebung und von Lebensgemeinschaft zu Lebensgemeinschaft variieren. Ein solcher Faktor kann z.B. Lichtmangel sein. So kann es sich bei den ersten Siedlern um nahe am Substrat wachsende Algen handeln, die sehr viel Licht benötigen. Wenn später schattenspendende Makroalgen siedeln, bestehen die Pionieralgen weiter, solange die Makroalgen noch klein sind und die Erstbesiedler den zunehmenden Schatten noch tolerieren können. Ab einem bestimmten Punkt des Wachstums der Makroalgen spenden diese so viel Schatten, dass die zuerst gesiedelten Arten an diesem Standort nicht weiter überleben können. Nun können nur noch Arten siedeln, die den bestehenden Schatten tolerieren können. Die Sukzession ist beendet, sobald das Substrat von den schattentolerantesten Arten besiedelt ist (verändertes Beispiel nach MacArthur und Connell, 1966). Grundsätzlich gibt es charakteristische Unterschiede zwischen frühen und späten Stadien der Sukzession. So sind die Organismen der frühen Stadien der Sukzession meist kurzlebiger als die der späteren, haben dafür aber ein schnelleres Wachstum (Thoreau, 1860; Pidwirny, 2006). Die Komplexität der Individuen nimmt meist mit fortschreitender Sukzession genau wie die Stabilität des Ökosystems zu. Jedoch sind die frühen Siedler meist resistenter gegenüber extremen Bedingungen (Pidwirny, 2006), wie z.B. extrem starkem Lichteinfall.

Die Hartsubstratlebensgemeinschaften der frühen Sukzession unterscheiden sich auch im Comau-Fjord, dem Untersuchungsgebiet dieser Studie, signifikant von der Artengemeinschaft der Klimaxgesellschaft. Das bedeutet, dass die Hartsubstratlebensgemeinschaft im Comau-Fjord einen starken Wandel erfährt. Die Hartsubstratlebensgemeinschaften weisen nach drei Jahren lediglich eine Übereinstimmung von 30 % auf (Reichel, 2012). Die Abundanz siedelnder Organismen schwankt ebenfalls über die Zeit. So siedeln zu Beginn der Sukzession meist wenige Organismen. Die Abundanz steigt im Verlauf der Sukzession an, bis diese ihren Höhepunkt erreicht. Ab diesem Zeitpunkt ist Platz ein limitierender Faktor und die Pionierarten werden durch langsam wachsende Arten ersetzt (Bernhardt und Poschlod, 1993). Die Abundanz nimmt dann wieder ab. Dies ist ebenfalls im Comau

Fjord zu beobachten (Reichel, 2012). Anders als die Abundanz steigt die Flächenbedeckung im Comau Fjord kontinuierlich im Laufe der Sukzession auf Hartsubstrat an (Reichel, 2012).

Davis, (2009) teilt Hartsubstrat in der subtidalen Zone in drei Kategorien ein.

- (1) Mineralisches Hartsubstrat, z.B. Fels oder totes, biogenes Material, wie Muschelschalen,
- (2) künstliche Oberflächen, z.B. Tetrapoden zum Küstenschutz, Schiffswracks und Bewuchsplatten
- (3) lebende, biogene Oberflächen z.B. von lebenden Muscheln, Schnecken und Krebsen.

Es existieren verschiedene Studien über künstliche Oberflächen anthropogenen Ursprungs. Anderson und Underwood (1994) zeigten, dass ein Unterschied in der Besiedlung verschiedener künstlicher Materialien besteht. So werden rauere, struktureichere Oberflächen wie Zement oder Gummi von inkrustierenden Arten bevorzugt (Beatriz et al., 2006). Im Gegensatz dazu legt eine Studie aus dem Jahr 2014 nahe, dass künstliche Substrate im Vergleich zu natürlichen keinen signifikanten Einfluss auf die spätere Zusammensetzung und Rekrutierung der Gemeinschaft haben. Interspezifische und intraspezifische Interaktionen sowie Umwelteinflüsse fallen stärker ins Gewicht (Vaz-Pinto et al., 2014). Die künstlichen Oberflächen dienen als Substrat für benthische Organismen, bieten Schutz vor Fraß und Strömung. Darüber hinaus sind die dort siedelnden Individuen eine Nahrungsgrundlage für andere Organismen (Pickering und Whitmarsh, 1997). Auch bei künstlichen Hartsubstraten gilt, dass die Biodiversität von Umwelt- und strukturellen Faktoren wie Tiefe, Lichtintensität, Temperatur, Trübung, Nährstoffkonzentration, morphologischer Komplexität, Material, Oberflächenbeschaffenheit, Form und Neigungswinkel abhängt (Spagnolo et al., 2014).

Die verschiedenen abiotischen Parameter der Habitate haben oft einen Zusammenhang. So ist nach dem Hjulström-Diagramm (Hjulström, 1935) (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) davon auszugehen, dass in einem Habitat mit hoher Strömungsgeschwindigkeit die Korngröße der sedimentierenden Partikel größer ist als an einem Standort mit geringerer Strömungsgeschwindigkeit.

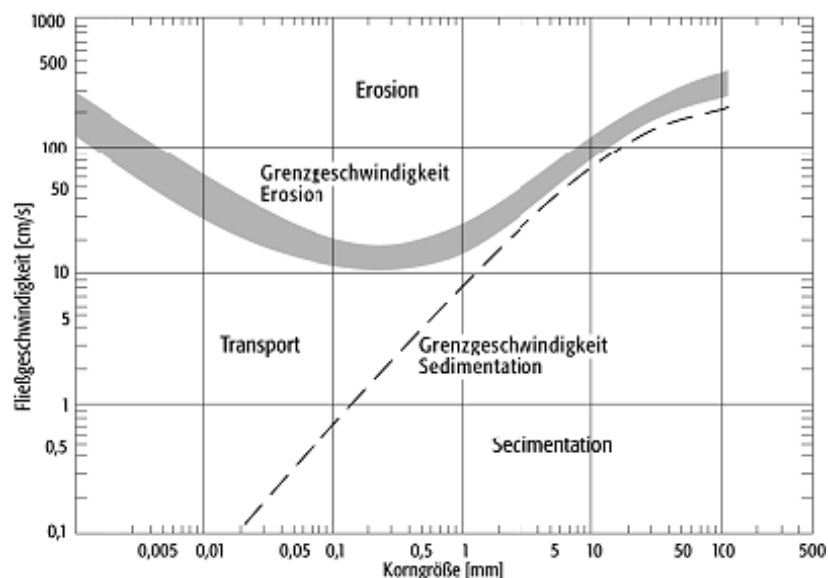


Abb. 2 Hjulström-Diagramm: Zusammenhang zwischen Korngröße und den für Erosion und Sedimentation erforderlichen kritischen Fließgeschwindigkeiten. Größere Partikel sedimentieren bei höheren Grenzeschwindigkeiten als kleinere. Kleinere Partikel werden bei geringeren Fließgeschwindigkeiten transportiert. Oberhalb der Grenzeschwindigkeit findet keine Sedimentation statt. (Geodz.com)

4.2 Ziele der Arbeit

Anlass zu dieser Studie gibt u.a. eine Masterarbeit von Reichel (2012) über die Sukzession von Hartboden-Lebensgemeinschaften im Comau Fjord, in der jedoch nur ein kleiner Bereich der Substrat-Neigungswinkel in Bezug auf die Unterschiede der Artengemeinschaften untersucht wurde. Ziel des Projekts ist der Vergleich der Hartsubstrat-Lebensgemeinschaften anhand des Vorkommens, der Abundanz und des Bedeckungsgrads der sessilen Arten in Abhängigkeit vom Neigungswinkel ihres Substrats.

Piazzini et al. (2002) vermuten, dass die Konkurrenz gegenüber anderen Arten vom Substratwinkel abhängt, da dieser die Sedimentation sowie Deposition verändert. Miller et al. (2008) zeigte, dass die Lichtintensität ebenfalls einen Effekt auf die Artengemeinschaft hat. Auch die Strömung hat Einfluss auf das Vorkommen einiger Arten (Tonetto et al., 2014). Aus diesem Grund ist es von Interesse, die wichtigsten abiotischen Faktoren an den verschiedenen Neigungswinkelpositionen zu vergleichen, um zu untersuchen, in welcher Weise diese das Habitat charakterisieren. Sie können eine mögliche Erklärung liefern, warum Artengemeinschaften bei unterschiedlichen Neigungswinkeln variieren. Da die Lichtintensität, Strömung und Sedimentation die Habitate stark verändern, wurden diese drei Parameter an unterschiedlichen Neigungswinkeln gemessen und verglichen.

Die zu untersuchenden Hypothesen lauten:

1. Die reife Hartbodenartengemeinschaft hat in Abhängigkeit vom Neigungswinkel des Substrats eine unterschiedliche Struktur.
2. Die abiotischen Parameter Strömung, Lichtintensität und Sedimentation unterscheiden sich an verschiedenen Neigungswinkeln.

Diese Hypothesen sind von besonderem Interesse, da im Meer Hartsubstrate verschiedenster Neigungswinkel zu finden sind, die unterschiedlichste Mikrohabitate bilden und von mannigfaltigsten Lebensgemeinschaften besiedelt werden. Um die Interaktion der Lebensgemeinschaften untereinander zu verstehen, ist es fundamental wichtig, die Artengemeinschaften an verschiedenen Neigungswinkeln über einen längeren Zeitraum zu untersuchen. Dabei werden sowohl Konkurrenz als auch Toleranz von bestimmten Umweltfaktoren beeinflusst. Nicht zu vergessen sind Interaktionen wie Förderung und Hemmung, wie bereits in den verschiedenen Modellen der Sukzession beschrieben. Die Messungen der abiotischen Parameter helfen dabei, die Aspekte der Toleranz, z.B. gegenüber Sedimentation und Konkurrenzstärke zu bewerten.

Dieses Wissen ist wichtig, um den Prozess der Sukzession im chilenischen Fjordsystem besser zu verstehen. Denn auch hier beeinflusst der Mensch die Umwelt zunehmend, was besonders deutlich durch die zahlreichen Lachsfarmen wird, die das Bild des Fjordsystems zunehmend bestimmen. Zudem ist der Bau einer Straße entlang des Comau Fjords geplant, da diese Region zur Zeit ausschließlich mit dem Helikopter oder auf dem Seeweg erreichbar ist. Eine Straße entlang des Fjords würde zu einer gesteigerten Sedimentation im Fjord führen. Aus Sicht des Umweltschutzes ist es wichtig, genaue Erkenntnisse über die Lebensgemeinschaften im Fjordsystem sowie den Einfluss veränderter abiotischer Effekte auf diese zu gewinnen, um Einflüsse des Menschen besser zu erkennen, diese bewerten und auf diese richtig reagieren zu können.

5 Material und Methoden

5.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist der Comau Fjord (42 °S; 72 °W). Dieser ist Teil des chilenischen Fjordsystems, welches mit einer Ausdehnung von 240.000 km² eines der größten Fjordsysteme weltweit darstellt (Acha, 2004). Letzteres erstreckt sich vom Reloncaví Fjord (41,5 °S) bis zum Kapp Hoorn (55,9 °S) (Pantoja et al., 2011). Aufgrund ihrer glazialen Entstehungsgeschichte ist die chilenische Fjordregion durch viele kleine Inseln, Halbinseln und Fjorde geprägt. Unter Wasser ist das zumeist aus Hartschubstrat bestehende Relief von Steilwänden, Überhängen und kleineren Podesten durchzogen. Daraus ergeben sich viele unterschiedliche Neigungswinkel des Besiedelungsgrunds.

Das Klimaphänomen El Niño, bei welchem in einem 5-7-Jahreszyklus durch eine Änderung der ozeanografischen Situation im tropischen Pazifik das dortige Aufströmen (Upwelling) kalten, nährstoffreichen Tiefenwassers unterbrochen wird, hat ebenfalls Auswirkungen auf das Fjordsystem. In Jahren, in denen das Upwelling unterbrochen wird, welches wiederum ein wichtiger Antrieb für die meridionale Wasserbewegung im Humboldt-Strom ist, wird der Humboldt-Strom schwächer (Allan et al., 1996). Der Humboldt-Strom fließt parallel zur Westküste Südamerikas nach Norden und befördert kalte, sauerstoffreiche Wassermassen. Wird dieser schwächer, so wird die Versorgung der chilenischen Fjordregion mit sauerstoffreichem Wasser abgeschwächt. Diese Abschwächung sorgt für eine Verringerung der Primärproduktion im chilenischen Fjordsystem (Allan et al., 1996).

Für die südchilenische Fjordregion ist eine starke Saisonalität der Sonneneinstrahlung, des Winds und des Niederschlags kennzeichnend (Pickard, 1971). Ebenso ist ein starker Eintrag an Süßwasser ins Fjordsystem charakteristisch. Dieser entsteht zum einen durch Niederschlag, zum anderen aber auch durch Schmelzwasser der Gletscher in der Region. Das Schmelzwasser führt zudem glaziales Sediment mit sich, wodurch es zu einem hohen Sedimenteintrag im Fjordsystem kommt (Dowdeswell und Dowdeswell, 2014). Das Sediment wird in Form von großen sedimentären Rücken abgelagert, die entlang der Fjordachsen verlaufen (Dowdeswell und Vásquez, 2013).

Auch im Comau Fjord ist der Süßwassereintrag unverkennbar. Im Mündungsbereich mehrerer Flüsse bilden sich aufgrund der Ablagerungen Deltas, die auf Satellitenbildern deutlich auszumachen sind. Der hohe Süßwassereintrag, meist im Winter und im frühen Frühling, führt darüber hinaus zu einer ausgeprägten Oberflächenwasserschicht mit geringer Salinität (ca. 2). Ihre Stärke variiert von 0,5 m im Sommer bis zu 10 m im Winter. Unterhalb von 18 m beträgt die Salinität konstant 32. Die durchschnittliche Tiefe des Fjords beträgt 250 m, die maximale 490 m.

Das häufigste Substrat an den Hängen ist steiniger Granit. In flacheren Bereichen kommt es zu verschiedensten Ablagerungen, u.a. auch von feinem Sediment. Größere Sedimentablagerungen finden sich ansonsten nur an den Flussmündungen, einigen Stränden und in tieferen Regionen des Fjords.

Die Gezeiten sind diurnal mit einer maximalen Amplitude von 7 m (Galea et al., 2007). Die Wassertemperatur schwankt an zwei Messstationen (Lilliguapi = Fjordausgang und Cross Huinay = zentraler Fjord) in 18 m Tiefe zwischen 10 °C im Winter und 16 °C im Sommer (Reichel, 2012). Direkt am aktuellen Untersuchungsstandort sind die Werte ähnlich (Laudien et al., 2013).

Charakteristisch für den Comau Fjord ist ein vertikaler pH-Gradient, der von 8,3 an der Oberfläche bis auf 7,4 in Tiefen von ca. 200 m sinkt (Jantzen et al., 2013). Kennzeichnend für den Fjord sind

Lachsfarmen, die dort seit einigen Jahren betrieben werden. Es ist zu vermuten, dass diese aufgrund der Zufütterung der Tiere zu einem erhöhten Nährstoffangebot im Fjord führen.

Der Versuchsort liegt im Comau Fjord direkt vor der Feldstation der Fundación Huinay auf ca. 20 m Wassertiefe (Abb. 2). Am Grund befinden sich sandige bis geröllige Flächen, unterbrochen von kleineren Felsblöcken (Durchmesser ca. 1 m).



Abb. 2 Position der Feldstation der Fundación Huinay und des Beprobungsgebiets Jetty. Abbildung verändert nach Haas (2014)

5.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus drei Zementröhren (1 m Durchmesser, 1,5 m Länge), die in der subtidalen Zone Anfang 2009 vor der Feldstation der Fundación Huinay installiert wurden. Röhre 2 wurde bereits 2009 in liegender Position auf 20 m Tiefe fixiert. Röhre 1 und 3 wurden 2009 in aufrechter Position auf 14 m Tiefe positioniert und wurden 2010 ebenfalls auf 20 m Tiefe fixiert. Die drei Röhren sind mit der Längsseite Richtung Ufer positioniert, sodass es eine fjordzugewandte- und eine fjordabgewandte Seite gibt. Sie sind an Eisenketten befestigt, die über Metallseile an großen Steinen am Ufer fixiert sind. In die Zementröhren sind Schwerlastbolzen (Fischer, Waldachtal) aus V4A eingelassen. Jeweils drei dieser Bolzen sind in einer Reihe angebracht. Es befinden sich sechs dieser Reihen außen an den Röhren und sieben Reihen innerhalb der Röhren (Abb. 3). Die Dreierreihen sind innen in gleichem Abstand zueinander verteilt, außen wurde eine Reihe ausgelassen. So entstehen verschiedene Winkel der Bolzen rund um die Röhre. Auf die Bolzen sind im Jahr 2011 Plattenhalterungen aus Polyethylen geschraubt worden, die durch die

unterschiedlichen Neigungswinkel der Bolzenreihen ebenfalls in unterschiedlichen Neigungswinkeln an der Zementröhre befestigt sind. Diese Halterungen sind mit Nummern gekennzeichnet, mit deren Hilfe sich die Bewuchsplatten später unterscheiden lassen. In die Halterung ist ein Quadrat gefräst, in dem die 15 cm × 15 cm großen Bewuchsplatten mit Hilfe von Plastikhalterungen befestigt sind. So können die Bewuchsplatten auch unter Wasser leicht zur Probennahme an die Oberfläche entnommen werden. Die Bewuchsplatten bestehen aus Tonfliesen, deren Rückseite als Substrat genutzt wird. Von Vorteil ist hierbei, dass die Oberfläche Strukturen aufweist, die als Längenskalierung bei der Fotobearbeitung dienen können (Abb. 4).

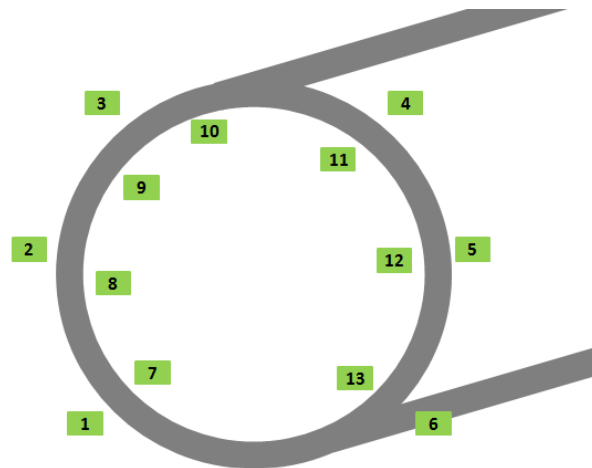


Abb. 3 Positionen der Bewuchsplatten an den Zementröhren.

5.3 Fotodokumentation und Analyse

Als Probennahme wird im Folgenden das Fotografieren der Bewuchsplatten bezeichnet. Dazu wurden verschiedene Kameramodelle verwendet (Kamera: Nikon, D100, Tokio, Japan; Gehäuse: Subal GmbH, D10, Wien, Österreich; Blitz: Subal GmbH, australia, Wien, Österreich; Kamera: Canon, G11, Tokio, Japan; Kamera: OLYMPUS, OM-D E-M5, Tokio, Japan, Gehäuse: Nauticam, NA-E-M5, Hong Konh, Blitz: INON, D-2000 Ultra multimode). Die Probennahme erfolgte vom 17.01.2014-30.01.2014.

Wichtig war die Bewuchsplatten möglichst aus der Vertikalen zu fotografieren, um die Proportionen wahrheitsgetreu darzustellen. Es wurde darauf geachtet, die Platte als Ganzes zu fotografieren. Neben dem Übersichtsfoto wurden zusätzlich die Bewuchsplatten in vier Abschnitten jeweils als Großaufnahme erneut fotografiert. Das sollte die spätere Fotoanalyse erleichtern.

Für die Fotoanalyse wurde Photoshop CS4 verwendet. Die Auflösung des verwendeten Bildschirms (Apple, MacBook Pro 5,3, Cupertino) betrug 1440 × 900 Pixel. Zunächst wurde der Skalierungsfaktor bestimmt. Dazu wurden bekannte Größen wie die Kachellänge (15 cm) oder ihre Rautenstrukturen (3,45 cm) verwendet. Die Individuen der Arten wurden mit Hilfe des Zählungswerkzeugs zunächst für die Abundanzanalyse gezählt und anschließend mit dem Lassowerkzeug oder dem Zauberstab ihre Fläche bestimmt (Abb. 4). Drei Datensätze (Präsenz der Arten, Abundanz und Flächenbedeckung jeder Bewuchsplatte) wurden generiert. Alle sichtbaren Organismen wurden gezählt. Bryozoen wurden als Kolonie gezählt, da eine Zählung der Individuen nicht möglich ist (Pacheco, 2009). Die weinrote Rotalge (nicht näher bestimmt) wies oft derart hohe Abundanzen auf, dass bei einer

gleichmäßigen Verteilung nur $\frac{1}{4}$ der Algen auf der Bewuchsplatte ausgezählt und deren Abundanz auf die gesamte Platte extrapoliert wurde. Mobile Arten wie Seesterne, Schnecken und Seeigel wurden nicht in die Datenaufnahme einbezogen, da es dem Zufall obliegt, ob sich die Individuen zum Zeitpunkt der Dokumentation auf der Bewuchsplatte befinden. Bei allen Arten wurden die Abundanz und die Flächenbedeckung im Folgenden auf 1 m^2 extrapoliert.



Abb. 4 Bewuchsplatte 30 am 36.01.2014. Bearbeitet ist *Smittina* sp. bei Photoshop CS4 mit dem Zählungs- und Lassowerkzeug zur Bestimmung der Abundanz und des Flächeninhalts der Art.

Die Neigungswinkel der Bewuchsplatten wurden mit Hilfe von Fotos bestimmt. 2014 wurden Bilder von der Öffnung jeder Röhre mit einer Unterwasserkamera (OLYMPUS OM-D E-M5, Gehäuse: Nauticam NA-E-M5, Blitz: INON D-2000 Ultra multimode) aufgenommen, sodass die Bewuchsplatten gut zu erkennen sind. Die Kamera verfügt über eine Wasserwaagenfunktion. Mit dieser konnte eine horizontale Lage der Kamera beim Fotografieren sichergestellt werden. Die Messung der Neigungswinkel wurde dann mit Hilfe des Kreiswinkelmessers 2.1 (Plumbersoft, 2012, München) durchgeführt. Dazu wurde dieser so justiert, dass sich 0° oben befindet. Der Winkelmesser wurde auf das Foto gelegt und so die Winkel der Bewuchsplatten bestimmt (Abb. 5).



Abb. 5 Winkelmessung der Kachelposition 1a an Röhre 3 mit Hilfe des Kreiswinkelmessers 2.1.

Jede Röhre liegt geringfügig anders am Grund. Somit befinden sich auch die Bewuchsplatten in variierenden Winkeln. Um die Bewuchsplatten dennoch bei der Auswertung miteinander vergleichen zu können, wurden diese in Winkelkategorien zusammengefasst (Abb. 6). Aus jeder Kategorie wurden, wenn möglich, drei Bewuchsplatten gemessen. Die Auswahl war zufällig. Wies ein Foto Mängel wie z.B. Unschärfe oder Unvollständigkeit auf, wurde ein anderes herangezogen. Tab. 1 enthält die Winkelkategorien und die dazugehörigen Kachelpositionen. Es wurden die äquivalenten Winkel an den zum Ufer und zum Fjord gerichteten Seiten der Röhre in einer Winkelkategorie zusammengefasst, da bezüglich der Seite keine Unterschiede zu erwarten waren. So entstanden zwei Winkelabschnitte in den einzelnen Winkelkategorien (Abb. 6).

Tab. 1 Einteilung der Kachelpositionen in Winkelkategorien abhängig von der Lage der Zementröhren (Röhre 1-3)

Kategorie Nr.	Winkelabschnitt [°]	Röhre 1	Röhre 2	Röhre 3
		Kachelposition	Kachelposition	Kachelposition
1a	0-45 + >135-180	1.4	2.5	1.4
2a	45-90 + 90-135	2.3	3.4	2.3
3a	>180-<225 + >315 – <360	5	1.6	5
4a	225-270 + 270-315	6		6
1i	45-0 + >135-180	7.12	7.11	11
2i	90-45 + 90-135	13	12.13	12.13
3i	180-<225 + >315 – <360	8.11	8	10.7
4i	225-270 + 270-315	9.10	10.9	8.9

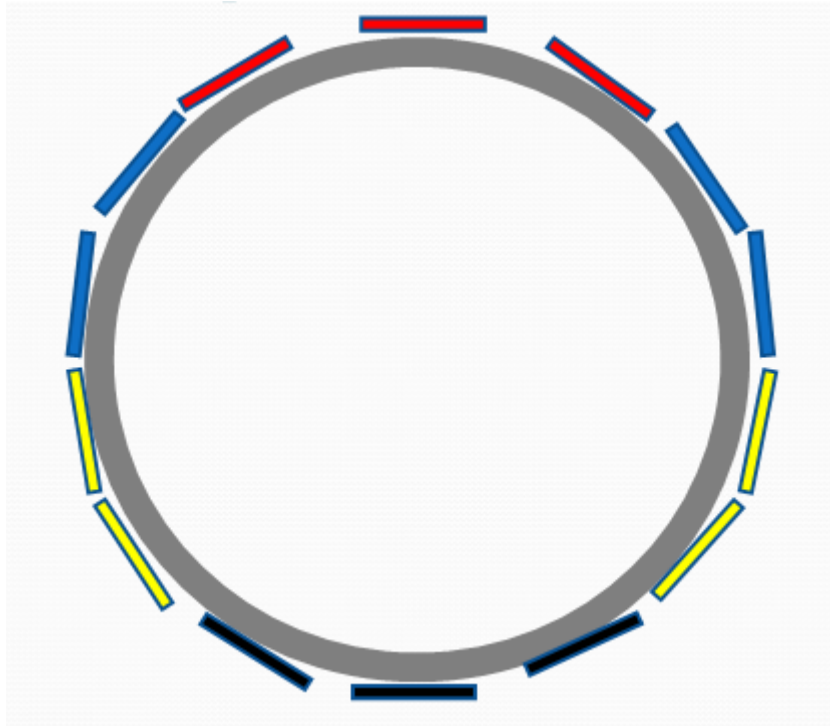


Abb. 6 Zementröhre mit verschiedenen Kachelpositionen der Winkelkategorien außen. rot = 2a, blau = 1a, gelb = 3a, schwarz = 4a.

Insgesamt wurden 68 Platten ausgewertet. Wenn möglich, wurden drei Bewuchsplatten pro Winkelkategorie und Röhre analysiert. Diese wurden nach keinem bestimmten Muster ausgewählt. In Einzelfällen waren keine drei Fotos pro Winkelkategorie vorhanden.

5.4 Abiotische Parameter

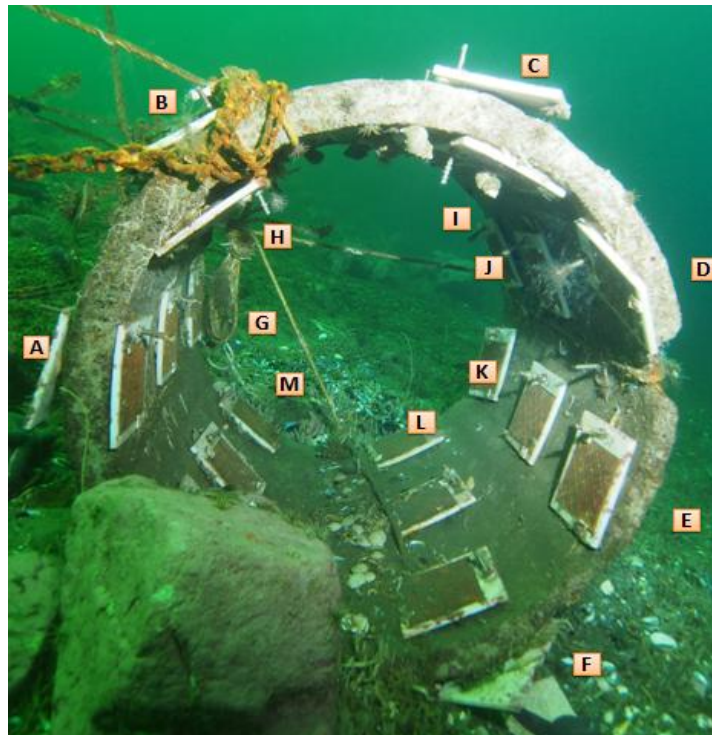


Abb. 7 Zementröhre 3 auf 20m Tiefe im Comau Fjord. Orangefarbene Felder zeigen Positionen der Messungen der abiotischen Faktoren.

5.4.1 Lichtintensität

Zur Messung der Lichtintensität wurde ein Lichtsensor (Biospherical Instruments Inc., Number QSP2300, Seriennummer 70245, San Diego, USA) genutzt, der Teil einer CTD (Conductivity, Temperature, Depth)-Multisonde war. Dieser misst die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR = photosynthetic active radiation). Die CTD wurde an einem Hebesack hängend unter Wasser transportiert, um die Handhabung zu erleichtern. Alle Befestigungen des Lichtsensors wurden gelöst, sodass dieser an einem Kabel frei beweglich war. Er wurde vertikal zur Bewuchsplatte positioniert, sodass jede Messung in gleichem Abstand zur Bewuchsplatte vorgenommen wurde. Um die Messungen der verschiedenen Winkelpositionen unterscheiden zu können, wurde nach jeder Messung der Lichtsensor für 10 Sekunden mit der Hand abgedeckt, um Lichteinfall zu vermeiden. An jeder Winkelposition wurden drei Messungen durchgeführt, die je 5 s dauerten. Zwischen den Messungen an derselben Winkelposition wurde eine Pause von ebenfalls fünf Sekunden eingehalten. Es wurde die Lichtintensität an der äußeren Bewuchsplattenreihe gemessen. Die Winkelpositionen sind Abb. 7 zu entnehmen.

5.4.2 Strömung

Um zu messen, ob sich die Strömung an den unterschiedlichen Winkelpositionen unterscheidet, wurden Gipseier (Eigenproduktion) verwendet. Dabei handelt es sich um Kugeln (Durchmesser ca. 3 cm) aus Zahnarztgips, in die ein dünner Draht zur Befestigung eingebettet ist. Befinden sich die Gipseier in der Strömung, sorgt diese für einen Abtrag des Materials. Mit zunehmender Strömung steigt der Abtrag und somit auch der Masseverlust. Es handelt sich um eine Methode, mit der sehr gut die Strömung über einen bestimmten Zeitraum verglichen werden kann (Hart et al., 2002). Die Gipseier wurden zunächst in einem Trockenschrank (Heraerus, Typ: UT6, Frankfurt am Main, Deutschland) bei 50 °C für 24 h getrocknet, damit kein Wasser die Messung der Masse des Gipseis verfälscht. Gewogen wurde das Gipsei mit einer Feinwaage (Precisa, Modell: XB120A, Dietikon, Schweiz), die mit einer Präzision von $\pm 0,1\text{mg}$ misst. Für die Wägung wurde jedes Gipsei einzeln aus dem Wärmeschrank geholt und sofort gewogen, da es ansonsten zu einem verfälschten Ergebnis der Messung gekommen wäre, da der Gips stark hydroroskopisch ist. Aus demselben Grund wurde jedes Objekt nur einmal gewogen, da die folgenden Messungen immer höher ausfallen und vom eigentlichen Wert stets zunehmend abgewichen wären. Nach der Wägung wurde ein Draht (ca. 14 cm) oben, nahe der Öffnung, an den Sedimentfallen (s. 5.4.3 Sedimentation) mit Hilfe zweier Kabelbinder befestigt. Dieser diente als Abstandhalter zur Sedimentfalle, um die Strömung möglichst wenig durch den Einfluss der Sedimentfalle zu verfälschen. Am Ende des 14 cm langen Drahtes wurde der Draht des Gipseis fixiert und noch einmal mit Hilfe von Kabelbindern gesichert (Abb. b). Die Sedimentfallen wurden am 20.01.2014 ausgebracht, siehe 5.4.3 Sedimentation. Insgesamt wurden neun Gipseier installiert (Tab. 2). Die Öffnung der Sedimentfalle an der Position M befindet sich nicht direkt auf Bewuchsplattenhöhe, wie die übrigen, sondern 0,5 m darüber. Dadurch befindet sich das Gipsei ebenfalls an dieser Position. Zudem ist Gipsei 8 an Position L abgefallen und wurde außen an der Röhre wieder angebracht. Am 13.02.2014 wurden die Gipseier von den Röhren entfernt und geborgen. Dazu wurde das jeweilige Gipsei unter Wasser inklusive der Drahthalterung entfernt und in einer mit einem Kabelbinder verschlossenen Plastiktüte (Abb. a) transportiert. Durch die individuellen Tüten wird zusätzlicher Abrieb der Gipseier untereinander und durch die Drähte während des Transports reduziert. Die gefüllten Tüten wurden dann in einem Netz an die Oberfläche befördert. Im Labor wurden die Gipseier von ihrer Halterung getrennt, lediglich der in den Gipseiern integrierte Draht blieb enthalten. Die Gipseier befanden sich anschließend zwei Mal für 24 h in destilliertem Wasser, um Salz aus dem Meerwasser zu entfernen. Danach folgte eine

Wärmeschrankbehandlung für 24 h. Nach dem Trocknen wurde erneut die Trockenmasse bestimmt. Die Differenz der Trockenmasse, ermittelt durch das Wiegen vor und nach der Anbringung im Fjord, gibt den Masseverlust im Verlauf der 25-tägigen Expositionszeit an.

Tab. 2 Positionen (siehe Abb. 8) der nummerierten Gipseier an den drei verschiedenen Röhren

Röhre Nr.	1	2	2	3	3	3	3	3	3
Position	B	C	M	A	B	C	D	L	M
Gipsei Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9

a)



b)



Abb. 8 Gipseier nach Bergung. a) Gipseier in Tüte b) Gipseier an Halterung

5.4.3 Sedimentation

Sedimentation wurde mit Hilfe des in den Sedimentfallen gesammelten sedimentären Materials erfasst und verglichen.

Aufbau der Sedimentfallen

Für den Bau der Sedimentfallen wurden 0,5 m lange PVC-Rohre (Durchmesser 0,05 m) genutzt. Das eine Ende wurde mit einem Stopfen verschlossen. An dem anderen Ende wurde ein Schraubgewinde angebracht, um die Rohre später durch einen Schraubverschluss abdichten und ohne Sedimentverlust bergen zu können. Es wurden zwei verschiedene Gewindetypen verwendet, da nicht genügend Gewinde einer Sorte im chilenischen Baumarkt zu kaufen waren; Gewinde A (Innendurchmesser 3,430 cm) und Gewinde B (Innendurchmesser 3,515 cm). Eine Auflistung der Gewindetypen der Sedimentfallen sowie deren Positionen ist in Tab. 3 zu finden.

Tab. 3 Auflistung der Winkelkategorien mit entsprechenden Sedimentfallen sowie deren Gewindetypen

Winkelkategorie Sedimentfalle	Nummer Sedimentfalle	Gewindegröße	Röhre
A	10; 6	A; A	1; 3
B	14; 4; 5	A; B; A	1; 2; 3
C	2; 11; 13	A; B; A	1; 2; 3
D	8; 1	B; A	2; 3
K	18	B	2
L	16; 9; 12	A; B; B	1; 2; 3
M	7; 17; 3	A; B; A	1; 2; 3

An den Positionen E-J wurden keine Sedimentfallen installiert, da die Winkel äquivalent zu den Positionen der installierten Sedimentfallen sind und sich lediglich in der Ausrichtung (fjordzugewandt/fjordabgewandt) unterscheiden. Bei der leicht gedrehten Röhre 3 handelt es sich um die Überhänge, die ebenfalls nicht beprobt wurden. Da auch hier kein Unterschied in der Sedimentation zwischen der fjordzugewandten und fjordabgewandten Seite zu erwarten war, wurde auf zusätzliche Sedimentfallen verzichtet.

Die Gewinde A sind mit PVC-Klebstoff (Vinilit, cpvc, Santiago de Chile, Chile) an den Röhren befestigt worden. Die Gewinde B konnten lediglich mittels Gummihammer auf den Röhren fixiert werden. Die Röhren wurden mit Hilfe von Kabelbindern an Schraubzwingen fixiert (Abb. 9). Damit diese während der Zeit im Wasser nicht korrodieren, wurde Zink als Opferanode angebracht. Die Fixierung der Röhre an der Schraubzwinge erfolgte an allen Winkelpositionen mit der Öffnung direkt an der Klemme. Nur bei den Sedimentfallen an Position M erfolgte die Fixierung anders herum, da eine andere Fixierung aufgrund des Bodens nicht möglich war. Das hatte zur Folge, dass sich bei dieser Position die Öffnung nicht direkt auf Bewuchsplattenhöhe befand, sondern 0,5 m oberhalb der Bewuchsplatte in der Röhre. Damit keine eventuell vorhandenen Schadstoffe die Organismen auf den Bewuchsplatten beeinflussen, wurden die Sedimentfallen zwei Mal mit Meerwasser gespült und eine Nacht in Seewasser gewässert. Ausgebracht wurden die Sedimentfallen am 20.01.2014. Es wurden 17 Sedimentfallen in den vier nach oben gerichteten Winkelkategorien äquivalent zu den Bewuchsplatten installiert (Tab.). Für den taucherischen Transport wurden Getränkeflaschenkisten mit den Sedimentfallen bestückt und diese von dem Tauchboot aus an einer Leine zu einem Forschungstaucher bei den Zementröhren herabgelassen. Der Taucher platzierte die Sedimentfallen vor der Röhre. Die geleerte Kiste wurde wieder an Bord gezogen und erneut bestückt. Nachdem alle Sedimentfallen vor den Zementröhren lagen, wurden diese mit Hilfe der Schraubzwingen so an die Positionen der Kacheln geschraubt, sodass der Winkel der Öffnung der Sedimentfallen dem der Bewuchsplatten entsprach (Abb. 10). Die Bergung der Sedimentfallen erfolgte vier Wochen später, am 16.02.2014. Die Schraubdeckel wurden von Forschungstauchern auf die Sedimentfallen geschraubt, um diese zu verschließen. Danach wurden die Sedimentfallen deinstalliert und mit Hilfe der Getränkekiste und der Leine an Bord des Tauchboots transportiert.

Das Sediment wurde zum Absedimentieren in Gefäße überführt. Dazu wurde ein Trichter auf das Sammelgefäß gesetzt und der Inhalt der Sedimentfalle mit dessen Hilfe in das Gefäß überführt. Jede Sedimentfalle wurde drei Mal mit gefiltertem Meerwasser gespült. Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Sedimentreste im Trichter oder der Sedimentfalle verblieben. Um sicherzugehen, dass durch das Spülen kein zusätzliches Sediment aus dem gefiltertem Meerwasser in die Probe gelangte, wurde eine Kontrolle genommen, die wie die übrigen Proben behandelt wurde. Das Sediment setzte sich 48 h lang ab. Der klare Überstand wurde mit Hilfe eines Gummischlauchs nach dem "Prinzip der kommunizierenden Röhren" abgenommen. Das verbliebene Sediment-Meerwasser-Gemisch wurde in die 500 ml-Flasche überführt. Die vorherigen Probengefäße wurden mit destilliertem Wasser gespült, bis diese sauber erschienen und sich alles sichtbare Sediment in den Nalgene-Flaschen befand. Diese wurde mit gepuffertem Formol (Reutter, Formalina Reutter Serie 11867 37 %, Santiago de Chile, Chile) soweit aufgefüllt, bis eine 4%ige Formol-Lösung entstand, damit das Sediment bis zur Bearbeitung unverändert blieb.

Tab. 4 Zuordnung der Sedimentproben zu den verschiedenen Winkelkategorien (Tab. 1), äquivalent denen der Bewuchsplatten

Winkelkategorie	Nummer Sedimentfalle
1a	1, 4, 6, 10
2a	2, 5, 8, 11, 13, 14
1i	16, 18
2i	3, 7, 9, 12, 17



Abb. 9 Sedimentfalle Nr. 8 an Schraubzwinge befestigt, inklusive Gipsei.



Abb. 10 Installierte Sedimentfallen an Röhre 3.

Im Labor in Bremerhaven wurde das Formol aus den Proben entfernt. Hierzu setzte sich das Sediment zwei Tage lang ab, bis der Überstand abgenommen werden konnte und die Flasche mit destilliertem Wasser aufgefüllt wurde. Dieses Waschen erfolgte zwei Mal. Das Sediment wurde in 200 ml Kautex-Flaschen überführt und eingefroren, um es für die Gefriertrocknung vorzubereiten. Die darauffolgende Gefriertrocknung erfolgte im STERIS LYOVAC GT 2-E (Labexchange, Burladingen, Deutschland). Das Sediment wurde auf folgende Parameter analysiert:

- (1) Masse und Volumen
- (2) Korngröße
- (3) Organischer Kohlenstoff und Stickstoff

(1) Masse und Volumen

Die Bestimmung der Masse erfolgte mit einer Feinwaage (Sartorius AC 211 S). Die Volumina wurden mittels einer Pycnometeranalyse ermittelt. Für kleinere Volumina wurde Gerät 5 (micrometrics, Accu Pyc II 1340 Gas Pycnometer, Aachen, Deutschland), mit 3,5 cm³ oder 1,0 cm³ Inletts verwendet. Für größere Volumina wurden Geräte 1, 2, 4 (micrometrics, Accu Pyc 1336, Aachen, Deutschland) genutzt. Eine Auflistung über Probennummer und Pycnometer sowie ggf. Inletts findet sich in **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke..** Die Pycnometer arbeiten mit der Software Pycnodat (AWI).

Tab. 5 Auflistung der Sedimentproben (Nummer entspricht Sedimentfallnummer), des genutzten Pycnometers sowie u.U. genutzten Inletts. Kammergröße beträgt 10 cm³.

Probennummer	Pycnometernummer	Inlett
1	5	1,0 cm ³
2	5	3,5 cm ³
3	4	
4	5	3,5 cm ³
5	5	3,5 cm ³
6	5	3,5 cm ³
7	2	
8	5	3,5 cm ³
9	1	
10	4	
11	5	
12	5	3,5 cm ³
13	5	3,5 cm ³
14	5	3,5 cm ³
16	5	3,5 cm ³
17	4	
18	5	3,5 cm ³

(2) Korngröße

Zur Korngrößenbestimmung wurden Proben mit einem Laser Particle Analyzer (Cilas, Quantachrome Cilas 1180 Particle Analyzer, Orleans, Frankreich) von Kollegen analysiert. Bei diesem Verfahren wird die Korngröße anhand der unterschiedlichen Beugung eines Laserstrahls an den Partikeln gemessen. Die Auswertung der Lasergranulometrie fand mit Hilfe der Software Gradistat (Kenneth Pye Associates LTD., Gradistat 8.0, Solihull, UK) statt.

(3) Inhaltstoffe

Zur Analyse der Inhaltstoffe des Sediments wurde die CNS(Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel)-Analyse genutzt. Gemessen wurden Stickstoff (N), Schwefel (S), organischer Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamtkohlenstoff (C_{ges}). Für die Analyse wurden zwei verschiedene Geräte verwendet. Zur Bestimmung des Prozentanteils des organischen Kohlenstoffs wurde eine ELTRA CS 84 (ELTRA, Haan, Deutschland) genutzt. Bei der ELTRA CS 84 handelt es sich um ein auf dem Prinzip der Verbrennung beruhendes Gerät, welches mit Hilfe von eingeführtem Sauerstoff Kohlenstoff zu Kohlendioxid oxidiert. Die Probe wird mit Infrarotlicht bestrahlt. Infrarotzellen messen dann die Absorption der Infrarotstrahlung der entstehenden Gase. Daraus wird der prozentuale Anteil des organischen Kohlenstoffs in der Probe berechnet. Es wurden jeweils 50 mg der Probe (Toleranz 49 - 51 mg) in Keramiktiegel überführt. Auf die Probe wurde zunächst etwas Ethanol gegeben, bis diese vollständig

benetzt war. Dann wurden 500 µl konzentrierte Salzsäure zur Probe gegeben, um die Karbonate herauszulösen. Das Ethanol sorgt dafür, dass die Probe nicht in der Salzsäure aufschwimmt. Während einer zweistündigen Wärmebehandlung auf einer Heizplatte (Schott, ROBAX, Mainz, Deutschland) verdampfte die Salzsäure mit den darin gelösten Karbonaten. Vor den eigentlichen Sedimentproben wurde eine Kontrolle (Tiegel ohne Inhalt) sowie eine Sedimentprobe bekannter Zusammensetzung (hier als Sedi2 bezeichnet) als Standard gemessen. Der Wert der Kontrolle für Kohlenstoff und Schwefel muss in der Auswertung von der Menge der Elemente in den Proben subtrahiert werden, da dieser Anteil aus dem Tiegel stammt. Die Messung des Standards Sedi2 ist notwendig, um die Genauigkeit der Messungen beurteilen zu können.

Die Messung des Stickstoffs, Schwefels und Gesamtkohlenstoffs erfolgte mit Hilfe des "elementar vario EL III" (Elementar, Hanau, Deutschland). Für die Messung wurden 29-30 mg Probe in Zinnschiffchen überführt. Die Wägung erfolgte mit Hilfe einer Feinwaage (Mettler-Toledo GmbH, MX5, Gießen, Deutschland). Nach der Zugabe von 20 mg Wolframkarbid, welches als Katalysator diente, wurden die Schiffchen gefaltet und in den "elementar vario EL III" gegeben. Während der Verbrennung in der hochsauerstoffhaltigen Atmosphäre entsteht aus den Elementen C, H, N, S ein Gasgemisch aus N₂, CO₂, H₂O, NO_x, SO₂ und SO₃. Alle Bestandteile, bis auf N₂ werden in weiteren Schritten aus dem Gasgemisch absorbiert und z.T. vorher reduziert; so werden Stickoxide zu N₂ reduziert. Das gesamte N₂ wird dann im Wärmeleitfähigkeitsdetektor gemessen. Das zuvor von der CO₂-Absorptionssäule absorbierte CO₂ wird danach durch Heizen desorbiert und ebenfalls im Wärmeleitfähigkeitsdetektor gemessen. Die Messung des Schwefels liegt dem gleichen Prinzip zu Grunde.

5.5 Identifikation der Arten

Für die Identifikation der Arten via Photoanalyse wurden Experten befragt (Dr. Jürgen Laudien, Dr. Verena Häussermann, Günter Fösterra, Dr. Horia Galea, Dr. Américo Montiel) sowie das Bestimmungsbuch "Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia" (Häussermann und Fösterra, 2009) genutzt.

Des Weiteren wurden Proben einiger Arten von Bewuchsplatte Nr. 41 genommen. Die Platte wurde für diesen Zweck zuvor geborgen. Es wurden Stücke der Kachel mit einem Handelektrobohrer (Drehmel 8200, Dehmel, Europe) und einem Messer extrahiert. Die Proben wurden dann im Trockenschrank (Heraerus Holding GmbH, Typ: UT6, Hanau, Deutschland) bei 35 °C 24 h lang getrocknet und zusammen mit Silikat-Gel in Gläschen transportiert. Das Silikat-Gel sollte verhindern, dass die Proben wieder feucht werden. Die Proben wurden zur genetischen Analyse verschickt. Einige Bryozoa wurden bereits 2012 beprobt und elektronenmikroskopische bestimmt (vgl. Reichel, 2012). Die Ergebnisse wurden ebenfalls zur Identifikation genutzt.

Die Bestimmung erfolgte bis zum niedrigsten möglichen Niveau.

5.6 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der biotischen Analyse wurde das Statistikprogramm Primer 6 mit der Erweiterung Permanova + (Clarke, KR, Gorley, 2006, PRIMER-E, Plymouth) verwendet. Als Grundlage für die statistische Auswertung diente die durch die Analyse der Fotos entstandene Datenmatrix (s. Fotodokumentation und Analyse) mit den Parametern Präsenz/Absenz, Abundanz und Flächenbedeckung. Diese Parameter wurden für die statistische Auswertung auf 1 m² Substrat extrapoliert. Die SIMPER-Analyse wurde genutzt, um jene Arten zu identifizieren, welche für die

Ähnlichkeit innerhalb der Gruppen verantwortlich sind. Um die Ähnlichkeiten innerhalb und zwischen Gruppen zu ermitteln, wurde eine ANOSIM genutzt. Dabei handelt es sich um einen Permutationstest. Ein Permutationstest ist ein nichtparametrischer Test zur Prüfung der Frage, ob zwei nicht verbundene Stichproben aus derselben Grundgesamtheit stammen (Heiler und Weichselberger, 1969). Es wurden 999 Permutationen durchgeführt. Daraus entsteht eine Verteilungsstatistik sowie ein globales R . Dabei handelt es sich um den Testwert. Dieser kann folgendermaßen gedeutet werden: Ist $R = 1$, so sind alle Proben einer Gruppe ähnlicher zueinander als zu jeglicher Probe aus einer anderen Gruppe. Es herrscht eine optimale Gruppentrennung. Für $R > 0,75$ sind die Gruppen klar unterscheidbar, für $R \approx 0,5$ sind sie noch gut unterscheidbar. Ist $R < 0,25$ liegt kaum noch ein Unterschied zwischen den Gruppen vor. Für $R \approx 0$ gilt, dass sich die Gruppen nicht mehr voneinander unterscheiden (Clarke und Gorley, 2006). Um die Gemeinschaftsstrukturen an den unterschiedlichen Neigungswinkeln miteinander vergleichen zu können, wurden multivariate Analysen verwendet. Zunächst wurden die Daten quadratwurzel-transformiert, bzw. transformiert mittels der 4. Wurzel. Das diente dazu, den Einfluss individuenreicher Arten zu verringern und individuenarme Arten bei der Ähnlichkeitsanalyse mehr Gewicht zu verleihen. Ob die Transformierung mittels 2. oder 4. Wurzel erfolgte, entschied sich danach, welcher nmMDS-Plot den geringeren Stress-Wert aufwies. Der Stress-Wert gibt Aufschluss darüber, wie hoch die statistische Qualität ist. Ist der Stress-Wert $< 0,1$ deutet dies auf eine gute Verlässlichkeit der Darstellung mit geringer Wahrscheinlichkeit der Fehlinterpretation hin. Werte zwischen 0,1 und 0,2 deuten auf eine noch brauchbare Ordination hin, während nmMDS Plots mit Werten $> 0,2$ sehr vorsichtig betrachtet werden müssen (Clarke und Warwick, 2001). Nach der Wurzeltransformierung wurde aus den transformierten Daten eine Ähnlichkeitsmatrix mittels des Bray-Curtis-Ähnlichkeitskoeffizienten erstellt. Diese wurde zur Erstellung eines Dendrogramms und eines nmMDS-Plots genutzt. Beide stellen die Ähnlichkeiten der Artengemeinschaften der Bewuchsplatten zueinander graphisch dar. Im nmMDS-Plot sind sich Artengemeinschaften umso ähnlicher, desto geringer der Abstand zwischen den Punkten ist. Eine andere Darstellungsform ist das Dendrogramm. Eine SIMPER-Analyse zeigt zudem, welche Bereiche des Dendrogramms mit geringer Fehlerwahrscheinlichkeit richtig dargestellt sind.

Strömung:

Für die Analyse der Strömungsgeschwindigkeit wurden die Werte des prozentualen Gewichtsverlusts an den unterschiedlichen Winkelpositionen verglichen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße an den unterschiedlichen Winkelpositionen ist ein Test auf Normalverteilung nicht möglich, wenn die Einteilung nach Bewuchsplattenreihen erfolgt. Aus diesem Grund wurde ein Kruskal-Wallis Test mit dem Programm R 3.1.1 (Hornik, 2014) durchgeführt. Für den Kruskal-Wallis Test ist sowohl Normalverteilung, als auch Varianzhomogenität keine Voraussetzung (Erbsland, 2014). Der Test beruht auf einer Rangvarianzanalyse. Die errechnete Prüfgröße P gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese abgelehnt wird.

Es wurde ein Signifikanzniveau von 5 % gewählt. Ist $P \leq 0,05$, wird die Nullhypothese abgelehnt und es liegt ein signifikanter Unterschied zwischen den untersuchten Gruppen vor. Es wurde ebenfalls eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Die Durchführung erfolgte äquivalent zur Sedimentation.

Lichtintensität:

Zur Auswertung der Lichtintensität wurde eine Korrelation mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms MS Excel 2007 (Microsoft, Redmond, USA) durchgeführt. Eine Korrelation misst die Stärke einer statistischen Beziehung zweier Variablen zueinander. Die Stärke des statistischen Zusammenhangs wird mit dem Korrelationskoeffizienten R ausgedrückt, der zwischen -1 und $+1$ liegt. Der errechnete R -Wert gibt die Stärke der Korrelation an. Bei $R = 0$ gibt es keinen Zusammenhang. Je weiter der R -Wert sich 1 nähert, desto stärker ist der Zusammenhang. Bei positiven Werten, handelt es sich um eine positive Korrelation, bei negativen um eine negative. Für die Korrelation wurden die Messwerte der Lichtintensitäten der Röhre 1 aufsteigend sortiert. Für die drei Messungen wurde ein Fehlerbalken eingefügt, welche die Standardabweichung anzeigen. Die Fehlerbalken beziehen sich lediglich auf die Präzision des Messwerts. Da die Messungen direkt hintereinander erfolgten, dienen die drei Werte nur dazu, die Genauigkeit des Messwerts zu erhöhen. Sie ergeben aber nur einen Datenpunkt. Somit ist keine weitere statistische Auswertung möglich.

Sedimentation:

Die Messwerte der Sedimentproben wurden den Winkelkategorien der Bewuchsplatten zugeordnet und diese gegeneinander getestet. Es wurde ebenfalls der nicht-parametrische Kruskal-Wallis Test mit R 3.1.1 durchgeführt. Wegen der relativ hohen Stichprobengröße besteht die Möglichkeit eines parametrischen Tests, der eine größere "statistische Power" hat. Dafür werden Gruppen von mindestens drei Stichproben benötigt. Die Stichproben der Winkelkategorien wurden auf Normalverteilung mit Hilfe des Shapiro-Wilcoxon normality Tests in R getestet. Es wurde ein Signifikanzniveau von 5 % gewählt. Ist der errechnete P -Wert $> 0,05$, wird die Nullhypothese angenommen und es liegt eine Normalverteilung vor. Da für diesen eine Stichprobengröße von drei benötigt wird, konnte der Shapiro-Wilcoxon normality Test nicht auf die Winkelkategorie 1i angewandt werden, da diese lediglich zwei Stichproben beinhaltet. Kategorie 1i wurde somit bei dem parametrischen Test nicht betrachtet. Um die Gruppen auf Varianzhomogenität zu testen, wurde der Levene-Test mit R durchgeführt. Es gilt: Ist $P > 0,05$, wird die Nullhypothese angenommen und es kann von einer Varianzhomogenität ausgegangen werden. Normalverteilung und Varianzhomogenität sind Voraussetzung für die Durchführung von Varianzanalysen wie einer ANOVA. Eine einfaktorielle ANOVA wurde mit MS Excel 2007 durchgeführt. Es wurde die Bonferroni-Methode angewandt, um eine Erhöhung des Fehlers erster Art zu verhindern. Das kann sonst passieren, wenn mehrere statistische Signifikanztests mit den gleichen Daten durchgeführt werden. Bei der Bonferroni-Methode wird die Irrtumswahrscheinlichkeit α der Anzahl der Freiheitsgrade angepasst. Da in dieser ANOVA Winkelkategorie 1i nicht mit getestet werden konnte, wurden die Werte von Sedimentfalle 9 für eine erneute ANOVA Kategorie 1i zugeordnet und nicht 2i. Diese Sedimentfalle fällt mit einem Neigungswinkel von 50° nur knapp aus der Winkelkategorie 1i heraus. Somit ist auch bei Winkelposition 1i eine Stichprobengröße von drei erreicht und die Möglichkeit eines parametrischen Tests gegeben. Die gleichen Tests wurden mit diesem veränderten Datensatz erneut durchgeführt. Zur Darstellung der Masseunterschiede der unterschiedlichen Winkelkategorien wurde zusätzlich ein nmMDS-Plot mit Primer 6 erstellt. Dieser basiert auf der Berechnung der Ähnlichkeit mit Hilfe der Euklidischen Distanz.

6 Ergebnisse

6.1 Analyse der Lebensgemeinschaften auf verschiedenen Substratwinkeln

6.1.1 Deskriptive Analyse

Auf den 68 ausgewerteten Bewuchsplatten aus dem Jahr 2014 wurden 30 verschiedene Taxa identifiziert. Eine Auflistung der unterschiedlichen Taxa befindet sich in Tab. .

Tab. 6 Durchschnittliche Abundanz der Arten pro m² auf Bewuchsplatten der unterschiedlichen Winkelkategorien sowie Gesamt-Abundanz der Art auf Bewuchsplatten aller Winkelkategorien und die Gesamt-Abundanz aller Arten auf Bewuchsplatten der einzelnen Winkelkategorien.

Arten	1i	2i	3i	4i	1a	2a	3a	4a	Gesamt- Abundanz
<u>Bryozoa</u>									
<i>Cellaria malvinensis</i> (Busk, 1852)	5	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Disporella</i> sp.	311	89	494	533	69	10	484	444	2435
<i>Smittina cf monacha</i> (Jullien, 1888)	380	5	790	1220	0	0	178	963	3536
<i>Smittina</i> sp.1	89	15	277	474	0	0	326	193	1373
Bryozoa 1	612	74	1748	3531	30	0	1348	1037	8380
Bryozoa 2	148	25	49	40	30	15	119	133	558
Bryozoa 3	0	0	267	40	0	0	10	0	316
Bryozoa 4	0	0	0	0	5	0	370	0	375
Bryozoa 5	10	0	0	0	0	0	0	0	10
Bryozoa 6	25	0	49	69	0	0	15	178	336
Bryozoa 7	0	0	0	0	54	0	0	0	54
Bryozoa 8	0	0	0	0	0	0	5	0	5
<u>Hydrozoa</u>									
Hydrozoa 1	79	40	5	0	25	0	0	0	148
<u>Octocorallia</u>									
Octocorallia 1: entweder <i>Incrustatus comauensis</i> (van Ofwegen, Häussermann & Försterra, 2007) oder <i>Clavularia magelhaenica</i> (Studer, 1878)	64	5	99	109	10	0	30	15	331
<u>Rhodophyta</u>									
Rhodophyta 1 (weinrot)	9323	18133	2830	0	22479	13630	12121	0	78516
Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	202	593	54	0	4425	6252	35	0	11560
<u>Polychaeta</u>									
<i>Apomatus</i> sp.	10	0	0	5	0	0	0	0	15
Chaetopteridae	49	212	25	5	15	5	59	0	370
Serpulidae	859	193	528	425	785	35	1274	178	4277
Spirorbidae	25	0	15	10	0	0	10	59	119

<u>Brachiopoda</u>									
<i>Magellania venosa</i> (Solander, 1789)	0	5	0	5	0	0	0	0	10
<u>Mollusca</u>									
<i>Mytilus chilensis</i> (Hupé in Gay, 1854)	0	0	0	0	0	0	5	0	5
<u>Actinaria</u>									
cf <i>Gonactinia prolifera</i> (Sars, 1835)	528	0	0	5	0	0	0	15	548
Actinaria 1	84	20	0	30	0	5	0	0	138
Actinaria 2	0	0	0	15	0	0	0	15	30
<u>Porifera</u>									
<i>Clathrina</i> sp.	5	5	0	0	0	0	10	0	20
cf Porifera 2	0	0	0	5	0	0	0	0	5
cf Porifera 3	0	0	0	0	0	0	5	0	5
<u>Asciidiacea</u>									
<i>Polyzoa opuntia</i> (Lesson, 1830)	64	0	69	15	0	0	0	0	148
Polyclinidae oder Holozoidae	10	0	0	0	0	0	10	0	20
Gesamtabundanz	12884	19412	7299	6533	27926	19951	16412	3230	113647
Gesamtartenzahl	21	11	14	7	15	19	18	11	[Alle Arten]

Die Abundanzen und Flächeninhalte sind auf 1 m² extrapoliert. Die Winkelkategorie 4i beinhaltet nur Daten der Röhre 1, da für Röhre 2 und 3 keine Fotos von Bewuchsplatten dieser Winkelkategorie existieren.

Die Abundanzen aller Taxa variieren zwischen den Artengemeinschaften der Bewuchsplatten der verschiedenen Winkelkategorien von 3229 [Ind. m⁻²] (4a) bis 19950 [Ind. m⁻²] (2a) (Tab. 6). Für die hohen Abundanzen sind vor allem Rhodophyta 1 und 2 und Bryozoa 1 verantwortlich. Bryozoen sind in allen Winkelkategorien vertreten (Tab. 6). *Disporella* sp. und Bryozoa 2 siedeln auf Bewuchsplatten aller Winkelkategorien. *Smittina* cf *monacha* und *Smittina* sp. sind ebenfalls sehr abundant. Diese sind nur auf nach oben geneigten Bewuchsplatten außerhalb der Zementröhre (Winkelkategorien 1a und 2a) nicht vertreten. Die sehr abundante Bryozoa 1 ist ebenfalls auf Bewuchsplatten aller Kategorien bis auf stark nach oben geneigte Bewuchsplatten an der Außenseite der Zementröhren zu finden (Kategorie 2a). Substrat der Kategorie 1i (innen, leicht nach oben geneigt) ist das einzige, auf dem *Cellaria malvinensis* und Bryozoa 5 siedeln. Bryozoa 7 siedelt hingegen ausschließlich auf leicht nach oben geneigten Bewuchsplatten außerhalb der Röhre (Kategorie 1a). Bryozoa 8 ist ausschließlich auf Substrat der Kategorie 3a (außen an der Zementröhre, leicht nach unten geneigt) zu finden. Bryozoa 3 ist an Überhängen sehr abundant (v. a. Winkelposition 3i, aber auch 3a und 4a). Bryozoa 4 ist auf Bewuchsplatten der Winkelposition 3a sehr abundant, siedelt aber auch auf Platten der Position 1a und ist somit eher an vertikal orientierten Substraten an der Außenseite der Zementröhre zu finden. Bryozoa 6 ist hingegen auf Substrat aller Positionen außer stark nach oben geneigten (1a, 2a und 2i) zu finden. Hydrozoa siedeln auf Substrat der Kategorien 1i, 2i, 3i sowie 1a. Octocorallia sind an allen Winkelpositionen außer bei 2a (außen, stark nach oben geneigt) zu finden. Die sehr abundanten Rhodophyta siedeln auf Substrat aller Winkelpositionen außer den stärksten

Überhängen (4a und 4i). Bei den Polychaeta sind besonders die Serpulidae sehr abundant und in jeder Winkelkategorie vorzufinden. Chaetopteridae siedeln überall außer auf Substrat im stärksten Überhang an der Außenseite der Röhren (Winkelposition 4a). Sie sind aber besonders abundant auf Bewuchsplatten am Boden innerhalb der Zementröhren (Position 2i). *Apomatus* sp. ist nur auf Substrat der Winkelkategorien 1i und 4i vorzufinden. Spirorbidae siedeln an Substrat aller Winkelkategorien außer an stark nach oben geneigtem (Kategorien 1a, 2a und 2i) und weisen an der Position 4a (außen, starker Überhang) die höchsten Abundanzen auf. Der Brachiopode *Magellania venosa* ist auf Substrat Positionen 2i und 4i zu finden und die Miesmuschel *Mytilus chilensis* auf Oberflächen der Position 3a. Unter den Actinaria ist besonders cf *Gonactinia prolifera* auf Bewuchsplatten der Kategorie 1i sehr abundant, kommt aber auch auf Substrat der Kategorie 4i und 4a vor. Actinaria 1 siedelt auf Substrat in den Kategorien 1i, 2i, 4i und 2a und Actinaria 2 v.a. auf Substrat mit stark überhängender Neigung (Kategorien 4i und 4a). Unter den Porifera ist *Clathrina* sp. am häufigsten, der auf Bewuchsplatten der Positionen 1i, 2i und 3a zu finden ist. Porifera 1 ist ausschließlich an der Position 4i (innen, starker Überhang) zu finden und Porifera 2 an der Position 3a. Unter den Ascidiacea siedelt *Polyzoa opuntia* auf Substrat der Positionen 1i, 2i und 3i und Polyclinidae oder Holozoidae an eher vertikal orientierten Substraten (Positionen 1i und 3a).

Somit ist die höchste Artenanzahl mit 21 verschiedenen Taxa an Winkelkategorie 1i gegeben und die niedrigste an Winkelkategorie 2a mit 7 Taxa (Tab. 6).

Bei der Flächenbedeckung sind Rhodophyta 1 und 2 sowie die Bryozoen Bryozoa 1 und *Smittina* cf *monacha* die dominierenden Arten (Abb. 11), wie auch die SIMPER-Analyse zeigt. Rhodophyta bedecken große Teile der Bewuchsplatten der Winkelkategorien 1i, 1a, 2i und 2a während Bryozoen besonders die Flächen der Kategorien 3i, 4i und 4a bedecken. In der Gruppe 3a sind beide Taxa stark vertreten.

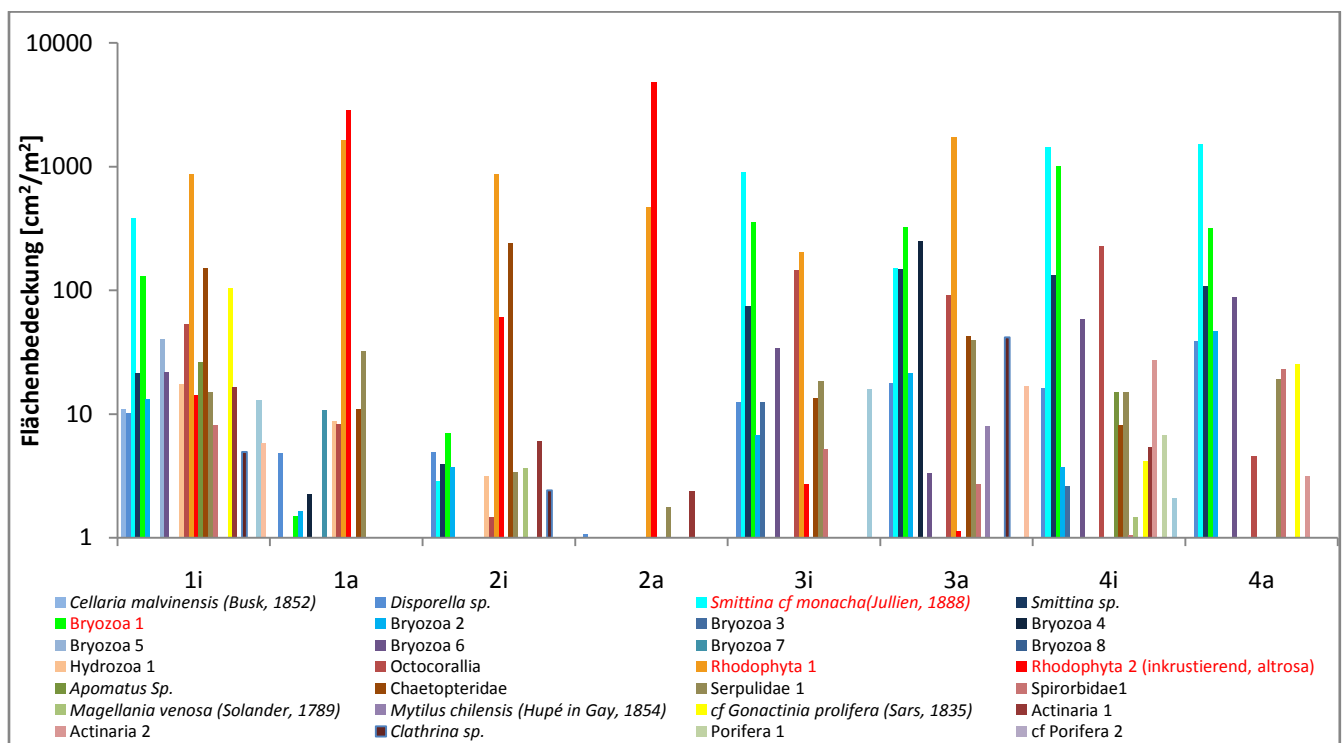


Abb. 11 Flächenbedeckung [cm²/m²] unterschiedlicher Arten in verschiedenen Winkelkategorien bei logarithmischer Skalierung (log₁₀). Rot gekennzeichnete Arten weisen besonders hohe Flächenbedeckungen auf.

6.1.2 SIMPER-Analyse

Die hohe Artenvielfalt auf Bewuchsplatten der Winkelkategorie 1i spiegelt sich auch in der SIMPER-Analyse wider (Tab. 7). Es ist keine klar definierte Spezies für die Ähnlichkeit unter den Bewuchsplatten dieser Kategorie auszumachen. Die wichtigste Spezies trägt zu <30 % dazu bei. Es herrscht eine Ähnlichkeit zwischen den Bewuchsplatten von <40 %. Bei den Gruppen 1a, 2a und 3a sind Rhodophyta 1 die klar nummerisch dominierende Spezies. Auch die durchschnittliche Ähnlichkeit der Artengemeinschaften auf den Bewuchsplatten untereinander ist sehr hoch (> 60 %). In der Gruppe 2i sind die Rhodophyta stark für die Ähnlichkeit der Artengemeinschaft verantwortlich (77 %), während die Ähnlichkeit zwischen den Gemeinschaften auf Substraten dieser Kategorie 57 % beträgt. In den Kategorien 3i und 4i sind Bryozoa 1 (Anteil 32 %) die wichtigsten Spezies für die Ähnlichkeit der Gemeinschaften untereinander. Bei der Winkelkategorie 4a ist die Bryozoe *Smittina cf monacha* hauptverantwortlich für die Ähnlichkeit innerhalb der Artengemeinschaft. Diese ist zwar nur zu <30 % für die Ähnlichkeit innerhalb der Gruppe verantwortlich, trotzdem besteht eine Ähnlichkeit zwischen den Artengemeinschaften auf den Bewuchsplatten von fast 70 %.

Tab. 7 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Abundanzdaten der Artengemeinschaften der Winkelkategorien bis zu einer Ähnlichkeit von 90 %

Gruppe 1i durchschnittliche Ähnlichkeit: 39,91 %			Gruppe 1a durchschnittliche Ähnlichkeit: 81,75 %		
Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]
Serpulidae 1	4,21	29,44	Rhodophyta 1	21,87	59,51
Rhodophyta 1	9,37	22,47	Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	9,78	27,81
<i>Disporella</i> sp.	2,24	11,52	Serpulidae 1	4,05	10,59
<i>Smittina cf monacha</i>	2,29	10,44			
Bryozoa 1	2,76	10,24			
Bryozoa 2	1,28	4,02			
Octocorallia	0,91	3,99			

Gruppe 2i durchschnittliche Ähnlichkeit: 57,18 %			Gruppe 2a durchschnittliche Ähnlichkeit: 77,37 %		
Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]
Rhodophyta 1	18,33	77,82	Rhodophyta 1	16,56	57,83
Chaetopteridae	1,85	9,14	Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	11,16	41,52
Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	2,48	4,26			

Gruppe 3i durchschnittliche Ähnlichkeit: 47,57 %			Gruppe 3a durchschnittliche Ähnlichkeit: 64,38 %		
Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]
Bryozoa 1	5,57	32,23	Rhodophyta 1	14,94	40,32
Serpulidae 1	3,13	20,20	Bryozoa 1	5,11	15,94
<i>Smittina cf monacha</i>	3,53	17,07	Serpulidae 1	4,59	10,91
<i>Disporella</i> sp.	2,67	11,89	<i>Smittina</i> sp.	2,55	8,19
<i>Smittina</i> sp.	1,95	7,11	<i>Disporella</i> sp.	2,90	8,02
Bryozoa 3	1,68	4,91	Bryozoa 4	2,60	7,72

Gruppe 4i durchschnittliche Ähnlichkeit: 70,08 %			Gruppe 4a durchschnittliche Ähnlichkeit: 69,99 %		
Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Abundanz	Anteil [%]
Bryozoa 1	8,31	32,23	<i>Smittina cf monacha</i>	4,58	27,48
<i>Smittina cf monacha</i>	5,04	21,67	Bryozoa 1	4,73	26,68
<i>Smittina</i> sp.	3,15	13,81	<i>Disporella</i> sp.	3,08	17,01
<i>Disporella</i> sp.	3,28	13,34	Serpulidae 1	1,99	12,55
Serpulidae 1	2,83	10,59	Bryozoa 6	1,95	11,06

Der Vergleich der in Winkelkategorien eingeteilten Artengemeinschaften auf Grundlage der Flächenbedeckung der verschiedenen Arten mit Hilfe der SIMPER-Analyse zeigte bei der Gruppe 1i eine Ähnlichkeit von 30 % innerhalb der Gruppe (Tab.). Bei den Gemeinschaften der Kategorien 2i und 3i lag diese bei 48 % und 42 %. Die Ähnlichkeiten der Artengemeinschaften innerhalb aller anderen Kategorien liegen zwischen 57 % (3a) und 76 % (2a). Die SIMPER-Analyse der Abundanzdaten der Artengemeinschaft der Winkelkategorie 4a ermittelte *Smittina cf monacha* als die für die Ähnlichkeit am meisten verantwortliche Art. Diese ist unter Betrachtung der Flächenbedeckung nicht nur am wichtigsten für die Kategorie 4a, sondern auch für die Kategorien 1i, 3i und 4i. Weitere wichtige Arten sind die Rhodophyta 1 und 2. Rhodophyta 1 sind maßgebend für die Kontribution der Gemeinschaften der Kategorien 2i und 3a, wie auch die SIMPER-Analyse der Abundanzen zeigte. Rhodophyta 2 sind am wichtigsten in der Gemeinschaft der Kategorien 1a und 2a.

Tab. 8 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Flächenbedeckungsdaten der Artengemeinschaften der Winkelkategorien bis zu einer Ähnlichkeit von 90 %

Gruppe 1i			Gruppe 1a		
durchschnittliche Ähnlichkeit: 30,18 %			durchschnittliche Ähnlichkeit: 67,25 %		
Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]
<i>Smittina cf monacha</i> (Jullien, 1888)	14,96	25,01	Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	49,74	57,07
Rhodophyta 1	18,12	22,90	Rhodophyta 1	35,54	34,61
Bryozoa 1	8,08	11,77			
Serpulidae 1	3,58	10,51			
Octocorallia	5,41	8,62			
<i>Disporella</i> sp.	2,68	5,98			
<i>Smittina</i> sp.	3,24	4,13			
Bryozoa 2	2,52	3,53			
Gruppe 2i			Gruppe 2a		
durchschnittliche Ähnlichkeit: 48,86 %			durchschnittliche Ähnlichkeit: 76,11 %		
Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]
Rhodophyta 1	25,58	57,77	Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	64,88	75,02
Chaetopteridae	12,62	30,18	Rhodophyta 1	20,33	24,68
Rhodophyta 2 (inkrustierend, altrosa)	4,93	4,22			
Gruppe 3i			Gruppe 3a		
durchschnittliche Ähnlichkeit: 42,26 %			durchschnittliche Ähnlichkeit: 57,01 %		
Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]
<i>Smittina cf monacha</i> (Jullien, 1888)	24,75	37,43	Rhodophyta 1	36,85	35,60
Bryozoa 1	16,71	32,14	Bryozoa 4	14,74	17,46
Serpulidae 1	3,85	7,91	Bryozoa 1	15,69	15,96
<i>Smittina</i> sp.	6,25	6,94	<i>Smittina</i> sp.	10,23	9,36
<i>Disporella</i> sp.	3,03	5,94	<i>Smittina cf monacha</i> (Jullien, 1888)	9,22	5,80
			Serpulidae 1	5,23	4,50
			<i>Disporella</i> sp.	3,60	3,55
Gruppe 4i			Gruppe 4a		
durchschnittliche Ähnlichkeit: 68,27 %			durchschnittliche Ähnlichkeit: 69,79 %		
Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]	Arten	durchschnittliche Flächenbedeckung	Anteil [%]
<i>Smittina cf monacha</i> (Jullien, 1888)	36,98	40,86	<i>Smittina cf monacha</i> (Jullien, 1888)	38,55	51,42
Bryozoa 1	29,40	27,78	Bryozoa 1	17,43	21,40
<i>Smittina</i> sp.	10,88	11,02	Bryozoa 6	8,83	9,64
Octocorallia	13,03	10,40	<i>Disporella</i> sp.	5,89	6,26
			Serpulidae 1	4,19	4,84

Auf Grundlage der deskriptiven Analyse sowie der SIMPER-Analyse lassen sich die Artengemeinschaften der Winkelkategorien folgendermaßen charakterisieren. Für die Gemeinschaft der Winkelkategorie 1a ist das Fehlen der ansonsten abundanten Bryozoen *Smittina cf monacha* und *Smittina* sp. 1 kennzeichnend. Allgemein sind in der Artengemeinschaft dieser Winkelkategorie wenige Bryozoa zu finden. Eine Ausnahme macht Bryozoa 7, die ausschließlich auf Substrat mit

Neigungswinkeln dieser Winkelkategorie entsprechend siedelt. Charakteristisch sind ausgesprochen hohe Abundanzen v.a. an Rhodophyta 1, aber auch an Rhodophyta 2 sowie hohe Flächenbedeckungsraten dieser beiden Arten. Die Wichtigkeit dieser Arten ist in der SIMPER-Analyse (Tab. 7) belegt. Charakteristisch für die Gemeinschaft der Winkelkategorie 2a ist eine sehr geringe Biodiversität. Bryozoen treten hier in noch geringerer Anzahl auf als auf Substrat der Winkelkategorie 1a. Zudem ist diese die einzige Artengemeinschaft, die keinerlei Octocorallia aufweist. Die ansonsten recht abundanten Serpulidae sind ebenfalls in geringer Anzahl zu finden. Die einzigen sehr abundanten Arten sind Rhodophyta 1 und 2, die ebenfalls einen Großteil der Flächenbedeckung ausmachen und kennzeichnend für diese sind, wie SIMPER-Analysen ergaben (Tab. 8). Rhodophyta 2 sind auf Substrat keiner anderen Winkelkategorie mit höheren Abundanzen vertreten. Bei der Artengemeinschaft der Winkelkategorie 3a ist eine große Anzahl verschiedener Arten der Bryozoa auffallend. Zudem spielen Rhodophyta 2 sowohl die Abundanz als auch die Flächenbedeckung betreffend eine untergeordnete Rolle, während Rhodophyta 1 die abundanteste und flächendeckendste Art ist. Allerdings prägen nicht allein Rhodophyta 1 das Bild der Bewuchsplatten. V.a. Bryozoa 1 und Serpulidae sind ebenfalls in bedeutenden Abundanzen vorhanden. Verschiedenste Bryozoen (Bryozoa 1 und 4, *Smittina* sp., *Smittina cf monacha*) bedecken zusammen einen deutlich größeren Bereich der Bewuchsplatte als Rhodophyta 1, wie die SIMPER-Analyse zeigt (Tab. 8). Zudem sind relativ viele Schwämme; zu finden, vor allem *Clathrina* sp.. Das wichtigste Merkmal der Artengemeinschaft der Winkelkategorie 4a ist die Abwesenheit der Rhodophyta. Das führt zu einer geringen Gesamtabundanz. Statt der Rhodophyta dominieren Bryozoa, die hier sehr divers vorhanden sind. Dabei sind *Smittina cf monacha* und Bryozoa 1 die abundantesten. Zudem macht *Smittina cf monacha* über 38 % der bedeckten Fläche aus und ist damit zu 50 % für die Kontribution verantwortlich, was eine SIMPER-Analyse zeigte (Tab. 8). Auffallend sind auch höhere Abundanzen an Spirorbidae im Vergleich zu Bewuchsplatten anderer Winkelkategorien. Sehr charakteristisch für Artengemeinschaft der Winkelkategorie 1i ist eine sehr hohe Artenanzahl. Rhodophyta sind abundant, aber nicht in solchem Maße dominant wie bei den Gemeinschaften der Winkelkategorien 1a, 2a und 2i. Es siedeln viele Bryozoa und Serpulidae. Letztere sind am wichtigsten für die Ähnlichkeit der Bewuchsplatten (SIMPER) bezüglich der Abundanzen, während *Smittina cf monacha* 25 % der bedeckten Fläche ausmacht und somit bezüglich der Flächenbedeckung maßgebend ist. *Cellaria malvinensis* siedelt ausschließlich auf Substrat der Neigungswinkel dieser Winkelkategorie. Kennzeichnend für Artengemeinschaft dieser Kategorie ist zudem ein vermehrtes Auftreten von Actinaria. Vor allem *Gonactinia prolifera* weisen hohe Abundanzen auf. Auf Bewuchsplatten der Winkelkategorie 2i siedeln sehr viele Rhodophyta 1 und sind somit auch maßgebend für die Kontribution in Abundanz und Flächenbedeckung. Rhodophyta 2 ist in etwas geringerer Abundanz vorhanden. Es sind relativ viele Arten der Bryozoa zu finden; allerdings alle in relativ geringen Abundanzen. Bezeichnend für die Artengemeinschaft dieser Winkelkategorie sind neben Rhodophyta hohe Abundanzen und Flächenbedeckungen der Chaetopteridae. Letztere sind am zweitwichtigsten in Abundanz und Flächenbedeckung für die Ähnlichkeit der Bewuchsplatten, wobei sie durch ihre Größe einen bedeutenderen Anteil der Flächenbedeckung der Kontribution einnehmen als bezüglich ihrer Abundanz. Auch der Brachiopode *Magellania venosa* ist in geringen Abundanzen hier zu finden. Bei Artengemeinschaft der Winkelkategorie 3i ist der Übergang zwischen den Gemeinschaften der Winkelkategorien 2i und 4i gut erkennbar. Bryozoa werden deutlich abundanter. Substrate dieses Neigungswinkels sind das Hauptbesiedlungsgebiet der Bryozoa 3. Hingegen verlieren Rhodophyta deutlich an Bedeutung. Das führt dazu, dass Bryozoa insgesamt abundanter sind als Rhodophyta. *Smittina cf monacha* ist mit einem Anteil an der Flächenbedeckung von fast 25 % laut SIMPER am wichtigsten für die Kontribution. Auch Bryozoa 1 nehmen einen großen Teil an der Flächenbedeckung ein und sind somit am zweitprägendsten. Hohe Abundanzen und Flächenbedeckungen weisen auch Serpulidae auf. Diese sind bei Betrachtung der Abundanz am zweitwichtigsten für die Ähnlichkeit. Bei der Artengemeinschaft der Winkelkategorie 4i ist am kennzeichnendsten die Absenz der Rhodophyta, die bei der Artengemeinschaft der Winkelkategorie 3i bereits in geringen Abundanzen auftreten. Bryozoa gewinnen an Bedeutung und es sind hohe Abundanzen an Octocorallia aufzufinden. *Smittina cf monacha* und Bryozoa 1 machen den Großteil

der Flächenbedeckung aus und sind somit auch nach SIMPER (Tab. 8) für die Kontribution in Abundanz (Bryozoa 1) und Flächenbedeckung (*Smittina cf monacha*) am wichtigsten. Zudem sind auch auf Substrat dieser Winkelkategorie Brachiopoda (*Magellania venosa*) zu finden.

6.1.3 ANOSIM

Eine ANOSIM der Abundanz-Daten wies bei einem Vergleich der Winkelkategorien auf noch klar unterscheidbare Gruppen hin (globaler R -Wert = 0,6 $p = 0,1$ %). Da ab einem R -Wert von ca. 0,5 die Gruppen als gut unterscheidbar gelten, werden in Tab. 9 die Paare ab einem R -Wert von 0,5 und einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 % dargestellt. Die Bewuchsplatten der Kategorien 1a und 4i, 1a und 4a, 2a und 4i sowie 2a und 4a sind sich untereinander ähnlicher als im Vergleich zu jeglichen Bewuchsplatten aus anderen Kategorien. Die Kategorien 1a und 3i, 1a und 3a, 2i und 4i, 2a und 3i, 2a und 3a, 3a und 4i sowie 3a und 4a sind im paarweisen Vergleich klar differenzierbar. Die Kategorien 1i und 2a sowie 2i und 3i sind noch gut unterscheidbar. Alle anderen Kategorien sind im paarweisen Vergleich schlechter bzw. kaum noch differenzierbar. Die paarweisen Tests der Abundanz und der Flächenbedeckung weisen sehr ähnliche Werte auf. Auch die ANOSIM der Daten der Flächenbedeckung wies beim Vergleich der Winkelkategorien auf noch klar unterscheidbare Gruppen hin (globaler R -Wert = 0,596, $p = 0,1$ %). Die einzigen Unterschiede in den paarweisen Vergleichen ergaben sich zwischen den Kategorien 1i und 1a, 1a und 2i, 2i und 2a sowie 2i und 3a. Diese Gruppen sind ebenfalls gut unterscheidbar, wenn man die Flächenbedeckung betrachtet. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Einteilung in Gruppen sinnvoll ist und benachbarte Winkelkategorien nicht zwingend ähnlicher zueinander sind als Winkelkategorien mit ganz anderem Neigungswinkel. Darüber hinaus zeigt die Analyse, dass es Unterschiede in Abundanz und Flächenbedeckung zwischen den Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien gib, die unterschiedlich groß sind.

Tab. 9 Ergebnisse der paarweisen Vergleiche der Abundanz-Daten der Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien mit Hilfe der ANOSIM mit R -Werten > 0.5 und p < 5 %

Gruppe	R Wert	Signifikanz Level %
1i, 2a	0,621	0,1
1a, 3i	0,798	0,1
1a, 3a	0,79	0,1
1a, 4i	1	0,1
1a, 4a	1	0,5
2i, 3i	0,611	0,2
2i, 4i	0,874	0,1
2i, 4a	0,755	0,5
2a, 3i	0,892	0,1
2a, 3a	0,895	0,1
2a, 4i	1	0,1
2a, 4a	1	0,5
3a, 4i	0,878	0,1
3a, 4a	0,846	0,5

Zudem wurde mit Hilfe einer ANOSIM getestet, ob es einen Unterschied zwischen den Artengemeinschaften zwischen den drei Zementröhren gibt. Unter der Verwendung der Abundanzdaten wies der globale R -Wert mit 0,173 ($p = 0,7$ %) auf keine größeren Unterschiede zwischen den Artengemeinschaften der Zementröhren hin. Auch die paarweisen Vergleiche ließen

nicht auf größere Unterschiede schließen. Das gleiche Ergebnis (globaler R -Wert: 0,173, $p = 0,04$) lieferte auch eine ANOSIM der Flächenbedeckungsdaten.

6.1.4 Multivariate Analysen

Abundanz- und Flächenbedeckungsdaten zeigten bei der ANOSIM z.T. signifikante Unterschiede zwischen den Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien. Die Ähnlichkeiten zwischen Bewuchsplatten der Winkelkategorien werden in nmMDS-Plots dargestellt (Abb. 12, Abb. 13). Die Plots zeigen ähnliche Ergebnisse, die sich auch von einem nmMDS-Plot der Präsenz/Absenz-Daten nicht wesentlich unterscheiden. Mit Stress-Werten von 0,09 und 0,1 sind die Daten gut interpretierbar. Wie die paarweise ANOSIM bereits gezeigt hat, sind sich die Artengemeinschaften der Winkelkategorien 1a und 2a recht ähnlich. Es bilden sich zwei Cluster. Es ist keine Trennung zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Röhre erkennbar. In dem einen Cluster sind v.a. Bewuchsplatten der Winkelkategorien 2i, 1a und 2a zu finden sowie ein Teil der Bewuchsplatten der Kategorie 1i. Dabei handelt es sich um nach oben geneigte Bewuchsplatten. Die Winkelkategorien sind hier gut voneinander getrennt, mit Ausnahme der Bewuchsplatten der Winkelkategorie 1i. In dem anderen erkennbaren Cluster befinden sich v.a. Bewuchsplatten der Kategorien 3i, 4i, 4a und der andere Teil der Bewuchsplatten der Kategorie 1i. In diesem Cluster sind die Elemente stark durchmischt und beinhalten hauptsächlich nach unten geneigte Bewuchsplatten. Die Winkelkategorie 3a ist dem einen oder anderen Cluster zuzuordnen, abhängig davon, ob der nmMDS-Plot der Abundanz- oder der Flächenbedeckungsdaten betrachtet wird. Es ist erkennbar, dass sich Cluster aufgrund der Orientierung der Bewuchsplatten bilden und weniger aufgrund der Lokalisation im Inneren oder Äußeren der Zementröhren. So sind sich Artengemeinschaften auf nach unten geneigten Substraten ähnlich und Artengemeinschaften auf nach oben geneigten Substraten. Im Diagramm sind einige Ausreißer festzustellen. Für den Ausreißer in der Winkelkategorie 2i ist v.a. das Fehlen der auch nach SIMPER sehr prägenden Rhodophyta verantwortlich. Die beiden Ausreißer der Winkelkategorie 3i sind v.a. mit dem Fehlen der prägendsten Art dieser Gruppe, der Bryozoa *Smittina cf monacha*, zu erklären.

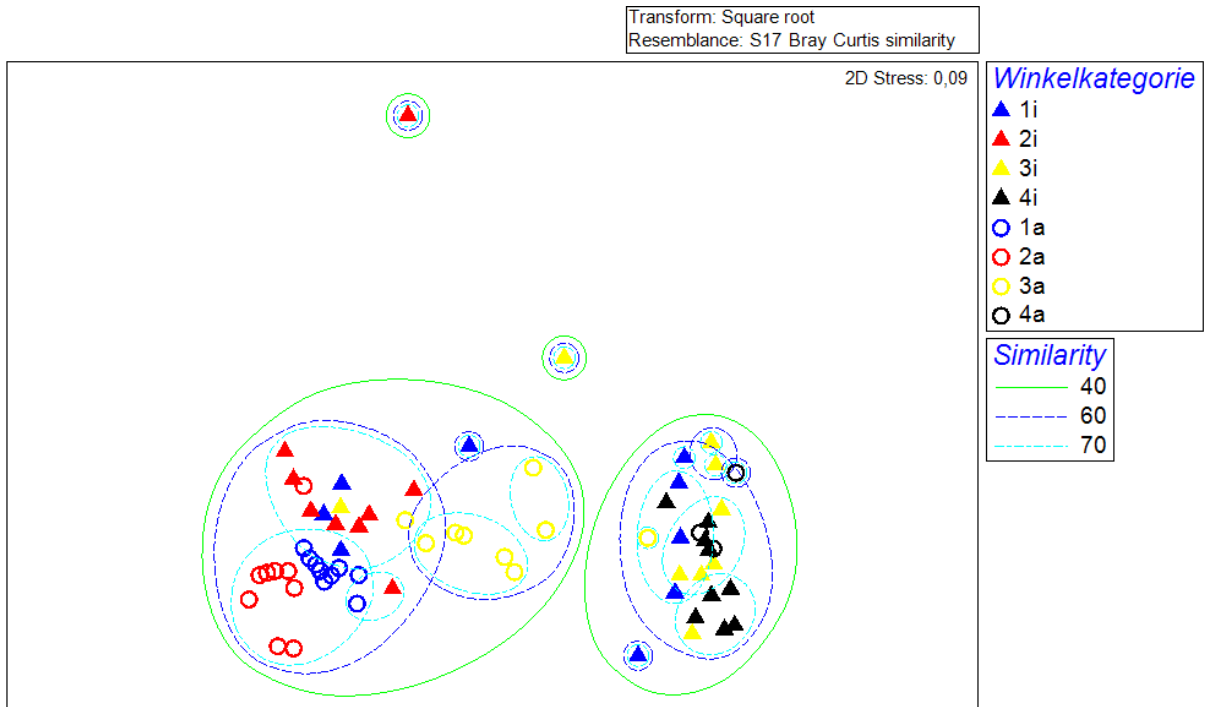


Abb. 12 nmMDS-Plot basierend auf Abundanzdaten der Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien. Die Daten sind quadratwurzeltransformiert. Die Ähnlichkeit wurde mit einer S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse gemessen. Der 2D-Stresswert liegt bei 0,09. Die grüne Linie zeigt Ähnlichkeiten nach Bray-Curtis von 40%, die dunkelblaue Linie von 60 % und die hellblaue Linie von 70%.

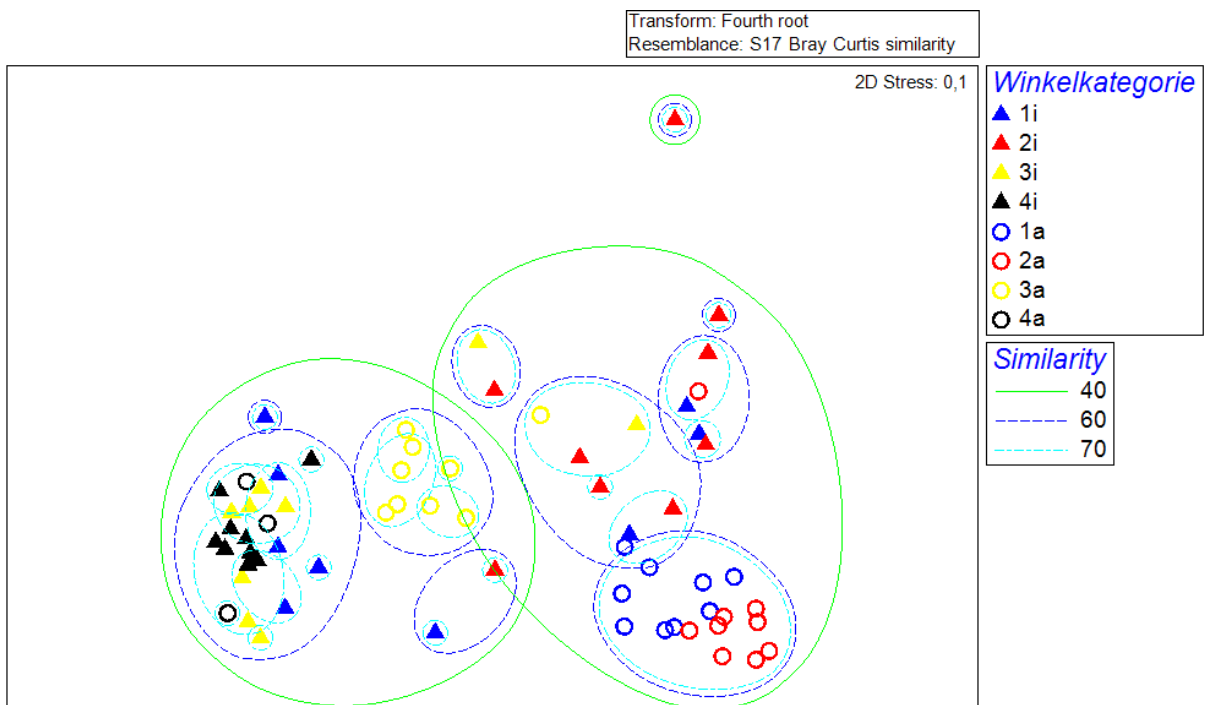


Abb. 13 nmMDS-Plot basierend auf Flächenbedeckungsdaten der Artengemeinschaften der verschiedenen Winkelkategorien. Die Daten sind transformiert mittels der 4. Wurzel. Die Ähnlichkeit wurde mit einer S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse gemessen. Der 2D-Stresswert liegt bei 0,1. Die grüne Linie zeigt Ähnlichkeiten nach Bray-Curtis von 40 %, die dunkelblaue Linie von 60 % und die hellblaue Linie von 70 %.

Die Cluster-Analyse zeigt eine ähnliche Ordinerung der Gemeinschaften auf Bewuchsplatten der unterschiedlichen Winkelkategorien. Der Hauptunterschied besteht darin, dass die Gemeinschaft der Winkelkategorie 3a unter Betrachtung der Abundanzen etwas separierter dargestellt wird (Abb. 14). Im auf den Unterschieden der Flächeninhalte der Arten beruhenden Dendrogramm (Abb. 15) ist die relative Durchmischung der Ähnlichkeiten des einen Clusters besonders gut sichtbar.

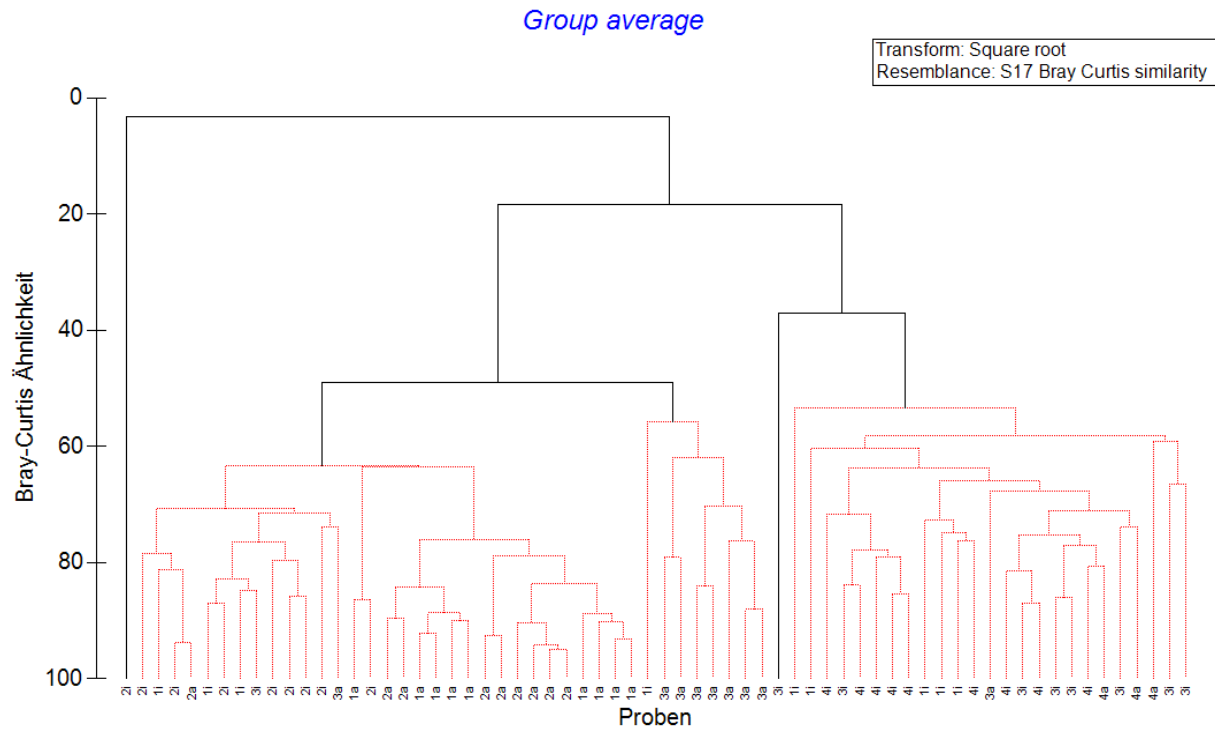


Abb. 14 Dendrogramm der Cluster-Analyse der Abundanzen der Arten der unterschiedlichen Winkelkategorien. Die Daten sind quadratwurzeltransformiert und die Ähnlichkeit wurde mit Hilfe der S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse bestimmt. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse ($p = 5\%$) sind in rot und schwarz dargestellt. Die schwarzen Bereiche geben die Pfade mit 95%iger Wahrscheinlichkeit an, der Verlauf der roten Pfade ist unsicherer mit geringerer Genauigkeit.

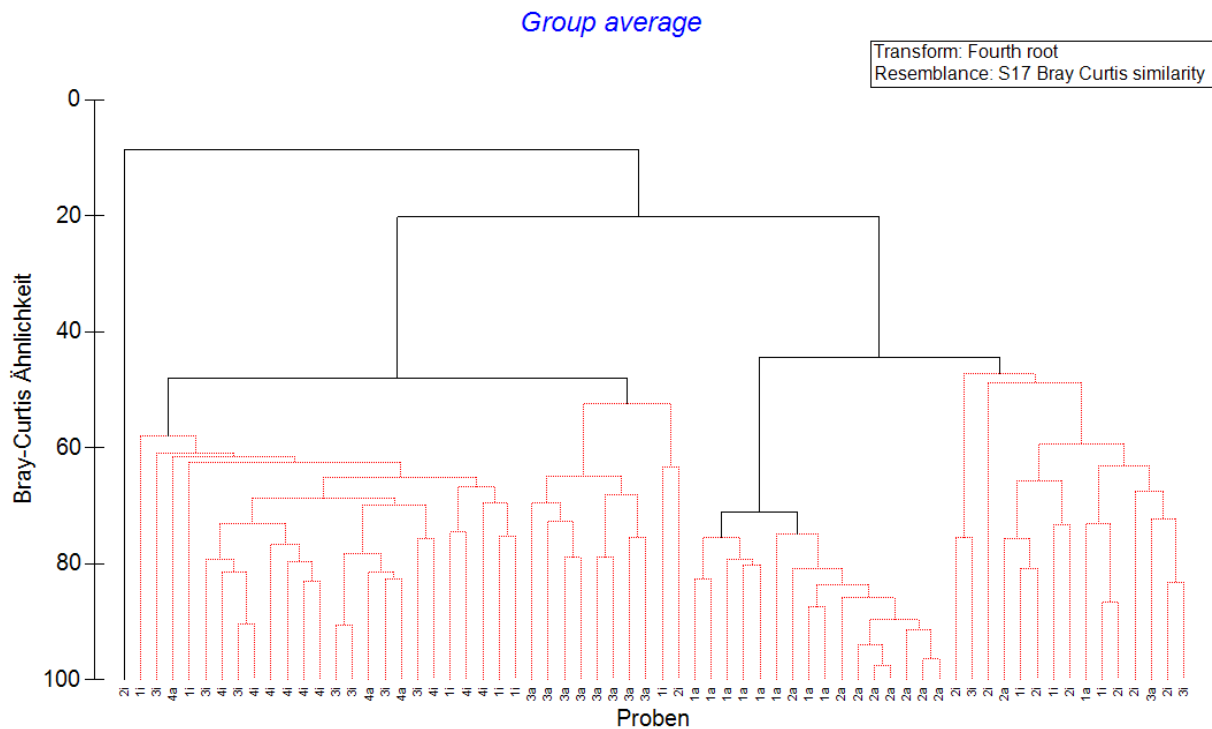


Abb. 15 Dendrogramm der Cluster-Analyse der Flächenbedeckung der Arten der unterschiedlichen Winkelkategorien. Die Daten sind transformiert mit der vierten Wurzel und die Ähnlichkeit wurde mit Hilfe der S17 Bray Curtis Ähnlichkeitsanalyse bestimmt. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse ($p = 5\%$) sind in rot und schwarz dargestellt. Die schwarzen Bereiche geben die Pfade mit 95%iger Wahrscheinlichkeit an, der Verlauf der roten Pfade ist unsicherer mit geringerer Genauigkeit.

6.2 Einfluss der abiotischen Faktoren

6.2.1 Strömung

Die Strömung wurde an neun Stellen gemessen. Die Positionen sind Tab. 2 zu entnehmen. Um die Winkelpositionen miteinander zu vergleichen, wurde der Kruskal-Wallis Test durchgeführt. Die Nullhypothese lautet: Die Strömungsgeschwindigkeit an den unterschiedlichen Winkelpositionen an den Zementröhren ist gleich. Die Freiheitsgrade betragen 5. Der P -Wert ergab 0,7. Das bedeutet, dass die Nullhypothese mit einer 70-%igen Wahrscheinlichkeit nicht abgelehnt werden darf. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sie Strömung an allen gemessenen Winkelpositionen gleich ist (Abb. 16). Bei der Einteilung der Proben in Winkelkategorien weisen nur Kategorie 2a und 2i Stichprobengrößen ≥ 3 auf. Es kann von einer Normalverteilten Stichprobe ($P = 0,94$) und Varianzhomogenität ($P = 0,53$) der Proben 2a und 2i ausgegangen werden. Die Ergebnisse einer einfaktoriellen ANOVA zwischen den Winkelpositionen 2a und 2i weisen mit einem P -Wert von 0,4381 auf keine signifikanten Unterschiede hin.

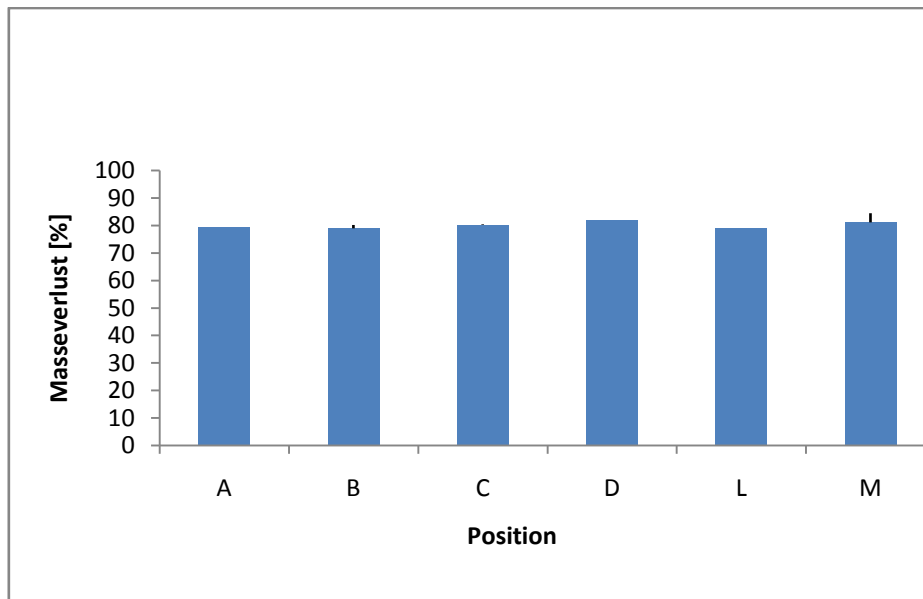


Abb. 16 Prozentualer Masseverlust der Gipseier an den verschiedenen Winkelpositionen (A-D, L, M, siehe Abb. 7) nach einer Inkubationszeit von 25 Tagen. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

6.2.2 Lichtintensität

Eine Korrelation der Messwerte zeigt einen Anstieg der Lichtintensität zwischen den Positionen der verschiedenen Winkelpositionen. Der R -Wert von 0,92 deutet auf eine relativ starke Änderung hin. Auffällig ist, dass alle Messwerte der Lichtintensität innerhalb der Zementröhre unterhalb der Messwerte außerhalb der Zementröhre liegen. Zu den Messwerten außerhalb der Zementröhre lässt sich sagen, dass an den beiden Randpositionen A und F, die sich unten an der Zementröhre befinden, eine niedrigere PAR vorherrscht als an den anderen äußeren Winkelpositionen (Abb. 17). Die Werte steigen zum obersten Punkt der Zementröhre hin an. Innerhalb der Zementröhre ist die photosynthetisch aktive Strahlung an der Position G am höchsten (Abb. 18). Diese sinkt zur oberen Seite der Zementröhre, erreicht ihren Tiefpunkt an der Position J und steigt wieder. An den Positionen H, K, L, M ist die photosynthetisch aktive Strahlung relativ ähnlich.

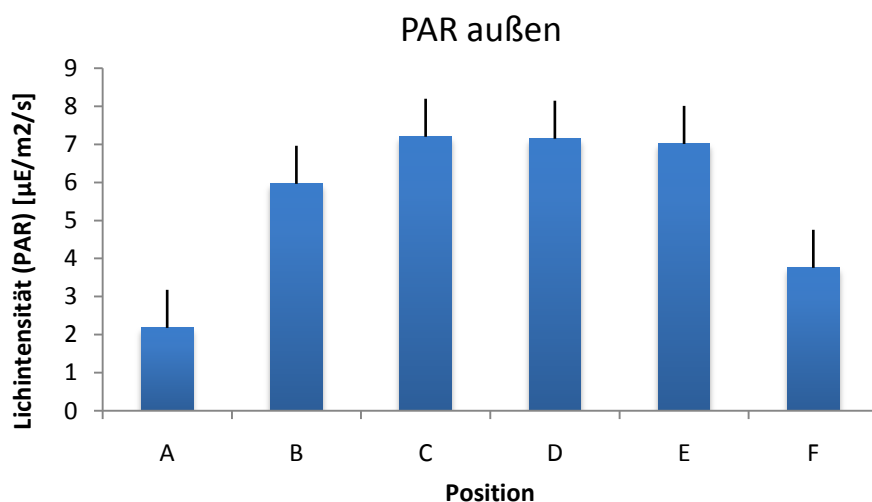


Abb. 17: Lichtintensität (Mittelwert \pm SA, N = 3) an den verschiedenen Winkelpositionen außen an der Zementröhre 1. An den unteren Positionen der Zementröhre (A, F) herrscht eine geringere Lichtintensität, als an den oberen Positionen (C, D).

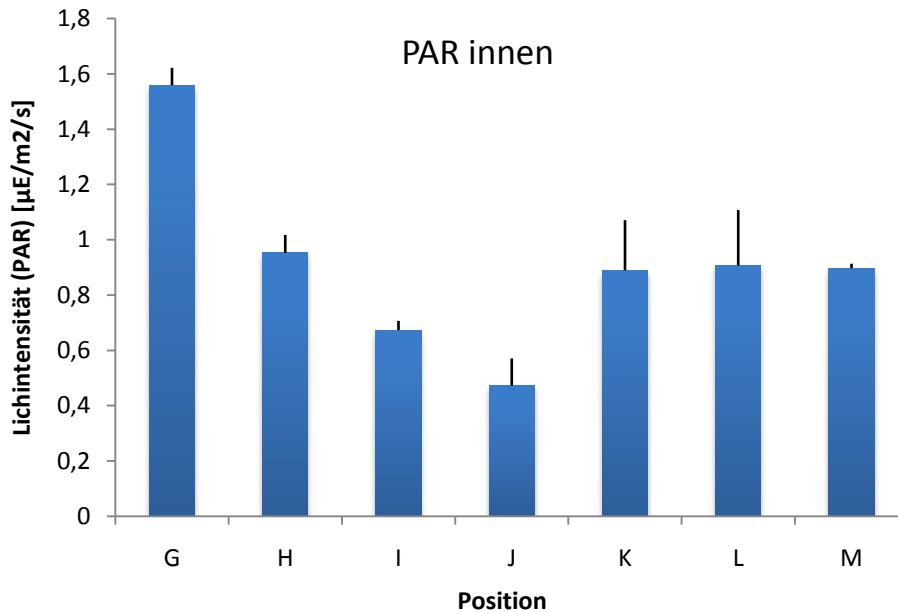


Abb. 18: Lichtintensität (Mittelwert \pm SA, N = 3) an den verschiedenen Winkelpositionen innen an der Zementröhre 1. An den unteren Positionen der Zementröhre (M, G) herrscht eine höhere Lichtintensität, als an den Positionen im starken Überhang (J).

6.2.3 Sedimentation

Bereits bei den Tauchgängen sichtbar, befindet sich eine ca. 3 cm dicke Sedimentschicht im Inneren der Zementröhre auf den Bewuchsplatten der Winkelposition 2i. Auf den Bewuchsplatten der Winkelposition 1i befand sich etwas Sediment, jedoch deutlich weniger als auf den komplett mit Sediment bedeckten Bewuchsplatten der Winkelposition 2i. Auf den Bewuchsplatten der anderen Winkelpositionen befanden sich keine größeren Mengen an Sediment.

Die Masse der Sedimente, die über einen Zeitraum von vier Wochen auf einer Fläche von 9,24 cm² (Gewinde A) bis 9,70 cm² (Gewinde B) gesammelt wurde, schwankt zwischen 0,05 g und 1,79 g (Abb. 19). Der nicht-parametrische Kruskal-Wallis Test ergab bei der Analyse der Sedimentmassen bei drei Freiheitsgraden einen *P*-Wert von 0,21. Somit besteht bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5$ % hinsichtlich der Sedimentmasse kein signifikanter Unterschied zwischen den Winkelkategorien. Der Shapiro-Wilcoxon normality Test zum Testen der Werte der Kategorien auf Normalverteilung ergab für Kategorie 1a einen *P*-Wert von 0,91, für Kategorie 2a einen *P*-Wert von 0,43 und für Kategorie 2i einen *P*-Wert von 0,90. Somit sind diese Winkelkategorien mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5$ % normalverteilt. Da die Winkelkategorie 1i aus <3 Werten besteht, kann diese nicht auf Normalverteilung getestet werden und wird in den folgenden Berechnungen nicht mit einbezogen. Der Levene-Test ergab einen *P*-Wert von 0,21, was mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5$ % auf eine Varianzhomogenität hinweist. Da sowohl Normalverteilung als auch Varianzhomogenität vorliegen, kann eine ANOVA durchgeführt werden. Für diese ergibt sich bei zwei Freiheitsgraden ein *P*-Wert von 0,02. Bei einer unkorrigierten ANOVA mit $\alpha = 5$ % ist zwischen den Gruppen ein signifikanter Unterschied zu verzeichnen. Mit der Bonferroni-Korrektur ist $P > 0,025$, was bedeutet, dass kein signifikanter Unterschied besteht. Eine ANOVA zwischen 1a und 2i ergab einen *P*-Wert von 0,05, wonach bei $\alpha = 5$ % die Nullhypothese nicht verworfen werden darf und somit kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen 1a und 2i besteht. Eine ANOVA zwischen den Kategorien 1a und 2a ergab einen *P*-Wert von 0,69. Auch hier darf bei $\alpha = 5$ % die Nullhypothese nicht verworfen werden. Eine ANOVA zwischen 2a und 2i ergab einen *P*-Wert von 0,02. Mit $\alpha = 5$ % darf die

Nullhypothese verworfen werden. Somit besteht vermutlich ein signifikanter Unterschied zwischen Kategorie 2a und 2i.

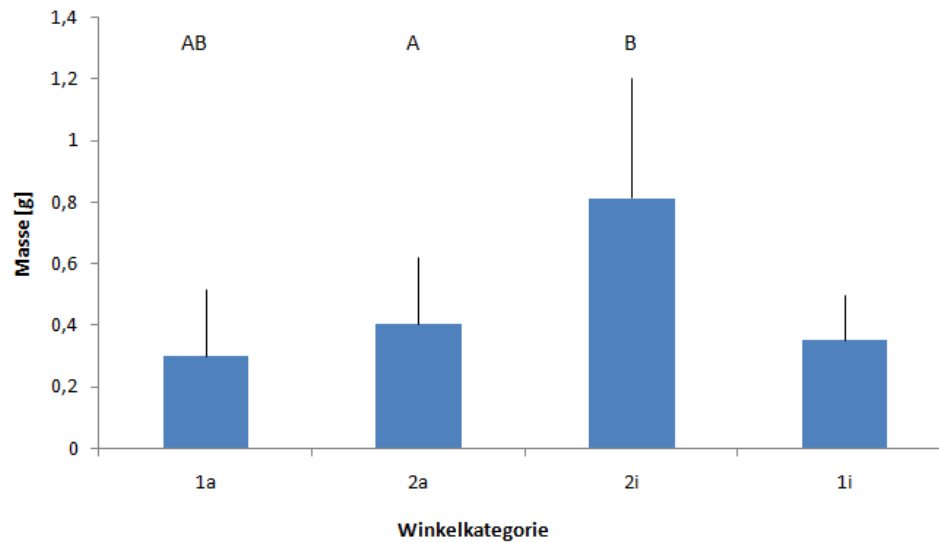


Abb. 19 Masse der Sedimente an verschiedenen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA). Winkelkategorie 2a und 2i sind signifikant unterschiedlich. Zwischen 1a und 2a sowie 1a und 2i konnten keine signifikanten Unterschiede identifiziert werden.

Um auch die Sedimentmassen der Winkelkategorie 1i parametrisch testen zu können, wurde ein Wert aus der Winkelkategorie 2i, der mit einem Neigungswinkel von 50° knapp an der Grenze lag, zur Kategorie 1i gezählt. Der Shapiro-Test ergab für 2i einen *P*-Wert von 0,98 und für 1i einen *P*-Wert von 0,42. Es kann daher mit $\alpha = 5\%$ von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Ebenfalls eine Varianzhomogenität lag mit einem *P*-Wert von 0,09 laut Levene-Test vor ($\alpha = 5\%$). Eine ANOVA ergab einen *P*-Wert von 0,10, der bei $\alpha = 5\%$ nicht mehr auf einen signifikanten Unterschied hindeutet. Da bei einer Veränderung der Winkelkategorien ein abweichendes Ergebnis vorliegt, fällt auf, dass diese Veränderung Folgen für die statistische Auswertung hat. Infolge dessen wird die ursprüngliche Zuordnung der Sedimentproben in die Winkelkategorien, basierend auf ihrem Neigungswinkel, beibehalten und auf parametrische Tests der Winkelkategorie 1i verzichtet.

Ein nmMDS-Plot der Massen (Abb. 20) zeigt ebenfalls höhere Massen der Sedimente der Kategorie 2i. Diese befinden sich, mit Ausnahme eines Ausreißers, innerhalb einer euklidischen Distanz von 1,2 und sind damit von den anderen Proben abgegrenzt.

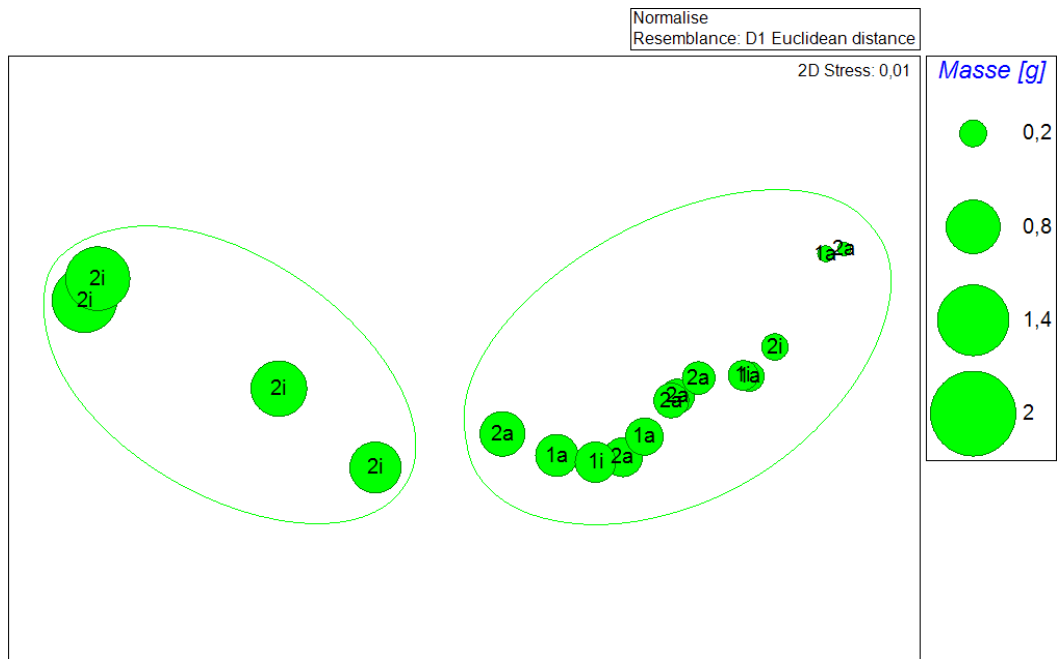


Abb. 20 nmMDS-Plot der Massen der Sedimentation in unterschiedlichen Winkelkategorien. Die Daten sind normalisiert. Die Ähnlichkeit wurde mithilfe der D1 euklidischen Entfernung berechnet. Eingekreist sind in grün Entfernungen von 1,2. Der Stress-Wert beträgt 0,01. Umso größer der Durchmesser der Kreise, desto größer die Masse der Sedimente.

Die Volumina der Sedimente, die über einen Zeitraum von vier Wochen auf einer Fläche von 9,24 cm² (Gewinde A) bis 9,70 cm² (Gewinde B) gesammelt wurden, schwanken zwischen 0,07 cm³ und 0,62 cm³ (Abb. 21). Bei der Analyse der Volumina ergab der nicht-parametrische Kruskal-Wallice Test bei drei Freiheitsgraden einen *P*-Wert von 0,16, was bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ auf keinen Unterschied zwischen den Winkelkategorien schließen lässt. Für einen parametrischen Test muss zunächst eine Normalverteilung der zu testenden Gruppen gegeben sein. Der Shapiro-Wilcoxon normality Test ergab für Winkelkategorie 1a einen *P*-Wert von 0,85, für Winkelkategorie 2a einen *P*-Wert von 0,46 und für Winkelkategorie 2i einen *P*-Wert von 0,88. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ kann die Nullhypothese, dass es sich um eine Normalverteilung handelt, nicht abgelehnt werden. Somit kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Da die Stichprobengröße bei 1i < 3 beträgt, konnte kein Shapiro-Wilcoxon normality Test durchgeführt werden. 1i wird in den Messungen der folgenden Ergebnisse somit nicht aufgeführt. Ein weiterer wichtiger Parameter, um einen parametrischen Test durchführen zu können, ist die Varianzhomogenität. Der Levene Test ergab einen *P*-Wert von 0,10. Das bedeutet, dass mit $\alpha = 5\%$ von einer Varianzhomogenität ausgegangen werden kann. Die ANOVA zeigte keine bedingt signifikanten Unterschiede zwischen den Volumina der Winkelkategorien 1a, 2a und 2i. Der *P*-Wert von 0,02 würde bei der unkorrigierten ANOVA mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ im Ablehnungsbereich der Nullhypothese liegen. Das würde bedeuten, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Winkelkategorien gäbe. Mit der Bonferroni-Methode verschiebt sich die Prüfgröße von 0,05 auf 0,025, was eine Annahme der Nullhypothese zur Folge hat. Eine ANOVA zwischen den Werten der Winkelkategorien 1a und 2a ergibt einen *P*-Wert von 0,17. Hier ist von einer Annahme der Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ auszugehen. Somit können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Volumina der beiden Winkelkategorien belegt werden. Eine ANOVA zwischen den Winkelkategorien 2a und 2i ergab einen *P*-Wert von 0,04. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ wird die Nullhypothese abgelehnt. Das bedeutet, dass es einen signifikanten Unterschied der Volumina der Winkelkategorien 2a und 2i gibt. Eine ANOVA

zwischen den Winkelkategorien 1a und 2i ergab einen P-Wert von 0,06. Somit kann auch hier kein signifikanter Unterschied zwischen den Volumina der Winkelkategorien 1a und 2i mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ festgestellt werden.

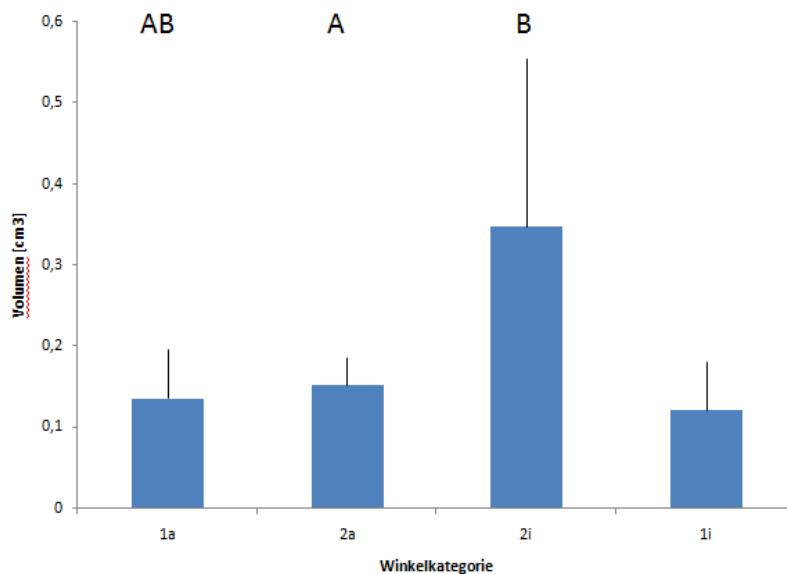


Abb. 21 Volumen der Sedimentproben an unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA). Winkelkategorie 2a und 2i sind signifikant unterschiedlich. Zwischen 1a und 2a sowie 1a und 2i konnten keine signifikanten identifiziert werden.

Die Messwerte der Probe 10 wurden nicht in die Berechnung der Inhaltstoffe einbezogen, da die Probe starke Ausfällungen zeigte, die vermutlich aus dem Formol stammen. Salze verfälschen das Ergebnis der CNS-Analyse, da Salze im Meerwasser in Anionen und Kationen dissoziieren. Die dissoziierten Ionen verbinden sich mit den Analyten der CNS-Analyse und verfälschen diese so, dass eine zu geringere Konzentration an Analyten gemessen wird. Die Werte für Stickstoff schwanken von 0,16 % bis 0,88 % (Abb. 22). Der Kruskal-Wallis-Test ergab bei drei Freiheitsgraden einen *P*-Wert von 0,31, was bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ auf keine Unterschiede zwischen den Gruppen hindeutet. Für den parametrischen Test muss ebenfalls Winkelkategorie 1i wieder außer Acht gelassen werden. Der Shapiro-Test ergab für Winkelkategorie 1a einen *P*-Wert von 0,56, für Winkelkategorie 2a einen *P*-Wert von 0,45 und für Kategorie 2i einen *P*-Wert von 0,92. Somit sind mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ die Werte der Kategorien normalverteilt. Der Levene-Test ergab einen *P*-Wert von 0,85, was mit $\alpha = 5\%$ ebenfalls auf eine Varianzhomogenität hindeutet. Somit kann eine ANOVA durchgeführt werden. Diese ergibt bei zwei Freiheitsgraden einen *P*-Wert von 0,29. Das bedeutet, dass sowohl mit als auch ohne Bonferroni-Korrektur die Nullhypothese angenommen werden muss und somit keine signifikanten Unterschiede der Winkelpositionen zu verzeichnen sind.

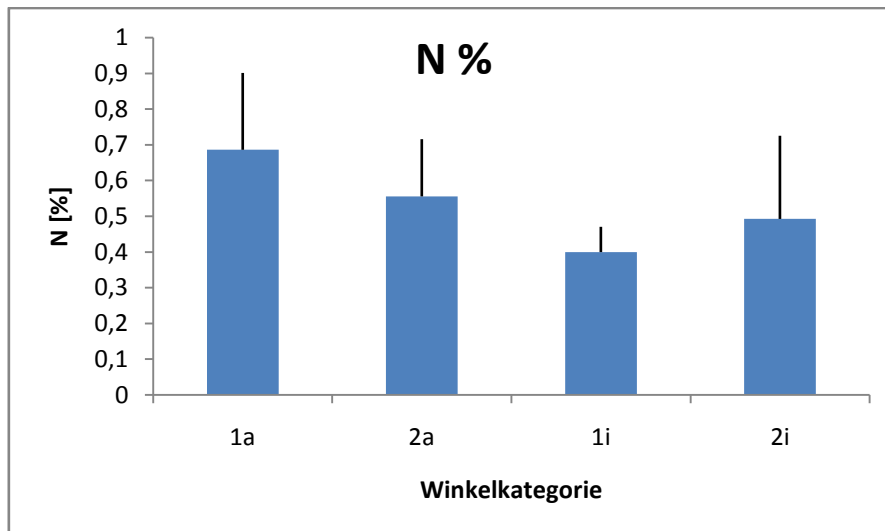


Abb. 22 Prozentualer Anteil des Stickstoffgehalts (N) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).

Die Werte für Schwefel schwanken von 0,18 % bis 0,51 % (Abb. 23). Der Kruskal-Wallis-Test ergab bei drei Freiheitsgraden einen P -Wert von 0,30, was bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ auf keine Unterschiede zwischen den Gruppen hindeutet. Für den parametrischen Test muss ebenfalls Winkelkategorie 1i wieder außer Acht gelassen werden. Der Shapiro-Test ergab für Winkelkategorie 1a einen P -Wert von 0,17, für Winkelkategorie 2a einen P -Wert von 0,45 und für Kategorie 2i einen P -Wert von 0,70. Somit sind mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ die Werte der Kategorien normalverteilt. Der Levene-Test ergab einen P -Wert von 0,98, was mit $\alpha = 5\%$ ebenfalls auf eine Varianzhomogenität hindeutet. Somit kann eine ANOVA durchgeführt werden. Diese ergibt einen P -Wert von 0,29 bei zwei Freiheitsgraden. Das bedeutet, dass sowohl mit als auch ohne Bonferroni-Korrektur die Nullhypothese angenommen werden muss. Somit sind keine signifikanten Unterschiede bei den Winkelpositionen zu verzeichnen.

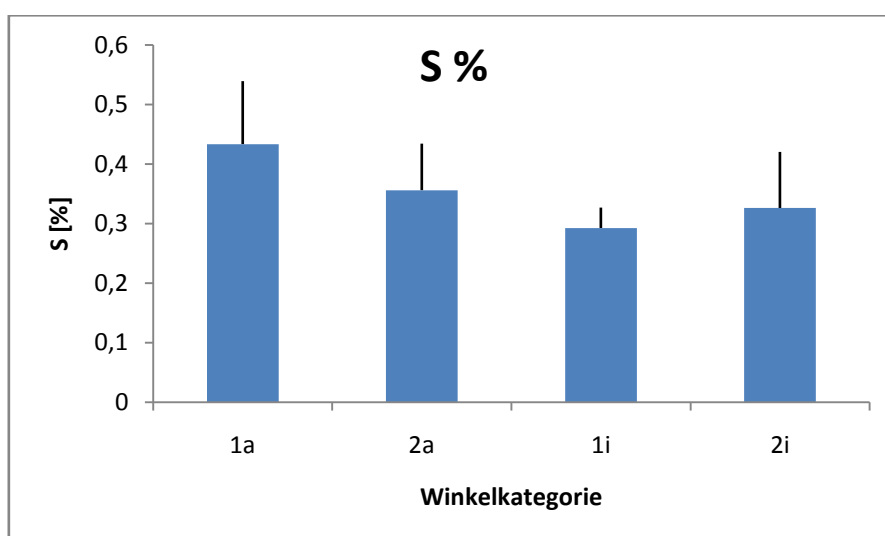


Abb. 23 Prozentualer Anteil des Schwefelgehalts (S) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).

Die Werte für C_{org} schwanken von 1,68 % bis 4,48 % (Abb. 24). Der Kruskal-Wallis-Test ergab bei drei Freiheitsgraden einen P -Wert von 0,02. Dies deutet bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5 \%$ auf Unterschiede zwischen den Gruppen hin. Für den parametrischen Test müssen die Winkelkategorien 1i und 1a wegen zu geringer Stichprobengröße außer Acht gelassen werden. Der Shapiro-Test ergab für Winkelkategorie 2a einen P -Wert von 0,79 und für Kategorie 2i einen P -Wert von 0,68. Somit sind mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $\alpha = 5 \%$ die Werte der Kategorien normalverteilt. Der Levene-Test ergab einen P -Wert von 0,98, was mit $\alpha = 5 \%$ ebenfalls auf eine Varianzhomogenität hindeutet. Somit kann eine ANOVA durchgeführt werden. Diese ergibt einen P -Wert von 0,05 bei einem Freiheitsgrad. Das bedeutet, dass die Nullhypothese angenommen werden muss und somit keine signifikanten Unterschiede bei den beiden Winkelpositionen zu verzeichnen sind.

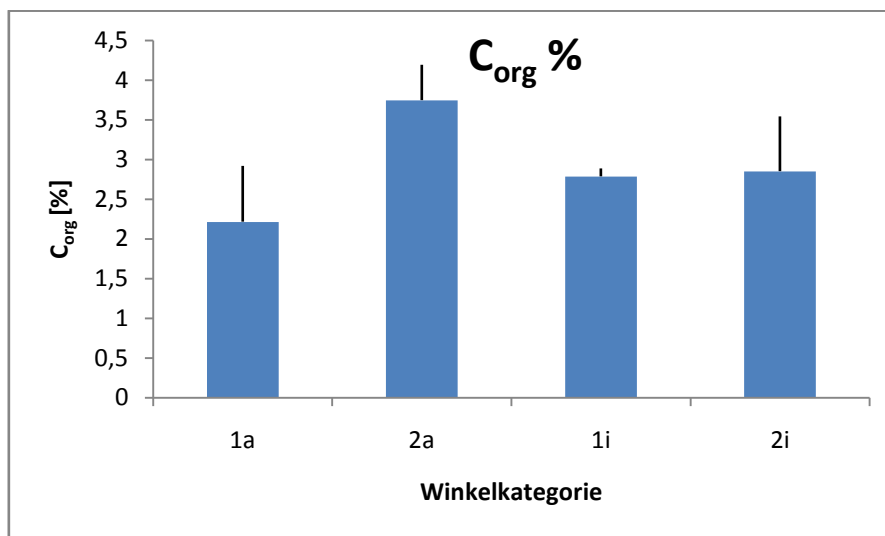


Abb. 24 Prozentualer Anteil des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).

Die Werte für C_{ges} schwanken von 1,88 % bis 8,89 % (Abb. 25). Der Kruskal-Wallis-Test ergab bei drei Freiheitsgraden einen P -Wert von 0,32, was bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5 \%$ auf keine Unterschiede zwischen den Gruppen hindeutet. Für den parametrischen Test muss ebenfalls Winkelkategorie 1i wieder außer Acht gelassen werden. Der Shapiro-Test ergab für Winkelkategorie 1a einen P -Wert von 0,15, für Winkelkategorie 2a einen P -Wert von 0,81 und für Kategorie 2i einen P -Wert von 0,43. Somit sind mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $\alpha = 5 \%$ die Werte der Kategorien normalverteilt. Der Levene-Test ergab einen P -Wert von 0,95, was mit $\alpha = 5 \%$ ebenfalls auf eine Varianzhomogenität hindeutet. Folglich kann eine ANOVA durchgeführt werden. Diese ergibt einen P -Wert von 0,58 bei zwei Freiheitsgraden. Infolgedessen muss sowohl mit als auch ohne Bonferroni-Korrektur die Nullhypothese angenommen werden und somit keine signifikanten Unterschiede bei den Winkelpositionen zu verzeichnen sind.

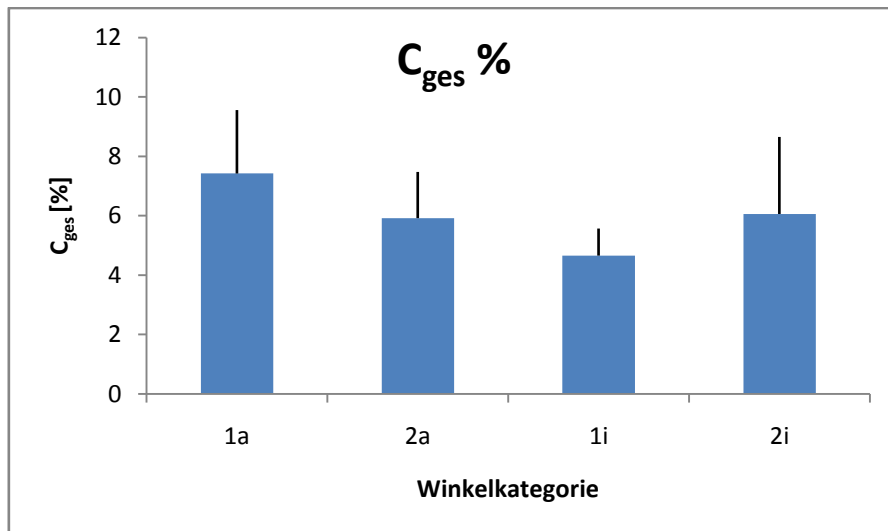


Abb. 25 Prozentualer Anteil des gesamten Kohlenstoffs (C_{ges}) in Sedimentproben der unterschiedlichen Winkelkategorien (Mittelwert \pm SA).

Bei der Analyse der Korngröße war eine Korngröße von grobem Feinsand (125 – 250 μm) bis hin zu Ton (< 2 μm) in allen Proben zu verzeichnen. Alle Sedimente sind schlecht sortiert und beinhalten hauptsächlich Partikel der Korngrößen von feinem Feinsand (63 – 125 μm) bis hin zu Mittelsilt (8 – 6 μm) (Abb. 26).

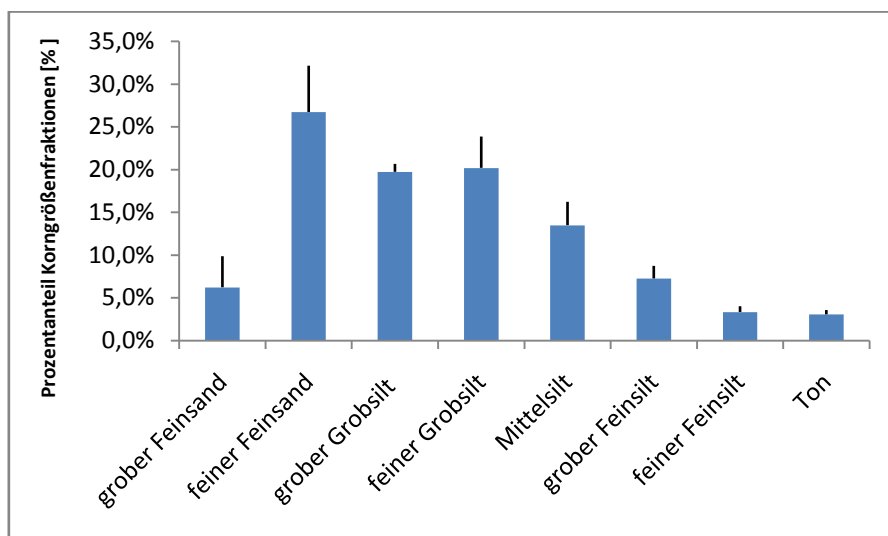


Abb. 263 Verteilung der Korngrößen in den Sedimentproben (Mittelwert \pm SA).

7 Diskussion

7.1 Methodendiskussion

Die Lage des Versuchsaufbaus direkt vor der Feldstation der Fundación Huinay bringt Vor- und Nachteile mit sich. Da es sich um eine Feldstudie handelt, ist die örtliche Nähe von großer Bedeutung. Diese bringt den Vorteil mit sich, dass nicht zwingend ein Boot für die Taucharbeiten erforderlich ist. Zudem müssen keine weiten Strecken zurückgelegt werden, um den Tauchplatz zu erreichen, was Zeit spart. Dies ist auch für die Weiterführung dieser Studie von Vorteil. Eine weitere fortlaufende Dokumentation des Verlaufs der Besiedelung ist dadurch halbjährlich möglich, anfang des Jahres durch die jährliche AWI-Expedition und Mitte des Jahres durch Mitarbeiter der Fundación Huinay. Dies wird ermöglichen, in Zukunft die Sukzession an den unterschiedlichen Neigungswinkeln beschreiben zu können. Diese Dokumentation wurde bereits in den vergangenen Jahren durchgeführt. Ein Nachteil dieses Standorts in unmittelbarer Nähe der Forschungsstation ist eine relativ geringe Besiedlungsdichte im Verhältnis zu Standorten am Fjordausgang (persönliche Erfahrungen, Vergleich mit Reichel, 2012). Unterschiede zwischen den Besiedlungsdichten und Artenszusammensetzungen an unterschiedlichen Standorten des Comau Fjordes sind zu verzeichnen (Reichel, 2012). Dieser Nachteil verliert an Gewicht, da ein identischer Versuchsaufbau 2014 am Fjordausgang installiert wurde und somit stärker und schwächer besiedelte Bereiche in der Zukunft unterschieden werden können.

Ein Problem des Versuchsaufbaus ist, dass sich die Zementröhren, bedingt durch ihre runde Form, über die Jahre etwas bewegten (persönliche Mitteilung J. Laudien). Ausgelöst wird dies durch die Auskollung von Fischen (Congrio) (persönliche Mitteilung J. Laudien). Durch die Drehung ändert sich sukzessive der Neigungswinkel der Bewuchsplatten. Röhre 3 hat sich in solchem Maße gedreht, dass die Röhre auf der Bewuchsplattenreihe 6 liegt, was zur Folge hat, dass diese nicht mehr dokumentiert werden kann und somit vom Experiment ausgeschlossen ist. Das Ausmaß der bisherigen Drehung der Zementröhren kann nicht quantitativ bestimmt werden, da 2014 zum ersten Mal exakt waagerechte Fotos zur Bestimmung des Neigungswinkels entstanden. Anhand eines großen Steines, der sich vor Röhre 3 befindet und als Referenzpunkt genommen werden konnte, lässt sich lediglich sagen, dass sich Röhre 3 seit Mitte 2013 nicht merklich gedreht hat. Wann und in welchem Maße die Drehungen der Zementröhren erfolgten, lässt sich somit nicht sagen. Es wird sich jedoch maximal um den Abstand zwischen zwei Bewuchsplattenreihen handeln, was einer Änderung des Neigungswinkels von 51° entspräche. Das würde eine Zuordnung der Bewuchsplatten zu einer anderen Winkelkategorie zur Folge haben. Wie die Ergebnisse dieser Studie zeigen, unterscheidet sich die Lebensgemeinschaft bei unterschiedlichen Neigungswinkeln. Somit ist es möglich, dass eine Änderung des Neigungswinkels eine Änderung der Artengemeinschaft zur Folge hat.

Eine weitere Schwierigkeit des Versuchsaufbaus besteht darin, dass sich die Röhren im Jahr 2009 in unterschiedlichen Tiefen und in unterschiedlichen Positionen befanden. Das hat Einfluss auf die Organismen, die auf der Zementröhre siedeln. Die Artengemeinschaften differieren in unterschiedlichen Tiefen (persönliche Beobachtungen; Garrabou et al., 2002), da sich die äußeren Bedingungen verändern. Auch der Abstand vom Meeresgrund hat Einfluss auf siedelnde Organismen (Glasby, 1999). Da die Zementröhren 1 und 3 ein Jahr lang in aufrechter Orientierung im Fjord positioniert waren, ist es möglich, dass sich andere Spezies an der Seite der Zementröhre, deren Öffnung zum Meeresgrund gerichtet ist, ansiedeln als auf der gegenüberliegenden Seite. Als die Zementröhren 2010 auf die Längsseite gelegt wurden, kam es zu einer Veränderung des Abstands

zum Meeresgrund sowie zu einer Änderung des Neigungswinkels an einem großen Bereich der Zementröhre. Bei der seit 2009 auf der Längsseite positionierten Zementröhre 2 konnten die Arten bereits in ihrem präferierten Abstand zum Meeresboden und entsprechend ihres bevorzugten Neigungswinkels auf den Zementröhren siedeln. Dieses Habitat wurde nicht verändert. Bei den Zementröhren 1 und 3 ist es möglich, dass es durch die Änderung der Lage der Röhren von vertikal zu horizontal zu einer Umverteilung der bereits siedelnden Arten kam. Nicht nur die Veränderung des Winkels, sondern auch die geringere Tiefe von 14 m, in der sich die Röhren 1 und 3 ein Jahr lang befanden, kann dazu geführt haben, dass sich Arten auf den Röhren ansiedelten, die für Tiefen von 20 m, in der sich Röhre 2 bereits ein Jahr lang befand, nicht typisch sind. Der Umstand, dass die Organismen der unmittelbaren Umgebung Einfluss auf die Besiedelung neuen Substrats, wie Bewuchsplatten haben, kann dazu geführt haben, dass die Bewuchsplatten der Röhre 1 und 3 zunächst nicht von für die entsprechenden Winkelkategorien typischen Pionierarten besiedelt wurden. Dies ist allerdings unwahrscheinlich, da die Bewuchsplatten erst im Jahr 2011 an allen drei Zementröhren gleichzeitig befestigt wurden und sich die Arten auf den Zementröhren somit ein Jahr lang umorientieren konnten, um diese anfänglichen Unterschiede zwischen und innerhalb der Gemeinschaften der Zementröhren auszugleichen. Zudem befanden sich die Bewuchsplatten bereits drei Jahre an den Zementröhren bis die Artengemeinschaften für diese Studie dokumentiert wurden. Da sich die Artengemeinschaft während der ersten drei Jahre der Primärsukzession im Comau Fjord signifikant verändert (Reichel, 2012), ist davon auszugehen, dass die anfänglichen Unterschiede der Positionen der Zementröhren keinen Einfluss auf diese Studie haben. Darauf lässt ebenfalls eine ANOSIM schließen, die auf keine signifikanten Unterschiede in der Abundanz und Flächenbedeckung zwischen den Artengemeinschaften der Zementröhren hindeutet.

Es ist von Vorteil, dass die Bewuchsplatten nicht direkt an den Zementröhren sondern zunächst an Bewuchsplattenhalterungen befestigt sind. Durch dieses Befestigungssystem ist es möglich, die Bewuchsplatten für kurze Zeit vom experimentellen Aufbau zu entfernen und im Labor zu beproben. Anschließend ist es möglich, die Bewuchsplatte wieder am experimentellen Aufbau zu befestigen, sodass keine Replikate für zukünftige Untersuchungen verloren gehen. Dasselbe Prinzip hat sich bei Langzeitstudien im Comau Fjord bereits bewährt (Reichel, 2012).

Der Ton, aus dem die Rückseiten der Kacheln bestehen, ist ein geeignetes künstliches Hartsubstrat für diese Untersuchung. Der wesentliche Vorteil ist, dass auch das künstliche Hartsubstrat, welches für die Studie zur Sukzession im Comau Fjord (Reichel, 2012) genutzt wurde, von gleicher Beschaffenheit war und somit die Untersuchungen gut vergleichbar sind. Da alle Bewuchsplatten aus dem gleichen Material bestehen, hat dies keinen Einfluss auf die Unterschiede zwischen den Bewuchsplatten. Eine Studie, die den Einfluss unterschiedlicher künstlicher Hartsubstrate auf die Lebensgemeinschaft zum Gegenstand hatte, kam zu dem Ergebnis, dass das künstliche Hartsubstrat nur zu sehr frühen Zeitpunkten der Sukzession einen Einfluss auf die Struktur der Lebensgemeinschaft hat. Bereits nach 12 Monaten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen unterschiedlichen künstlichen Hartsubstraten ermittelt werden (Vaz-Pinto et al., 2014). Da der Ton dem natürlichen Hartsubstrat augenscheinlich ähnlicher ist als die getesteten Materialien in der Studie (Fiberglas und Basalt), ist davon auszugehen, dass zum Zeitpunkt der Datenaufnahme keine signifikanten Unterschiede zwischen der Artengemeinschaft auf den Tonplatten und der Artengemeinschaft auf Hartsubstrat in der Umgebung bestehen, welche auf Unterschiede des Materials des Substrats zurückzuführen wären.

Der Umstand, dass ein Großteil der Organismen anhand von Fotos bestimmt wurde, erschwerte die Artbestimmung. Dabei war nicht die Auflösung der Bilder das Hauptproblem sondern vielmehr die geringe Größe vieler Organismen, v.a. der Bryozoa. Zur Artbestimmung dieser Organismen wären Proben nötig gewesen. So konnten lediglich die Organismen auf Artniveau bestimmt werden, von denen bereits Proben für die Arbeit von Reichel (2012) analysiert wurden. Für die genaue Bestimmung der Octocorallia ist es notwendig, die Spiculae zu untersuchen. Da eine einzelne Probe keine Aussage über alle Octocorallia gegeben hätte, wären einzelne Proben nicht sinnvoll gewesen. Bei vielen anderen Organismen traten ähnliche Probleme auf. Somit musste bei vielen Arten auf eine genaue Artbestimmung verzichtet werden. Zudem können bei einer photographischen Analyse sehr kleine Taxa nicht detektiert werden. Die minimale Größenauflösung ist abhängig von Kontrast und Färbung und beträgt 0,2 bis 0,5 μm (Beuchel et al., 2006). Jørgensen und Gulliksen (2001) bezeichnen eine photographische Analyse aus diesem Grund als semi-quantitativ. Sie haben herausgefunden, dass bei einer photographischen Analyse des Hartsubstrats nur ein Drittel der Taxa, die bei einer quantitativen Beprobung (z. B. Kratzproben) ermittelt werden, detektiert werden. Dies führt zu einer Selektivität bei der Betrachtung der Artengemeinschaft. Die Methode ist hingegen eine gute Option für nicht-destruktive Langzeitstudien (Jørgensen und Gulliksen, 2001), was für diese Methode am verwendeten experimentellen Versuchsaufbau spricht. Sofern es sich bei den nicht detektierten Arten nicht um Indikatorarten handelt, ist diese semi-quantitative Methode ausreichend, um Unterschiede zwischen den Artengemeinschaften feststellen zu können (Streicher, 2014).

7.2 Abiotische Faktoren

Bei den Ergebnissen der abiotischen Parameter ist wichtig zu beachten, dass im Gegensatz zu den Ergebnissen der Lebensgemeinschaft keine Schlussfolgerungen über einen längeren Zeitraum getroffen werden können. Die Messwerte sind ausschließlich über einen kurzen Zeitraum während der Sommermonate ermittelt worden. Durch die geringe Stichprobenanzahl und die nur aus einem Jahr stammenden Messungen ist die Aussagekraft auch für die Sommermonate relativ gering. Zudem ist es möglich, dass eventuelle Unterschiede durch die geringe Stichprobengröße keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden konnten. Diese sind jedoch nicht auszuschließen.

Das Ziel der Messung der Lichtintensität war, die relativen Unterschiede der Lichtintensität an den unterschiedlichen Positionen der Zementröhre darzustellen. Für die Messung wurde ein sonniger, wolkenloser Tag ausgewählt, an dem es nicht zu einem Wechsel zwischen Sonne und Wolken gekommen ist. Dies hätte zu einer Verfälschung der relativen Unterschiede geführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lichtintensität im Allgemeinen außerhalb der Röhre größer ist als im Inneren. Zudem ist außerhalb der Zementröhre die Lichtintensität auf nach oben gerichteten Bewuchsplatten (Winkelkategorie 2a) am größten und nimmt umso mehr ab, desto weiter sich die Bewuchsplatten im Überhang befinden (Glasby, 2000). Im Inneren der Röhre ist der gleiche Trend zu erkennen. Auch hier ist die Lichtintensität im stärksten Überhang (Winkelkategorie 4i) am geringsten, da dort die größte Lichtabschirmung durch die Zementröhre vorliegt. Die Abschirmung sinkt bei abnehmendem Überhang, d.h. bei weniger Beschattung durch die Röhre, bis die Bewuchsplatten horizontal ausgerichtet sind.

An den unterschiedlichen Winkelpositionen konnten keine signifikanten Unterschiede der Strömung über einen Zeitraum von 25 Tagen identifiziert werden. Es ist, mit dem Hjulström-Diagramm korrelierend, auch in der Korngrößenverteilung der Sedimente bei unterschiedlichen Winkelpositionen kein Unterschied festzustellen. Die schlecht sortierte Korngrößenverteilung deutet

auf eine wechselnde Dynamik hin, die v. a. durch die schwankenden Flusseinträge und Gezeitenunterschiede geprägt sein könnte. Während der Stauwasserzeiten sedimentieren auch Partikel mit niedrigerer Sinkgeschwindigkeit, die i.d.R. kleinere Korngrößen haben. Diese bleiben in den Hauptströmungszeiten hingegen in Suspension. Während der stärkeren Gezeitenströmung sind die größeren Partikel ebenfalls in Suspension, die dann mit abnehmender Strömungsgeschwindigkeit absedimentieren. Der fluktuierende Eintrag an fluviatilen Sedimenten ist auf die unterschiedlichen Wetterbedingungen während des Beobachtungszeitraums zurückzuführen. Über den Zeitraum von vier Wochen hatte die Wassermenge und somit auch die mitgeführte Sedimentfracht der in den Fjord einfließenden Flüsse durch die wechselhaften Wetterbedingungen der Westwindzone stark variiert (Wetterdaten meteoblue). Die Korngröße der im Flussdelta abgelagerten Sedimente, die aus der Suspensionsfracht des Flusses stammen, hängt direkt von der Wassermenge und der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses ab. Nach starken Regenfällen war die Wassermenge groß und es wurden gröbere Partikel weiter in den Fjord hinaus in Suspension gehalten. Sie sedimentieren somit erst in weiterer Entfernung zum Fluss. Bei trockenen Bedingungen werden an der gleichen Stelle im Fjord (Sedimentfalle stationär) kleinere Partikel abgelagert. Auch Sturm, der während des Probennahmezeitraums auftrat, kann zu einer veränderten Wasserbewegung führen und so eine veränderte Korngrößenverteilung zur Folge haben.

Der Versuchsaufbau befindet sich in der Nähe eines Flusses und damit in dessen Einflussbereich. Die Sedimentation der Winkelkategorie 2a, die als repräsentativ für die vertikale Sedimentation ohne komplexe Strukturen gelten kann, beträgt unter Verwendung der Sedimentationsdaten der vierwöchigen Probennahme $2,11 \pm 0,47$ mm/Jahr. Bei diesem Wert ist zu beachten, dass diese Angabe aus einem Probennahmezeitraum von vier Wochen im Sommer interpoliert wurde. Da es im Jahresverlauf zu starken Schwankungen der Sedimentation kommen kann, ist dieser Wert nicht zwingend repräsentativ. Die durchschnittliche jährliche Sedimentationsrate im Bereich eines Flussdeltas im chilenischen Fjordsystem liegt bei 0,7-2,6 mm/Jahr (Kilian et al., 2007). Somit befindet sich der experimentelle Aufbau, unter der Annahme, dass die Messung der Sedimentation dem Jahresmittel entspricht, im typischen Einflussbereich eines Flusses.

Bei den Inhaltstoffen der Sedimente sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Winkelkategorien erkennbar gewesen. Somit ist davon auszugehen, dass diese nicht ausschlaggebend für die Unterschiede der Lebensgemeinschaften auf Substrat variierender Substratwinkel sind.

Die Massen und Volumina sowie Beobachtungen des experimentellen Aufbaus deuten auf höhere Sedimentationsraten an Winkelposition 2i im Vergleich zu den anderen Winkelkategorien hin. Zu beachten ist, dass die Messung der Sedimentation der Winkelkategorie 2i nicht auf Höhe der entsprechenden Bewuchsplatte erfolgte, sondern 0,5 m oberhalb. Dies kann zu einem Fehler geführt haben. Es ist davon auszugehen, dass das Sediment auf den Bewuchsplatten der Winkelkategorie 2i Einfluss auf die Artenzusammensetzung an dieser Winkelkategorie hat. Erstaunlich ist, dass keine höhere Sedimentation an der Winkelkategorie 2a, als an der Kategorie 1a gemessen wurde, da generell nach oben gerichtete Flächen einer stärkeren Sedimentation ausgesetzt sind als vertikale oder überhängende (Beatriz et al., 2006). Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass eine Zeit von vier Wochen nicht ausreicht, um derartige Unterschiede belegen zu können. Die beobachteten Unterschiede der Sedimentschicht auf den Bewuchsplatten der Winkelkategorien 2a und 2i könnten sich dadurch erklären lassen, dass sich die Bewuchsplatten der Winkelkategorie 2a relativ exponiert auf der Zementröhre befinden. Während strömungsberuhigten Zeiten ist es Partikeln möglich, auf

den Zementröhren zu sedimentieren. Bei stärkerer Strömung werden diese Partikel wieder in Suspension gebracht und leicht von der Röhre bewegt. Somit kann sich u. U. keine zentimeterdicke Sedimentschicht auf den Bewuchsplatten der Kategorie 2a ablagern, wie es auf Bewuchsplatten der Winkelkategorie 2i der Fall ist. Sollten auf Bewuchsplatten der Kategorie 2i bereits sedimentierte Partikel durch Strömung erneut in Suspension gebracht werden, sedimentieren an dieser Stelle stattdessen andere Partikel, die an anderer Stelle am Meeresboden in Suspension gebracht wurden. Das ist möglich, da sich die Bewuchsplatten fast auf gleicher Höhe mit dem Meeresboden befinden. Diese Resuspension ist auch eine mögliche Erklärung für die variierenden Werte der Volumina und Massen an den Winkelkategorien 2a und 2i, für die in der Kategorie 2i höhere Werte gemessen wurden. Da sich die Öffnungen der Sedimentfallen der Kategorie 2i näher am Meeresboden befanden, könnten resuspendierte Partikel des Meeresgrunds u. U. in diese Sedimentfallen sedimentieren, die keinen ausreichend großen Abstand zum Meeresboden erreichen, um in die Öffnung der Sedimentfallen der Position 2a zu sedimentieren. Eine weitere mögliche Erklärung für die geringeren Sedimentmengen in den Sedimentfallen der Position 2a könnte sein, dass abgelagertes Sediment, welches sich auf der Zementröhre befand, durch Wasserbewegung von der Zementröhre wegbewegt wurde. Geschah dies in Richtung der Sedimentfallen, herrscht ein erhöhter Sedimenteintrag an der Winkelkategorie 2i.

Auf Grundlage dieser Erläuterung kann Hypothese 2 "Die abiotischen Parameter Strömung, Lichtintensität und Sedimentation unterscheiden sich an verschiedenen Neigungswinkeln" in Teilen angenommen werden. Abgelehnt wird die Hypothese für die Strömung, bei der keine Unterschiede zwischen den Winkelkategorien nachgewiesen werden konnten. Angenommen wird die Hypothese in Bezug auf die Lichtintensität, da starke Unterschiede erkennbar waren. Auch für die Sedimentation wird die Hypothese in Bezug auf Volumina und Masse angenommen. Keine Unterschiede zeigten Inhaltstoffe und Korngrößenverteilung.

7.3 Biotische Unterschiede

Bei der Analyse der Artengemeinschaft handelt es sich um eine Momentaufnahme im jahreszeitlichen Verlauf sowie im Verlauf der Sukzession. Bisher konnten im Norden Chiles keine jahreszeitlichen Unterschiede bei Weich- und Hartsubstrat-Lebensgemeinschaften während der Sukzession ermittelt werden (Pacheco et al., 2010; 2011). Es ist davon auszugehen, dass keine jahreszeitlichen Unterschiede bezüglich der Struktur der Lebensgemeinschaft im Süden Chiles vorliegen, da sowohl Nord- als auch Südchile im Einflussbereich des stets kalten Humboldt-Stroms liegen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann allerdings gesagt werden, dass sich die Artengemeinschaft, wie sie in dieser Studie dokumentiert wurde, weiter verändert. Dafür sind wahrscheinlich keine saisonalen Schwankungen verantwortlich, sondern der Prozess der Primärsukzession. Bei der Untersuchung der Sukzession im Comau Fjord wurden 1,2 und 3-jährige Artengemeinschaften, die auf dem gleichen künstlichen Substrat wie in dieser Studie siedelten, mit der reifen Gesellschaft der Umgebung verglichen. Die Untersuchung zeigte, dass nach drei Jahren im Comau Fjord der Prozess der Sukzession noch nicht abgeschlossen ist. Ebenfalls wurde ermittelt, dass sich die Artengemeinschaften innerhalb eines Jahres signifikant verändern (Reichel, 2012). Als Konsequenz lässt sich ableiten, dass die Artengemeinschaft, wie sie hier an den unterschiedlichen Neigungswinkeln dargestellt wird, nur eine Momentaufnahme im Verlauf der Sukzession widerspiegelt. Der Prozess der Sukzession ist mit hoher Wahrscheinlichkeit noch nicht abgeschlossen.

Es ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen des letzten El Niño-Ereignis aus dem Jahr 2012 keinen Einfluss auf die Artengemeinschaft dieser Studie haben, da es sich um ein kurzzeitiges Ereignis handelt, was bereits zwei Jahre zurückliegt.

Reichel (2012) untersuchte ebenfalls 3-jährige Artengemeinschaften auf Bewuchsplatten an zwei verschiedenen Positionen im Fjord (Cross Huinay = Fjordmitte, Lilliguapi = Fjordausgang) in ähnlicher Tiefe. Die Winkel der dortigen Bewuchsplatten befinden sich innerhalb der Winkelkategorie 4. Da sich keine nahegelegene Felswand gegenüber liegend befindet, sind die Bewuchsplatten der Winkelkategorie 4a zuzuordnen. Es fand eine Untersuchung der Artengemeinschaften in Abhängigkeit des Neigungswinkels statt, bei der die Bewuchsplatten in Kategorien von 10°-Intervallen eingeteilt wurden. Es konnte kein Trend innerhalb dieser kleinen Intervalle verzeichnet werden, da sich lediglich eine Winkelkategorie signifikant von zwei anderen Kategorien unterschied, von den anderen vier Gruppen wiederum nicht. Dieser Sachverhalt deutet darauf hin, dass bei geringen Winkelunterschieden kein Effekt auf die Artengemeinschaften erkennbar ist. Somit sind die größer gewählten Intervalle dieser Studie sinnvoll. Es konnten Unterschiede zwischen den Gemeinschaften in Cross Huinay und Lilliguapi festgestellt werden (Reichel, 2012). Dabei zeigte der Standort Lilliguapi eine höhere Individuenzahl als Cross Huinay. Die Individuenzahl am Standort der vorliegenden Studie (Jetty) in der vergleichbaren Kategorie 4a liegt bei 3230 Individuen/m². Damit beträgt die Gesamtindividuenzahl lediglich 36 % der Gesamtindividuenzahl einer dreijährigen Gesellschaft von Lilliguapi (8933 Individuen/m²) und 47 % der Besiedlungsdichte von Cross Huinay (6800 Individuen/m²). Bereits bei Tauchgängen wirkten die Standorte Cross Huinay und Lilliguapi deutlich belebter als der Standort Jetty. Auch die prozentuale Flächenbedeckung lässt Jetty als den unbelebtsten Standort erscheinen. Mit einer prozentualen Flächenbedeckung von 29,7 % liegt diese bei etwa 65 % der prozentualen Flächenbedeckungen von Lilliguapi (46,1 %) und Cross Huinay (43,2 %). Auffallend für den Standort Jetty im Vergleich zu Lilliguapi und Cross Huinay ist die Abwesenheit jeglicher natürlich siedelnder Scleractinia, die an den anderen untersuchten Standorten sowie an vielen anderen Orten im Fjord zu finden sind (eigene Beobachtungen). Dies erstaunt, da Scleractinia ebenfalls an diesem Standort lebensfähig sind. 2011 sind einige Individuen an Halterungen an Röhre 1 befestigt worden. Auch überrascht, dass Porifera, die in Lilliguapi einen Großteil der Fläche bedecken, in der Winkelkategorie 4a am Jetty nicht vorkommen. Generell lässt sich sagen, dass der Standort dieses experimentellen Aufbaus ein für den Fjord relativ unbelebter Standort ist.

An unterschiedlichen Orientierungen der Substrate sind verschiedene Artengemeinschaften zu finden (Pomerat und Reiner, 1942; Hurlbut, 1991; Glasby, 2000; Glasby und Connell, 2001). Zudem sind Unterschiede der Lebensgemeinschaften zwischen exponierten und verdeckten Oberflächen zu verzeichnen (Pacheco et al., 2010). Die Gründe dafür beinhalten viele Faktoren, wie die Änderung der Lichtintensität (Kennelly, 1989; Glasby, 2000) und der Sedimentation, welche Einfluss auf die Larvalbesiedlung einiger Arten haben (Duggins und Eckman, 1990). Die Ergebnisse der Artengemeinschafts-Analyse lassen vermuten, dass Bryozoa präferiert auf überhängenden Flächen siedeln als auf nach oben geneigten. Sowohl an der Innen- als auch an der Außenseite der Zementröhre sind Bryozoa an überhängenden Bewuchsplatten abundanter. Diese Abundanz wird geringer, je weiter die Bewuchsplatte nach oben geneigt ist. Ein Grund dafür könnte sein, dass Überhängende Habitate eine geringere Belastung durch Sedimentation erfahren, auf die einige Bryozoen besonders empfindlich reagieren und deshalb eine besonders hohe Larvalbesiedlung an Substraten mit geringerer Sedimentation zeigen (Duggins und Eckman, 1990). Der wichtigste

Stimulus für die Larvalbesiedlung von Bryozoa ist Dunkelheit (McKinney und McKinney, 1993). Dies erklärt eine geringere Abundanz der Bryozoa an den nach oben gerichteten Bewuchsplatten außerhalb der Röhre (Winkelkategorie 2a und 1a) im Vergleich zu nach oben gerichteten Bewuchsplatten innerhalb der Zementröhre (Winkelkategorie 2i). Innerhalb der Zementröhre hat Sedimentation an den nach oben gerichteten Bewuchsplatten einen höheren Einfluss, es herrscht jedoch eine geringere Lichtintensität. Auch Pacheco et al. (2010) stellen eine deutlich höhere Abundanz der Bryozoa an verdeckten Standorten als an exponierten fest.

Bei Octocorallia lässt sich ein ähnlicher Trend wie bei den Bryozoa erkennen. Diese sind ebenfalls an Überhängen am abundantesten, wobei diese die Innenseite der Röhre stark präferieren. Einige Octocorallia reagieren ebenfalls empfindlich auf starke Sedimentation, da diese ihre photosynthetische Aktivität stark reduziert (Riegl, 1995). Dies könnte die hohe Abundanz an relativ wenig von Sedimentation beeinflussten Überhängen erklären.

Entgegengesetzt präferieren Rhodophyta (1 und 2) nach oben gerichtete, lichtreichere Substrate. Sehr auffällig sind hier die extrem hohen Abundanzen in den nach oben gerichteten Kategorien 2 und im Gegensatz dazu die komplette Absenz in der nach unten gerichteten, lichtarmen Kategorie 4 (innen und außen). Rhodophyta präferieren lichtreiche Standorte (Glasby, 2000). Pacheco et al. (2010) konnten bei einem Experiment auf exponierten Flächen eine hohe Dominanz an Rotalgen feststellen, da diese deutlich lichtreicher sind als verdeckte. Zu Beginn der Sukzession besiedeln Bryozoa ebenfalls lichtreichere Habitate, allerdings in geringerem Maße, als lichtärmere Flächen, was auf die negative Phototaxis der Larven zurückzuführen ist (McKinney und McKinney, 1993). Da Bryozoa in lichtreichen Habitaten konkurrenzschwächer sind als Krustenrotalgen, werden diese im Laufe der Sukzession von Krustenrotalgen verdrängt. Dadurch nimmt die Abundanz der Bryozoa im Verlauf der Sukzession auf lichtreichen Substraten ab, während Krustenrotalgen durch ihr starkes Konkurrenzvermögen hauptsächlich lichtreichere Habitate besiedeln (Pacheco et al., 2010). Die hohe Konkurrenzstärke der Rhodophyta erklärt ebenfalls die geringe Artenvielfalt auf Bewuchsplatten der Position 2a, der lichtreichsten Kategorie, da nicht nur Bryozoa von Rhodophyta verdrängt werden.

Filtrierende Polychaeten der Familie Chaetopteridae sind in den nach oben geneigten Kategorien (1i, 2i) im Inneren der Zementröhre zu finden, in der sich oft eine Sedimentschicht befindet. Im Gegensatz dazu sind kaum Individuen an den nach oben gerichteten Bewuchsplatten an der Außenseite der Röhre zu finden. Dort entfernt die Strömung schnell sedimentierende Partikel, sodass sich keine Sedimentschicht bilden kann. Es hat den Anschein, als ob Chaetopteridae an stark von der Sedimentation betroffenen Substraten besonders konkurrenzstark sind und deshalb sedimentäres Substrat bevorzugen. Allgemein leben Chaetopteridae meist auf sedimentärem Substrat (Wilson, 2000 *vide* Morineaux et al., 2010).

Serpulidae sind hauptsächlich an vertikalen Flächen zu finden. Die Rekrutierung der Serpulidae nimmt mit zunehmender Sedimentation und Lichtintensität ab (Duggins und Eckman, 1990). Serpulidae präferieren daher überhängende Substrate vor horizontal nach oben geneigten Flächen (Cotter et al., 2003). Grund dafür ist vermutlich die phototaktische Orientierung der Larven (Chapman et al., 2007). Verwunderlich ist deshalb die höhere Abundanz auf vertikalen Flächen als auf überhängenden. Eine mögliche Erklärung dafür kann eine geringe Konkurrenzfähigkeit gegenüber Bryozoa sein, die wie oben beschrieben, ebenfalls den Überhang mit geringer Sedimentation präferieren. In den vorangegangenen Studien sind die beiden entgegengesetzten Positionen am Überhang und an komplett exponierten Standorten miteinander verglichen worden. Vertikale

Flächen sind dabei nicht betrachtet worden. Es ist möglich, dass Serpulidae, die wie viele Bryozoa phototaktisch negative Larven haben, vermehrt auf überhängendem Substrat siedeln, da sie dort einer geringeren Sedimentation ausgesetzt sind. Möglicherweise sind Serpulidae konkurrenzschwächer als Bryozoa. Darauf deutet hin, dass Serpulidae von Bryozoa überwachsen werden. Dies ist u. a. auf den Fotos der Bewuchsplatte 63 (Kategorie 4i) aus dem Jahr 2012 zu erkennen. Im Jahr 2013 weisen die Serpulidae auf dieser Bewuchsplatte deutlich geringere Abundanzen auf. Das deutet darauf hin, dass diese auf den stark überhängenden Substraten, bei denen der Stressfaktor Sedimentation geringer ist, von den Bryozoa verdrängt werden. Da Krustenrotalgen besonders konkurrenzstark auf lichtreichen nach oben gerichteten Substraten sind, ist es möglich, dass Serpulidae ebenfalls von diesen Substraten verdrängt wurden und deshalb besonders abundant auf Substraten sind, auf denen weder Bryozoa noch Rhodophyta besonders konkurrenzstark sind. Der gleiche Effekt ist bei Bryozoa zu beobachten. Diese siedeln zunächst auch auf exponierten Substraten, werden aber schnell verdrängt (Pacheco et al., 2010).

Die unterschiedliche Konkurrenzfähigkeit und Präferenz einiger Arten für bestimmte Neigungswinkel führt zu unterschiedlichen Gemeinschaftsstrukturen auf Bewuchsplatten verschiedener Neigungswinkel. Dies zeigte auch die ANOSIM-Analyse (Tab. 9) sowie der nmMDS-Plot (Abb. 12, Abb. 13) und das Dendrogram (Abb. 14, Abb. 15). Somit kann Hypothese 1 "Die reifende Hartbodenartengemeinschaft hat in Abhängigkeit vom Neigungswinkel des Substrats eine unterschiedliche Struktur." angenommen werden.

7.4 Ausblick

Für die Zukunft wäre es interessant, die Bilder der Bewuchsplatten der vergangenen Jahre auszuwerten und diese Fotodokumentation fortzuführen. So könnten die Erkenntnisse über die Sukzession im Comau Fjord an einem dritten Standort erworben werden und dieser mit den bereits von Reichel (2012) untersuchten Standorten verglichen werden. Zudem würde eine Untersuchung der Sukzession mit Hilfe dieses experimentellen Aufbaus erstmals die Sukzession an vielen unterschiedlichen Neigungswinkeln im Comau-Fjord miteinander vergleichen. Dadurch wäre es u. U. möglich, die Änderung des am stärksten Besiedelten Substrats einiger Arten von exponierteren Positionen hin zu geschützteren Positionen im Laufe der Sukzession zu verfolgen. Schön wäre es auch, wenn die Larven der relevanten Bryozoenarten auf Phototaxis untersucht werden könnten. Um bewerten zu können, wann das Stadium einer Klimaxgesellschaft erreicht ist, sollten die Artengemeinschaften auf den Bewuchsplatten mit jenen der Umgebung verglichen werden, wie es bereits für die anderen untersuchten Standorte bei Reichel (2012) durchgeführt wurde. Ebenfalls könnte in der Zukunft ein Vergleich mit dem 2014 in Lilliguapi installierten experimentellen Aufbau, der diesem identisch ist, stattfinden.

Ebenfalls wäre es interessant, abiotische Parameter im Jahresverlauf und über einen längeren Zeitraum zu messen. Es könnten die in dieser Studie verwendeten Sedimentfallen für ein Jahr installiert werden. Um die jahreszeitlichen Schwankungen zu diagnostizieren, könnten die mit einer iSiTRAP Sedimentfalle (iSiTEC, Bremerhaven, Deutschland) genommenen Sedimentproben untersucht werden.

8 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Neigungswinkel Einfluss auf die Hartsubstrat-Lebensgemeinschaft im Comau Fjord hat. Es sind sowohl Unterschiede in der Abundanz der siedelnden Arten als auch in der Flächenbedeckung und der Präsenz zu verzeichnen. Die abiotischen Parameter Lichtintensität und Sedimentation haben Einfluss auf die Artenzusammensetzung, indem diese unterschiedliche Mikrohabitate an verschiedenen Neigungswinkeln modellieren. Ein Einfluss der Strömung wurde nicht nachgewiesen.

9 Danksagung

Besonders möchte ich Herrn Dr. Jürgen Laudien (AWI) für die gute Betreuung, die Ratschläge und vielen Hilfestellungen bei der Durchführung dieser Bachelorarbeit danken sowie einer spannenden und schönen Zeit in Chile.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr. Piepenburg für die gute Betreuung meiner Bachelorarbeit von Seiten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Danken möchte ich auch Dr. Verena Häussermann und Günter Fösterra für die Hilfe bei der taxonomischen Bestimmung vieler Arten sowie Dr. Daniela Henkel, Philippe Willenz, Horia Galea, Dr. Marcos Titán und Dr. Américo Montiel. Ebenfalls danke ich Katy Hind, für die genomische Analyse der Krustenrotalgen.

Danken möchte ich auch den wissenschaftlichen Assistenten der Feldstation der Fundación Huinay sowie den Teilnehmern des AWI-Forschungstauchkurses 2009 für die Hilfe bei der Installation der Zementröhren und Fotodokumentationen in vergangenen Jahren und das Ermöglichen einer tollen Expedition.

Danken möchte ich auch Christiana Anagnostou und Nils Owsianowski für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Danken möchte ich zudem der gesamten Sektion "Bentho-Pelagische Prozesse" des Alfred-Wegener-Instituts, Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung, für das Ermöglichen dieser Bachelorarbeit und die Möglichkeit, jederzeit Fragen stellen zu können.

Vielen Dank auch an Verena, Erik, Michael und Maike für eine tolle Schreibtischnachbarschaft und viele lustige Stunden im Büro, auch in den stressigen Zeiten.

Danken möchte ich meinen Eltern, Jonas und Verena für die vielen hilfreichen Korrekturen.

Ein großer Dank richtet sich an meine Familie und Jonas, die mich in allen Situationen immer bestmöglich unterstützt haben.

10 Referenzen

- Acha, E. M., Mianzan, H.W., Guerrero, R.A., Favero, M., Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America: physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 4, 83–105.
- Allan, R. Lindsay, J., and Parker, D. (1996). *El Nino: Southern Oscillation and Climatic Variability* (p. 416).
- Anderson, M. J., and Underwood, A. J. (1994). Effects of substratum on the recruitment and development of an intertidal estuarine fouling assemblage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 0981(94), 217–236.
- Antoniadou, C., and Chintiroglou, C. (2005). Biodiversity of zoobenthic hard-substrate sublittoral communities in the Eastern Mediterranean (North Aegean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(4), 637–653. doi:10.1016/j.ecss.2004.09.032
- Barry J.P. and Dayton P.K. (1991). Physical Heterogeneity and the Organization of Marine Communities. *Ecological Heterogeneity*, 86, 270–320.
- Baynes, T. W. (1999). Factors structuring a subtidal encrusting community in the southern gulf of California. *Bulletin of Marine Science*, 64(3), 419–450.
- Beatriz, F., Azevedo, B., Carloni, G. G., and Verçosa, L. (2006). Colonization of Benthic Organisms on Different Artificial Substratum in Ilha Grande Bay , Rio de Janeiro , Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(March), 263–275.
- Berlow, E. L. (1997). From canalization to contingency: From canalization to contingency: historical effects in a successional rocky intertidal community. *Ecological Monographs*, 67(4), 435–460.
- Bernhardt, K.-G. and Poschod, P. (1993). Zur Biologie semiaquatischer Lebensräume aus botanischer Sicht - Eine Einführung. In *Biologie semiaquatischer Lebensräume*. Solingen: Verlag Natur und Wissenschaft (pp. 5 – 18).
- Beuchel, F., Gulliksen, B., and 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(1-2), 35–48.
- Chapman, N. D., Moore, C. G., Harries, D. B., & Lyndon, A. R. (2007). Recruitment patterns of *Serpula vermicularis* L. (Polychaeta, Serpulidae) in Loch Creran, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3-4), 598–606. doi:10.1016/j.ecss.2007.03.001
- Clarke, KR, W. R. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *PRIMER-E, Plymouth*, 2.
- Clarke, KR, Gorley, R. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Connell, J.H. and Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization. *The American Naturalist*, 11, 1119–1144.

- Cotter, E., O’Riordan, R. M., and Myers, A. A. (2003). Recruitment patterns of serpulids (Annelida: Polychaeta) in Bantry Bay, Ireland. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 83(01), 41–48. doi:10.1017/S0025315403006787h
- Davis, A. R. (2009). The role of mineral, living and artificial substrata in the development of subtidal assemblages. *Marine Hard Bottom Communities. Heidelberg: Springer-Verlag*, 19–38.
- Dowdeswell, J. A., and Vásquez, M. (2013). Submarine landforms in the fjords of southern Chile: implications for glacial processes and sedimentation in a mild glacier-influenced environment. *Quaternary Science Reviews*, 64, 1–19. doi:10.1016/j.quascirev.2012.12.003
- Dowdeswell, J.A. Dowdeswell, C. Rondrigo, C., Diaz J. and Zungia, C.A. (2014). Assemblage of glacial and related landforms in the fjords of southern Chile. *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*.
- Galea, H. R., Häussermann, V. and Försterra, G. (2007). Hydroza, fjord Comau, Chile. Checklist, 159–167.
- Garrabou, J., Ballesteros, E., and Zabala, M. (2002). Structure and Dynamics of North-western Mediterranean Rocky Benthic Communities along a Depth Gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3), 493–508. doi:10.1006/ecss.2001.0920
- Garrabou J. Riera, J. Zabala, M. (1998). Landscape pattern indices applied to Mediterranean subtidal rocky benthic communities. *Landscape Ecology*, 13(4), 225–247.
- Geodz.com. (n.d.). http://www.geodz.com/deu/d/images/1295_hjulstroem-diagramm.png, 28.10.2014, 12.57.
- Glasby, T. M. (1999). Interactive effects of shading and proximity to the seafloor on the development of subtidal epibiotic assemblages. *Marine Ecology. Progress Series*, 190, 113–124. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=1220367>
- Glasby, T. M. (2000). Surface composition and orientation interact to affect subtidal epibiota, 248, 177–190.
- Glasby, T. M., and Connell, S. D. (2001). Orientation and position of substrata have large effects on epibiotic assemblages, 214, 127–135.
- Haas, A. <http://www.windows2universe.org/earth/Water/CTD.html> 24.10.2014 15.49.
- Hart, A. M., Lasi, F. E., and Glenn, E. P. (2002). SLODS™: slow dissolving standards for water flow measurements. *Aquacultural Engineering*, 25(4), 239–252. doi:10.1016/S0144-8609(01)00085-1
- Häussermann, V. Försterra, G. (2009). *Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia* (Vol. 1, p. 1000).
- Heiler, S., Weichselberger, K. (1969). Über den Permutationstest und ein daraus ableitbares Konfidenzintervall. *Metrika*, 14(1), 232–248.
- Hjulström, F. (1935). Studies of the morphological activities of rivers as illustrated by the River Fyris. *Bull. Geol. Inst. Upsala*, 25, 221–527.
- Hornik, K. (2014). R 3.1.1.

- Jantzen, C., Häussermann, V., Försterra, G., Laudien, J., Ardelan, M., Maier, S., & Richter, C. (2013). Occurrence of a cold-water coral along natural pH gradients (Patagonia, Chile). *Marine Biology*, *160*(10), 2597–2607. doi:10.1007/s00227-013-2254-0
- Jørgensen, L. L. , Gulliksen, B. (2001). Rocky bottom fauna in arctic Kongsfjord (Svalbard) studied by means of suction sampling and photography. *Polar Biology*, *24*(2), 113–121.
- Kennelly, S. J. (1989). due to shade and scour. *Marine Ecology Progress Series*, *50*, 215–224.
- Kilian, R., Baeza, O., Steinke, T., Arevalo, M., Rios, C., and Schneider, C. (2007). Late Pleistocene to Holocene marine transgression and thermohaline control on sediment transport in the western Magellanes fjord system of Chile (53°S). *Quaternary International*, *161*(1), 90–107. doi:10.1016/j.quaint.2006.10.043
- Klein, E. (2008). *Bilinguales Wörterbuch Biologie* (p. 954).
- Laudien, J., Jantzen, C., Häussermann, V., (2013). Water temperature at time series station Huinay Jetty, Comau Fjord, Patagonia, Chile in 2012/2013. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven, doi:10.1594/PANGAEA.818386.
- MacArthur , R.H., and Connell, J. H. (1966). The biology of populations. *Population Ecology*, 200.
- Maughan, B. C., and Barnes, D. K. (2000). Seasonality of Competition in Early Development of Subtidal Encrusting Communities. *Marine Ecology*, *21*(3-4), 205–220. doi:10.1046/j.1439-0485.2000.00703.x
- McKinney, F.K., McKinney, J. M. (1993). Larval behaviour and choice of settlement site: Correlation with environmental distribution pattern in an erect bryozoan. *Facies*, *29*(1), 119–131.
- Menge, B. A., Allison, G. W., Blanchette, C. A., Farrell, T. M., Olson, A. M., Turner, T. A., and van Tamelen, P. (2005). Stasis or kinesis? Hidden dynamics of a rocky intertidal macrophyte mosaic revealed by a spatially explicit approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *314*(1), 3–39. doi:10.1016/j.jembe.2004.09.015
- Miller, R. J. and R. E. (2008). Shading facilitates sessile invertebrate dominance in the rocky subtidal Gulf. *Marine. Ecology*, *89*, 452–462.
- Morineaux, M., Nishi, E., Ormos, A., Mouchel, O., Etudes, D., and Brest, C. De. (2010). A new species of Phyllochaetopterus (Annelida : Chaetopteridae) from deep-sea hydrothermal Ashadze-1 vent field , Mid-Atlantic Ridge : taxonomical description and partial COI DNA sequence. *Cahiers De Biologie Marine*, *51*(May), 239–248.
- O. Duggins, D., Eckman, J.E., Sewell, A. T. (1990). Ecology of understory kelp environments. II. Effects of kelps on recruitment of benthic invertebrates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *143*(1–2), 27–45.
- Pacheco, A.S. (2009). *Community succession and seasonal onset of colonization in sublittoral hard and soft bottoms off northern Chile*.
- Pacheco, A. S., Laudien, J., Thiel, M., Heilmayer, O., and Oliva, M. (2010). Hard-bottom succession of subtidal epibenthic communities colonizing hidden and exposed surfaces off northern Chile. *Scientia Marina*, *74*(1), 147–154. doi:10.3989/scimar.2010.74n1147

- Pacheco, A. S., Laudien, J., Thiel, M., Oliva, M., and Arntz, W. (2010). Succession and seasonal variation in the development of subtidal macrobenthic soft-bottom communities off northern Chile. *Journal of Sea Research*, 64(3), 180–189. doi:10.1016/j.seares.2010.02.002
- Pacheco, A. S., Laudien, J., Thiel, M., Oliva, M., and Heilmayer, O. (2011). Succession and seasonal onset of colonization in subtidal hard-bottom communities off northern Chile. *Marine Ecology*, 32(1), 75–87. doi:10.1111/j.1439-0485.2010.00398.x
- Pantoja, S., Luis Iriarte, J., and Daneri, G. (2011). Oceanography of the Chilean Patagonia. *Continental Shelf Research*, 31(3-4), 149–153. doi:10.1016/j.csr.2010.10.013
- Piazzì, L., Pardi, G., Balata, D., Cecchi, E. and Cinelli, F. (2002). Seasonal Dynamics of a Subtidal North-Western Mediterranean Macroalgal Community in Relation to Depth and Substrate Inclination. *Botanica Marina*, 45(Cinelli 1969), 243–252.
- Pickard, G.L. (1971). Some Physical Oceanographic Features of Inlets of Chile. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 28, 1077–1106.
- Pickering, H., and Whitmarsh, D. (1997). Artificial reefs and fisheries exploitation: a review of the “attraction versus production” debate, the influence of design and its significance for policy. *Fisheries Research*, 31(1-2), 39–59. doi:10.1016/S0165-7836(97)00019-2
- Pidwirny, M. (2006). Fundamentals of Physical Geography. *Plant Succession*, 2.(p. 479)
- Pomerat, C.M. and Reiner, E.R. (1942). The Influence of Surface Angle and of Light on the Attachment of Barnacles and Other Sedentary Organisms. *Biological Bulletin*, 82(1), 14–25.
- Reichel, L. (2012). *Succession of benthic hard bottom communities in the shallow sublittoral of Comau fjord, Chile.*
- Riegl, B., Brancha, G.M. (1995). Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1900) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) corals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 186(2), 259–275.
- Spagnolo, A., Cuicchi, C., Punzo, E., Santelli, A., Scarcella, G., and Fabi, G. (2014). Patterns of colonization and succession of benthic assemblages in two artificial substrates. *Journal of Sea Research*, 88, 78–86. doi:10.1016/j.seares.2014.01.007
- Streicher, M. D. (2014). *Sukzession arktischer Hartboden Lebensgemeinschaften.*
- Thoreau, H. D. (1860). *The Succession of Forest Trees*
- Tonetto, A. F., Cardoso-Leite, R., Peres, C. K., Bispo, P. D. C., and Branco, C. C. Z. (2014). The effects of habitat complexity and hydraulic conditions on the establishment of benthic stream macroalgae. *Freshwater Biology*, 59(8), 1687–1694. doi:10.1111/fwb.12374
- Van Dover, C. (2000). *The Ecology of Deep-sea Hydrothermal Vents* (p. 19).
- Vaz-Pinto, F., Torrontegi, O., Prestes, a C. L., Alvaro, N. V, Neto, a I., and Martins, G. M. (2014). Invasion success and development of benthic assemblages: effect of timing, duration of submersion and substrate type. *Marine Environmental Research*, 94, 72–9. doi:10.1016/j.marenvres.2013.12.007

Wilson, R. S. (2000). Family Chaetopteridae. *Polychaets and Alliens: The Southern Synthesis. Fauna of Australia., 4A*, 191–193.

11 Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und eine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Die eingereichte schriftliche Fassung der Arbeit entspricht der auf dem elektronischen Speichermedium.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch nicht als Abschlussarbeit an anderer Stelle vorgelegen hat.

Datum, Unterschrift

12 Anhang

S. Gottschlich^{1,3}, J. Laudien¹, V. Häussermann²,
G. Försterra², Joy Smith¹

1) Alfred Wegener Institute Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Am Alten Hafen 26, 27568 Bremerhaven
2) Huinay Scientific Field Station, Huinay, Chile
3) Christian Albrechts University of Kiel, Kiel



VARIABILITY IN SPECIES ABUNDANCE AND DIVERSITY OF HARD BOTTOM COMMUNITIES DURING PRIMARY SUCCESSION AS A RESULT OF DISTINCT SUBSTRATE SURFACE INCLINATION

Introduction:

Succession is the sequence of different species over time at a certain place (Klein, 2008). In case of primary succession, the substrate has never been colonized before (Allaby, 2010). Different inclinations form different habitats and thereby influence the settlement of epibenthic organisms (Miller, 2008).

Aim:

Description of the successional development in a cold-water sub tidal hard bottom community in relation to the inclination angle.

Experimental set-up:

Recruitment tiles (15x15 cm) installed at distinct angles on three concrete tubes replicated in 20 m depth



Study process:

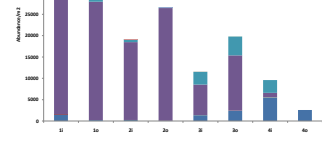
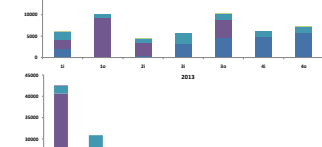
Installation of recruitment tiles: 2011
Photodocumentation: 2012 – 2014
biannually

Analysis of community structure:

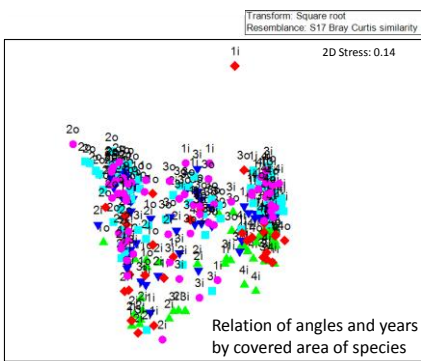
-Photocensus with Photoshop CS4
-non-metrical multidimensional scaling with Primer 6



cement tube, Comau Fjord, Chile, 20m depth
Numbers show categories of distinct inclination angles



Abundance data varying between years and inclination angles



Number of species:

2012: 18
2013: 28
2014: 30
Total: 36



Simper analysis: Most abundant species:

2012: Serpulidae 1 (4%)
Bryozoa 1 (5%)
2013: Rhodophyta 1 (14%)
Serpulidae 1 (5%)
2014: Rhodophyta 1 (11%)
Serpulidae 1 (2%)

Conclusions:

- Community structure varies over time and inclination angle
- Abundant early succession species: Serpulidae, Bryozoa
- Late succession species: Octocorallia, Actinaria
- Characteristics of categories 4i & 4o: No/few Rhodophyta
- Characteristics of categories 1o, 2o & 2i: few Bryozoa

- First (2012->2013) increasing abundance; Later (2013->2014) decreasing abundance
- similar trend at experimental set-up on opposite side of the fjord (Reichel, 2012)
- More species found in other regions of Comau fjord (Reichel, 2012)

Similar project:

Equivalent concrete tube set-up installed 25 km distant in 2014

References:

Allaby, M. (2010). A Dictionary of Ecology. 432.
Clarke, K.R. & Gorley, R.D. (2006). PRIMER 6 User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
Klein, E. (2008). Bilingualität. *Wissenschaftsbiologie*, 154.
Miller, R. J. and R. E. (2008). Shading facilitates sessile invertebrate dominance in the rocky subtidal Gulf of Maine. *Ecology*, 89, 452-462.
Reichel, L. (2012). Succession of benthic hard bottom communities in the shallow subtidal of Comau Fjord, Chile. Thesis.

Corresponding author:
Svenja Gottschlich
Svenja.Gottschlich@awi.de

