

UNIVERSITÄT ROSTOCK

Sukzession arktischer Hartboden Lebensgemeinschaften

Masterarbeit

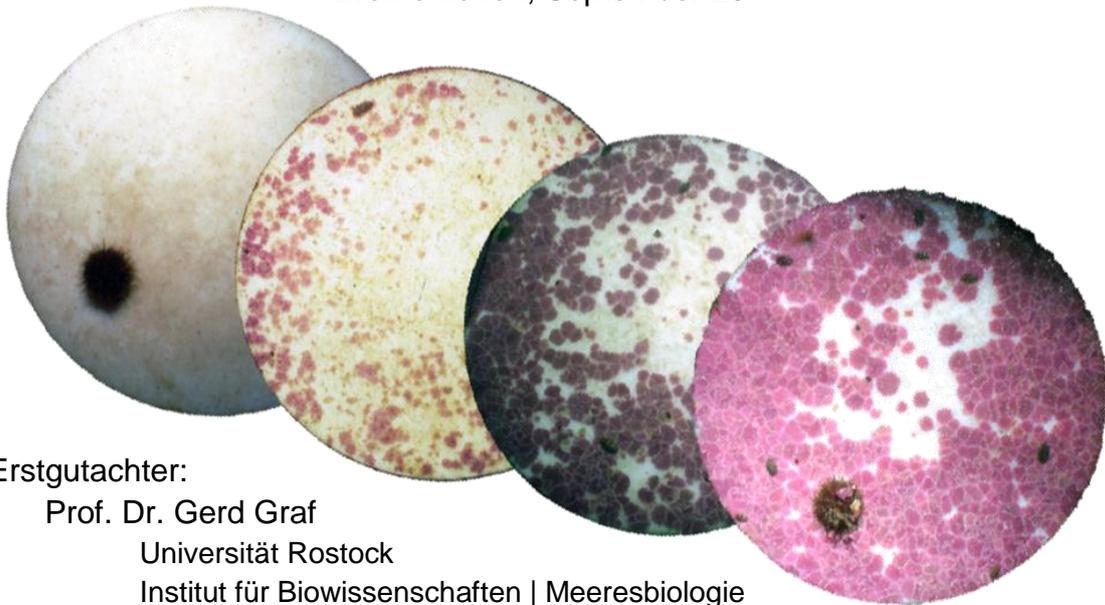
Michael D. Streicher

16.09.2014

Sukzession arktischer Hartboden Lebensgemeinschaften

Masterarbeit

Michael D. Streicher
Bremerhaven, September 2014



Erstgutachter:

Prof. Dr. Gerd Graf
Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften | Meeresbiologie
Albert-Einstein-Straße 3
18059 Rostock

Zweitgutachter:

Dr. Jürgen Laudien
Alfred Wegener Institut Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Biowissenschaften | Benthopelagische Prozesse
Am Alten Hafen 26
27568 Bremerhaven

“From birth, man carries the weight of gravity on his shoulders. He is bolted to earth. But man has only to sink beneath the surface and he is free.”

– Jacques-Yves Cousteau

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Versicherung an Eides Statt	iii
Abkürzungen	iv
Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis.....	viii
Abstract	x
Zusammenfassung.....	xi
I Einleitung	1
II Material und Methoden	5
II.1 Untersuchungsgebiet	5
II.2 Versuchsaufbau und -durchführung	8
II.3 Probenaufarbeitung.....	10
II.4 Datenanalyse	12
II.4.1 Ökologische Indizes.....	12
II.4.2 Multivariate Methoden	14
II.4.3 Cluster und MDS Analyse.....	15
II.4.4 ANOSIM	15
II.4.5 SIMPER.....	16
III Ergebnisse	17
III.1 Abundanz und Bedeckung.....	17
III.2 Ökologische Indizes	24
III.3 Klassifikation und Ordination.....	26
III.4 ANOSIM.....	34
III.5 SIMPER	36
IV Diskussion.....	40
IV.1 Methodendiskussion	40
IV.2 Ergebnisdiskussion	44
IV.2.1 Sukzession und ihre Faktoren	44
IV.2.2 Strukturdiversität des Substrats.....	50
IV.2.3 Sukzessionsdauer	50
IV.3 Fazit	53

IV.3.1	Aussichten.....	53
IV.3.2	Kurzfassung	54
V	Danksagungen.....	56
VI	Literaturverzeichnis	57
VII	Anhang.....	67
VII.1	Methods used with Adobe Photoshop CS6.....	67
VII.2	R-Skript zur Analyse der Daten.....	70
VII.3	Datentabellen.....	81
VII.3.1	Besiedlungsplatten	81
VII.3.2	Artliste	86
VII.3.3	SIMPER.....	88
VII.4	Abbildungen	103
VII.4.1	Bedeckung und Abundanz	103
VII.4.2	Ökologische Indices	105
VII.4.3	Clusteranalysen.....	106
VII.4.4	nmMDS Darstellungen	108

Versicherung an Eides Statt

Ich, Michael D. Streicher, versichere an Eides Statt durch meine Unterschrift, dass ich die vorstehende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und alle Stellen, die ich wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe, mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe. Die Arbeit hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift

Abkürzungen

A	Anhang
Abb.	Abbildung
AWI	Alfred Wegener Institut Helmholtz Zentrum für Polar und Meeresforschung
bzw.	Beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	Das heißt
Engl.	Englisch
Ind.	Individuen
Norweg.	Norwegisch
PE	Polyethylen
Vgl.	Vergleich (mit)
z.B.	Zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: STARK SCHEMATISIERTE DARSTELLUNG DES ABLAUFES DER KOLONIALISIERUNG EINER BENTHISCHEN GESELLSCHAFT. DER FAST AUGENBLICKLICHEN ADSORPTION VON MAKROMOLEKÜLEN FOLGT MIT WENIGEN STUNDEN VERSATZ DER BEWUCHS DURCH PROKARYOTA. DIATOMEEN UND PROTOZOEN SIEDELN TYPISCHERWEISE AB DEM ZWEITEN TAG. LARVEN UND ALGENSPOREN FOLGEN MIT EINEM VERSATZ VON EINER BIS ZU MEHREREN WOCHEN (ABHÄNGIG VON BREITENGRAD, JAHRESZEIT, ETC.) (WAHL 1989).....	2
ABB. 2: TOPOGRAPHISCHE KARTE DES INSELARCHIPELS SVALBARD. IN ROT HERVORGEHOBEN IST DER KONGSFJORDEN UND DIE ANGRENZENDE FORSCHUNGSSIEDLUNG NY ÅLESUND AN DER NORD-WEST-KÜSTE DER HAUPTINSEL SPITZBERGEN (HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:TOPOGRAPHIC_MAP_OF_SVALBARD.SVG).	6
ABB. 3: TOPOGRAPHISCHE KARTE DES KONGSFJORDEN, ROT IST DIE RELATIVE LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS MARKIERT (VERÄNDERT NACH SVENDSEN ET AL. 2002)	7
ABB. 4: RELATIVE POSITIONEN DER BESIEDLUNGSPLETTEN AN DER FELSWAND BEI BETRACHTUNG AUS NÖRDLICHER RICHTUNG. DIE PUNKTE STELLEN EINE SENKRECHTE PROJEKTION AUF DIE STEILWANDFLÄCHE DAR. IN BLAU IST DIE TIEFE [M] ANGEGBEN ALS ORIENTIERUNGSMARKE FÜR TAUCHER DIENT EINE GRÖßERE FURCHE IN DER FELSWAND, HIER ALS GRAUE GESTRICHELTE LINIE ANGEDEUTET.	8
ABB. 5: TECHNISCHE ZEICHNUNG DES ADAPTERS FÜR UNTERWASSER-KULTURPLATTEN. GEZEIGT WERDEN DIE EINZELNEN DETAILS VON ADAPTER UND GEWINDE. DIE PLATTE IST IM LÄNGSSCHNITT NUR AUSSCHNITTSWEISE DARGESTELLT (SCHMIING 2005).	9
ABB. 6: UNTERWASSER PHOTOGRAPHIE EINER AM FELS INSTALLIERTEN BESIEDLUNGSPLATTE (© LAUDIEN 2002).	9
ABB. 7: DARGESTELLT WIRD DIE ANZAHL DER ANALYSIERTEN PLATTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A], AUFGETEILT NACH DEM BEPROBUNGSJAHR.....	11
ABB. 8: MITTLERE ABUNDANZ [M^{-2}] DER VERSCHIEDENEN KOHORTEN (DAS INSTALLATIONSdatum IST ÜBER DEN EINZELNEN GRAPHEN ANGEGBEN) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A]. DIE FEHLERBALKEN GEBEN DEN STANDARDFEHLER DES MITTELWERTS WIEDER.....	19
ABB. 9: MITTLERE BEDECKUNG [CM^2] DER VERSCHIEDENEN KOHORTEN (DAS INSTALLATIONSdatum IST ÜBER DEN EINZELNEN GRAPHEN ANGEGBEN) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A]. DIE FEHLERBALKEN GEBEN DEN STANDARDFEHLER DES MITTELWERTS WIEDER.....	21
ABB. 10: BOXPLOTS DER INDIVIDUENZAHLE [M^{-2}] DER VERSCHIEDENEN GEFUNDENEN TAXONOMISCHEN GRUPPEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A]. IN GRAU SIND DIE DATENPUNKTE DER EINZELNEN PLATTEN DARGESTELLT, AUSREIßER ALS ROTE PUNKTE.	22
ABB. 11: BOXPLOTS DES BEDECKUNGSGRADES [CM^2] DER VERSCHIEDENEN GEFUNDENEN TAXONOMISCHEN GRUPPEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A]. IN GRAU SIND DIE DATENPUNKTE DER EINZELNEN PLATTEN DARGESTELLT, AUSREIßER ALS ROTE PUNKTE.	23
ABB. 12: BOXPLOTS DER ARTENZAHL (S), DES MARGALEF INDEX (D), SHANNON-WEAVER INDEX (H') UND DER ÄQUITÄT NACH PIELOU (J') IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A]. EIN KRUSKAL-WALLIS TEST ERGAB SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE ($P<0.05$) FÜR JEWEILS MINDESTENS ZWEI PROBEN DER ARTENZAHL (S), DES MARGALEF INDEXES (D) UND SHANNON-WEAVER INDEXES (H'). DIE BUCHSTABEN GEBEN SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDEN WIEDER, BERUHEND AUF PAARWEISEN VERGLEICHEN. IN GRAU SIND DIE DATENPUNKTE DER EINZELNEN PLATTEN DARGESTELLT, AUSREIßER ALS ROTE PUNKTE.	24

ABB. 13: DENDROGRAMM DER PRÄSENZ-/ ABSENZDATEN ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. DIE ERGEBNISSE EINER SIMPROF-ANALYSE MIT EINEM SIGNIFIKANZ LEVEL VON 5% SIND IN ROT UND SCHWARZ DARGESTELLT. IN SCHWARZ JENE BEREICHE DES DENDROGRAMMS MIT 95% GENAUIGKEIT, IN ROT JENER MIT GERINGERER GENAUIGKEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 45%.....	27
ABB. 14: NMDS-PLOT DER PRÄSENZ-/ ABSENZDATEN ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 45%. DIE STREUUNGS-ELLIPSEN BERUHEN AUF DER STANDARDABWEICHUNG DER PUNKTWERTE DES JEWEILIGEN CLUSTERS, BEI EINER VERTRAUENSGRENZE VON 95%.....	28
ABB. 15: DENDROGRAMM DER ABUNDANZDATEN ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. DIE ERGEBNISSE EINER SIMPROF-ANALYSE MIT EINEM SIGNIFIKANZ LEVEL VON 5% SIND IN ROT UND SCHWARZ DARGESTELLT. IN SCHWARZ JENE BEREICHE DES DENDROGRAMMS MIT 95% GENAUIGKEIT, IN ROT JENER MIT GERINGERER GENAUIGKEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 34%.	29
ABB. 16: : DENDROGRAMM DES BEDECKUNGSGRADS ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. IN ROT DIE ERGEBNISSE EINER SIMPROF ANALYSE MIT EINEM SIGNIFIKANZ LEVEL VON 5%. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 24,5%.....	30
ABB. 17: NMDS-PLOT DER ABUNDANZDATEN ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 34%. DIE STREUUNGS-ELLIPSEN BERUHEN AUF DER STANDARDABWEICHUNG DER PUNKTWERTE DES JEWEILIGEN CLUSTERS, BEI EINER VERTRAUENSGRENZE VON 0,95.	32
ABB. 18: : NMDS-PLOT DES BEDECKUNGSGRADS ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 24,5%. DIE STREUUNGS-ELLIPSEN BERUHEN AUF DER STANDARDABWEICHUNG DER PUNKTWERTE DES JEWEILIGEN CLUSTERS, BEI EINER VERTRAUENSGRENZE VON 0,95.	33
ABB. 19: (A) PHOTOGRAPHISCHE AUFNAHMEN DER PLATTE 26 AUS DEM JAHR 2013 (ELF JAHRE EXPOSITION) UND (B) DER PLATTE 19 AUS DEM JAHR 2008 (SECHS JAHRE EXPOSITION). ROT UMRANDET SIND FRAßSPUREN DURCH GRAZER (<i>TONICELLA SP.</i>).	47
ABB. 20: GEGENÜBERSTELLUNG VON BESIEDLUNGSPLATTEN (A & B) AUS ANTOFAGASTA, CHILE (MEJILLONES HALBINSEL; 23°28'S, 70°37'W) (PACHECO ET AL. 2011) UND BESIEDLUNGSPLATTEN (C & D) AUS SVALBARD, NORWEGEN (KONGSFJORDEN; 78°58,37'N, 11°29,35'O). (A) BESIEDLUNGSPLATTE NACH 0,5 JAHREN EXPOSITION, KLEINE KOLONIEN AN CORALLINACEAE. (B) BESIEDLUNGSPLATTE NACH 1,25 JAHRE EXPOSITION, HOHE BEDECKUNG DURCH BALANIDEN. (C) BESIEDLUNGSPLATTE AUS DEM JAHR 2008 MIT 6 JAHREN EXPOSITION, GERINGE BEDECKUNG DURCH CORALLINACEAE. (D) BESIEDLUNGSPLATTEN AUS DEM JAHR 2013 MIT 7 JAHRE EXPOSITION, 53%IGER BEDECKUNG AN CORALLINACEAE UND 14% BEDECKUNG DURCH BRYOZOA.	51
ABB. A 1: BOXPLOTS DES BEDECKUNGSGRADDES [CM ²] DER VERSCHIEDENEN GEFUNDENEN TAXONOMISCHEN GRUPPEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A], FÜR ALLE PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. IN GRAU SIND DIE DATENPUNKTE DER EINZELNEN PLATTEN DARGESTELLT, AUSREIßER ALS ROTE PUNKTE.....	103

ABB. A 2: BOXPLOTS DER INDIVIDUENZAHL [M^{-2}] DER VERSCHIEDENEN GEFUNDENEN TAXONOMISCHEN GRUPPEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER EXPOSITIONSZEIT [A], FÜR ALLE PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT. IN GRAU SIND DIE DATENPUNKTE DER EINZELNEN PLATTEN DARGESTELLT, AUSREIßER ALS ROTE PUNKTE.....	104
ABB. A 3: BOXPLOTS DER ARTENZAHL (S), DES MARGALEF INDEX (D), SHANNON-WEAVER INDEX (H') UND DER ÄQUITÄT NACH PIELOU (J') FÜR ALLER PLATTEN EINER PERIODE MIT GLEICHER EXPOSITIONSZEIT, IN ABHÄNGIGKEIT DER EXPOSITIONSZEIT [A]. EIN KRUSKAL-WALLIS TEST ERGAB SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE ($p < 0.05$) FÜR JEWEILS MINDESTENS ZWEI PROBEN DER ARTENZAHL (S), DES MARGALEF INDEXES (D) UND SHANNON-WEAVER INDEXES (H'). DIE BUCHSTABEN GEBEN SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDEN WIEDER, BERUHEND AUF PAARWEISEN-VERGLEICHEN. IN GRAU SIND DIE DATENPUNKTE DER EINZELNEN PLATTEN DARGESTELLT, AUSREIßER ALS ROTE PUNKTE.	105
ABB. A 4: DENDROGRAMM DES BEDECKUNGSGRADES DER PLATTEN. DIE ERGEBNISSE EINER SIMPROF-ANALYSE MIT EINEM SIGNIFIKANZ LEVEL VON 5% SIND IN ROT UND SCHWARZ DARGESTELLT. IN SCHWARZ JENE BEREICHE DES DENDROGRAMMS MIT 95% GENAUIGKEIT, IN ROT JENER MIT GERINGERER GENAUIGKEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A].	106
ABB. A 5: DENDROGRAMM DER ABUNDANZDATEN DER PLATTEN. DIE ERGEBNISSE EINER SIMPROF-ANALYSE MIT EINEM SIGNIFIKANZ LEVEL VON 5% SIND IN ROT UND SCHWARZ DARGESTELLT. IN SCHWARZ JENE BEREICHE DES DENDROGRAMMS MIT 95% GENAUIGKEIT, IN ROT JENER MIT GERINGERER GENAUIGKEIT. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A].	107
ABB. A 6: NMDS-PLOT DES BEDECKUNGSGRADES DER PLATTEN. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 10,5%. DIE STREUUNGS-ELLIPSEN BERUHEN AUF DER STANDARDABWEICHUNG DER PUNKTWERTE DES JEWEILIGEN CLUSTERS, BEI EINER VERTRAUENSGRENZE VON 0,95.	108
ABB. A 7: NMDS-PLOT DER ABUNDANZDATEN DER PLATTEN. IN BLAU DIE EXPOSITIONSZEIT [A]. FARBIG HERVORGEHOBEN DIE CLUSTER MIT EINER BRAY-CURTIS ÄHNLICHKEIT VON 11,5%. DIE STREUUNGS-ELLIPSEN BERUHEN AUF DER STANDARDABWEICHUNG DER PUNKTWERTE DES JEWEILIGEN CLUSTERS, BEI EINER VERTRAUENSGRENZE VON 0,95.	109

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 ÜBERSICHT ÜBER ALLE GEFUNDENEN TAXA MIT ZUGEHÖRIGER GESAMTINDIVIDUENZAHL FÜR ALLE PLATTEN.....	17
TABELLE 2 ÜBERBLICK ÜBER DIE 218 ZUR ANALYSE VERWENDETEN PLATTENFOTOS. ANGEGEBEN SIND DIE GERUNDETE EXPOSITIONSZEIT, DAS JAHR IN WELCHEM DAS FOTO AUFGENOMMEN WURDE, DIE ANZAHL DER REPLIKATE SOWIE DIE IM WEITEREN VERLAUF VERWENDETE BEZEICHNUNG FÜR DIE 39 VERSCHIEDENEN ALTERS- UND JAHRKLASSEN.....	18
TABELLE 3 ERGEBNISSE DER ANOSIM. DIE TABELLE GIBT DIE GLOBALEN R-WERTE FÜR DIE DURCHFÜHRTE ANOSIM IN ABHÄNGIGKEIT DES FAKTORS UND DER VERWENDETEN DATEN. MIT * SIND WERTE >0,25, MIT ** WERTE >0,5 UND MIT *** WERTE >0,75 MARKIERT. FÜR ANALYSEN MIT P >5% IST DIES ANGEGEBEN, ALLE ANDEREN WERTE HABEN EINE SIGNIFIKANZ KLEINER 5%. EIN + GIBT EINE GRUPPIERUNG VON FAKTOREN AN, WÄHREND EINE ~ FÜR EINE „TWO WAY CROSS“ ANOSIM DER BEIDEN FAKTOREN STEHT.	34
TABELLE 4 ERGEBNISSE DER PAARWEISEN VERGLEICHE DER ANOSIM MIT GLOBALEN R-WERTEN >0,25. DARGESTELLT SIND ALLE PAARE MIT R-WERTEN >0,5 UND P <5%. MIT * SIND WERTE >0,75, MIT ** WERTE >0,9 UND MIT *** WERTE = 1 MARKIERT.	35
TABELLE 5: ERGEBNISSE DER SIMPER-ANALYSE DER BEDECKUNG FÜR DIE PLATTEN GRUPPIERT NACH PERIODEN UND EXPOSITIONSZEIT. ÄHNLICHKEIT INNERHALB DER PROBENJAHRE, WELCHE IN TABELLE 4 R-WERTE >0,75 ZEIGTEN. BEI „#####“ KONNTE VON PRIMER KEIN WERT BERECHNET WERDEN. DECAPODA SP. UMFASST GARNELEN UND GARNELENARTIGE.....	38
TABELLE A 1 TABELLE ÜBER DIE VERWENDETEN 218 PLATTEN, MIT ZUGEHÖRIGEM STANDORT, INSTALLATIONSZEITPUNKT, UND GERUNDETER EXPOSITIONSZEIT [A] ZUM ZEITPUNKT DER AUFNAHME.....	81
TABELLE A 2 LISTE DER IDENTIFIZIERTEN TAXONOMISCHEN GRUPPEN. ES WURDEN 6 VERSCHIEDENE, NICHT NÄHER BESTIMMBARE, MORPHOLOGISCH VERSCHIEDENE BRYOZOEN GEFUNDEN, WELCHE HIER ALLE UNTER „BRYOZOA“ FALLEN. (HTTP://WWW.MARINESPECIES.ORG/).....	86
TABELLE A 3 ÜBERSICHT DIE GEFUNDENEN ARTEN MIT ZUGEHÖRIGER GESAMTINDIVIDUENZAHL.....	87
TABELLE A 4 ERGEBNISSE DER SIMPER-ANALYSE DER BEDECKUNG FÜR DIE PLATTEN GRUPPIERT NACH PERIODEN UND EXPOSITIONSZEIT. PAARWEISE VERGLEICHE DER PROBENJAHRE, WELCHE IN TABELLE 4 R-WERTE >0,75 ZEIGTEN. DECAPODA SP. UMFASST GARNELEN UND GARNELENARTIGE.	88
TABELLE A 5 ERGEBNISSE DER SIMPER-ANALYSE DER BEDECKUNG FÜR DIE PLATTEN GRUPPIERT NACH PERIODEN UND EXPOSITIONSZEIT. ÄHNLICHKEIT INNERHALB DER KOHORTEN, WELCHE IN TABELLE 4 R-WERTE >0,75 ZEIGTEN. DECAPODA SP. UMFASST GARNELEN UND GARNELENARTIGE.	91
TABELLE A 6 ERGEBNISSE DER SIMPER-ANALYSE DER BEDECKUNG FÜR DIE PLATTEN GRUPPIERT NACH PERIODEN UND EXPOSITIONSZEIT. PAARWEISER VERGLEICH DER UNTERSCHIEDBAREN KOHORTEN, WELCHE IN TABELLE 4 R-WERTE >0,75 ZEIGTEN. DECAPODA SP. UMFASST GARNELEN UND GARNELENARTIGE.....	93
TABELLE A 7 ERGEBNISSE DER SIMPER-ANALYSE DER ABUNDANZ FÜR DIE PLATTEN GRUPPIERT NACH PERIODEN UND EXPOSITIONSZEIT. ÄHNLICHKEIT INNERHALB DER UNTERSCHIEDBAREN PERIODEN. BEI „#####“ KONNTE VON PRIMER KEIN WERT BERECHNET WERDEN. DECAPODA SP. UMFASST GARNELEN UND GARNELENARTIGE.....	95

TABELLE A 8 ERGEBNISSE DER SIMPER-ANALYSE DER ABUNDANZ FÜR DIE PLATTEN GRUPPIERT NACH PERIODEN UND EXPOSITIONSZEIT. PAARWEISE VERGLEICHE DER UNTERSCHIEDBAREN PERIODEN. DECAPODA SP. UMFASST GARNELEN UND GARNELENARTIGE	97
--	----

Abstract

Exposed to the low temperatures of high latitudes Thorson's rule suggests a reduced speed of development in marine invertebrates. This raises the question how the development and succession of assemblages of respective species in the arctic is affected. The duration and chronology of succession, as well as the influence of environmental impacts on arctic benthic assemblages, is not fully understood, especially concerning long-term studies. By analysing species abundances and substrate coverage over an exposure time of one decade the following hypotheses are tested: (i) Exposition time significantly modifies the structure of arctic benthic hard-bottom assemblages, (ii) the macroscopic structure of the substrate surface has a significant influence on the structure of benthic hard-bottom assemblages, and (iii) the succession of benthic hard-bottom assemblages in the Arctic is in general slower compared to the benthic succession in all non-polar climatic zones. In 2002 forty Polyethylene growth panels were installed in about 20 m water depth on an underwater cliff in Kongsfjorden (Svalbard, Norway). Six of these were grooved to create structural diversity on the panel surface. Once a year the ripening epibenthic assemblages were photographed by scientific divers. Until 2007 about eight panels were sampled and replaced annually, thus creating starting points for succession in different years. Additionally a ground truthing was carried out for reference. The findings of this study show a resilience time exceeding a decade. Further the sampling year, age group and exposition time have a notable influence on the different successional stages. The structural diversity of the substrate in contrast showed no significant influence. Lastly the results are discussed in comparison with results of related studies from this and other regions to demonstrate the comparable slow succession.

Keywords:

Arctic; Assemblage; Benthic; Decade; Groove; Hard-bottom; Kongsfjorden; Panel; Polyethylene; Succession; Svalbard

Zusammenfassung

Für marine Invertebraten in Gebieten hoher Breitengrade wird eine vergleichsweise geringe Entwicklungsgeschwindigkeit postuliert. In diesem Kontext stellt sich die Frage, welche Auswirkungen dies auf die Entwicklung und Sukzession arktischer Hartboden Gesellschaften hat. Es ist noch nicht viel über die Dauer und zeitliche Abfolge der Sukzession solcher Gemeinschaften bekannt. Speziell der Einfluss von Umwelteinflüssen ist nicht vollends verstanden. Hierzu sind Langzeitstudien nötig, von denen allerdings nicht viele vorhanden sind.

Durch eine Analyse der Artenabundanz und -bedeckung über eine Expositionszeit von einer Dekade sollen folgende Hypothesen untersucht werden:

- (i) Die Expositionszeit modifiziert signifikant die Struktur benthischer Hartboden Lebensgemeinschaften der Arktis.
- (ii) Die makroskopische Struktur des Substrats hat einen signifikanten Einfluss auf die Struktur der benthischen Hartboden Gemeinschaft.
- (iii) Die Sukzession der benthischen Hartboden Gemeinschaften in der Arktis läuft im Vergleich zu benthischen Gemeinschaften aus nicht-polaren Klimazonen langsamer ab.

Im Jahr 2002 wurden dazu 40 Polyethylen Besiedlungsplatten an einer unterseeischen Klippe des Kongsfjorden (Svalbard, Norwegen) angebracht. Einmal jährlich wurde die sich entwickelnde benthische Gemeinschaft von Forschungstauchern photographisch dokumentiert. Bis 2007 wurden jährlich circa acht Platten beprobt und ersetzt und so verschiedene Startpunkte für die Sukzession geschaffen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Sukzession eine Dauer von einer Dekade überschreitet. Ferner haben das Jahr der Probennahme und der Installation sowie die Expositionszeit einen deutlichen Einfluss auf die Gemeinschaft. Ein konnte kein Effekt der Strukturdiversität auf die Gemeinschaft festgestellt werden. Zuletzt werden die Ergebnisse mit ähnlichen Studien aus dieser und anderen Regionen verglichen, um die vergleichsweise langsame Sukzession zu veranschaulichen.

I Einleitung

Gemeinschaften unterliegen einer ständigen Entwicklung. Dieser oft schrittweise Prozess wird Sukzession genannt. Die Sukzession findet als kontinuierlicher gerichteter Prozess mit zeitlicher Aufeinanderfolge verschiedener Gemeinschaftsstrukturen statt, nachdem ein Standort gestört oder neues unberührtes Substrat bereitgestellt wurde (Berlow 1997). Generell wird die Sukzession als Sequenz von Kolonisations- und Extinktionsereignissen beschrieben. Sie entwickelt sich von einem Start- zu einem Endpunkt. Letzterer stellt die ungestörte natürliche Gemeinschaft (Klimaxgesellschaft) dar, welche sich theoretisch dauerhaft an dieser Stelle halten kann (Connell & Slatyer 1977; Schaefer 2003). Die Entwicklung wird primär durch biotische Interaktionen beeinflusst. So kann es zur Inhibition, Förderung oder Toleranz zwischen Arten kommen (Connell & Slatyer 1977). Auch die Klimaxgesellschaft unterliegt Umwelteinflüssen und damit verbunden einer kontinuierlichen natürlichen Entwicklung (Odum 1969). Eine lineare Entwicklung kann unter idealen Bedingungen beobachtet werden, jedoch ist eine Gesellschaft meist von weitaus komplexeren und dynamischeren Faktoren beeinflusst (Berlow 1997). Eine Störung kann vielerlei Ursachen haben. Einerseits Abiotische, wie z.B. durch Felsrutsche oder Eisbergkratzer, oder Biotische z.B. durch hohe Abundanzen von Weidegängern wie Seeigeln oder Meeressäugern (Dayton 1990; Dowdeswell & Forsberg 1992; Dayton et al. 1994; Julian Gutt 2001). Auch anthropogene Einflüsse können Störungen darstellen. Schiffshavarien haben einerseits einen mechanischen andererseits auch häufig einen chemischen Einfluss auf eine Lebensgemeinschaft (Dayton et al. 1994; Bluhm 2001). Einen sehr großen anthropogenen Einfluss kann der Küstenschutz darstellen. In großen Bereich wird hier häufig neues künstliches Besiedlungssubstrat in das System eingebracht und die vorhandene Gemeinschaft beträchtlich gestört (Safecoast 2008). Für die Sukzession spielt vor allem die Stärke der Störung (komplette oder nur teilweise Entfernung von Organismen), die Größe der zu besiedelnden Fläche (Connell & Slatyer 1977), die intraannuellen Schwankungen, welche die Verfügbarkeit von Besiedlern beeinflusst (Vaz-Pinto et al. 2014), sowie die Kopplungen mit Störungsereignissen eine große Rolle (Cifuentes et al. 2007, 2010). Zusätzlich zu Störungen sind Gemeinschaften geprägt durch Konkurrenz um Raum und die

Einleitung

individuellen Ansprüche der Besiedler (Vance 1988; Nandakumar 1996; Stanwell-Smith & Barnes 1997; Barnes & Kukliński 2003; Vaz-Pinto et al. 2014). Als Konsequenz sind die Abläufe der Sukzession komplex und haben variable Muster. Für einen Standort zeigen sich mit geringen Abweichungen wiederkehrende Muster in der Entwicklung der Gemeinschaft (Underwood & Chapman 2006). Die oben genannten Faktoren können je nach Standort variieren. Unterscheiden kann man Primär- und Sekundär-Sukzession. Erstere beschreibt die Neubesiedlung einer Fläche, während Letztere die Wiederbesiedlung gestörter Flächen wiedergibt (Reece et al. 2009).

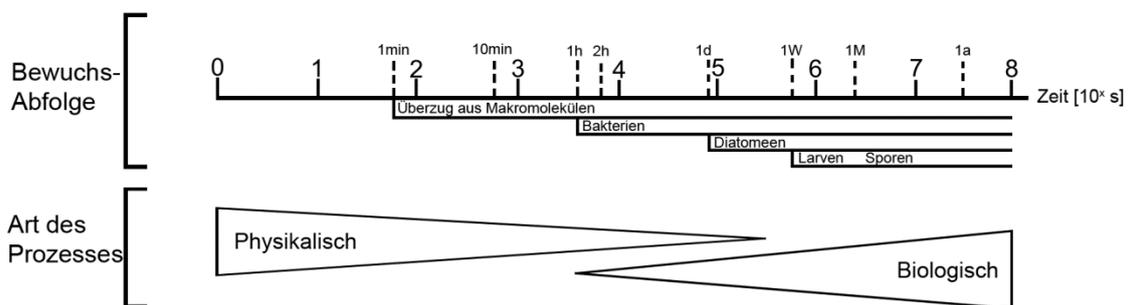


Abb. 1: Stark schematisierte Darstellung des Ablaufes der Kolonialisierung einer benthischen Gesellschaft. Der fast augenblicklichen Adsorption von Makromolekülen folgt mit wenigen Stunden Versatz der Bewuchs durch Prokaryota. Diatomeen und Protozoen siedeln typischerweise ab dem zweiten Tag. Larven und Algensporen folgen mit einem Versatz von einer bis zu mehreren Wochen (abhängig von Breitengrad, Jahreszeit, etc.) (Wahl 1989).

Für marine Systeme läuft die Primär-Sukzession von Hartsubstraten nach mehreren Grundschritten ab (Abb. 1). Die Sukzession makroskopischer Flora und Fauna kann sich von wenigen Jahren bis hin zu Jahrhunderten erstrecken (Connell & Slatyer 1977; J Gutt et al. 1996; Bluhm 2001; Julian Gutt 2001; Bowden 2005; Beuchel & Gulliksen 2008). Die Dauer ist dabei von der Umwelt und der Gemeinschaft abhängig. Die frühe und mittlere Besiedlung (Pacheco et al. 2009) ist stark von der Rekrutierung, physischen Störungen und der Prädation abhängig (Vance 1988; Berlow & Navarrete 1997; Osman & Whitlatch 2004; Pacheco 2009). Spätere Stadien sind generell konkurrenzstärker und in der Lage Flächen zu monopolisieren (R. T. Paine & Suchanek 1983; R. Paine 1984). Im Sublittoral zeichnen sich frühe und mittlere Besiedler durch ihre größtenteils solitäre oder koloniale Form aus, während spätere Siedler eher kolonial sind und in der Lage unterlegene Arten zu überwachsen (Witman & Dayton 2001; Dayton 2003). Die Entwicklung besteht aus einer Abfolge von Bifurkationen, ausgelöst durch oben genannte Faktoren. Der Zustand eines Systems lässt sich also nur aufgrund der

Geschichte des Standortes verstehen (Gruttke & Dröschmeister 1998). Ein Ökosystem setzt sich daher aus mehreren verschiedenen Gemeinschaften zusammen, welche sich in verschiedenen Stadien der Sukzession befinden können, oder unterschiedliche Endstadien darstellen (Mosaik-Zyklus-Konzept) (Bick 1998), so zum Beispiel bei lotischen und lenitischen Küstenbereichen oder *mode battu* (exponierte Bereiche des Litorals mit starker hydrodynamischer Aktivität) und *mode abrité* (geschützte Bereiche des Litorals mit geringer hydrodynamischer Aktivität) in der Vertikalzonierung einer Küste.

Die Erforschung des marinen Benthos arktischer und sub-arktischer Gebiete geht auf das letzte Jahrhundert zurück (Curtis 1975). Die Barentssee und Svalbard gehören hier zu den am besten erforschten Gebieten, bedingt durch die intensive Nutzung der Fischgründe, sowie der logistisch günstigen Lage von Forschungsstationen in dieser Gegend (Hop et al. 2002; ICES 2009).

Die Inselgruppe Svalbard (norweg. „kalte Küste“) befindet sich inmitten des arktischen Ozeans. Hier liegt sie im flachen Bereich des Schelfmeeres der Barentssee direkt angrenzend an den Nordatlantik (Hop et al. 2002; Gulliksen & Svensen 2004). Der Norden und Osten ist die meiste Zeit des Jahres von Eis bedeckt (Piepenburg et al. 1996). Die Westseite hingegen steht unter dem Einfluss des relativ warmen Nordatlantikstroms. Dies sorgt für ein vergleichsweise mildes Klima (Hop et al. 2002; Gulliksen & Svensen 2004). Der in die Grönlandsee mündende Kongsfjorden (Abb. 2) steht damit sowohl unter dem Einfluss von atlantischen, als auch aus arktischen Wassermassen und beherbergt eine Mischung aus borealer und arktischer Flora und Fauna (Hop et al. 2002). Mit diesem Hintergrund ist der Fjord für die Wissenschaft, vor allem für die Erfassung der Auswirkungen des Klimawandels, von Interesse. Der Zustrom von Atlantikwasser und die zunehmende Schmelze der anliegenden Meeressgletscher sind beide stark mit dem Klimawandel verbunden. Das benthische Ökosystem ist hier vor allem von den langfristigen Änderungen des Fjordsystems betroffen und bildet damit einen wichtigen Standort für langfristige Umweltüberwachungen (Hop et al. 2002).

Für marine Invertebraten, welche in hohen Breiten leben, sagt die „Thorson rule“ (Mileikovsky 1971) eine vergleichbar verlangsamte Entwicklungsgeschwindigkeit voraus. Mehrere Studien aus verschiedenen klimatischen Zonen haben Prozesse aufgedeckt, die in die Entwicklung von benthischen Gemeinschaften involviert sind

(Connell & Slatyer 1977; Arntz & Rumohr 1982; Greene & Schoener 1982; Breitburg 1985; Turner & Todd 1993; Garcia & Moreno 1998; Fairfull & Harriott 1999; Díaz-Castañeda 2000; Watson & Barnes 2004; Canning-Clode et al. 2008; Pacheco et al. 2011, 2009; Cifuentes et al. 2010; Vaz-Pinto et al. 2014). Dennoch ist die Dauer und Chronologie der Sukzession sowie der Einfluss von Umweltparametern auf benthische Gemeinschaften der Arktis nur spärlich untersucht (Barnes & Kukliński 2005; Beuchel et al. 2006; Schmiing et al. 2006b; Beuchel & Gulliksen 2008; Schwalfenberg 2012). Langzeitstudien sind selten. Ein besseres Verständnis über das Ökosystem der Arktis und Auswirkungen verschiedener Faktoren auf dieses sind vor allem für Maßnahmen des Natur- und Umweltschutzes von Nutzen. Hier kommen sie sowohl Methoden zur nachhaltigen Nutzung des marinen Ökosystems, als auch dem Küstenschutz zu Gute (Safecoast 2008; ICES 2009; Lassen et al. 2012). Veränderungen des Umweltzustandes können nur durch detaillierte Studien erkannt werden und eine Früherkennung von Veränderungen ist für Maßnahmen zum Schutz der Umwelt von großer Wichtigkeit. Zum einen ist diese zur Abschätzung des Einflusses von Umweltbelastungen und anthropogenen Eingriffen auf das System, zum anderen zur Qualitätskontrolle von Maßnahmen des Naturschutzes und wirksamen Abgaben von Prognosen vonnöten (Gruttke & Dröschmeister 1998).

Daher soll diese Studie das Wissen um benthische Hartboden Lebensgemeinschaften der Arktis weiter vorantreiben. Durch eine Analyse der Artenabundanz und -bedeckung über eine Expositionszeit von einer Dekade werden folgende Hypothesen untersucht:

- (i) Die Expositionszeit modifiziert signifikant die Struktur benthischer Hartboden Lebensgemeinschaften der Arktis.
- (ii) Die makroskopische Struktur des Substrats hat einen signifikanten Einfluss auf die Struktur der benthischen Hartboden Gemeinschaft.
- (iii) Die Sukzession der benthischen Hartboden Gemeinschaften in der Arktis läuft im Vergleich zu benthischen Gemeinschaften aus nicht-polaren Klimazonen langsamer ab.

II Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes „KOL 19“ („Succession of benthic communities in polar environment“) des Alfred Wegener Instituts Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) wurde auf Spitzbergen im Kongsfjorden beim Kap „Kongsfjordneset“ ein *in situ* Langzeit-Besiedlungsexperiment installiert. Die Koldewey-Station in Ny Ålesund diente hierbei als Stützpunkt. Der Versuch stellt eine der ersten Untersuchungen der Primär-Sukzession mariner arktischer Flora und Fauna auf künstlichen Hartsubstraten über ein Jahrzehnt dar. Seit dem Versuchsbeginn im Jahr 2002 wurden die Platten jährlich von Forschungstauchern aufgesucht und dabei photographisch dokumentiert (im weiteren wird dies auch als Beprobung der Platten bezeichnet). Bis 2007 wurden stichprobenartig Platten zur Biomassen- und Abundanzanalyse beprobt (Schmiing 2005).

Kopien der Bilder wurden zur späteren Analyse digitalisiert und in der Datenbank Pangaea (<http://pangaea.de/>) des Welt Datenzentrums MARE archiviert. Für diese Arbeit wurden lediglich die Photographien für die Gemeinschaftsanalyse verwendet. Die Organismen wurden unter Zuhilfenahme von diverser Bestimmungsliteratur und durch die Hilfe von verschiedenen Spezialisten bis zur tiefst möglichen taxonomischen Ebene bestimmt. Die Analyse der Photographien wie auch die statistische Auswertung fand am AWI in Bremerhaven und an der Universität Rostock statt.

II.1 Untersuchungsgebiet

Der Versuchsaufbau befindet sich an der Mündung des Kongsfjorden, einem eiszeitlichen Fjord an der Westküste Spitzbergens (79° N, 12° E; Abb. 2 und Abb. 3). Dessen Südküste wird durch die Halbinsel „Brøgger halvøya“ gebildet. Im Norden und Osten wird er von den Gebirgen Spitzbergens eingerahmt, während er im Westen in den unterseeischen Graben „Kongsfjordrenna“ übergeht. Er erstreckt sich über eine Länge von 20 km bei einer Breite von 4 km bis zu 10 km und einer Tiefe von bis zu 400 m (Hop et al. 2002; Svendsen et al. 2002). Die Wassertemperatur in 0 m bis 20 m Tiefe unterliegt einer jährlichen Schwankung von 8 °C bis –2 °C mit einer mittleren Temperatur um 2 °C (Laudien 2011a, 2011b; Laudien & Hirche 2012; Sevilgen 2013; Laudien et al. 2014a, 2014b). Im Winter herrscht eine relativ schwache Schichtung, durch Süßwassereinströme im Sommer bildet sich jedoch

Material und Methoden

eine relativ stabile Schichtung aus. Die Salinität des Oberflächenwassers kann dabei auf unter 30 sinken in den anderen Jahreszeiten liegt die Salinität bei $> 34,4$. Die Gezeiten folgen einem semi-diurnalen lunaren Rhythmus mit solarer Komponente (50% der lunaren) mit einer Gezeitenamplitude von circa 0,5 m vor dem Fjord (Svendsen et al. 2002).

Die Sedimentationsrate an der Fjordmündung (zwischen $200 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ und $1800 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$) ist um mindestens zwei Größenordnungen geringer als an den Gletscherfronten ($>18400 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$) (Svendsen et al. 2002).



Abb. 2: Topographische Karte des Inselarchipels Svalbard. In rot hervorgehoben ist der Kongsfjorden und die angrenzende Forschungsiedlung Ny Ålesund an der Nord-West-Küste der Hauptinsel Spitzbergen (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Topographic_map_of_Svalbard.svg).

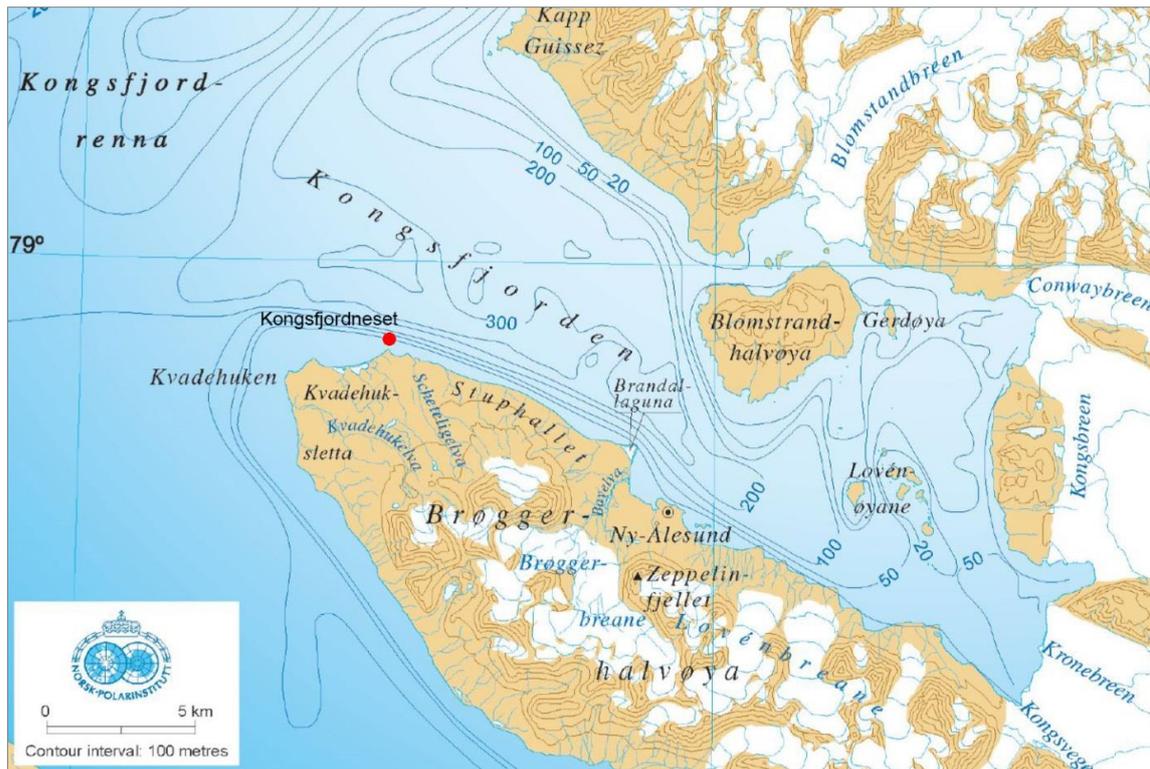


Abb. 3: Topographische Karte des Kongsfjorden, Rot ist die relative Lage des Untersuchungsgebiets markiert (verändert nach Svendsen et al. 2002)

An der Fjordmündung auf der nördlichen Seite der Brøgger Halbinsel liegt das Kap „Kongsfjordneset“ ($78^{\circ}58,37'N$, $11^{\circ}29,35'O$; Abb. 3). Vom Ufer aus fällt der Meeresboden über eine Strecke von 200 m bis 300 m allmählich bis auf circa 15 m Tiefe ab, um dann mit einem Hangneigungswinkel von circa 45° als felsige Steilwand zum Fjordgrund abzufallen (Jørgensen & Gulliksen 2001). Die geringen Sedimentationsraten, der geringe Einfluss von Süßwasser und nährstoffreiche Strömungen bieten hier ideale Voraussetzungen zum Wachstum von Hartboden Lebensgemeinschaften (Svendsen et al. 2002; Sahade et al. 2004). Dies wird durch Studien von Jørgensen und Gulliksen (2001) bekräftigt, welche relativ hohe Abundanzen von Invertebraten an den Steiflächen zeigten. Die Gemeinschaft ist geprägt von sessilen Suspensionsfressern, wie Balaniden (*B. balanus*), Actinien (*U. eques* und *Hormathia nodosa*), Ascidien (*Didemnum albidum*), Bivalvia (*Hiatella arctica*) und mehreren verschiedenen Bryozoen (krustierend und aufrecht) (Jørgensen & Gulliksen 2001; Sahade et al. 2004). Der Flachwasserbereich wird mechanisch vor allem durch Eisberge und Meereis gestört. Einen weiteren Faktor stellt der starke Einfluss des Seeiegels *Strongylocentrotus droebachiensis* dar, welcher in hoher Abundanz (80 Individuen pro m^2 in 1999-2000) zwischen 0 m und

15 m auftritt (Jørgensen & Gulliksen 2001; Hop et al. 2002). Um diesen Einflüssen zu entgehen wurde eine Wassertiefe von 20 m für die Installation des Versuchs gewählt.

II.2 Versuchsaufbau und -durchführung

Im Sommer 2002 wurden zur Untersuchung der Sukzession arktischer Hartboden Lebensgemeinschaften circa 600 m vor Kongsfjordneset 40 Besiedlungsplatten auf einer Tiefe von 20 m an einer unterseeischen Steilwand installiert (Abb. 4). Um das Untersuchungsgebiet später zuverlässig wiederfinden zu können, wurden an der Arbeitsstelle GPS-Referenzwerte genommen. Zur Identifikation der einzelnen Platten sind diese von Ost nach West soweit möglich konsekutiv durchnummeriert worden (Ausnahme Platte Nr. 30 die zwischen Platte Nr. 15 und 16 installiert wurde). Je nach Beschaffenheit des Felsens variiert der Abstand zwischen den Platten im Mittel von 1,5 m bis zu 6 m (Eine Ausnahme bilden Platte 2 und 3 mit 12 m), dies sorgt für eine statistische Unabhängigkeit der Platten voneinander. Es wurden runde Besiedlungsplatten aus weißem Polyethylen 500[®] mit einem Durchmesser von 40 cm (Fläche circa 1256,64 cm²) verwendet. Zur Unterstützung des Besiedlungsprozesses wurde die Oberfläche der Platten mit Schleifpapier angeraut (Schmiing 2005; Pacheco et al. 2009, 2011).

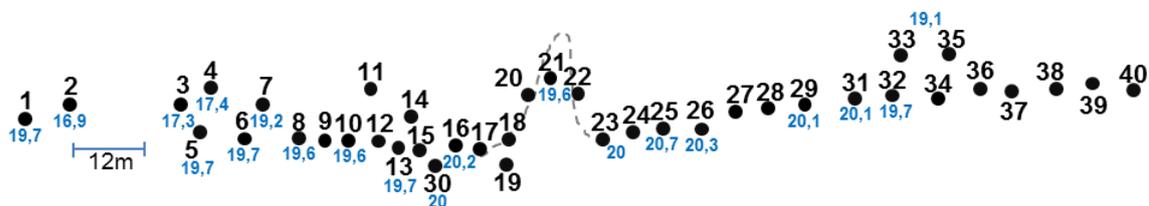


Abb. 4: Relative Positionen der Besiedlungsplatten an der Felswand bei Betrachtung aus nördlicher Richtung. Die Punkte stellen eine senkrechte Projektion auf die Steilwandfläche dar. In blau ist die Tiefe [m] angegeben. Als Orientierungsmarke für Taucher dient eine größere Furche in der Felswand, hier als graue gestrichelte Linie angedeutet.

Die Platten wurden von Forschungstauchern mit Hilfe einer Unterwasserbohrmaschine (Eigenproduktion des AWI) installiert. Hierzu wurden 10 mm starke, 70 mm tiefe Löcher in die Felswand gebohrt. In diesen wurden Polyethylen-Adapter über einen Einschlagdübel verankert. An diesen Adaptern können die Platten mittels eines Trapezgewindes angeschraubt werden (Abb. 5). Auf diese Weise installiert haben die Platten einen Abstand von 10 cm bis 15 cm zum Untergrund (Überhänge ausgenommen) und sind parallel zur Hangoberfläche ausgerichtet (Schmiing 2005), eine Darstellung findet sich in Abb. 6.

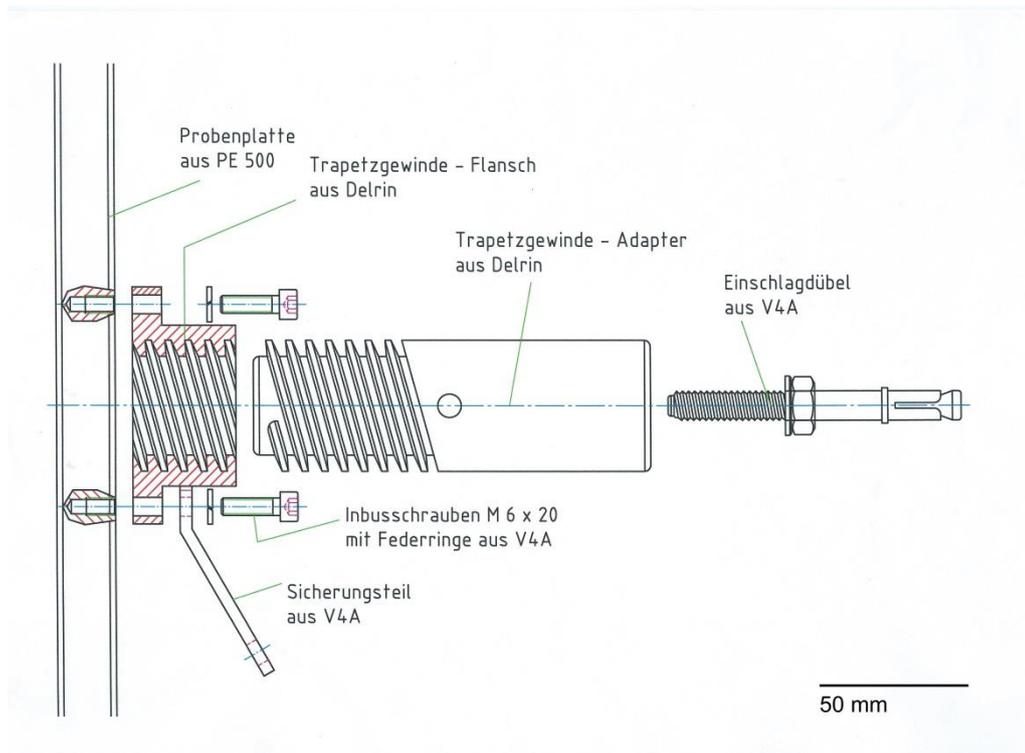


Abb. 5: Technische Zeichnung des Adapters für Unterwasser-Kulturplatten. Gezeigt werden die einzelnen Details von Adapter und Gewinde. Die Platte ist im Längsschnitt nur ausschnittsweise dargestellt (Schmiing 2005).

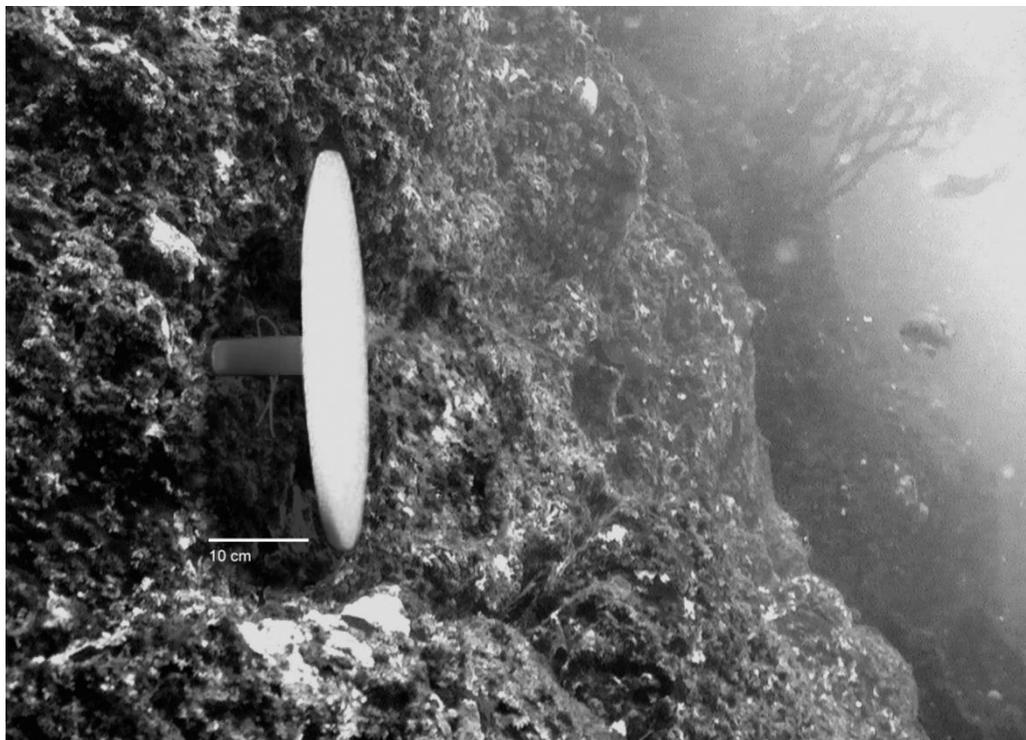


Abb. 6: Unterwasser Photographie einer am Fels installierten Besiedlungsplatte (© Laudien 2002).

Im Rahmen von Untersuchungen zur Biomasse und Abundanz wurden einzelne Platten nach dem Zufallsprinzip geborgen, im Labor abgekratzt und anschließend der Bewuchs analysiert. Bedingt durch Steinschlag und Strömung an der Steilwand gingen einzelne Platten über die Zeit verloren (persönliche Mitteilung J. Laudien). Die geborgenen sowie verlorene Platten (sofern noch ein Adapter vorhanden war) wurden durch neue ersetzt, sodass jede Platte nur einmal für den Versuch verwendet wurde (Schmiing 2005). So ergeben sich verschiedene Kohorten an Platten. Dies ermöglicht zusätzlich die Analyse der Gemeinschaften hinsichtlich verschiedener Probenjahre (Periodeneffekt) und Expositionszeiten (Alterseffekt) sowie die Analyse des Effekts von verschiedenen Jahrgängen (Kohorteneffekt) auf die Gemeinschaft. Eine Übersicht der genutzten Photographien und Expositionsregime ist in Tabelle A 1 und Abb. 7 gegeben. Im weiteren Verlauf werden die Photographien als „Platten“ bezeichnet. Die Photographien wurden von 2003 bis 2011 mit einer Nikonos V mit 15mm Linse und Nikonos SB-104 Blitz aufgenommen. 2012 wurde eine Canon Powershot G12 und 2013 das Sealife DC 1200 Elite Set zur Aufnahme verwendet.

II.3 Probenaufarbeitung

Zur genaueren Bestimmung wurden Ergebnisse vorhergehender Arbeiten zu Rate gezogen (Schmiing 2005; Beuchel & Gulliksen 2008; Schwalfenberg 2012). Weiterhin wurde 2013 im Rahmen der KOL 19 Expedition des AWI die Bodenwahrheit bestimmt. Hierfür wurden exemplarisch Proben aus der Umgebung gesammelt und später im Labor bestimmt (zur langfristigen Konservierung wurden die Proben mit 96%igem Ethanol fixiert), um dann als Vergleich zu den Fotos hinzugezogen werden zu können.

Es wurden Photographien der letzten zehn Jahre verwendet (Laudien & Sahade 2012a, 2012b, 2012c, 2012d; Laudien, Sahade, Hoffmann, & Schwanitz 2013; Laudien, Sahade, Hoffmann, Schwanitz, et al. 2013) (teilweise noch unveröffentlicht). Die Analyse der Bilder wurde mit dem Bildbearbeitungsprogramm Adobe® Photoshop® CS6 Extended (Version 13.0.1 - © 1990-2012 Adobe Systems Incorporated) auf einen HP ZR2240w Monitor mit einer Bildschirmauflösung von 1920 × 1080 Pixeln durchgeführt.

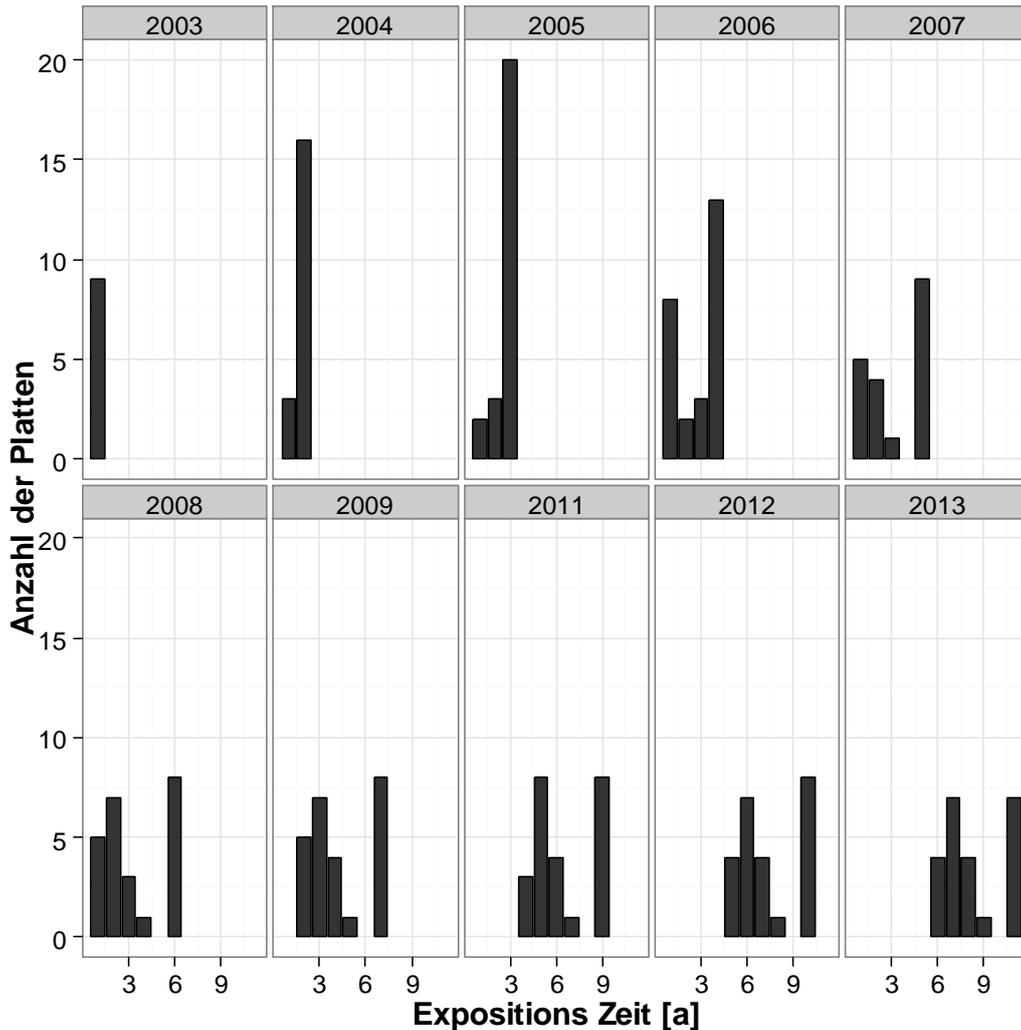


Abb. 7: Dargestellt wird die Anzahl der analysierten Platten in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a], aufgeteilt nach dem Beprobungsjahr.

Für die Gemeinschaftsanalysen wurde die Abundanz der verschiedenen Arten ermittelt. Hierzu wurde jedes erkennbare Individuum einer Art auf den Platten mit dem Photoshop Zählwerkzeug markiert und gezählt. Zur Bestimmung des Bedeckungsgrads der verschiedenen Arten wurden die Bildpunkte (Pixel) der Individuen in Photoshop markiert und abhängig von der Art in einer neuen Ebene eingefärbt. Die Anzahl der Pixel in jeder Ebene repräsentierte damit die von der jeweiligen Art bedeckte Fläche. Da die Gesamtfläche der Besiedlungsplatten bekannt ist, kann man daraus die Bedeckung [cm²] berechnen. Im Anhang befindet sich eine detaillierte Anleitung zur hier verwendeten Bildanalyse (siehe Seite 67, Methods used with Adobe Photoshop CS6). Alle Werte wurden für statistische Analysen in eine Tabelle überführt. Bei den Hydrozoen war eine Zählung der einzelnen Kolonien nicht möglich. Sie wurden daher bei den Analysen zur Abundanz nicht mit

berücksichtigt. Bei den anderen in Kolonien lebenden Organismen sind die Zählungen als die Anzahl der Kolonie-bildenden-Einheiten zu verstehen und nicht der einzelnen Individuen (Pacheco 2009).

Bei der Bestimmung der verschiedenen Taxa wurden „Svalbard & Life in Polar Oceans“ (Gulliksen & Svensen 2004) und „Marine fish & invertebrates of norther Europe“ (Moen & Svensen 2004) verwendet. Eine Bestimmung auf Artniveau war, bedingt durch die begrenzte Auflösung der Photographien, trotz Bestimmung der Bodenwahrheit und Vergleichen mit anderen Arbeiten, überwiegend nur auf Familienniveau möglich (vgl. Tabelle A 2).

II.4 Datenanalyse

Die akquirierten Daten wurden mit Hilfe von R (Version 3.1.0 [2014-04-10] - © 2014 The R Foundation for Statistical Computing) in R-Studio (Version 0.98.953 – © 2009-2013 RStudio, Inc.) transformiert. Die statistische Analyse fand sowohl mit R als auch mit PRIMER 6 (Version 6.1.13 & PERMANOVA+ Version 1.0.3 - © 2009 Primer-E Ltd.) statt.

II.4.1 Ökologische Indizes

Um einen Überblick über die Diversität der untersuchten Gemeinschaft zu erhalten, wurden verschiedene ökologische Indizes ermittelt. Bei den hier verwendeten Indizes handelt es sich um die in der Ökologie gebräuchlichsten (Arntz & Rumohr 1982; Starmans et al. 1999; Gray 2000), sodass ein direkter Vergleich mit anderen Studien möglich ist. Eine Gemeinschaft lässt sich am einfachsten durch die Artenzahl (S) charakterisieren (Krebs 1978). Um zusätzlich noch die Gesamtindividuenzahl (N) mit einzubeziehen, wurden der Artenreichtum, die taxonomische Diversität und die Äquität berechnet.

Der Artenreichtum, hier mit dem Margalef Index (d) angegeben (Margalef & García del Cid 1957), ist ein Maß für die ermittelte Artenzahl (S) bei einer bestimmten Anzahl von Individuen (siehe Formel (1)).

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

Der Shannon-Wiener Diversitätsindex (H') dient als Maß für die taxonomische Diversität (vgl. Formel (2)) (Shannon & Weaver 1964). Gegenüber dem Artenreichtum wird bei dem Maß für die Diversität der relative Anteil der Arten (n/N , mit n als Individuenzahl einer Art) beachtet und so eine eventuelle Dominanz bestimmter Arten berücksichtigt. Das Maß für die Diversität stellt damit ein Maß für die Varietät der Arten dar (Odum 1983). Bei steigender Artenzahl (S) und zunehmender Gleichverteilung der Arten nimmt der Shannon-Wiener Diversitätsindex (H') zu (Kratochwil & Schwabe 2001).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \quad , \text{mit } p_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

Um eine Aussage über die Homogenität der Artverteilung einer Gemeinschaft treffen zu können und sie untereinander zu vergleichen, wurde die Äquität nach Pielou (J') berechnet (Pielou 1975). Es handelt sich dabei um eine Funktion des Shannon-Wiener Diversitätsindex (H') (vgl. Formel (3)).

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

Die Äquität (J') kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Bei $J' = 0$ (d.h. $H' = 0$) wird die Gemeinschaft lediglich aus einer Art gebildet. Bei dem maximalen Wert $J' = 1$ (d.h. $H' = \ln(S)$) ist die maximal mögliche Diversität erreicht, das heißt alle Individuen der Gemeinschaft sind gleichmäßig auf die vorgefunden Arten verteilt (Kratochwil & Schwabe 2001).

II.4.2 Multivariate Methoden

Der Vergleich der verschiedenen Gemeinschaftsstrukturen, die auf den Platten anzufinden waren, wurden durch multivariate statistische Methoden realisiert, welche in der marinen Ökologie bevorzugt angewandt werden (Field et al. 1982).

Die meisten der angewandten Methoden benutzen eine Ähnlichkeitsmatrix, in welcher die einzelnen Platten paarweise gegenübergestellt werden und deren Ähnlichkeit angegeben wird, hier mittels des Bray-Curtis Ähnlichkeitskoeffizienten (Formel (4)) (Bray & Curtis 1957).

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

Der Bray-Curtis Ähnlichkeitskoeffizient S_{jk} gibt die Ähnlichkeit der Proben j und k wieder. Er errechnet sich z.B. aus den Abundanzwerten y_{ij} und y_{ik} der i -ten Art in den jeweiligen Proben. Damit beschreibt er das Verhältnis der tatsächlich auftretenden Ähnlichkeit zur maximal möglichen an. Es ergeben sich Werte zwischen 0 und 1, bei $S_{jk} = 1$ liegt eine maximal Ähnlichkeit zwischen den Proben j und k vor, bei $S_{jk} = 0$ sind sie sich nicht ähnlich. Es können jedoch nicht nur Abundanzwerte sondern auch Biomassen, beziehungsweise Bedeckungsgrade, als Grundlage für die Berechnung dieses Ähnlichkeitskoeffizienten verwendet werden.

Gegenüber anderen Koeffizienten ist der Bray-Curtis Ähnlichkeitskoeffizient für die hier durchgeführten Analysen besonders angebracht, da er zur Erfassung von ökologischen Gradienten gut geeignet ist (Faith et al. 1987; Minchin 1987). Dies liegt unter anderem daran, dass Nullwerte nicht als Ähnlichkeit gewichtet werden (Field & McFarlane 1968). Um den Einfluss individuenreicher Arten auf die Ähnlichkeit zu verringern und auch individuenarme Arten zu berücksichtigen wird die Ähnlichkeitsmatrix zur Analyse quadratwurzeltransformiert (Field et al. 1982). Dies dient dazu den Einfluss von Taxa mit besonders hoher Abundanz und Bedeckung zu verringern und auch Taxa mit geringen Werten zu berücksichtigen.

II.4.3 Cluster und MDS Analyse

Zur Auswertung der Ähnlichkeitsmatrix werden die Platten durch eine Clusteranalyse ihrer Ähnlichkeit nach sortiert und entsprechend in Cluster eingeteilt. Platten eines Clusters sind damit zueinander ähnlicher als Platten anderer Cluster (Kaufmann & Pape 1984). Für Abundanz- und Flächendaten können sich verschiedene Werte ergeben (Wlodarska-Kowalczyk et al. 1996), weswegen die Analyse mit beiden Datenmatrizen durchgeführt wurde. Das Clustern der transformierten Ähnlichkeitsmatrizen erfolgt nach einer hierarchischen Gruppierung über den jeweiligen Gruppenmittelwert, das Ergebnis wird als Dendrogramm dargestellt (Clarke & Warwick 2001).

Anschließend wurde zur Ordination und graphischen Darstellung der Daten eine nicht-metrische Multidimensionale Skalierung (nmMDS) durchgeführt. Im Gegensatz zu anderen Ordinationsverfahren (Hauptkomponenten- bzw. Faktorenanalyse) setzt diese Methode keine besondere Verteilung oder Linearität der Daten voraus (Clarke & Warwick 2001). Bei der nmMDS wird eine transformierte Ähnlichkeitsmatrix mit multidimensionalen Zusammenhängen zweidimensional graphisch dargestellt. Hierbei sind Punkte, in Bezug auf ihre Artzusammensetzung, ähnlicher, je näher sie räumlich beieinander liegen, die räumliche Entfernung entspricht den jeweiligen Ähnlichkeiten in der Ähnlichkeitsmatrix. Da hier eine Reduktion von einem multidimensionalen auf einen zweidimensionalen Raum erfolgt, kann das Ergebnis der nmMDS nach einem Neustart geringfügig variieren, die Güte der jeweiligen Darstellung wird über einen „Stress-Wert“ angegeben. Bei einem $Stress < 0,05$ liegt eine repräsentative Ordination der Daten vor. Ein $Stress < 0,1$ deutet auf eine gute Ordination der Daten, mit wenig Grund zur Fehlerinterpretation hin und ein $Stress < 0,2$ ermöglicht immer noch brauchbare Interpretation der Darstellung. Noch höhere „Stress-Werte“ können eine zufällige Verteilung der Proben in der Ordination bedeuten (Clarke & Warwick 2001).

II.4.4 ANOSIM

Bei der ANOSIM (engl.: „one-way analysis of similarity“) handelt es sich um einen Permutationstest, welcher zwei oder mehr Gruppen auf Basis einer Ähnlichkeitsmatrix untereinander vergleicht. Dies wird realisiert in dem die mittlere Rangähnlichkeit zunächst innerhalb der Gruppen und anschließend zwischen den

Gruppen berechnet wird. Der so ermittelte Testwert R („Global R “) steht für die Unterscheidbarkeit der Gruppen. Aus einer Reihe von 999 Permutationen wird eine Verteilungsstatistik aus simulierten R -Werten erstellt. Das Signifikanzlevel gibt an mit welcher Wahrscheinlichkeit das „Global R “ dieser Verteilung entstammt, ist dies unwahrscheinlich wird die Null-Hypothese (H_0 = keine Unterschiede zwischen den Proben der verschiedenen Gruppen) verworfen (Clarke & Warwick 2001).

Neben dem „Globalen R “ zwischen allen Gruppen werden die Gruppen auch paarweise gegenübergestellt. Für jedes Paar wird ein R -Wert mit zugehöriger Signifikanz angegeben.

Für den Testwert gilt, ist $R = 1$ sind alle Proben einer Gruppe ähnlicher zueinander als zu irgendeiner anderen Probe aus einer anderen Gruppe. Für $R > 0,75$ sind die Gruppen klar unterscheidbar, bei $R \approx 0,5$ immer noch gut unterscheidbar. Liegt kaum noch ein Unterschied vor ist $R < 0,25$. Die Null-Hypothese wird angenommen wenn $R \approx 0$ ist, die Ähnlichkeiten innerhalb und zwischen den Gruppen unterscheiden sich im Durchschnitt nicht mehr (Clarke & Gorley 2006).

II.4.5 SIMPER

Zur Identifikation jener Arten, die für die Unähnlichkeit zwischen den Gruppen beziehungsweise für die Ähnlichkeit innerhalb der Gruppen verantwortlich sind, wurde eine SIMPER Analyse (engl.: „similarity percentages“) mit den quadratwurzeltransformierten Ähnlichkeitsmatrizen durchgeführt (Clarke & Gorley 2006). Als Ergebnis wird die prozentuale Gemeinsamkeit innerhalb der Gruppen angegeben sowie die Anteile der verschiedenen Arten an dieser Ähnlichkeit. Weiterhin werden die Ungleichheit zwischen den Gruppen und die dafür verantwortlichen Arten in Prozent angegeben. Die Güte, mit der eine Art als Unterscheidungsmerkmal genutzt werden kann, wird über die Höhe des Quotienten aus Ähnlichkeitskoeffizient und damit verbundener Standardabweichung angegeben. Je größer dieser Quotient und je kleiner die Standardabweichung ist, umso sicherer kann man die betreffende Art als Unterscheidungsmerkmal für die Unähnlichkeit bzw. Ähnlichkeit verwenden (Clarke & Warwick 2001).

Das in dieser Studie erstellte und verwendet R-Script zur statistischen Analyse der Daten befindet sich im Anhang (siehe Seite 70, R-Skript zur Analyse der Daten).

III Ergebnisse

Seit der Ausbringung im Jahr 2002 wurden die im Kongsfjorden installierten Besiedlungsplatten, wie oben beschrieben, jährlich beprobt. Eine Übersicht der beprobten Platten, zusammengefasst in Alters- und Jahrklassen, befindet sich in Tabelle 2.

III.1 Abundanz und Bedeckung

Die gesammelten Daten werden in der Pangaea Datenbank (<http://pangaea.de/>) des Weltdatenzentrums MARE zur Verfügung gestellt. In den dortigen Tabellen sind der Name der Platte/der Photographie, das Beprobungsdatum, das Installationsdatum sowie die zugehörigen Daten zur Abundanz [Ind. m⁻²] und Bedeckung [m²] der jeweiligen taxonomischen Gruppen enthalten.

Tabelle 1 Übersicht über alle gefundenen Taxa mit zugehöriger Gesamtindividuenzahl für alle Platten.

Taxonomische Gruppe	Anzahl gezählter Individuen auf allen Platten
Actinopterygii	5
Anthozoa	13
Ascidacea	1
Bivalvia	1
Bryozoa	1424
Echinoidea	49
Florideophyceae	37189
Gastropoda	80
Hydrozoa	0
Malacostraca	379
Maxillopoda	229
Phaeophyceae	654
Polychaeta	169
Polyplacophora	243
Porifera	28
Summe	40464

Ergebnisse

Tabelle 2 Überblick über die 218 zur Analyse verwendeten Plattenfotos. Angegeben sind die gerundete Expositionszeit, das Jahr in welchem das Foto aufgenommen wurde, die Anzahl der Replikate sowie die im weiteren Verlauf verwendete Bezeichnung für die 39 verschiedenen Alters- und Jahrklassen.

Expositionszeit gerundet [a]	Beprobungsjahr	Anzahl der Replikate	Bezeichnung
1	2003	9	2003_1
1	2004	3	2004_1
1	2005	2	2005_1
1	2006	8	2006_1
1	2007	5	2007_1
1	2008	5	2008_1
2	2004	16	2004_2
2	2005	3	2005_2
2	2006	2	2006_2
2	2007	4	2007_2
2	2008	7	2008_2
2	2009	5	2009_2
3	2005	20	2005_3
3	2006	3	2006_3
3	2007	1	2007_3
3	2008	3	2008_3
3	2009	7	2009_3
4	2006	13	2006_4
4	2008	1	2008_4
4	2009	4	2009_4
4	2011	3	2011_4
5	2007	9	2007_5
5	2009	1	2009_5
5	2011	8	2011_5
5	2012	4	2012_5
6	2008	8	2008_6
6	2011	4	2011_6
6	2012	7	2012_6
6	2013	4	2013_6
7	2009	8	2009_7
7	2011	1	2011_7
7	2012	4	2012_7
7	2013	7	2013_7
8	2012	1	2012_8
8	2013	4	2013_8
9	2011	8	2011_9
9	2013	1	2013_9
10	2012	8	2012_10
11	2013	7	2013_11

Ergebnisse

Insgesamt wurden 29 verschiedene taxonomische Gruppen, mit insgesamt über 40.000 gezählten Individuen identifiziert (Tabelle 1; Anhang: Tabelle A 2 & Tabelle A 3). Den größten Teil nehmen mit mehr als 37.000 Individuen die krustierenden Rotalgen ein (Tabelle 1). Für die Gemeinschaftsanalyse wurden die gezählten Actinopterygii nicht berücksichtigt (ebenso mobile Polychaeten), da ihr Auftreten stark durch den Taucher beeinflusst wird, der Vollständigkeit halber sind sie jedoch hier aufgeführt. Bivalvia und Ascidiacea kamen nur mit je einem Individuum vor und wurden daher in den Analysen nicht mit berücksichtigt.

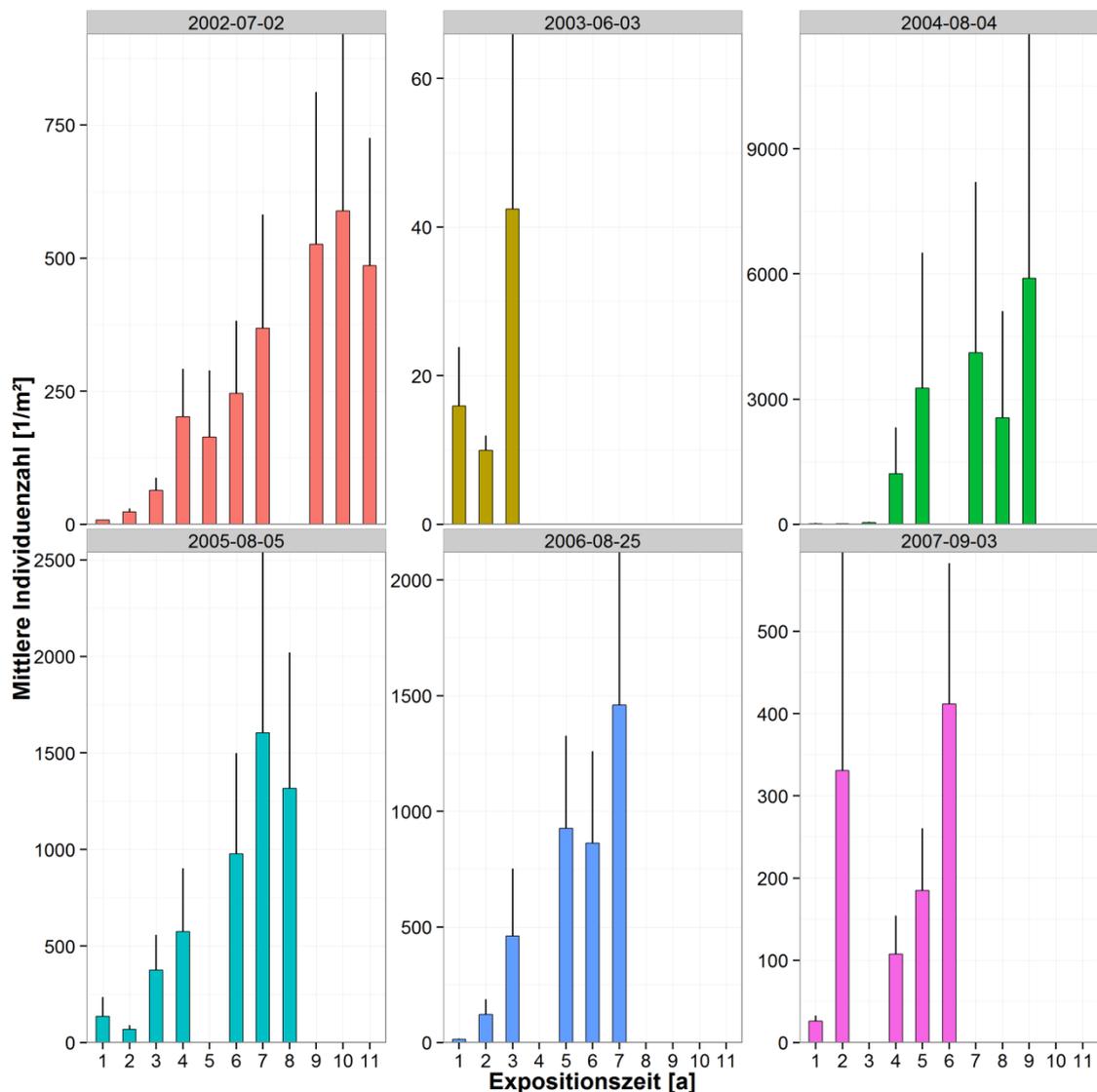


Abb. 8: Mittlere Abundanz [m^{-2}] der verschiedenen Kohorten (das Installationsdatum ist über den einzelnen Graphen angegeben) in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a]. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts wieder.

Ergebnisse

Die Präsenz/ Absenz der Arten wirkt heterogen über Platten gleicher Perioden und Expositionszeiten verteilt (vgl. Anhang: Abb. A 1 & Abb. A 2).

Eine Aufgliederung in verschiedene Kohorten (Alle Platten mit identischem Installationsdatum) zeigt, dass die Abundanzen mit zunehmender Expositionszeit ansteigen, wobei sich die einzelnen Kohorten um bis zu zwei Größenordnungen unterscheiden können (Abb. 8). Die höchste mittlere Abundanz wurde 2013 auf den Besiedlungsplatten mit einer Expositionszeit von neun Jahren gefunden (fast 6.000 Ind. m⁻²). Die geringsten Abundanzen (0 Ind. m⁻²) traten auf den einjährigen Platten auf (Abb. 8).

Die Bedeckung nimmt, vergleichbar mit der Abundanz, bei zunehmender Exposition zu. Auch bei der Bedeckung variieren die Werte der verschiedenen Kohorten um bis zu zwei Größenordnungen (Abb. 9). Die Maxima in der Bedeckung im Jahr 2007 und 2008 (Fünfstufige der 2002er Kohorte, zweijährige der 2005er Kohorte, ein- und zweijährigen 2006er Kohorte und die einjährigen der 2007er Kohorte; Abb. 9) ergeben sich durch hohe Bedeckung durch Braunalgen (vgl. Anhang: Abb. A 1), spiegeln sich aber nicht in der Abundanz wieder (Abb. 8).

Ein Vergleich der Abundanz mit dem Bedeckungsgrad zeigt, dass Maxima der Bedeckung nicht zwangsläufig mit Maxima der Abundanz zusammenfallen. Betrachtet man die Abundanz und Bedeckung getrennt nach Taxa zeigt sich, dass sich der kontinuierliche Anstieg der Abundanz und Bedeckung in den Werten der Florideophyceae, Anthozoa, Polychaeta und Polyplacophora widerspiegelt. Die Werte der Echinoidea, Bryozoa, Gastropoda, Malacostraca und Maxillipoda bleiben über die Zeit weitestgehend konstant. Hydrozoa und Porifera zeigen keine direkten Muster, tauchen gehäuft aber erst im späteren Verlauf der Exposition auf (größer sieben Jahre). Die Phaeophyceae bleiben in Bezug auf die Abundanz konstant, mit unregelmäßigen Maxima in der Bedeckung (Abb. 10 & Abb. 11). Generell sind viele Ausreißer in den Proben zu finden.

Ergebnisse

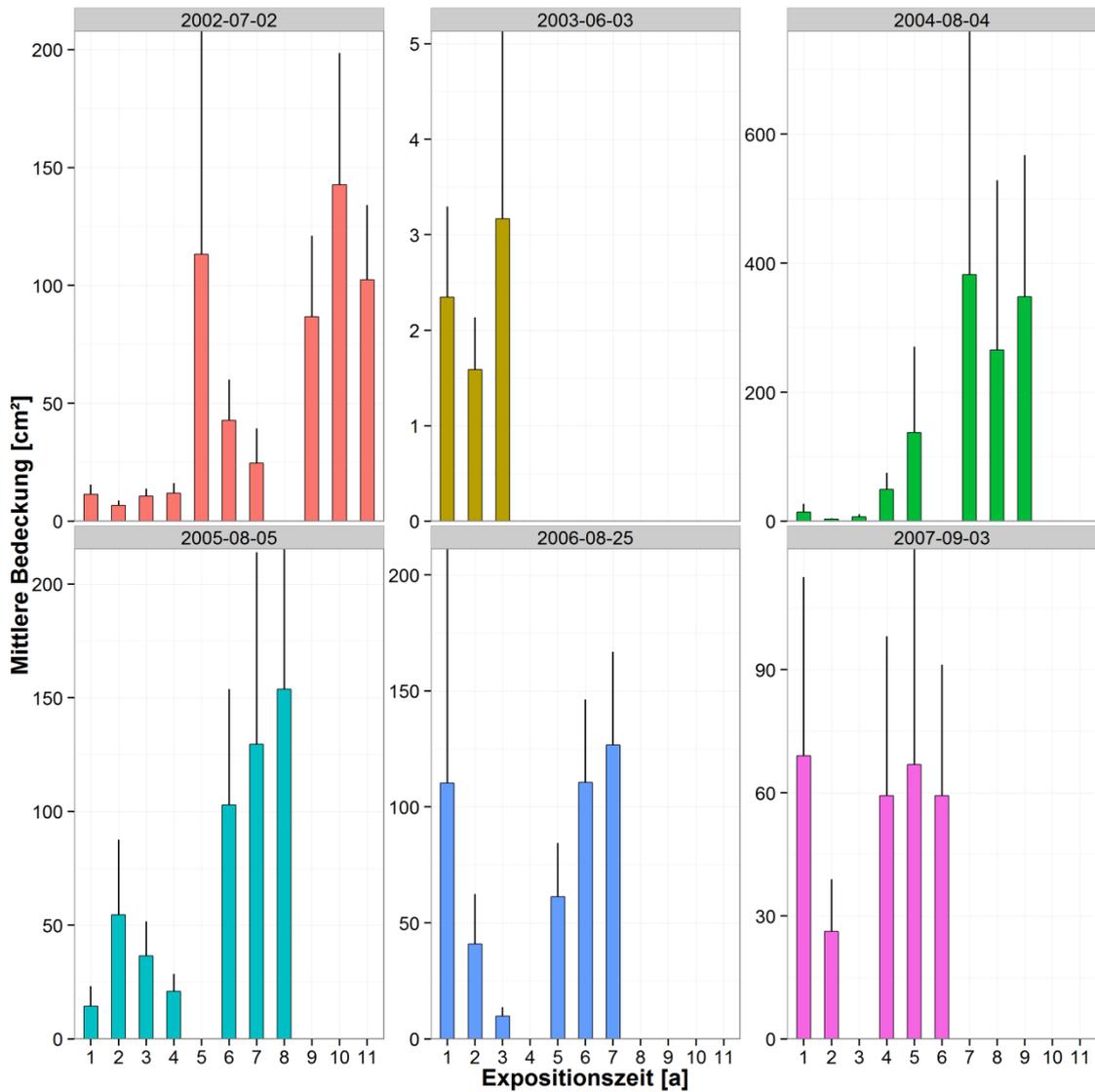


Abb. 9: Mittlere Bedeckung [cm²] der verschiedenen Kohorten (das Installationsdatum ist über den einzelnen Graphen angegeben) in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a]. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts wieder.

Ergebnisse

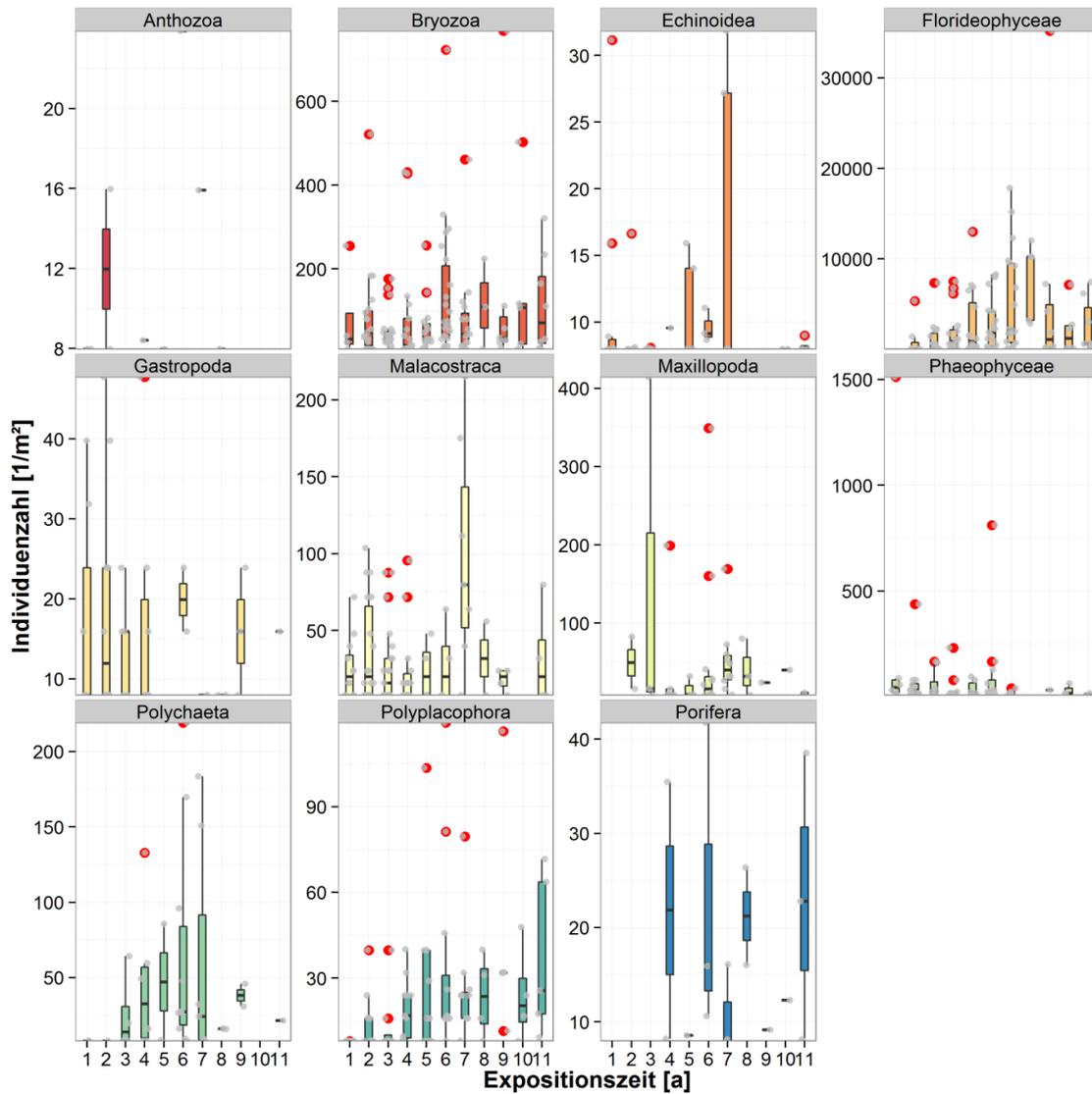


Abb. 10: Boxplots der Individuenzahl [m^{-2}] der verschiedenen gefundenen taxonomischen Gruppen in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a]. In grau sind die Datenpunkte der einzelnen Platten dargestellt, Ausreißer als rote Punkte.

Ergebnisse

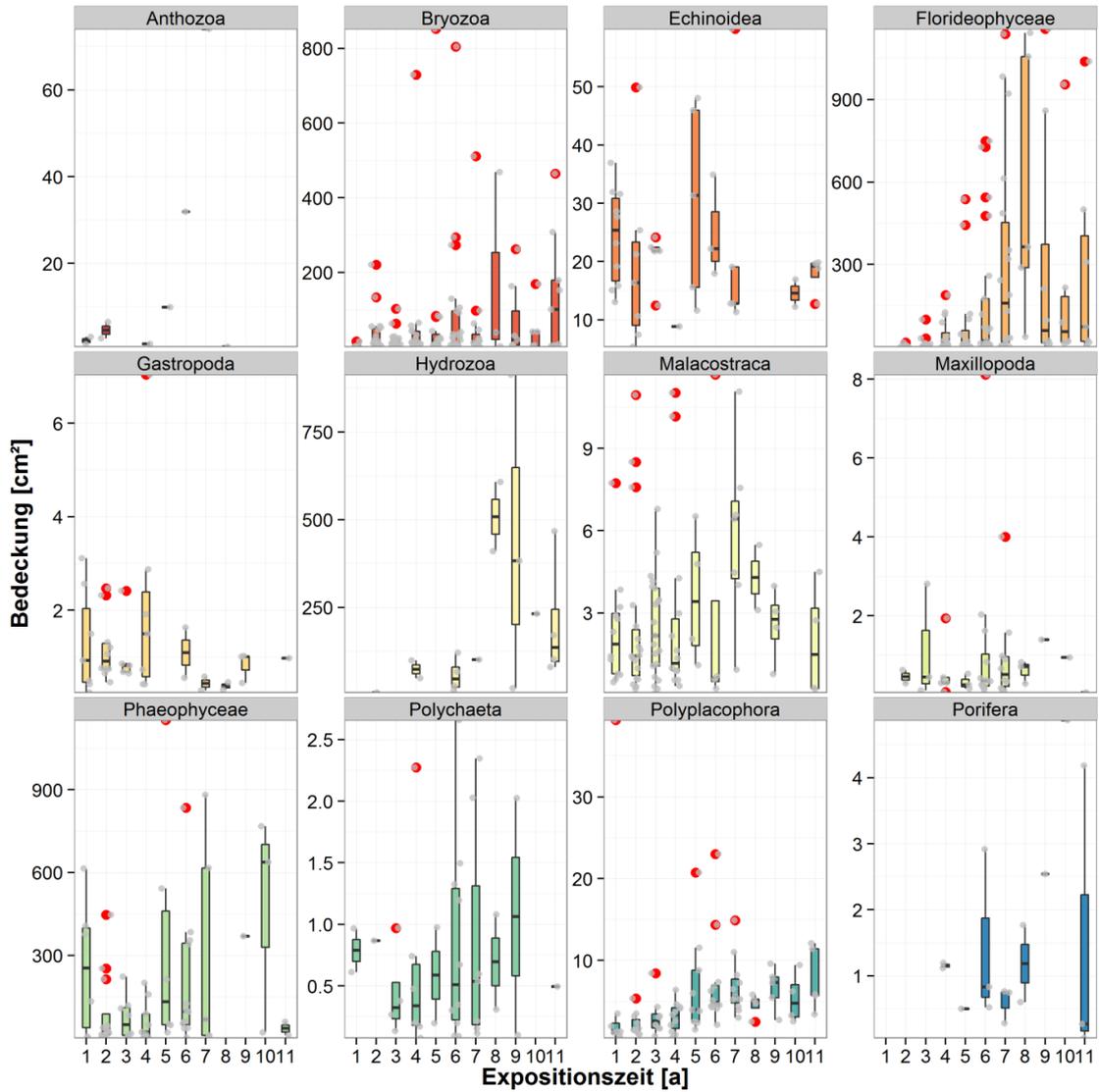


Abb. 11: Boxplots des Bedeckungsgrades [cm²] der verschiedenen gefundenen taxonomischen Gruppen in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a]. In grau sind die Datenpunkte der einzelnen Platten dargestellt, Ausreißer als rote Punkte.

III.2 Ökologische Indizes

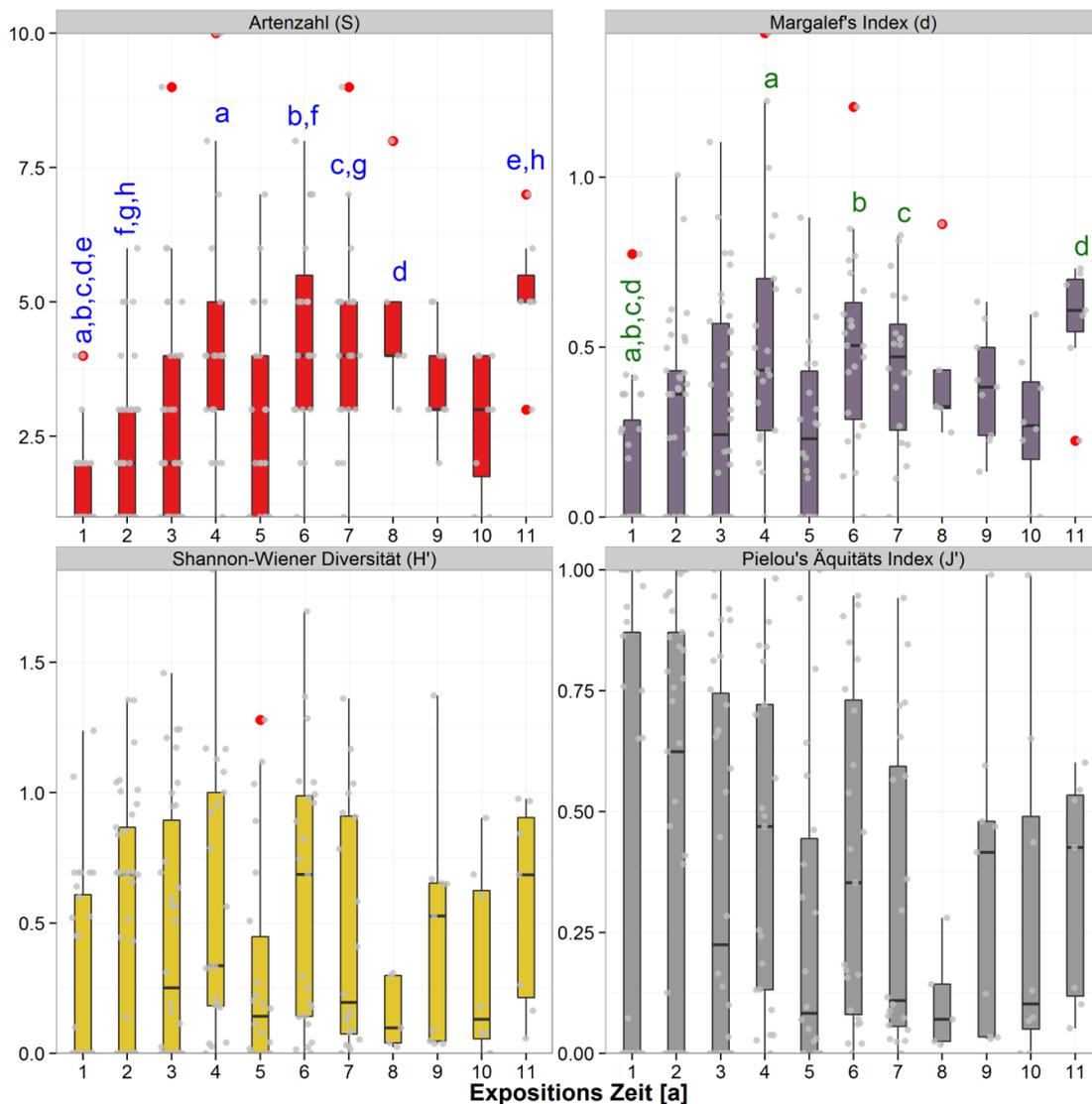


Abb. 12: Boxplots der Artenzahl (S), des Margalef Index (d), Shannon-Weaver Index (H') und der Äquität nach Pielou (J') in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a]. Ein Kruskal-Wallis Test ergab signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) für jeweils mindestens zwei Proben der Artenzahl (S), des Margalef Indexes (d) und Shannon-Weaver Indexes (H'). Die Buchstaben geben signifikante Unterschiede wieder, beruhend auf paarweisen Vergleichen. In grau sind die Datenpunkte der einzelnen Platten dargestellt, Ausreißer als rote Punkte.

Mit zunehmender Exposition der Platten nimmt die Artenzahl zu. Dabei ist die Anzahl der gefundenen Arten nach vier, sechs, sieben, acht und elf Jahren Exposition signifikant ($p < 0.05$) höher als nach einem Jahr, ebenso ist die Artenzahl für sechs, sieben und elf Jahre Exposition signifikant ($p < 0.05$) höher als mit zwei Jahren (Abb. 12). Das Maximum liegt bei 10 Arten auf einer vierjährigen Platte im Jahr 2009 (vgl. Anhang: Abb. A 3). Der Minimalwert beträgt eine Art, bei Gemeinschaften verschiedener Expositionszeiten (ein- bis siebenjährige und zehnjährige). Der Median steigt nicht über 5 Arten pro Platte. Über die Expositionszeit von sechs bis

Ergebnisse

acht Jahren bleibt der Median der Artenzahl konstant bei vier. Der Median fällt für neun- und zehnjährigen Gemeinschaften ab (Abb. 12), dies ist auf den Einfluss verschiedener Kohorten zurückzuführen (neun- und zehnjährige Gemeinschaften stammen nur aus einer Kohorte). Die Arten die hierfür verantwortlich sind sind jeweils unterschiedlich. Betrachtet man die Artenzahl aufgliedert nach Periode und Exposition sind Schwankungen innerhalb der Expositionsklassen zu erkennen (Abb. A 3).

Der Artenreichtum nach Margalef spiegelt ein ähnliches Bild wieder. Zunächst steigt der Artenreichtum bis zu einer Exposition von vier Jahren auf 0,4. Im folgende Jahr fällt er auf 0,25, anschließend hält er einen konstanten Wert von 0,5 über zwei Jahre, gefolgt von zwei Jahren mit fallenden Artenreichtum. Abschließend steigt der Median 2013 auf ein Maximum von circa 0,6 (Abb. 12). Der Höchstwert für den Artenreichtum beträgt circa 1,2 und wurde 2011 für eine vierjährige Gemeinschaft ermittelt, der minimale Wert beträgt null (ein- bis siebenjährige und zehnjährige Gemeinschaften) (Abb. 12 & Abb. A 3). Es gibt signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der einjährigen Gemeinschaft zu den vier-, sechs-, sieben- und elfjährigen Gemeinschaften (Abb. 12).

Der Median der taxonomischen Diversität schwankt um einen Wert von 0,4 (Abb. 12). Der Maximalwert für die Diversität von circa 1,9 wurde 2011 bei vierjährigen Gemeinschaften festgestellt (Abb. A 3). Ein Kruskal-Wallis Test ergab signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen mindestens zwei Stichproben, diese konnten jedoch nicht durch einen paarweisen Vergleich identifiziert werden. Die einzelnen Gemeinschaften sind in Bezug auf die Diversität sehr heterogen verteilt (Abb. 12 & Abb. A 3).

Dies bildet sich ebenfalls in der Äquität ab. Es können keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen den Jahrgängen, Expositionszeiten oder Perioden festgestellt werden. Über alle Expositionszeiten streuen die Werte über die volle Bandbreite von 0 bis 100% der erwarteten Diversität. Lediglich die achtjährigen Gemeinschaften weisen mit Werten unter 25% eine geringe Streuung auf (Abb. 12 & Abb. A 3).

III.3 Klassifikation und Ordination

Die Analyse der Gemeinschaften wurde in Bezug auf Präsenz/ Absenz von Arten, die Abundanz [Ind. m⁻²] und die Bedeckung [m²] durchgeführt.

Die Klassifikation der Präsenz/ Absenz-Daten mittels einer Clusteranalyse liefert eine grobe Auftrennung nach Expositionszeit. Eine SIMPROF-Analyse zeigt, dass die genaue Klassifikation der Daten nur bis zu einer Ähnlichkeit von 45% bzw. 52% ohne größere Unsicherheiten (Signifikanz Level 5%) gut möglich ist (Abb. 13). Hierdurch ergeben sich drei Cluster mit einer Ähnlichkeit von 45%. Eine nmMDS liefert eine gute Ordination und spiegelt die Ergebnisse der Clusteranalyse wieder. Ein- und zweijährige Gemeinschaften gruppieren sich vertikal auf der linken Seite der hier verwendeten Ordination (Cluster 1), während fünf-, sieben-, acht- und neunjährige Gemeinschaften rechtsoben angesiedelt sind (Cluster 3) (Abb. 14). Das größte Cluster befindet sich Zentral (Cluster 2), unterhalb von Cluster 3 (Abb. 14). Generell sind in Cluster 2 Gemeinschaften aller Expositionsclassen, wobei alle kleiner gleich drei Jahre nach links zu Cluster 1 orientiert sind. Länger exponierte Gemeinschaften sind mittig bis rechts in Cluster 2 anzufinden (Abb. 14).

Ergebnisse

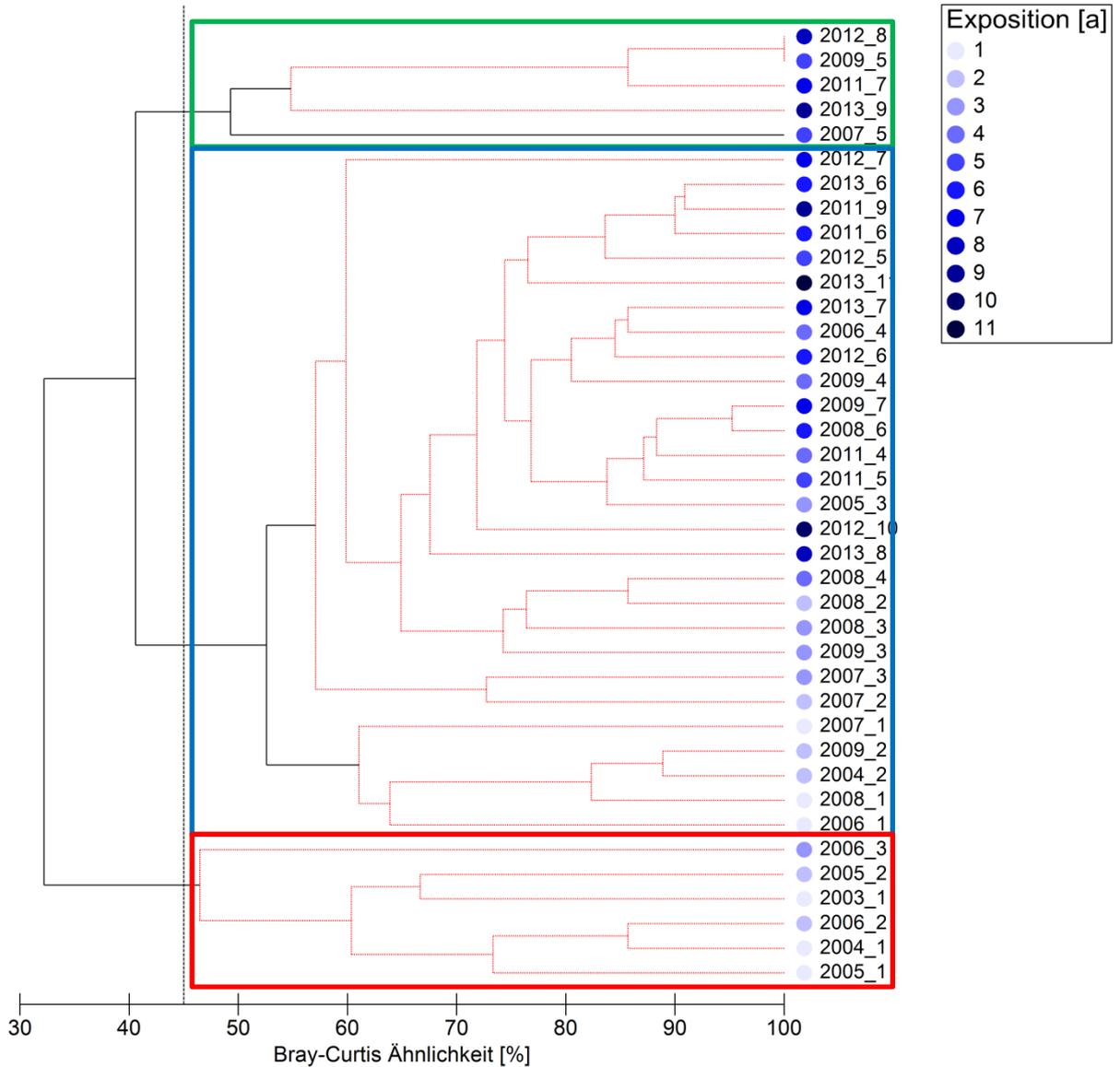


Abb. 13: Dendrogramm der Präsenz-/ Absenzdaten aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse mit einem Signifikanz Level von 5% sind in rot und schwarz dargestellt. In schwarz jene Bereiche des Dendrogramms mit 95% Genauigkeit, in rot jener mit geringerer Genauigkeit. In blau die Expositionszeit [a]. Farbig hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 45%.

Ergebnisse

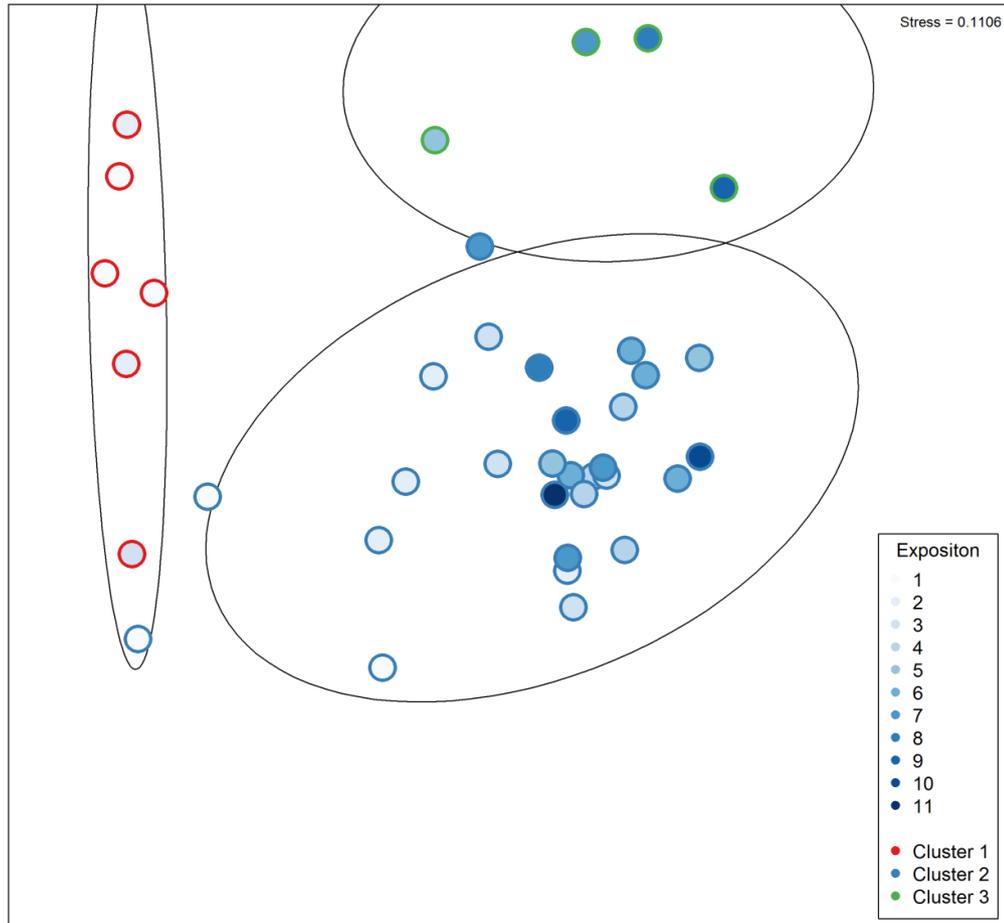


Abb. 14: nmMDS-Plot der Präsenz-/ Absenzdaten aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. In blau die Expositionszeit [a]. Farblich hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 45%. Die Streuungs-Ellipsen beruhen auf der Standardabweichung der Punktwerte des jeweiligen Clusters, bei einer Vertrauensgrenze von 95%.

Ergebnisse

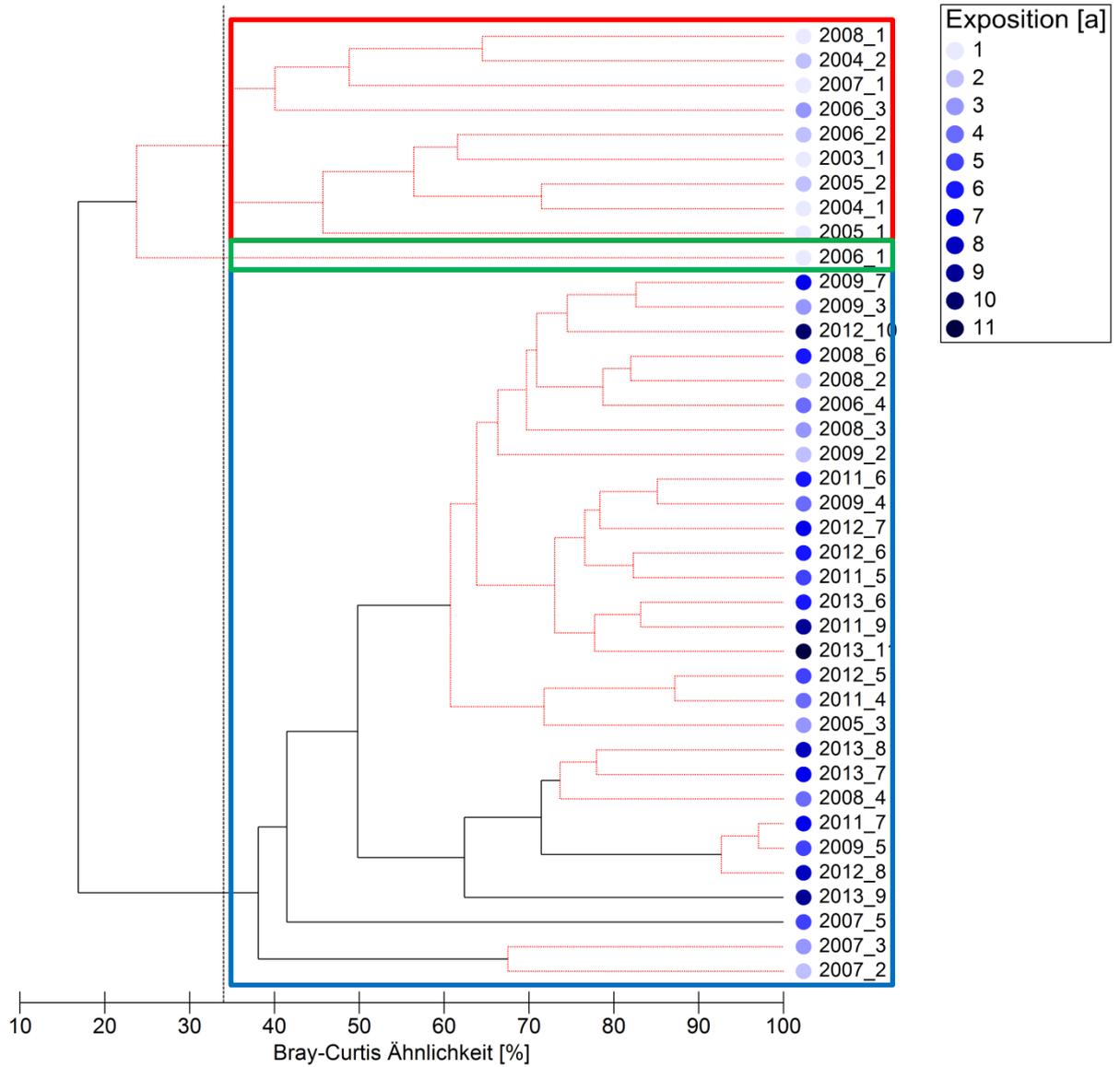


Abb. 15: Dendrogramm der Abundanzdaten aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse mit einem Signifikanz Level von 5% sind in rot und schwarz dargestellt. In schwarz jene Bereiche des Dendrogramms mit 95% Genauigkeit, in rot jener mit geringerer Genauigkeit. In blau die Expositionszeit [a]. Farblich hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 34%.

Ergebnisse

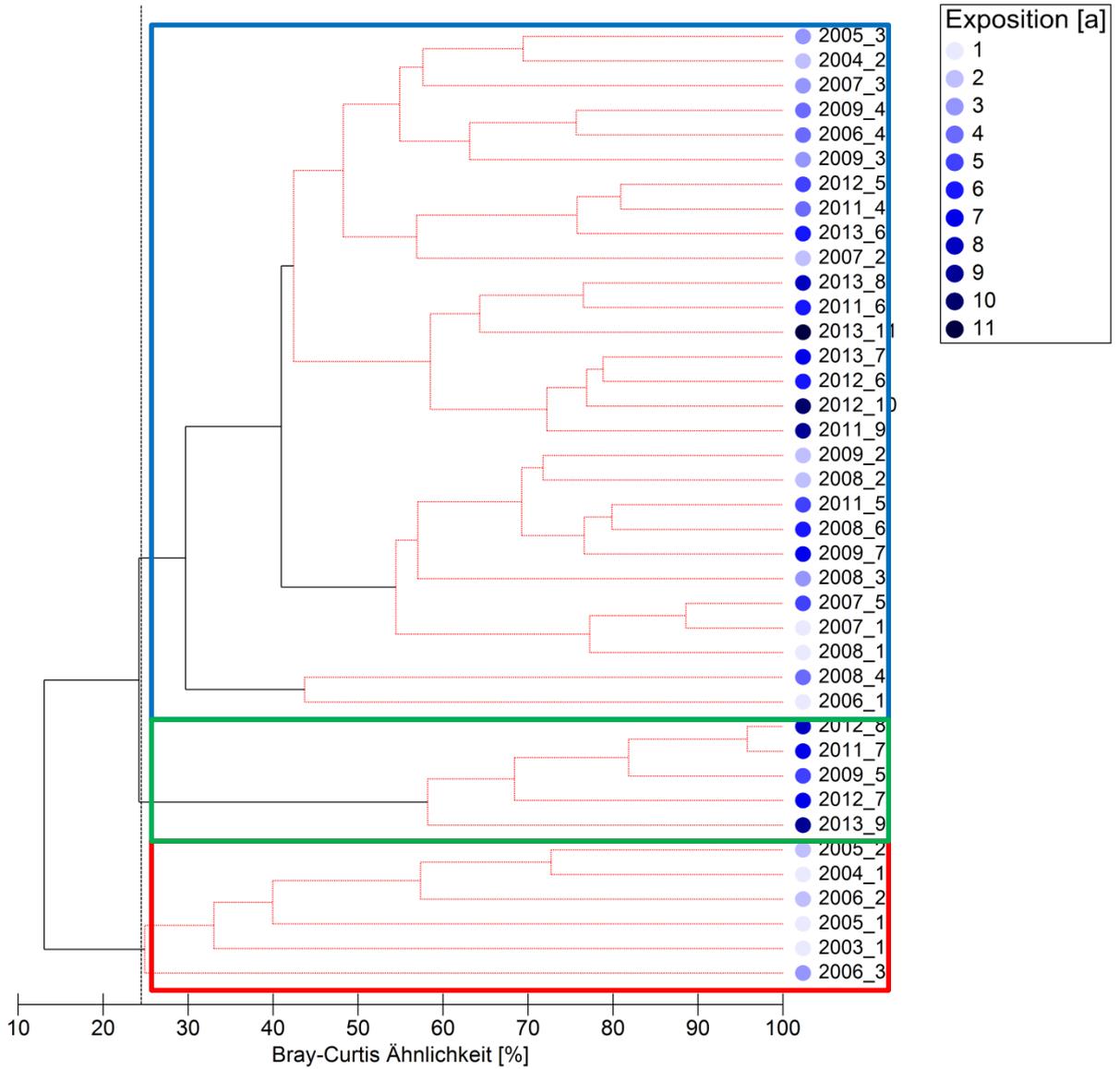


Abb. 16: : Dendrogramm des Bedeckungsgrads aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse mit einem Signifikanz Level von 5% sind in rot und schwarz dargestellt. In schwarz jene Bereiche des Dendrogramms mit 95% Genauigkeit, in rot jener mit geringerer Genauigkeit. In blau die Expositionszeit [a]. Farblich hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 24,5%.

Ergebnisse

Die Clusteranalyse der Abundanzdaten teilt ein- und zweijährigen Gemeinschaften von den länger exponierten. Die SIMPROF Analyse (Signifikanzlevel 5%) zeigt eine sichere Klassifizierung älterer Gemeinschaften (60% bis 100% Ähnlichkeit) während die genaue Klassifizierung der jüngeren Gemeinschaften nur bis 25% Ähnlichkeit sicher ist (Abb. 15). Das Dendrogramm zur Analyse der Bedeckung gibt ein weniger klares Bild wieder wobei auch hier ältere Gemeinschaften einander ähnlicher sind. Jedoch ist diese Klassifizierung zum Großteil nur für Cluster von circa 24% Ähnlichkeit bis zu 60% Ähnlichkeit korrekt. Beide Analysen können als gute Ordination von einer nmMDS zweidimensional dargestellt werden. Dabei wird links in vertikaler Ausrichtung der Großteil der ein- bis zweijährigen Gemeinschaften dargestellt (Cluster 1; Abb. 17). Cluster 3 beinhaltet lediglich die einjährigen Gemeinschaften der 2006er Periode. Aus dem Dendrogramm wird ersichtlich, dass Cluster 3 und Cluster 1 zu 25% ähnlich sind. Die SIMPROF-Analyse ergab eine schwache Repräsentation dieser Gruppierung. Aus diesen Gründen kann man Cluster 3 dem Cluster 1 zusprechen. Die weiteren Gemeinschaften ordnen sich rechts vertikal in Cluster 2 an. Cluster 1 und Cluster 2 liegen in dieser zweidimensionalen Projektion „v“-förmig zusammen. Innerhalb von Cluster 2 sind die älteren Gemeinschaften mittig und oberhalb angeordnet. Alle Gemeinschaften kleiner gleich vier Jahren sind von der Mitte an nach unten angeordnet. Insgesamt herrscht also ein „v“-förmiger Gradient, von älteren Gemeinschaften rechts oben zu jüngeren Gemeinschaften links oben.

In der Ordination zum Bedeckungsgrad lässt sich ebenfalls ein Gradient erkennen. In Cluster 1, welcher vertikal links angeordnet ist, sind junge Gemeinschaften dargestellt. Während im diagonal von rechts nach unten gelegenen Cluster 2 ältere sowie jüngere enthalten sind. Diese ordnen sich der Expositionszeit entsprechend ansteigend von unten nach oben im Cluster an. Im dritten Cluster sind nur fünf-, sieben-, acht- und neunjährige Gemeinschaften enthalten. Mit Cluster 3 in der rechten oberen Ecke ergibt sich auch hier ein Gradient von rechts oben nach unten und links oben.

Die Analysen wurden ebenfalls für alle Platten (Abb. A 4 & Abb. A 5) und nicht nur die in Bezug auf Periode und Expositionszeit zusammengefassten Gruppen durchgeführt, der Übersichtlichkeit halber wurden letztere hier zur Darstellung verwendet. Die Ordination auf einen zweidimensionalen Raum erfolgt mit ähnlicher

Ergebnisse

Güte wie bei den zusammengefassten Daten. Es ergibt sich für die Abundanz eine relativ heterogen verteilte Darstellung (Abb. A 7), in welcher jedoch die ältesten Gemeinschaften mittig in Cluster 3 und oben in Cluster 4 liegen. Der Großteil der jüngeren Gemeinschaften sammelt sich links in Cluster 4, im gesamten Cluster 2 und in Cluster 1. Somit kann ein Gradient zur Mitte beziehungsweise nach oben möglich sein. Die Ordination des Bedeckungsgrads (Abb. A 6) deutet einen eventuellen Gradienten stärker an. Mittig in Cluster 1 die ältesten und älteren Gemeinschaften, die jüngeren Gemeinschaften in Cluster 2 und 3 sowie oben in Cluster 1. Für die Expositionszeit ergibt sich also ein möglicher Gradient von links und oben zur Mitte hin.

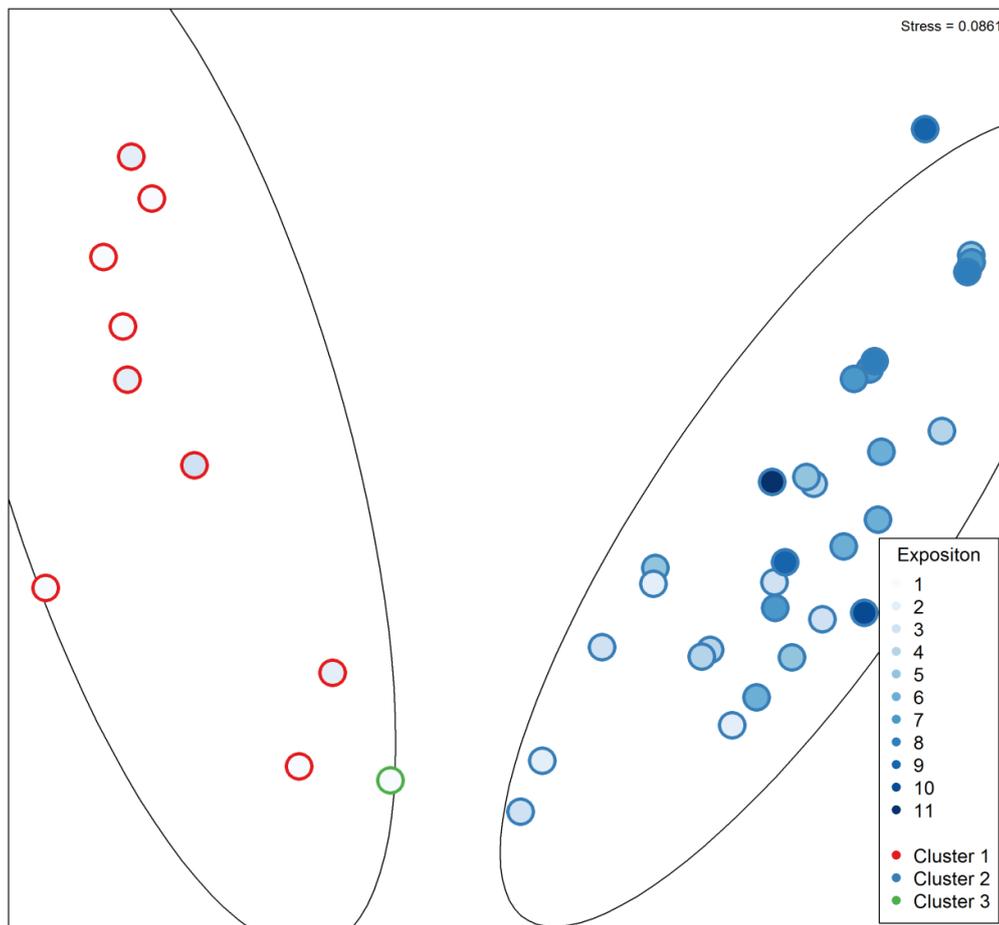


Abb. 17: nmMDS-Plot der Abundanzdaten aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. In blau die Expositionszeit [a]. Farblich hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 34%. Die Streuungsellipsen beruhen auf der Standardabweichung der Punktwerte des jeweiligen Clusters, bei einer Vertrauensgrenze von 0,95.

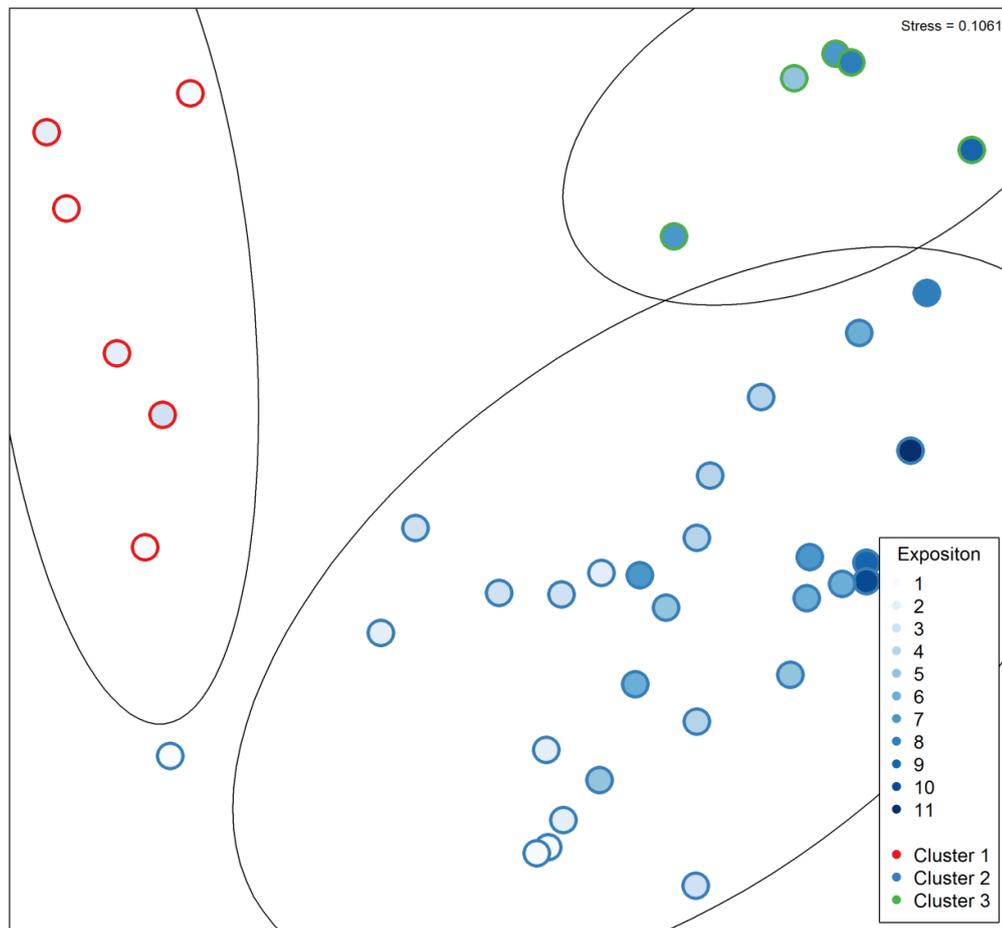


Abb. 18: : nmMDS-Plot des Bedeckungsgrads aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. In blau die Expositionszeit [a]. Farbig hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 24,5%. Die Streuungsellipsen beruhen auf der Standardabweichung der Punktwerte des jeweiligen Clusters, bei einer Vertrauensgrenze von 0,95.

III.4 ANOSIM

Tabelle 3 Ergebnisse der ANOSIM. Die Tabelle gibt die globalen R-Werte für die durchgeführte ANOSIM in Abhängigkeit des Faktors und der verwendeten Daten. Mit * sind Werte $>0,25$, mit ** Werte $>0,5$ und mit *** Werte $>0,75$ markiert. Für Analysen mit $p > 5\%$ ist dies angegeben, alle anderen Werte haben eine Signifikanz kleiner 5%. Ein + gibt eine Gruppierung von Faktoren an, während eine ~ für eine „two way cross“ ANOSIM der beiden Faktoren steht.

Faktor	Abundanz		Bedeckung		Präsenz/ Absenz
	Gruppiert	Alle	Gruppiert	Alle	
Expositionszeit	0,163	0,076	0,174	0,069	0,187
Station		0,216		0,22	
Periode	0,36*	0,234	0,299*	0,22	0,282*
Kohorte	0,196	$p > 5\%$	0,272*	$p > 5\%$	0,238
Oberfläche		$p > 5\%$		$p > 5\%$	
Expositionszeit + Periode		0,075		0,077	
Expositionszeit ~ Periode		$p > 5\%$		$p > 5\%$	
Expositionszeit ~ Kohorte		$p > 5\%$		$p > 5\%$	
Kohorte ~ Periode		0,125		0,114	
		$p > 5\%$		$p > 5\%$	
		$p > 5\%$		$p > 5\%$	
		0,125		0,114	

Eine ANOSIM der Daten wurde für verschiedene Faktoren durchgeführt, die Ergebnisse, in Form der globalen R-Werte, sind in Tabelle 3 aufgeführt. Es wurden keine gut oder klar unterscheidbaren Gruppen für die verschiedenen Faktoren gefunden. Lediglich für die nach Periode und Expositionszeit gruppierten Abundanz-, Bedeckungs- und Präsenz-/ Absenzdaten wurden für die Periode schwer unterscheidbare Gruppen mit großen Überlappungen festgestellt. Für die gruppierten Daten zur Bedeckung wurden ebenfalls noch schwer unterscheidbare Gruppen für die verschiedenen Kohorten festgestellt. Für die verschiedenen Expositionszeiten, Stationen, und Oberflächen gibt es kaum bis gar keine Unterschiede der Gemeinschaften. Auch eine „two way cross“ ANOSIM zwischen Expositionszeiten, Kohorten und Perioden ergab kaum bis keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Ebenso eine Kombination der Faktoren Exposition und Periode (siehe Spalte „Bezeichnung“ in Tabelle 2) ergibt kaum Unterschiede zwischen den Gruppen. Für Analysen mit einem R-Wert größer als 0,25 wurden die paarweisen Tests der Gruppen betrachtet. Jene Paare mit einem R-Wert größer als 0,5 und einem Signifikanzlevel kleiner als 5% wurden in Tabelle 4 aufgetragen. In Bezug auf die

Ergebnisse

Periode sind die Gemeinschaften der Jahre 2008 und 2013 gut bis komplett voneinander unterscheidbar sowohl bezüglich der Abundanz als auch der Bedeckung. Bezogen auf die Abundanz ist das Jahr 2004 zusätzlich noch gut von den Jahren 2009, 2011 und 2012 zu unterscheiden. Auf die Bedeckung bezogen ist das Jahr 2013 gut von den Jahren 2005 und 2008 unterscheidbar. Der Bedeckungsgrad der Gemeinschaften des 2003er Jahrgangs unterscheidet sich gut bis komplett von den Jahrgängen 2002, 2005, 2006 und 2007.

Tabelle 4 Ergebnisse der paarweisen Vergleiche der ANOSIM mit globalen R-Werten >0,25. Dargestellt sind alle Paare mit R-Werten >0,5 und p <5%. Mit * sind Werte >0,75, mit ** Werte >0,9 und mit *** Werte = 1 markiert.

Abundanz (Gruppiert)			Bedeckung (Gruppiert)		
Faktor: Periode (R = 0,36)			Faktor: Periode (R = 0,229)		
Gruppen	R-Wert	Signifikanz Level	Gruppen	R-Wert	Signifikanz Level
2004, 2008	0,764*	4,8	2004, 2008	0,764*	4,8
2004, 2009	0,873*	4,8	2004, 2013	0,855*	4,8
2004, 2011	0,873*	4,8	2005, 2008	0,662	1,8
2004, 2012	0,945**	4,8	2005, 2011	0,6	3,6
2004, 2013	1***	4,8	2005, 2012	0,6	3,6
2005, 2008	0,61	3,6	2005, 2013	0,795*	1,8
2005, 2009	0,672	1,8	2006, 2011	0,563	1,6
2005, 2011	0,641	1,8	2006, 2012	0,544	1,6
2005, 2012	0,713	1,8	2006, 2013	0,675	0,8
2005, 2013	0,744	1,8	2008, 2013	0,764*	0,8
2006, 2009	0,506	1,6			
2006, 2011	0,588	1,6			
2006, 2012	0,638	0,8			
2006, 2013	0,669	0,8			
2007, 2012	0,531	0,8			
2007, 2013	0,65	0,8			

Präsenz/ Absenz			Bedeckung (Gruppiert)		
Faktor: Periode (R = 0,282)			Faktor: Kohorte (R = 0,272)		
Gruppen	R-Wert	Signifikanz Level	Gruppen	R-Wert	Signifikanz Level
2004, 2008	0,745	4,8	2002, 2003	0,839*	0,3
2005, 2008	0,626	3,6	2003, 2005	0,79*	0,8
2006, 2012	0,528	2,4	2003, 2006	0,981**	1,2
2007, 2013	0,516	0,8	2003, 2007	1***	1,8
2008, 2013	0,708	0,8			

III.5 SIMPER

Für die in Tabelle 4 gelisteten Paare wurden SIMPER Analysen der Daten durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 5 und Tabelle A 4 bis Tabelle A 8 festgehalten sind.

Gemeinschaften aus dem Jahr 2004 und 2008 sind zu fast 80% verschieden, wobei dies vor allem auf Braunalgen und krustierende Rotalgen zurückgeht, sowohl für die Abundanz als auch die Bedeckung. Für Gemeinschaften aus dem Jahr 2004 und 2013 wird die Unähnlichkeit von mehr als 80% vor allem durch eine höhere Abundanz und Bedeckung von krustierende Rotalgen und Bryozoen im Jahr 2013, beziehungsweise bei der Bedeckung ebenfalls durch Hydrozoen (Tabelle A 4, Tabelle A 8). Der Unterschied zwischen den Jahren 2005 und 2013 (>80%) wird zu fast 50% durch die höhere Bedeckung von Krustenrotalgen und Hydrozoen in 2013 verursacht. Der Unterschied von 70% zwischen 2008 und 2013 ergibt sich auch hier zu fast 40% aus den in 2013 höheren Werten für Krustenrotalgen und Hydrozoen. Jedoch haben hier auch die Braunalgen durch ihre hohe Bedeckung (2008) einen Einfluss von mehr als 20% (Tabelle A 4). Die Unähnlichkeiten zwischen dem Jahr 2004 und den Jahren 2009, 2011 und 2012 (>75%, >75% und 80%) ergibt sich zu mehr als 55% aus der hohen Abundanz an Krustenrotalgen auf den älteren Gemeinschaften (2009, 2011, 2012), die verbleibenden 45% verteilen sich gleichmäßig auf die anderen Arten (Tabelle A 8).

Die Indikatorarten für 2004 variieren für Abundanz und Bedeckung, während die Abundanz der Gastropoden zu 40% für eine Ähnlichkeit von 40% verantwortlich ist, ist die höhere Bedeckung der weniger Abundanten Polyplacophoren zu 40% für eine Ähnlichkeit von 20% verantwortlich. Sowohl für die Abundanz als auch die Bedeckung sind sich die Gemeinschaften im Jahr 2008 zu 55% ähnlich, jedoch variiert der Anteil den die verschiedenen Arten dazu beitragen. Während fast 60% durch die Bedeckung der Braunalgen und nur je 10% durch Krustenrotalgen und Bryozoen erklärt werden, werden nur 30% durch die Abundanz der Braunalgen hervorgerufen. Je 15% werden durch die Abundanz von Bryozoen und Crustaceen beigetragen. Für 2013 sind die Rotalgen die bestimmende Art, wobei deren Abundanz (63%) fast das Doppelte zur Ähnlichkeit beiträgt als deren Bedeckungsgrad (34%). Umgekehrt ist die Bedeckung der Bryozoe II ausschlaggebender (24%) als deren Abundanz (12%). Die Ähnlichkeit von mehr als

Ergebnisse

50% wird ebenfalls durch die Bedeckung von Hydrozoen zu fast einem Viertel (24%) beeinflusst, da ihre Abundanz nicht ermittelt wurde, tragen sie nichts zu der Ähnlichkeit in Bezug auf die Abundanz (62%) bei (Tabelle 5 & Tabelle A 7). Die schwache Ähnlichkeit (20%) der Gemeinschaften im Jahr 2005 wird zu fast 80% durch eine Bedeckung von Polyplacophoren bestimmt (Tabelle 5). Die Jahre 2009, 2011 und 2012 ähneln sich zu je 60%, dies wird zu mehr als 60% durch Krustenrotalgen beeinflusst, während die anderen Arten sich gleichmäßig die verbleibenden 30% erklären.

Die Ergebnis der SIMPER-Analyse für die verschiedenen Kohorten (Tabelle A 5) zeigt, dass sich die verschiedenen Jahrgänge in Bezug auf die Bedeckung je zu mehr als 40% ähneln (Ausnahme der 2005er Jahrgang mit 35%). Die Kohorten aus dem Jahr 2002, 2006 und 2007 werden von Desmarestiales dominiert (22%, 42%, 37%). Der 2003er Jahrgang (44% Ähnlichkeit) wird durch Gastropoden dominiert (55%), die 2005er Kohorte zu 30% von Krustenrotalgen. Für den 2002er Jahrgang bestimmen mit den Desmarestiales zusammen die Bryozoen (23%) die Gesellschaft. Krustenrotalgen und Echinodermaten bestimmen sie zu etwa gleichen Anteilen (13%, 15%). Die Kohorte aus 2005 wird nach den Rotalgen ebenfalls von Bryozoen dominiert (30%, die restlichen Arten verteilen sich etwa gleichmäßig). Nach den Braunalgen wird der 2006er Jahrgang von Arten der Bryozoen (16%), Echinodermata (12%), Krustenrotalgen (11%) und Decapoden (5%) dominiert. Bryozoen (39%) machen zusammen mit den Desmarestiales 78% der Ähnlichkeit des 2007er Jahrganges aus. Weniger dominant sind Krustenrotalgen (6%) oder Echinodermata (4%) und Polyplacophoren (3%).

Generell sind die Kohorten zu mehr als 85% verschieden (Tabelle A 6). Der Unterschied zwischen den ersten beiden Kohorten (2002 & 2003) beruht zu 26% auf der Bedeckung von Braunalgen, zu 20% auf der von Bryozoen. Echinodermata und Krustenrotalgen nehmen je 12% ein. Hydrozoen erklären noch 9% der Unterschiede. Krustenrotalge und Bryozoen sorgen je zu einem Viertel (25%, 22%) für Unterschiede zwischen den 2003er und 2005er Jahrgängen. Braunalgen tragen noch 18% und Hydrozoen 10% dazu bei. Der Unterschied zwischen der Kohorte 2003 und 2006 sowie 2007 wird zu fast 80% durch Braunalgen, Bryozoen, Krustenrotalgen und Echinodermata erklärt. Die anderen Arten beschreiben die Unterschiede zu vergleichbaren Anteilen.

Ergebnisse

Tabelle 5: Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Bedeckung für die Platten gruppiert nach Perioden und Expositionszeit. Ähnlichkeit innerhalb der Probenjahre, welche in Tabelle 4 R-Werte >0,75 zeigten. Bei „#####“ konnte von Primer kein Wert berechnet werden. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige.

Gruppe 2004					
Durchschnittliche Ähnlichkeit: 21,86%					
Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	9,31	#####	42,58	42,58
<i>Margarites</i> sp.	0,01	7,37	#####	33,7	76,28
Decapoda sp.	0,01	5,19	#####	23,72	100

Gruppe 2005					
Durchschnittliche Ähnlichkeit: 21,41%					
Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	16,72	1,49	78,1	78,1
Decapoda sp.	0,01	2,63	0,58	12,29	90,39

Gruppe 2006					
Durchschnittliche Ähnlichkeit: 23,56%					
Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Decapoda sp.	0,01	8,03	1,36	34,1	34,1
<i>Margarites</i> sp.	0,01	6,39	1,47	27,13	61,23
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	2,79	0,82	11,85	73,07
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	2,37	0,41	10,07	83,14
Bryozoa II	0,02	2,1	0,41	8,89	92,04

Gruppe 2008					
Durchschnittliche Ähnlichkeit: 54,93%					
Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Desmarestia</i> sp.	0,13	21,89	1,34	39,85	39,85
Laminariales sp.	0,07	10,95	1,61	19,93	59,78
Bryozoa II	0,03	5,34	2,64	9,72	69,51
Hapalidiaceae sp.	0,04	5,05	0,92	9,19	78,69
Decapoda sp.	0,02	3,81	5,22	6,94	85,63
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,03	3,69	0,61	6,72	92,36

Gruppe 2011					
Durchschnittliche Ähnlichkeit: 46,10%					
Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	0,16	16,91	1,38	36,67	36,67
Bryozoa II	0,09	8,8	0,95	19,08	55,75
<i>Desmarestia</i> sp.	0,09	7,09	0,62	15,39	71,14
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	4,05	4,02	8,79	79,93
Bryozoa I	0,05	3,78	1,12	8,2	88,13
Hydrozoa sp.	0,04	1,26	0,32	2,73	90,87

Ergebnisse

Gruppe 2012

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 40,74%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	0,17	19,33	1,27	47,44	47,44
Bryozoa II	0,09	6,24	0,86	15,31	62,75
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	4,51	2,84	11,07	73,82
<i>Desmarestia</i> sp.	0,1	4,32	0,58	10,61	84,43
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,03	1,64	0,61	4,02	88,45
Hydrozoa sp.	0,05	1,23	0,32	3,02	91,47

Gruppe 2013

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 52,40%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	0,2	17,89	2,53	34,13	34,13
Hydrozoa sp.	0,16	12,88	1,61	24,59	58,72
Bryozoa II	0,13	11,76	1,4	22,45	81,17
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	3,33	5,28	6,36	87,54
<i>Desmarestia</i> sp.	0,08	2,48	0,6	4,73	92,27

IV Diskussion

IV.1 Methodendiskussion

Die vorherrschenden Umweltbedingungen sowie die gute logistische Lage der Versuchsstelle machen diese zu einer idealen Station für Langzeitversuche (Hop et al. 2002; Svendsen et al. 2002; Gulliksen & Svensen 2004). Kongsfjordneset bietet neben dem passenden Untergrund ideale Tauchbedingungen, wie zum Beispiel eine relativ geschützte Lage, eine gute Erreichbarkeit und gute Sichtbedingungen (Sahade et al. 2004; Beuchel & Gulliksen 2008). Die geringe Entfernung von minimal etwa dem Eineinhalbfachem der Plattenlänge zwischen den Platten sorgt für eine statistische Unabhängigkeit der Proben und schränkt dadurch Analysen der Varianz, beziehungsweise nicht-parametrische Ansätze der Datenanalyse, ein (Underwood 1996; Chapman & Underwood 1999). Dies wertet jedoch die hier vorgenommenen multivariaten Analysen nicht ab. Studien der Gemeinschaft an der Untersuchungsstelle und nahegelegenen Positionen zeigen eine geringe örtliche Varianz der natürlichen Benthosgemeinschaft an vertikalen Flächen (Jørgensen & Gulliksen 2001; Sahade et al. 2004). Weiterhin können die Ergebnisse durch den Vergleich mit anderen Langzeitstudien aus arktischen Gebieten verifiziert werden (Beuchel et al. 2006; Beuchel & Gulliksen 2008; Kortsch 2010).

Die größten Einschränkungen dieser Methode sind auf die Bildauflösung der vorhandenen Photographien zurückzuführen. Über den Untersuchungszeitraum von elf Jahren wurden drei verschiedene Unterwasserkameras verwendet und die Aufnahmen auf unterschiedlichen Medien gespeichert. Während die Sicherung auf Dias noch akzeptable Qualität brachte, war die Speicherung auf Compact-Discs eher kontraproduktiv und führte zu einem starken Qualitätsverlust für Bilder des Jahres 2005. Der Umstieg auf eine digitale Canon Powershot G12 sollte eine Verbesserung der Qualität bewirken. Bedingt durch schlechte Witterungsbedingungen und das Fehlen eines externen Blitzgeräts führte dies jedoch zum Gegenteil und machte einen Großteil der Photographien aus dem Jahr 2012 unbrauchbar (persönliche Mitteilung J. Laudien & R. Sahade). Der erneute Wechsel auf ein Sealife DC 1200 Elite Set brachte 2013 eine starke Verbesserung der Qualität mit sich. Neben dem Einfluss der Witterung auf die Qualität (vornehmlich durch die Turbidität) hat der Taucher einen maßgeblichen Einfluss auf die Bilder. So variierte

die Belichtung der Aufnahmen und machte einige (vor allem aus dem Jahr 2007) unbrauchbar. Die digitale Photographie hat keine Einschränkung in Bezug auf die Speicherkapazität an Aufnahmen. Weiterhin bietet sie dem Taucher die Möglichkeit vor Ort die Qualität zu überprüfen und gegebenenfalls eine neue Aufnahme zu tätigen. Dies kann den Einfluss des Tauchers auf die Qualität der Photographie verringern. Anfänglich wurde noch ein Fotogestell verwendet, um Abstand und Position der Kamera konstant zu halten, jedoch wurden, bedingt durch die Verfügbarkeit, verschiedene Modelle verwendet. Auf Grund der Unhandlichkeit der Konstruktion wurden die Bilder ab 2012 frei Hand vom Taucher aufgenommen. Durch die schlechte Witterung in diesem Jahr wäre die Handhabung eines solchen Rahmens vermutlich erschwert worden, hätte aber die Bewegungsunschärfe verringern und die Fokussierung verbessern können. Jedoch konnten mit einer adäquaten Kamera und Blitzgerät 2013 frei Hand die qualitativ hochwertigsten Photographien produziert werden. Das Arbeiten an der Steilwand ist bedingt durch Überhänge und Unebenheiten des Felsens ohne ein Kameragestell für Taucher um ein Vielfaches einfacher. Dies zeigt, dass ein Fotogestell nicht obligatorisch ist, dennoch ist es für eine akkurate Ausrichtung von Vorteil. Schon andere Studien haben die starke Selektivität der photographischen Analyse (semi-quantitativ) einer Gemeinschaft nachgewiesen (Jørgensen & Gulliksen 2001). So finden sich auf photographischen Analysen des Hartsubstrats im Kongsfjorden nur etwa ein Drittel der Taxa wieder, welche sich durch eine quantitative Beprobung (Absaugung, Kratzproben etc.) ergeben würden. Vor allem große und auffällige Arten (Färbung, Muster etc.) fallen bei der Photoanalyse ins Gewicht, während kleine und versteckt lebende Arten nicht beachtet werden. Die minimale Größenauflösung beträgt dabei etwa 0,2 bis 0,5 cm, abhängig von Kontrast und Färbung (Beuchel et al. 2006). Sofern diese Arten keine Indikatorarten zwischen verschiedenen Stadien der Sukzession darstellen, ist die Auflösung dieser Methode ausreichend, um Unterschiede zwischen den Stadien feststellen zu können. Der große Vorteil dieser Methode besteht jedoch darin, dass dieselbe Gemeinschaft in aufeinanderfolgenden Jahren ohne Störungen zu verursachen, untersucht werden kann.

Andere Studien beschäftigen sich mit natürlichen Oberflächen anstelle von künstlichen Substraten (Connell & Slatyer 1977; Beuchel et al. 2006; Beuchel & Gulliksen 2008; Kortsch 2010; Schwalfenberg 2012). Als Substrat dient in diesen Studien der natürliche Untergrund, welcher von jeglichem Bewuchs befreit wurde.

Damit konnte die Sekundär-Sukzession der Gemeinschaft betrachtet werden. Außerdem konnte dadurch ermittelt werden, wann die betroffenen Flächen wieder den Zustand von Kontrollflächen erreicht haben. Eine Untersuchung der Primär-Sukzession ist damit nicht möglich und es besteht die Möglichkeit, dass Arten auf den gereinigten Flächen ungewollt zurückbleiben. Es besteht aber die Möglichkeit Besiedlungsplatten aus natürlichen Substraten zu verwenden (z.B. Fels, Koralline-Kalkskelette oder Basalt) (McClanahan 1997; Vaz-Pinto et al. 2014). Viel Verwendung finden jedoch Besiedlungsplatten aus künstlichen Substraten wie Acryl, Polyvinylchlorid (PVC) oder Polyethylen (PE) (Bourget et al. 1994; Nandakumar 1996; Bowden 2005; Atalah et al. 2007; Cifuentes et al. 2007, 2010; Pacheco et al. 2009, 2011). Auch Keramik, Beton und Glasfaser-verstärkter Kunststoff (GFK) werden für Versuche verwendet (Chalmer 1982; Fairfull & Harriott 1999; Bowden 2005; Bram et al. 2005; Qvarfordt et al. 2006; Vaz-Pinto et al. 2014). Zur Untersuchung der Primär-Sukzession und zur Vergleichbarkeit wurde in dieser Studie Polyethylen verwendet. Es bietet eine gut begrenzte Oberfläche sowie eine einheitliche Strukturkomplexität (Underwood & Chapman 2006; Pacheco et al. 2009). Polyethylen soll aufgrund der neutral geladenen Oberfläche die Kolonialisierung von Larven und Sporen nicht beeinflussen (Dexter & Keith 1985; Rodriguez et al. 1993; Pacheco et al. 2009). Generell wird jede Fläche, die in Seewasser eingetaucht wird, von Biomolekülen und folgend von Bakterien kolonialisiert. Diese frühe Bewuchsgesellschaft wird von den Oberflächenladungen beeinflusst. Hat sich dieser Biofilm ausgebildet, überdeckt er zum Großteil die Eigenschaften des Materials und damit einen eventuellen Effekt des Materials auf die makroskopische Flora und Fauna, vor allem bei der hier verwendeten zeitlichen Auflösung (Wahl 1989). Eine Studie aus dem Jahr 2014 legt 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). Ein weiterer beeinflussender Faktor ist die Färbung der Platten. In dieser Studie wurde weißes Polyethylen verwendet. Dies könnte vor allem phototaktische Arten beeinflussen, welche entweder die Platte meiden oder vermehrt besiedeln (Forbes et al. 1971; Ryland 1974). Denkbar wäre die Verwendung schwarzer Platten gewesen (Barnes & Kukliński 2005; Bowden 2005). Jedoch hätten dafür dem Polyethylen Farbstoffe beigegeben werden müssen. Durch Diffusion hätten diese die

Gemeinschaft beeinflussen können. Um dennoch einen Einfluss der verwendeten Platten auszuschließen zu können, wurden unmittelbar angrenzend an das Versuchsfeld Vergleichsflächen an der Felswand von Bewuchs befreit und in separaten Studien untersucht (teilweise noch unveröffentlicht) (Schwalfenberg 2012). Es zeigen sich generell keine Unterschiede in der Besiedlung der befreiten Flächen und den Besiedlungsplatten (Schmiing 2005).

Bei der Installation wurde bewusst eine vertikale Ausrichtung der Platten gewählt. Zum einen konnte im Kongsfjorden eine höhere Diversität für vertikale Felsflächen im Vergleich zu horizontalen Flächen festgestellt werden (Jørgensen & Gulliksen 2001). Zum anderen sind horizontale Flächen stark durch Sedimentation beeinflusst und besitzen eher den Charakter eines Weichsubstrats (Jørgensen & Gulliksen 2001).

Die Installation der Platten erfolgte, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, über Adapter an der Felswand. Dies hat zum einen den Vorteil, dass die Bewuchsfläche (Vorderseite) einheitlich bleibt ohne von Schrauben oder ähnlichem gestört zu sein. Zum anderen wird durch den Abstand zum anstehenden Fels die Handhabung der Platten für den Taucher erleichtert und die Unebenheit des Felsreliefs ausgeglichen. Weiterhin ist nur ein Bohrloch pro Platte für die Installation nötig, was sich positiv auf die Tauchzeit auswirkt. Der durch die Installation bedingte Abstand hat jedoch zur Folge, dass die Bewuchsgemeinschaft beeinflusst werden könnte. Die Besiedlung durch Organismen mit rein benthischer Lebensweise und ohne pelagische Verarbeitungsformen kann eingeschränkt sein und dadurch die Kolonisten von Arten mit meroplanktischen Larven fördern. Weiterhin könnte die Erreichbarkeit für Prädatoren eingeschränkt sein und so die Bewuchsgemeinschaft der Platten anderen Bedingungen als der Umgebung aussetzen. Aus den Abundanzdaten geht jedoch hervor, dass Grazer (z.B. Polyplacophoren, Echinoideae) häufig anzufinden waren. Ein Vergleich der Jahre zeigt zusätzlich deren Mobilität. Vorsprünge, Balkone und Schüttungen sorgen dafür, dass die Platten zumeist immer eine Verbindung zum anliegenden Fels besitzen. Dies bedingt damit ebenfalls die Entstehung positionsabhängiger Effekte. Eine Betrachtung der Platten ergibt tatsächlich den Eindruck, dass es teilweise zu Monokulturen bestimmter sessiler Arten kommt. Die statistische Analyse zeigt jedoch keinen klar erkennbaren Zusammenhang zwischen Plattenposition und Gemeinschaft. Ein solcher Zusammenhang konnte auch bei der früheren Studie von Schmiing (2005)

trotz hoher Auflösung der Methode nicht bestätigt werden. Dies lässt vermuten, dass es keinen oder kaum einen Einfluss der Position gibt. Weitere Studien legen nahe, dass es zwar einen vertikalen Gradienten der Gemeinschaft gibt, jedoch keinen horizontalen (Jørgensen & Gulliksen 2001; Orchard 2010; Laudien & Orchard 2012; Ballantine 2013).

IV.2 Ergebnisdiskussion

IV.2.1 Sukzession und ihre Faktoren

Die Ergebnisse sagen aus, dass nur das Jahr der Probennahme und das der Installation (Jahrgang bzw. Kohorte) einen Einfluss auf die Gemeinschaft haben. Andere Studien in dieser Region haben jedoch auch einen Einfluss der Expositionszeit auf die Gemeinschaft zeigen können (Schmiing 2005; Beuchel et al. 2006; Kortsch 2010; Schwalfenberg 2012). Eine Erklärung für die davon abweichenden statistischen Ergebnisse dieser Studie ergibt sich aus der Methodendiskussion. Die hier verwendete Methode kann, bedingt durch ihre Auflösung, vor allem junge Gemeinschaften nicht genügend charakterisieren und durch statistische Methoden von älteren Gemeinschaften differenzieren. Ein fließender Übergang zwischen verschiedenen sukzessionsbedingten Gemeinschaften in Abhängigkeit von der Expositionszeit lässt sich daher nicht direkt erkennen. Eventuelle interannuelle Schwankungen können dies noch weiter überlagern. Ein Effekt der Expositionszeit lässt sich dennoch aus den Ergebnissen ableiten. Zum einen sind Artenzahl und Artenreichtum älterer Gemeinschaften (6 bis 11 Jahre) signifikant höher als junger Gemeinschaften (1 bis 2 Jahre). Zum anderen spiegelt sich dies ebenfalls in den multivariaten Analysen zur Abhängigkeit von der Periode wieder. Indirekt gibt diese das Alter wieder, da die verschiedenen Expositionszeiten ungleichmäßig auf den Faktor der Periode verteilt sind. So setzen sich die Probenjahre 2003 bis 2005 nur aus ein- bis dreijährigen Gemeinschaften zusammen, während die Jahre 2011 bis 2013 die Expositionszeiten von minimal vier bis hin zu maximal 11 Jahren beinhalten. 2006 bis 2009 deckt entsprechend Expositionszeiten von ein bis sieben Jahren ab und stellt damit die Gruppe mit der größten Streuung an Expositionszeiten dar. Demnach können die gefundenen deutlichen Unterschiede von 2004 zu 2008 und 2013, sowie 2005 und 2008 zu 2013 stark auf dem Einfluss der Exposition beruhen. Es können daher vier verschiedene Gemeinschaften beschrieben werden. Die Erste, bestehend aus ein und zweijährigen

Diskussion

Platten aus dem Jahr 2004, dominiert durch Polyplacophoren, Gastropoden und Decapoden. Die zweite Gemeinschaft bildet sich aus einer Übergangsgemeinschaft mit Platten des Jahres 2005 (Expositionszeiten von ein bis drei Jahren). Sie wird ebenfalls von Polyplacophoren und Decapoden dominiert, ist aber schon artenreicher. Die Gemeinschaft der Gruppe drei, bestehend aus ein- bis sechsjährigen Platten des Jahres 2008, wird durch Braunalgen, Bryozoen und Corallinaceae dominiert (zusammen fast 79%). Die letzte Gruppe umfasst Platten mit einer Expositionszeit von sechs bis elf Jahren, dominiert von Corallinaceae, Hydrozoa und Bryozoa (addiert mehr als 80%). Während die Gruppen eins und zwei jeweils wenig Ähnlichkeit besitzen und recht inhomogen scheinen (20% Ähnlichkeit) sind die Gruppen drei und vier je zu über 50% ähnlich. Das Ergebnis lässt sich in den Ordinationen der Daten mittels nmMDS ebenfalls erkennen. Auch die Daten zur Abundanz und Bedeckung zeigen Unterschiede für verschiedene Expositionsklassen.

Schmiing (2005) konnte in einer Studie deutliche Unterschiede zwischen Platten im Zeitraum von 2003 bis 2005 finden. Die Bewuchsgemeinschaft unterschied sich sowohl in Bezug auf die Exposition als auch auf die Periode, wobei auch ein Einfluss der Kohorten festgestellt werden konnte. Generell wird bei einem Vergleich deutlich, dass sehr viel mehr Arten von Schmiing (2005) bestimmt wurden. Während in dieser Studie nur 32 verschiedene taxonomische Einheiten gefunden wurden, konnte Schmiing 75 verschiedene verzeichnen, folglich ca. das 1,5-fache der Gesamtartenzahl. Dies erklärt sich durch die Unterschiede in den verwendeten Methoden. Während Schmiing (2005) ihre Daten quantitativ durch Beprobung der Platten erhielt, wurden in dieser Studie die Daten lediglich semiquantitativ aus Photographien abgeleitet. Bei anderen Vergleichen dieser beiden Methoden konnten Unterschiede um den Faktor 3 festgestellt werden mit Gesamtartenzahlen für die photographischen Methoden von 23 Taxa (Jørgensen & Gulliksen 2001; Beuchel & Gulliksen 2008). Dies betrifft vor allem Arten der Taxa Bryozoa, Hydrozoa, Corallinaceae, Maxillipoda, Polychaeta, Phaeophyceae sowie einzellige Algen. Eine genaue Erfassung dieser Arten ist allein durch die hier verwendete Methode nicht möglich. Damit ist eine Abweichung der Ergebnisse zwischen invasiven und nicht-invasiven Methoden nicht außergewöhnlich. Trotz geringerer Auflösungsfähigkeit der hier verwendeten Methode wird klar, dass die Sukzession der Gemeinschaft noch nicht abgeschlossen ist. Aus den Präsenz-/Absenzdaten wird deutlich, dass sich für

das Gebiet typische Arten auf den Platten noch nicht häufig angesiedelt haben. So wurde über den Gesamtzeitraum nur eine Ascidie gefunden, welche jedoch für diese Gegend typisch sind (Jørgensen & Gulliksen 2001; Hop et al. 2002; Laudien & Sahade 2012a). Ebenso konnte nur ein Individuum der *Bivalvia* erfasst werden. In direkter Umgebung der Platten konnten einige Individuen dieser Taxa beobachtet werden, was den schluss zulässt, dass die Versuchsfläche der Platten groß genug ist, und mehr Individuen dieser Taxa zu erwarten sind. Ein weiterer Grund für das geringe Aufkommen kann die Oberflächenbeschaffenheit der Besiedlungsplatten sein. So bevorzugen viele Organismen (speziell auch *Bivalvia*) die Ansiedlung in Vertiefungen der Oberfläche (Köhler et al. 1999). Jedoch konnten keine Individuen dieser Taxa auf den strukturdiversen Besiedlungsplatten angefundener werden. Jene Individuen, welche angetroffen wurden, befanden sich auf ebenen Besiedlungsplatten. Es besteht der Literatur nach also eine Siedlungspräferenz für bestimmte Substratstrukturen (Köhler et al. 1999), jedoch siedeln sie auch auf ebenen Flächen und sollten daher abundanter auf den Besiedlungsplatten vorhanden sein. Auch *Balaniden* sind hochabundante Arten dieser Gemeinschaft. So beschreibt Schmiing (2005) hohe Abundanzen von jungen Individuen auf den Platten mit deutlichen interannuellen Schwankungen. Diese fallen bei der hier verwendeten Methode zwar aus dem Raster, jedoch wäre zu erwarten, dass sie im Laufe der Jahre heranwachsen und in dieser Analyse erkennbar werden. In der näheren Umgebung kommen Individuen mit Größen bis zu einigen Zentimetern vor, was deutlich auf Photographien erkennbar wäre. Erst auf mehrjährigen Platten tauchen sichtbare Individuen auf, jedoch nicht in hoher Anzahl. Bei dem Versuch diese Individuen über die Jahre zu verfolgen fällt auf, dass ein Großteil im Folgejahr nicht mehr anzutreffen ist. Dies lässt auf eine hohe Mortalität schließen, die eventuell durch Prädation oder abiotische Umwelteinflüsse verursacht wird. Deutliche Fraßspuren von Grazern lassen sich auf vielen Platten erkennen (Abb. 19). So können auf mehrjährigen Platten große Teile des Aufwuchses abgeweidet sein. Dies lässt vermuten, dass ein hoher Fraßdruck durch Räuber auf die sessile Gemeinschaft wirkt. Abgeweidete Flächen weisen Charakteristika jüngerer Gemeinschaften auf und bildeten so ein Mosaik an Gemeinschaften auf manchen Platten (Abb. 19). Es wurden zeitweise 30 Ind. m⁻² Echinoidea (2007, 2013) und 60 bis 90 Ind. m⁻² Polyplacophora (2011, 2012, 2013) gezählt. Dies geht mit einem erhöhten Aufkommen an Braunalgen (circa 50% Bedeckung) in den Jahren 2007 und 2013 einher. Dieses zeigt sich ebenfalls in

Diskussion

einer Studie von Kortsch (2010). 2008 wurde für den Smeerenburgfjord im Nordwesten Spitzbergens ein starker Anstieg an Bedeckung durch Braunalgen verzeichnet (von 1% Bedeckung 1980, zu 50% Bedeckung in 2008). Statistische Tests ergaben dort einen Zusammenhang mit Temperatur und Seeisbedeckung des Fjords. Ähnliches lässt sich folglich auch für den Kongsfjord annehmen. Störungen in Form von Eisbergen können als beeinflussender Faktor für diese Studie ausgeschlossen werden, da ansonsten die kompletten Besiedlungsplatten Schaden genommen hätten. Weitere Gründe für die unterschiedliche Besiedlung der Platten mögen das Aufkommen von Sporen und Larven sein. Je nach Zustand der Gemeinschaften in Folge von Störungen zieht dies eine Sekundärbesiedlung der auf den Besiedlungsplatten gestörten Bereiche nach sich. Abhängig von inter- und intraannuellen Schwankungen können sich so verschiedenen Gemeinschaften auch auf Besiedlungsplatten derselben Expositionszeit und Kohorte ausbilden (Vaz-Pinto et al. 2014).

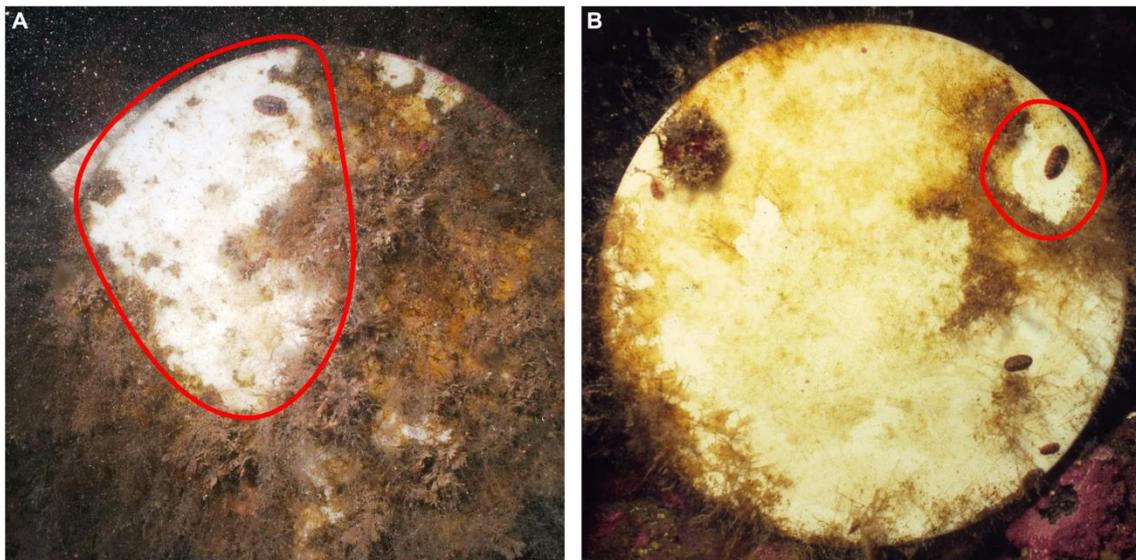


Abb. 19: (A) Photographische Aufnahmen der Platte 26 aus dem Jahr 2013 (elf Jahre Exposition) und (B) der Platte 19 aus dem Jahr 2008 (sechs Jahre Exposition). Rot umrandet sind Fraßspuren durch Grazer (*Tonicella* sp.).

Die postulierte Sukzessionsdauer zum Erreichen der natürlichen Gemeinschaftsstruktur von 13 Jahren (Beuchel & Gulliksen 2008) überschreitet den Beobachtungszeitraum dieser Studie um 2 Jahre. Dies deckt sich mit der Tatsache, dass selbst auf den ältesten Platten keine Klimaxgesellschaft zu finden war. Dass diese selbst bei einer 24 jährigen Untersuchung (Beuchel & Gulliksen 2008) nicht zu bestätigen war, kann widrigen Umweltbedingungen geschuldet sein. Konkurrenz

kann unter diesen Bedingungen ein weniger wichtiger Faktor für die Gemeinschaft sein und nur das Individuum betreffen. Durch regelmäßige Störungen kann sich kein Equilibrium, zum Beispiel in Form einer Klimaxgesellschaft, einstellen. Stattdessen bleibt die Gemeinschaft in einem Zustand konstanter Sukzession (Intermediäre Störungs-Hypothese (Connell 1978)) (Barnes & Kukliński 2003). Gemeinschaften reagieren unter diesen Voraussetzungen besonders sensibel auf Umweltbedingungen (z.B. Klimawandel) und die dadurch modifizierten Störungen (Barnes & Kukliński 2003). Dies ergänzt sich mit den Studien von Beuchel und Gulliksen (2008) und Kortsch (2010), welche verschiedene Gemeinschaftsgruppen in Abhängigkeit von Umweltparametern beschrieben. Diese Störungen müssen nicht stärker oder häufiger auf die Gemeinschaften der Besiedlungsplatten als auf natürliche Flächen wirken, aber eventuell haben sie auf die jungen Gemeinschaften der Besiedlungsplatten einen stärkeren Einfluss. Weiterhin wäre es auch möglich, dass ein solches Mosaik auf den natürlichen Felsflächen schwerer zu beobachten ist und durch ein gegenseitiges Überwachsen von Organismen weniger auffällt, beziehungsweise natürliche Flächen von verbleibenden Resten der Klimaxgesellschaft wiederbesiedelt werden können (Sekundär-Sukzession).

Beim Vergleich der hier gefundenen Ergebnisse mit denen von Schwalfenberg (2012) lassen sich Parallelen erkennen. In den von Schwalfenberg mittels Bildanalysen untersuchten Vergleichsflächen zu den hier verwendeten Platten lassen sich ähnliche Gemeinschaftsgruppen erkennen wie in dieser Studie. Eine ANOSIM ergibt auch hier deutliche Unterschiede zwischen ein- und dreijährigen zu sechs- und siebenjährigen Platten. Dies bekräftigt die in dieser Studie vorgefundenen Gesellschaftsgruppen. Die Analyse der natürlichen Felsoberfläche zeigt aber vor allem eine Dominanz von Corallinaceae, welche auf den Besiedlungsplatten zwar abundant, aber nicht immer die primären Indikatorarten waren.

Auch die Analysen der Kohorten werden in dieser Studie durch eine ungleiche Anzahl der Expositionsklassen überlagert. Während manche Kohorten über einen großen Zeitraum (11 Jahre) reichen, decken manche nur 3 Jahre ab. Dennoch konnte hier für die Bedeckung ein Effekt festgestellt werden. Ein Effekt der Kohorten auf die Gesellschaft lässt sich auf unterschiedliche äußere Einflüsse auf die Gemeinschaften im Verlauf ihrer Sukzession zurückführen. Diese Störungen könnten entweder einen Einfluss auf die Kolonisten darstellen (fördernd/hemmend) oder sich

als Förderung beziehungsweise Hemmung bereits angesiedelter Organismen darstellen. Ein multivariater Vergleich mit Umweltdaten könnte hier Aufschluss geben.

Generell lässt sich die Gemeinschaft des Kongsfjorden in Bezug auf die Sukzession mit dem Toleranz-Modell beschreiben (Connell & Slatyer 1977). Individuen aller Taxa konnten auf fast allen Platten angefundener werden. Lediglich Abundanz und Bedeckung erhöhten sich mit zunehmender Exposition. Manche der Taxa tauchen erst nach bestimmter Expositionszeit auf, jedoch ohne die ersten Kolonisten zu verdrängen. Dies sind zum Beispiel Ascidien, Bivalvia und Porifera. Weiterhin ist anzunehmen, dass Larven und Sporen dieser Taxa schon früher siedeln, ohne dass diese hier detektierbar gewesen sind. Auch scheinen Erstbesiedler spätere Organismen nicht zu hemmen, da die mittlere Abundanz keiner dieser Arten merklich abgenommen hat. Der Effekt von Störungen auf die Siedler scheint stärker ins Gewicht zu fallen, was durch Ergebnisse anderer Studien untermauert wird (Beuchel et al. 2006; Kortsch 2010).

Ein Vergleich mit unabhängigen Langzeitstudien der arktischen Benthosgemeinschaft (Beuchel et al. 2006; Beuchel & Gulliksen 2008; Kortsch 2010) zeigt, dass sich hier ebenfalls keine Endpunkte der Sukzession in Form von Klimaxgesellschaften finden ließen. Begründet wurde dies durch den Einfluss von lokalen und externen Umweltparametern sowie durch die generell häufige Störung küstennaher benthischer Gemeinschaften (Beuchel et al. 2006). Dennoch postulierten sie anhand der gesammelten Daten eine Sukzessionsdauer von 13 Jahren. In den genannten Studien wurden vertikale Felsstrukturen im Kongsfjorden bzw. Smeerenburgfjord (Nord-West-Spitzbergen) von Bewuchs befreit und photographisch dokumentiert. Die multivariaten Analysen gaben ähnliche Ergebnisse in Bezug auf die Artendominanz wieder, mit Corallinaceae als dominierende Art. Vergleichsweise konnten höhere Bedeckungsgrade im Kongsfjorden (63%) als im Smeerenburgfjord (51%) vorgefunden werden. Beide Studien konnten einen Zusammenhang der Expositionszeit mit der Gemeinschaft zeigen, ohne dass die Versuchsflächen in den 24 Jahren (bzw. 28 Jahren) Versuchszeitraum den Zustand einer Klimaxgesellschaft erreicht hätten. Jedoch konnte die Gemeinschaft in Korrelation mit Umgebungsparametern (biotisch/abiotisch) in Gruppen geteilt werden. Die festgestellten Gruppen sind von

1980 bis 1994, 1996 bis 2002, 2004 bis 2006 und 2008. Dies steht im Einklang mit den in dieser Studie ermittelten Gemeinschaftsänderungen (<2004, 2004 bis 2008 und >2008) und bekräftigt damit die Interpretation der Ergebnisse.

IV.2.2 Strukturdiversität des Substrats

In dieser Studie konnten keine statistischen Unterschiede zwischen Platten hoher und geringer Strukturdiversität festgestellt werden. Dies steht im Einklang mit einer Untersuchung von Bourget et al. (1994). In St. Andrews, New Brunswick (Kanada), wurden PVC-Platten verschiedener Strukturdiversität in Bezug auf ihre Bewuchsgesellschaft untersucht, ohne dass ein starker Einfluss auf die Charakteristika (Diversität und Abundanz) der dortigen sessilen Gemeinschaft festzustellen war. Lediglich eine Beeinflussung der kleinskaligen Verteilung der Arten in den Anfangsstadien der Besiedlung konnte beobachtet werden (Bourget et al. 1994). Dieses Verhalten konnte ebenso für manche Organismen (speziell Balaniden) in der Ostsee beobachtet werden. Demnach präferieren Bivalvia (z.B. *Mytilus* sp.), Polychaeten (z.B. *Polydora dliata*), Hydrozoen und Balaniden (*Balanus improvisus*) die Ansiedlung in Vertiefungen des Substrates (Köhler et al. 1999). Beobachtungen während der Bildanalyse dieser Studie stehen damit im Einklang. Flächen zwischen Rillen waren weniger dicht bis gar nicht bewachsen, während die Rillen von Balaniden (persönliche Mitteilung von R. Sahade) besiedelt waren. Schmiing (2005) berichtet über einen ähnlichen Effekt. Bryozoen siedelten vornehmlich am Randbereich der Platten. Alles in allem kann ein Einfluss nicht ausgeschlossen werden. Jedoch ist bei der gegebenen Methode die Auflösung zu gering, um die betreffenden Organismen zu bestimmen, welche in den Rillen siedeln. Auch ist die Replikatzahl der strukturdiversen Platten im Gegensatz zu den unbehandelten Platten geringer, was eine zuverlässige Aussage einschränkt.

IV.2.3 Sukzessionsdauer

Der Zustand der umgebenen Gemeinschaft wurde in Bezug auf Diversität und Artenzahl nach einer Dekade noch nicht erreicht. Auch andere Studien konnten dies feststellen (Beuchel & Gulliksen 2008; Kortsch 2010). Die in der Literatur vermutete Dauer von 13 Jahren für die Sukzession erscheint aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und nach eigener Einschätzung sehr wahrscheinlich. Über die sehr frühe Besiedlung und deren Dauer lässt sich hier keine Aussage treffen, jedoch konnte in anderen Studien eine langsame Entwicklung festgestellt werden (Barnes & Kukliński

Diskussion

2005). Barnes und Kukliński (2005) fanden in ihrer Studie, dass sich die Gemeinschaft dreiwöchiger Platten nicht von denen einjähriger unterscheidet. Sie postulierten, dass polare Gemeinschaften des Flachwasserbereichs (<15 m Wassertiefe) häufigen Störungen ausgesetzt sind und sich von daher konstant in einem intermediären Zustand der Sukzession befinden (Connell 1978; Kukliński & Barnes 2008). Studien der Kolonialisierung in anderen polaren Gewässern (Antarktis) ergaben eine um das Dreifache langsamere Ansiedlung im Vergleich zu temperierten Gebieten (Bowden 2005; Bowden et al. 2006). Das Wachstum von Bryozoen war zum Beispiel um das Fünf- bis Zehnfache geringer als bei Arten temperierter Regionen (Bowden et al. 2006). Dies deckt sich mit der „Thorson rule“ (Mileikovsky 1971), welche eine vergleichbar verlangsamte Entwicklungs- und Wachstumsgeschwindigkeit von Invertebraten in höheren Breitengraden voraussagt.

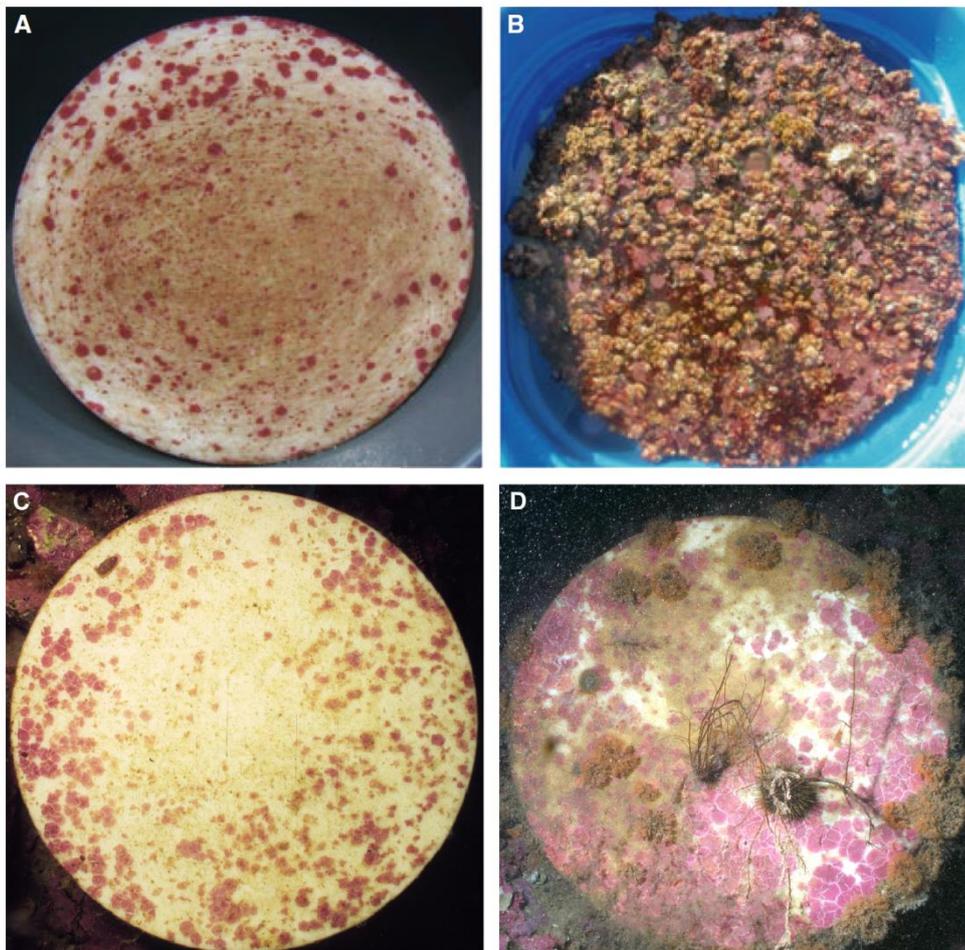


Abb. 20: Gegenüberstellung von Besiedlungsplatten (A & B) aus Antofagasta, Chile (Mejillones Halbinsel; 23°28'S, 70°37'W) (Pacheco et al. 2011) und Besiedlungsplatten (C & D) aus Svalbard, Norwegen (Kongsfjorden; 78°58,37'N, 11°29,35'O). (A) Besiedlungsplatte nach 0,5 Jahren Exposition, kleine Kolonien an Corallinaceae. (B) Besiedlungsplatte nach 1,25 Jahre Exposition, hohe Bedeckung durch Balaniden. (C) Besiedlungsplatte aus dem Jahr 2008 mit 6 Jahren Exposition, geringe Bedeckung durch Corallinaceae. (D) Besiedlungsplatten aus dem Jahr 2013 mit 7 Jahre Exposition, 53%iger Bedeckung an Corallinaceae und 14% Bedeckung durch Bryozoa.

An der chilenischen Küste wurden Versuche mit identischen Besiedlungsplatten durchgeführt und analysiert (Pacheco et al. 2009, 2011). Die Sukzession in dieser Gegend wird von ähnlichen Organismen dominiert (Balanidae, Corallinaceae), verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller. Ein Vergleich der Besiedlungsplatten aus dem Kongsfjorden mit denen der chilenischen Küste zeigt große Unterschiede was den zeitlichen Ablauf der Sukzession betrifft (Abb. 20). Corallinaceen dominierte Platten benötigen im Kongsfjorden teilweise etwa das Zehnfache der Zeit, um einen vergleichbaren Bedeckungsgrad zu erreichen. So erreicht eine chilenische Bewuchsgesellschaft nach circa einem halben Jahr eine vergleichbare Bedeckung zu einer 2002 installierten und sechs Jahre exponierten Platte des Kongsfjorden. Nach einviertel Jahren Exposition erreicht eine chilenische Besiedlungsplatte eine starke Besiedlung durch Balaniden und anderen sessilen Invertebraten. Eine ähnliche Bedeckung und Diversität konnte jedoch auch nach mehrjähriger Exposition nicht auf den in dieser Studie untersuchten Besiedlungsplatten beobachtet werden. Die Struktur und der Aufbau der Bewuchsgemeinschaft im nördlichen Chile scheinen generell der des Kongsfjorden ähnlich zu sein. Unterschiede in der Sukzessiondauer erklären sich daher vermutlich eher aus vorherrschenden Umwelteinflüssen auf die Gemeinschaft. Primär wird hier die Temperatur zu nennen sein, welche, wie oben bereits erwähnt, einen starken Einfluss auf die Gemeinschaftsstruktur hat (Beuchel et al. 2006). Die Sukzession der Gemeinschaft der chilenischen Küste ist vergleichbar zu der in temperierten Gewässern und kann zwischen zwei und acht Jahre andauern (Pacheco et al. 2009). Sie verläuft nach dem Toleranz-Modell (Connell & Slatyer 1977) und ist wie das gesamte dortige Ökosystem stark von Schwankungen der Südlichen Oszillation (ENSO) abhängig (Pacheco 2009; Pacheco et al. 2009, 2011). Ähnliches ergab sich auch für den Comaufjord im Süden Chiles. Auch hier soll das Toleranz-Modell (Connell & Slatyer 1977) am wahrscheinlichsten sein (Reichel 2012). Der Vergleich mit anderen Meeresgebieten zeigt ebenfalls eine verhältnismäßig langsame Sukzession zu Gemeinschaften der Arktis. In temperierten Gewässern dauert die Sukzession von Hartsubstrate in etwa fünf bis zehn Jahre (Newell et al. 1998). Beispielsweise dauert sie circa zwei bis acht Jahren in der Ostsee (Rosenberg 1967; Arntz & Rumohr 1982; Rumohr et al. 1996; Qvarfordt et al. 2006) und drei Jahren in der südliche Nordsee (de Groot 1979). Vor allem die Sukzession subtropischer und tropischer Gebiete ist weitaus schneller. So dauert die Sukzession an der kalifornischen Küste und der Westküste Australiens nur

etwa drei Jahre (Chalmer 1982; Vance 1988). Für die Azoren wird im Mittel ein Jahr erwartet, während Bewuchsgemeinschaften der kenyanischen Küste nach etwa 0,4 Jahren bis zu 1,2 Jahren in einem stabilen Gemeinschaftszustand sind (McClanahan 1997; Vaz-Pinto et al. 2014).

IV.3 Fazit

IV.3.1 Aussichten

Weitere Untersuchungen sind vonnöten, um alle Stadien der Sukzession untersuchen zu können. Ein intensiverer Vergleich mit dem Parallelversuch (Schwalfenberg 2012) könnte weiteren Aufschluss über die zeitlichen Abläufe bei der Reifung der arktischen Benthosgemeinschaft geben. Eine Auswertung der Vergleichsflächen sollte nach Möglichkeit ähnlich erfolgen, um mit dieser Studie kompatibel zu sein. Wenn das Endstadium der Sukzession bei den ersten beiden Kohorten erreicht ist, sollten Platten aller Kohorten beprobt werden. Auf diese Weise wäre es möglich detaillierte Daten von Endstadien der Sukzession und eventuell der Klimaxgesellschaft mit den Anfangsstadien der Sukzession zu vergleichen (Schmiing 2005; Schmiing et al. 2006a, 2006b).

Um das Erreichen der Klimaxgesellschaft feststellen zu können, sollten stichprobenartig Photographien der Klimaxgesellschaft auf der umliegenden Felswand analysiert und mit den Platten verglichen werden. Sobald keine signifikanten Unterschiede zwischen der umliegenden Gesellschaft und der Bewuchsgesellschaft auf den Platten (in Bezug auf Präsenz/ Absenz sowie ökologische Indizes) bestehen, sollte das Endstadium der Sukzession erreicht sein (Beuchel & Gulliksen 2008).

Zur Verbesserung der Methode ist es empfehlenswert auf eine hochwertige Kamera mit besserem Weitwinkel-Objektiv zu wechseln (siehe Laudien et al. 2014, Olympus OM-D im Nauticamgehäuse) oder mit der vorhandenen Kameraausrüstung Makroaufnahmen anzufertigen und hinterher mittels Bildbearbeitung zusammenzufügen.

Der Einfluss von Umweltparametern ist sehr wahrscheinlich und wurde schon als maßgebender Faktor für die Sukzession nachgewiesen, auch in der Arktis (Arntz & Rumohr 1982; Beuchel et al. 2006; Beuchel & Gulliksen 2008; Kortsch 2010; Pacheco et al. 2011). So konnte ein Effekt der Oberflächentemperatur, der

Temperatur und Salinität des West-Spitzbergen-Stroms, der Nordatlantischen Oszillation und der Seeisbedeckung auf die Gemeinschaftsentwicklung gezeigt werden (Beuchel et al. 2006; Beuchel & Gulliksen 2008; Kortsch 2010). Damit ist ein Vergleich dieses Versuchs mit Umweltparametern nötig.

Von Interesse wäre es ebenfalls das Wachstum einzelner Individuen und Kolonien über die verschiedenen Jahre zu beobachten. Dies bietet sich vor allem für Bryozoen und Krustenrotalgen an. So könnte nicht nur der Einfluss von verschiedenen Umweltparametern auf die Gemeinschaft, sondern auch auf Individuen einzelner Arten untersucht werden.

IV.3.2 Kurzfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Expositionszeit als Faktor der Sukzession nachgewiesen wurde und zudem das Proben- und Installationsjahr einen deutlichen Einfluss darauf haben. Die Sukzession der Gemeinschaft war zum Zeitpunkt der Studie trotz einer maximalen Expositionszeit von elf Jahren noch nicht abgeschlossen. Die in der Literatur postulierte Dauer von dreizehn Jahren für die Resilienz erscheint wahrscheinlich. Das Toleranz-Modell beschreibt die Sukzession der hier untersuchten Gemeinschaft am treffendsten. Balaniden und Bryozoen treten als frühe Siedler und Ascidien, Bivalvia und Porifera als späte Siedler auf. Ein großer Einfluss von abiotischen als auch biotischen Störungen wird vermutet. Es konnte kein statistischer Zusammenhang zwischen Strukturdiversität des Substrats und der Gemeinschaftsstruktur gefunden werden. Vergleiche mit anderen Studien zeigten, dass die Sukzession der hier untersuchten arktischen Gemeinschaft viel langsamer abläuft als in vergleichbaren temperierten Gebieten.

Diese Studie zeigt, dass noch immer sehr wenig über die Prozesse der Sukzession von arktischen Hartboden Lebensgemeinschaften bekannt ist. Es lässt sich jedoch sagen, dass die hier untersuchten Gemeinschaften stark auf äußere Einflüsse (abiotisch wie auch biotisch) reagieren und vor allem in frühen Stadien sehr empfindlich zu sein scheinen. Dadurch könnten anthropogene Störungen hier einen größeren Effekt auf die Gemeinschaften haben als in temperierten Gebieten. Im Kontext des Klimawandels sind die hier bestehenden Gemeinschaften bereits einem hohen Maß an Störung ausgesetzt. Der Einfluss noch weiterer Störung, die zum Beispiel durch Rohstoffabbau entstehen, ist nicht abschätzbar. Um die arktischen Benthosgemeinschaften weiterhin zu erhalten, sollten Naturschutzmaßnahmen

Diskussion

verstärkt werden und die Forschung zur nachhaltigen Nutzung dieser Gebiete gefördert werden.

V Danksagungen

Zuerst möchte ich Herrn Dr. Jürgen Laudien (AWI) dafür danken, dass er mir die Arbeit an diesem Thema ermöglicht hat und mich betreut hat sowie für die vielen Hilfestellungen während dieser Zeit.

In diesem Zuge möchte ich auch Herrn Professor Dr. Gerd Graf (Universität Rostock) für die Beratung im Vorfeld und dafür, dass ich die Arbeit in dieser Art und Weise durchführen konnte, bedanken.

Weiterhin danke ich Dr. Ricardo Sahade und Carla Ceato (Universität Cordoba) für die Hilfe bei der Bestimmung und die guten Ratschläge. Ebenso danke ich Frank Beuchel (Akvaplan Niva) für die Hilfe bei der Bestimmung nicht weniger „Härtefälle“.

Ich danke allen, die den Aufenthalt in Ny Ålesund zu einem schönen Erlebnis gemacht haben! Namentlich besonders Ralf Hoffmann, Max Schwanitz, Guillaume Combescure und Sébastien Barrault, für die gute Zusammenarbeit und die viele Unterstützung. Ebenso Philipp Fischer für die große Hilfe mit R und generellen Ratschläge. Markus Brand danke ich für die Hilfe bei der Bestimmung und bei R.

Den Kollegen der Sektion BPP und meinen Freunden aus Bremerhaven danke ich für das herzliche Willkommen und den schönen Aufenthalt während der gesamten Zeit. Ihr habt die teilweise stressige Zeit erträglich gemacht. Hier bei besonders Erik, Dominik und Svantje für die gute „Schreibtischnachbarschaft“.

Danke an meine Eltern für all die Unterstützung und dafür, dass ihr mir diesen Weg ermöglicht! Ein großer Dank geht auch an Christina, für die Stunden an Korrekturen sowie die viele Geduld und Motivation während der stressigen Phasen!

Vielen Dank!

Tusen takk!

Thank you very much!

VI Literaturverzeichnis

- Arntz, W. E., & Rumohr, H. (1982). An experimental study of macrobenthic colonization and succession, and the importance of seasonal variation in temperate latitudes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 64(386), 17–45. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022098182900661>
- Atalah, J., Otto, S. A., Anderson, M. J., Costello, M. J., Lenz, M., & Wahl, M. (2007). Temporal variance of disturbance did not affect diversity and structure of a marine fouling community in north-eastern New Zealand. *Marine Biology*, 153(2), 199–211. doi:10.1007/s00227-007-0798-6
- Ballantine, C. (2013). *Temporal and spatial variation in a high Arctic bedrock macrobenthic community in Hinlopen, Svalbard*. University of Tromsø. Retrieved from <http://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/5500/thesis.pdf?sequence=1>
- Barnes, D. K. A., & Kukliński, P. (2003). High polar spatial competition: extreme hierarchies at extreme latitude. *Marine Ecology. Progress Series*, 259, 17–28. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=15143451>
- Barnes, D. K. A., & Kukliński, P. (2005). Low colonisation on artificial substrata in arctic Spitsbergen. *Polar Biology*, 29(1), 65–69. doi:10.1007/s00300-005-0044-y
- Berlow, E. L. (1997). From canalization to contingency: historical effects in a successional rocky intertidal community. *Ecological Monographs*, 67(4), 435–460. doi:10.1890/0012-9615(1997)067[0435:FCTCHE]2.0.CO;2
- Berlow, E. L., & Navarrete, S. A. (1997). Spatial and temporal variation in rocky intertidal community organization: lessons from repeating field experiments. *Journal of Experimental Marine Biology and ...*, 214(1-2), 195–229. doi:10.1016/S0022-0981(97)00023-3
- Beuchel, F., & Gulliksen, B. (2008). Temporal patterns of benthic community development in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard): results of a 24-year manipulation study. *Polar Biology*, 31(8), 913–924. doi:10.1007/s00300-008-0429-9
- Beuchel, F., Gulliksen, B., & Carroll, M. L. (2006). Long-term patterns of rocky bottom macrobenthic community structure in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) in relation to climate variability (1980–2003). *Journal of Marine Systems*, 63(1-2), 35–48. doi:10.1016/j.jmarsys.2006.05.002
- Bick, H. (1998). *Grundzüge der Ökologie* (3. ed., p. 368). Stuttgart, Jena, Lübeck; Ulm: Wiley. doi:10.1002/mmnz.19990750109
- Bluhm, H. (2001). Re-establishment of an abyssal megabenthic community after experimental physical disturbance of the seafloor. *Deep Sea Research Part II*:

- Topical Studies in Oceanography*, 48(17-18), 3841–3868. doi:10.1016/S0967-0645(01)00070-4
- Bourget, E., DeGuise, J., & Daigle, G. (1994). Scales of substratum heterogeneity, structural complexity, and the early establishment of a marine epibenthic community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 181(1), 31–51. doi:10.1016/0022-0981(94)90102-3
- Bowden, D. A. (2005). Seasonality of recruitment in Antarctic sessile marine benthos. *Marine Ecology Progress Series*, 297, 101–118. doi:10.3354/meps297101
- Bowden, D. A., Clarke, A., Peck, L. S., & Barnes, D. K. A. (2006). Antarctic sessile marine benthos: colonisation and growth on artificial substrata over three years. *Marine Ecology Progress Series*, 316, 1–16. doi:10.3354/meps316001
- Bram, J. B., Page, H. M., & Dugan, J. E. (2005). Spatial and temporal variability in early successional patterns of an invertebrate assemblage at an offshore oil platform. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 317(2), 223–237. doi:10.1016/j.jembe.2004.12.003
- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2307/1942268>
- Breitburg, D. L. (1985). Development of a subtidal epibenthic community: factors affecting species composition and the mechanisms of succession. *Oecologia*, 65(2), 173–184. doi:10.1007/BF00379215
- Canning-Clode, J., Kaufmann, M., Molis, M., Wahl, M., & Lenz, M. (2008). Influence of disturbance and nutrient enrichment on early successional fouling communities in an oligotrophic marine system. *Marine Ecology*, 29(1), 115–124. doi:10.1111/j.1439-0485.2007.00210.x
- Chalmer, P. N. (1982). Settlement patterns of species in a marine fouling community and some mechanisms of succession. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 58, 73–85. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022098182900983>
- Chapman, M. G., & Underwood, A. J. (1999). Ecological patterns in multivariate assemblages: information and interpretation of negative values in ANOSIM tests. *Marine Ecology Progress Series*, 180(Clarke 1993), 247–265. Retrieved from <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v180/p257-265/>
- Cifuentes, M., Kamlah, C., Thiel, M., Lenz, M., & Wahl, M. (2007). Effects of temporal variability of disturbance on the succession in marine fouling communities in northern-central Chile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 352(2), 280–294. doi:10.1016/j.jembe.2007.08.004
- Cifuentes, M., Krueger, I., Dumont, C. P., Lenz, M., & Thiel, M. (2010). Does primary colonization or community structure determine the succession of fouling

- communities? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 395(1-2), 10–20. doi:10.1016/j.jembe.2010.08.019
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth: PRIMER-E.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302–1310.
- Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111(982), 1119–1144. doi:10.1086/283241
- Curtis, M. A. (1975). The marine benthos of Arctic and sub-Arctic continental shelves. *Polar Record*, 17(111), 595–626. doi:10.1017/S0032247400032691
- Dayton, P. K. (1990). Polar benthos. *Polar Oceanography*, 631–685.
- Dayton, P. K. (2003). The importance of the natural sciences to conservation. *The American Naturalist*, 162(1). doi:10.1086/376572
- Dayton, P. K., Mordida, B. J., & Bacon, F. (1994). Polar marine communities. *American Zoologist*, 99, 90–99. Retrieved from <http://icb.oxfordjournals.org/content/34/1/90.short>
- De Groot, S. J. (1979). An assessment of the potential environmental impact of large-scale sand-dredging for the building of artificial islands in the North Sea. *Ocean Management*, 5(3), 211–232. doi:10.1016/0302-184X(79)90002-7
- Dexter, S. C., & Keith, E. L. (1985). The study of biofilm formation under water by photoacoustic spectroscopy. *Journal of Colloid and Interface Science*, 104(1), 15–27. doi:10.1016/0021-9797(85)90005-0
- Díaz-Castañeda, V. (2000). The early establishment and development of a polychaete community settled on artificial substrata at Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 67(1), 321–335. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2000/00000067/00000001/art00029>
- Dowdeswell, J. A., & Forsberg, C. F. (1992). The size and frequency of icebergs and bergy bits derived from tidewater glaciers in Kongsfjorden, northwest Spitsbergen. *Polar Research*, 11(2), 81–91. doi:10.1111/j.1751-8369.1992.tb00414.x
- Fairfull, S. J. L., & Harriott, V. J. (1999). Succession, space and coral recruitment in a subtropical fouling community. *Marine and Freshwater Research*, 50(3), 235–242. doi:10.1071/MF97267

- Faith, D. P., Minchin, P. R., & Belbin, L. (1987). Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetatio*, 69, 57–68. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00038687>
- Field, J. G., Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 8(2), 37–52. Retrieved from <http://www.vliz.be/en/imis?refid=76696>
- Field, J. G., & McFarlane, G. (1968). Numerical methods in marine ecology. I. A quantitative similarity analysis of rocky shore samples in False Bay, South Africa. *Zoologica Africana*, 3(2), 119–137.
- Forbes, L., Seward, M. J. B., & Crisp, D. J. (1971). Orientation to light and the shading response in barnacles. *Fourth European Marine Biology Symposium*, Forbes, L., Seward, M. J. B., & Crisp, D. J. (1971).
- Garcia, C. B., & Moreno, I. (1998). Recruitment, growth, mortality and orientation patterns of *Balanus trigonus* (Crustacea: Cirripedia) during succession on fouling plates. *Scientia Marina*, 62(1-2), 59–64. doi:10.3989/scimar.1998.62n1-259
- Gray, J. S. (2000). The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250(1), 23–49. Retrieved from [http://elmu.umm.ac.id/file.php/1/jurnal/J-a/Journal of Experimental Marine Biology and Ecology/Vol250.Issue1-2.Jul2000/3477.pdf](http://elmu.umm.ac.id/file.php/1/jurnal/J-a/Journal%20of%20Experimental%20Marine%20Biology%20and%20Ecology/Vol250.Issue1-2.Jul2000/3477.pdf)
- Greene, C. H., & Schoener, A. (1982). Succession on marine hard substrata: a fixed lottery. *Oecologia*, 55(3), 289–297. doi:10.1007/BF00376914
- Gruttke, H., & Dröschmeister, R. (1998). Ökologische Langzeitforschung für Naturschutz: Überblick, Abgrenzung und Einführung. *Schriftenreihe Für Landschaftspflege Und Naturschutz*, 58, 7–20.
- Gulliksen, B., & Svensen, E. (2004). *Svalbard and Life in Polar Oceans* (p. 160). Kristiansund: KOM.
- Gutt, J. (2001). On the direct impact of ice on marine benthic communities, a review. *Polar Biology*, 24(8), 553–564. doi:10.1007/s003000100262
- Gutt, J., Starmans, a, & Dieckmann, G. (1996). Impact of iceberg scouring on polar benthic habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 137, 311–316. doi:10.3354/meps137311
- Hop, H., Pearson, T., Hegseth, E. N., Kovacs, K. M., Wiencke, C., Kwasniewski, S., ... Gerland, S. (2002). The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Research*, 21(1), 167–208. doi:10.1111/j.1751-8369.2002.tb00073.x
- ICES. (2009). *Report of the Working Group on the Biology and Assessment of Deep-Sea Fisheries Resources (WGDEEP)* (p. 511). Copenhagen. Retrieved from [http://www.ices.dk/sites/pub/CM Documents/CM-2009/ACOM/ACOM1409.pdf](http://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/CM-2009/ACOM/ACOM1409.pdf)

- Jørgensen, L. L., & Gulliksen, B. (2001). Rocky bottom fauna in arctic Kongsfjord (Svalbard) studied by means of suction sampling and photography. *Polar Biology*, 24, 113–121. doi:10.1007/s003000000182
- Kaufmann, H., & Pape, H.-C. (1984). Clusteranalyse. In *Fahrmeir, L., et al. (1996). Multivariate statistische Verfahren* (pp. 371– 472). Berlin; New York: Walter de Gruyter.
- Köhler, J., Hansen, P. D., & Wahl, M. (1999). Colonization Patterns at the Substratum-water Interface: How does Surface Microtopography Influence Recruitment Patterns of Sessile Organisms? *Biofouling*, 14(3), 237–248. doi:10.1080/08927019909378415
- Kortsch, S. (2010). *Long-term patterns (1980-2008) in the structure of a rocky-bottom macrobenthic community in Smeerenburgfjord, northwest Svalbard*. University of Tromsø. Retrieved from <http://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/2921/thesis.pdf?sequence=2>
- Kratochwil, A., & Schwabe, A. (2001). *Ökologie der Lebensgemeinschaften: Biozöologie* (1st ed., p. 756). Stuttgart: UTB.
- Krebs, C. J. (1978). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (p. 678). New York: Harper & Row.
- Kukliński, P., & Barnes, D. K. A. (2008). Structure of intertidal and subtidal assemblages in Arctic vs temperate boulder shores. *Polish Polar Research*, 29(3), 203–218. Retrieved from <http://water.iopan.gda.pl/projects/SIP/SIP-2008/Kuklinski & Barnes 2008.pdf>
- Lassen, H., Cross, D., & Christiansen, E. (2012). *One hundred years of catch statistics for the Northeast Atlantic* (p. 21). Kopenhagen. Retrieved from [http://prep.ices.dk/sites/pub/Publication Reports/Cooperative Research Report \(CRR\)/crr311/CRR 311 Final.pdf](http://prep.ices.dk/sites/pub/Publication Reports/Cooperative Research Report (CRR)/crr311/CRR 311 Final.pdf)
- Laudien, J. (2011a). Physical oceanography at time series station Brandal in the Kongsfjorden (Spitsbergen, Arctic) in 2008/2009. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.742768
- Laudien, J. (2011b). Physical oceanography at time series station Brandal in the Kongsfjorden (Spitsbergen, Arctic), 2009-09 to 2011-06. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.761660
- Laudien, J., & Hirche, H.-J. (2012). Physical oceanography of Kongsfjorden, Svalbard in 2012. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.789205
- Laudien, J., & Orchard, J.-B. (2012). The significance of depth and substratum incline for the structure of a hard bottom sublittoral community in glacial Kongsfjorden

- (Svalbard, Arctic)—an underwater imagery approach. *Polar Biology*, 35(7), 1057–1072. doi:10.1007/s00300-011-1153-4
- Laudien, J., & Sahade, R. (2012a). Photographs of benthic communities colonizing artificial substrate taken 2008 (Kongsfjorden, Svalbard). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.793210
- Laudien, J., & Sahade, R. (2012b). Photographs of benthic communities colonizing artificial substrate taken 2009 (Kongsfjorden, Svalbard). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.793211
- Laudien, J., & Sahade, R. (2012c). Photographs of benthic communities colonizing artificial substrate taken 2011-09-13 (Kongsfjorden, Svalbard). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.789217
- Laudien, J., & Sahade, R. (2012d). Photographs of benthic communities colonizing artificial substrate taken 2011-09-19 (Kongsfjorden, Svalbard). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.789218
- Laudien, J., Sahade, R., Hoffmann, R., & Schwanitz, M. (2013). Photographs of benthic communities colonizing artificial substrate taken 2012-09-04 (Kongsfjorden, Svalbard). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.818906
- Laudien, J., Sahade, R., Hoffmann, R., Schwanitz, M., & Streicher, M. D. (2013). Photographs of benthic communities colonizing artificial substrate taken 2013-08-26 (Kongsfjorden, Svalbard). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.818907
- Laudien, J., Sahade, R., & Schwanitz, M. (2014a). Water temperature at time series station Kongsfjordneset-1, Kongsfjorden, Arctic in 2012/2013. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.830141
- Laudien, J., Sahade, R., & Schwanitz, M. (2014b). Water temperature at time series station Kongsfjordneset-2, Kongsfjorden, Arctic in 2012/2013. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.830142
- Margalef, R., & García del Cid, F. (1957). *La teoría de la información en ecología* (p. 79). Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
- McClanahan, T. R. (1997). Primary succession of coral-reef algae: Differing patterns on fished versus unfished reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 218(1), 77–102. doi:10.1016/S0022-0981(97)00069-5

- Mileikovsky, S. A. (1971). Types of larval development in marine bottom invertebrates, their distribution and ecological significance: a re-evaluation. *Marine Biology*, 10(3), 193–213. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00352809>
- Minchin, P. R. (1987). An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. *Theory and Models in Vegetation Science*, 69(3), 89–107. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-4061-1_9
- Moen, F. E., & Svensen, E. (2004). *Marine fish & invertebrates of northern Europe* (p. 608). Kristiansund: KOM.
- Nandakumar, K. (1996). Importance of timing of panel exposure on the competitive outcome and succession of sessile organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 131(1-3), 191–203. doi:10.3354/meps131191
- Newell, R. C., Seiderer, L. J., & Hitchcock, D. R. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 36, 127–178. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=4TpzaKe8dl0C&oi=fnd&pg=PA127&dq=The+impact+of+dredging+works+in+coastal+waters:+a+review+of+the+sensitivity+to+disturbance+and+subsequent+recovery+of+biological+resources+on+the+sea+bed&ots=X3l-kP1NyR&sig=w6ew6UIGalpQ3m3aTHj3vD35pBw>
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science (New York, N.Y.)*, 164(3877), 262–70. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15833311>
- Odum, E. P. (1983). *Grundlagen der Ökologie* (p. 836). Stuttgart: Thieme.
- Orchard, J.-B. (2010). *Zonierung und Diversität makroepibenthischer Hartbodengemeinschaften im Kongsfjord (Spitzbergen, Svalbard)*. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. Retrieved from 10013/epic.36268
- Osman, R. W., & Whitlatch, R. B. (2004). The control of the development of a marine benthic community by predation on recruits. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 311(1), 117–145. doi:10.1016/j.jembe.2004.05.001
- Pacheco, A. S. (2009). *Community succession and seasonal onset of colonization in sublittoral hard and soft bottoms off northern Chile*. Universität Bremen.
- Pacheco, A. S., Laudien, J., Thiel, M., Heilmayer, O., & Oliva, M. (2009). 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., & 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
- Paine, R. (1984). Ecological determinism in the competition for space - the MacArthur, Robert, H. award lecture presented on 9 August 1983 Grand-Forks, North-Dakota. *Ecology*, 65(5), 1339–1348. Retrieved from http://www.esa.org/history/Awards/papers/Paine_RT_MA.pdf
- Paine, R. T., & Suchanek, T. H. (1983). Convergence of ecological processes between independently evolved competitive dominants: a tunicate-mussel comparison. *Evolution*, 37(4), 821–831. doi:10.2307/2407922
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity* (p. 165). New York: Wiley.
- Piepenburg, D., Chernova, N. V., Von Dorrien, C. F., Gutt, J., Neyelov, A. V., Rachor, E., ... Schmid, M. K. (1996). Megabenthic communities in the waters around Svalbard. *Polar Biology*, 16(6), 431–446. doi:10.1007/s003000050074
- Qvarfordt, S., Kautsky, H., & Malm, T. (2006). Development of fouling communities on vertical structures in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(4), 618–628. doi:10.1016/j.ecss.2006.01.004
- Reece, J. B., Campbell, N. A., Urry, Cain, Wassermann, Minorsky, & Jackson. (2009). *Biologie* (8. ed., p. 1984). Pearson Studium.
- Reichel, L. (2012). *Succession of benthic hard bottom communities in the shallow sublittoral of Comau Fjord, Chile*. Christian-Albrechts-Universität Kiel. Retrieved from 0013/epic.41587
- Rodriguez, S. R., Ojeda, F. P., & Inestrosa, N. C. (1993). Settlement of benthic marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series. Oldendorf*, 97, 193–207. doi:10.3354/meps097193
- Rosenberg, R. (1967). Benthic Faunal Dynamics during Succession Following Pollution Abatement in a Swedish Estuary. *Oikos*, 27, 414–427. Retrieved from <vhttp://www.jstor.org/stable/3543460>
- Rumohr, H., Bonsdorff, E., & Pearson, T. H. (1996). Zoobenthic succession in Baltic sedimentary habitats. *Archive of Fishery and Marine Research*, 44(3), 179–213. Retrieved from https://www.abo.fi/personal/en/media/16577/rumohretal1996_archfishmarres44.pdf
- Ryland, J. S. (1974). Behavior, settlement and metamorphosis of bryozoan larvae: areview. *Thalassia Jugosl*, 10, 239–262.
- Safecoast. (2008). *COASTAL FLOOD RISK AND TRENDS FOR THE FUTURE IN THE NORTH SEA REGION, synthesis report. repository.tudelft.nl* (p. 136). Den Haag. Retrieved from <http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:4e00e31a-fdda-45b2-82f5-dbb9c76e7fe3/safecoast.pdf>

- Sahade, R., Stellfeldt, A., Tatian, M., & Laudien, J. (2004). Macro-epibenthic communities and diversity of Arctic Kongsfjorden, Svalbard, in relation to depth and substrate. *Berichte Zur Polar- Und Meeresforschung*, 492, 103–111. Retrieved from <http://epic.awi.de/10100/1/Sah2004a.pdf>
- Schaefer, M. (2003). *Wörterbuch der Ökologie* (4. ed.). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schmiing, M. (2005). *Sukzession in benthischen Makrofauna-Gemeinschaften der Arktis - ein Jahresvergleich*. Universität Bremen. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1594/PANGAEA.351151>
- Schmiing, M., Laudien, J., & Sahade, R. (2006a). Early succession in benthic hard bottom communities in Kongsfjorden, Svalbard - abundance. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.351152
- Schmiing, M., Laudien, J., & Sahade, R. (2006b). Early succession in benthic hard bottom communities in Kongsfjorden, Svalbard - biomass. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.351151
- Schwalfenberg, K. (2012). *Sukzession von benthischen Hartbodengemeinschaften des Kongsfjorden (Spitzbergen, Arktis) über den Zeitraum der Jahre 2003 bis 2011*. Universität Oldenburg & AWI. Retrieved from <http://epic.awi.de/31168/>
- Sevilgen, D. (2013). Temperature and light measurements at time series station Brandal 10 (Kongsfjorden, Spitzbergen). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven. doi:10.1594/PANGAEA.818394
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1964). *The mathematical theory of communication* (p. 144). Combined Academic Publishers. Retrieved from <http://www.magmamater.cl/MatheComm.pdf>
- Stanwell-Smith, D., & Barnes, D. K. A. (1997). Benthic community development in Antarctica: recruitment and growth on settlement panels at Signy Island. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 212(1), 61–79. doi:10.1016/S0022-0981(96)02754-2
- Starmans, A., Gutt, J., & Arntz, W. E. (1999). Mega-epibenthic communities in Arctic and Antarctic shelf areas. *Marine Biology*, 135, 269–280. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s002270050624>
- Svendsen, H., Beszczynska-Møller, A., Hagen, J. O., Lefauconnier, B., Tverberg, V., Gerland, S., ... Ørbæk, J. B. (2002). The physical environment of Kongsfjorden–Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard. *Polar Research*, 21(1), 133–166. doi:10.1111/j.1751-8369.2002.tb00072.x
- Turner, S. J., & Todd, C. D. (1993). The early development of epifaunal assemblages on artificial substrata at two intertidal sites on an exposed rocky shore in St.

- Andrews Bay, NE Scotland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 166(2), 251–272. doi:10.1016/0022-0981(93)90223-B
- Underwood, A. J. (1996). *Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance* (p. 524). Cambridge: Cambridge University Press.
- Underwood, A. J., & Chapman, M. G. (2006). Early development of subtidal macrofaunal assemblages: relationships to period and timing of colonization. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 330(1), 221–233. doi:10.1016/j.jembe.2005.12.029
- Vance, R. R. (1988). Ecological succession and the climax community on a marine subtidal rock wall. *Marine Ecology Progress Series*, 48(2), 125–136.
- Vaz-Pinto, F., Torrontegi, O., Prestes, A. C. L., Alvaro, N. V., Neto, A. I., & 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
- Wahl, M. (1989). Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Marine Ecology Progress Series*, 58, 175–189. Retrieved from <http://eprints.uni-kiel.de/23173/1/m058p175.pdf>
- Watson, D. I., & Barnes, D. K. A. (2004). Temporal and spatial components of variability in benthic recruitment, a 5-year temperate example. *Marine Biology*, 145(1), 201–214. doi:10.1007/s00227-003-1291-5
- Witman, J. D., & Dayton, P. K. (2001). Rocky subtidal communities. *Marine Community Ecology*, 339–366.
- Włodarska-Kowalczyk, M., Wesławski, J. M., & Gromisz, S. (1996). A comparison of the macrofaunal community structure and diversity in two arctic glacial bays—a “cold” one off Franz Josef Land and a “warm” one off. *Oceanologia*, 38(2), 251–283. Retrieved from <http://www.vliz.be/imis/imis.php?module=ref&refid=77020>

VII Anhang

VII.1 Methods used with Adobe Photoshop CS6

by Michael D. Streicher (2014)

Pre-Analyses:

Crop Panels

1. **Select** Panel area with *Magnetic Lasso Tool (L)*, *Polygon Lasso Tool (L)*, *Elliptical Marquee Tool (M)* or similar
2. **Cut** (*Ctrl+X*) and **Paste** (*Shift+Ctrl+v*) selection **in a new Layer**
3. If part of the Panel is cut off:
 - a. Estimate area and **Select** it with *Elliptical Marquee Tool (M)*, *Magnetic Lasso Tool (L)*, *Polygon Lasso Tool (L)* e.g.
 - b. **Cut** (*Ctrl+X*) and **Paste** (*Shift+Ctrl+v*) selection **in Panel Layer**
 - c. If necessary extend **Canvas size**:
 - i. Image/**Canvas size** (*Alt+Ctrl+C*)
 - ii. **Select Panel layer**
 - iii. **Fill** (*Shift+F5*) selection with a colour of choice
[I chose white as Fill for N/A areas]
4. **Save as** *.psd file

Extract Panel area & Set Measure Scale

1. Menu/Window>**Histogram**
2. Choose **advanced view**
3. Choose **Source: Selected Layer**
4. **Select Panel Layer**
5. Take Number of **Pixels** from the Histogram Statistics and manually log them in a List
(**Note: Cache Level MUST be 1**)
6. Calculate conversion factor cf:

$$\#Pixel = \left(\frac{40\text{ cm}}{2}\right)^2 \cdot \pi \quad \text{or} \quad \#Pixel = \left(\frac{40\text{ cm}}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

$$\Leftrightarrow \frac{\#Pixel}{\pi \cdot 400\text{ cm}} = cf_{1\text{cm}} \left[Pixel/cm\right] \quad \Leftrightarrow \frac{2\sqrt{\#Pixel}}{\pi} = cf_{40\text{cm}} \left[Pixel/40\text{ cm}\right]$$
7. Image/Analyses/**Set Measure Scale>Custom**: Enter conversion factor
 - a. Scaled **Measurements** can now be **recorded** in PS (e.g. Image/Analyses>**Ruler Tool**)
 - b. Later on a **Scale Marker** can be **placed** (Image/Analyses>**Place Scale Marker...**)

Abundance:

Definition: Total number of Individuals (per Species e.g.) on Panel.

Count Individuals

Image/Analyses>*Count Tool (I)*

1. **Create** and name **new Count Group** [I chose one count group for each Species e.g.]
2. Select **Count Colour**, Marker size and Label size
3. **Mark** every Individual of a Count Group (Species e.g.) **by clicking** on it
4. Manually log **Number of Counts** in a List or extract from PS via Image/Analyses/**Record Measurements** (*Shift+Ctrl+M*) and export as *.txt

Repeat until all Species are processed

Coverage:

Definition: Area [Pixel or cm²] occupied by all Individuals of a Species (e.g.) when vertically viewing the Panel.

Select & Fill Area

Tools/Elliptical Marquee Tool (M); Lasso Tools (L); Magic Wand Tool (W); Quick Selection Tool (W)

1. **Select** all **Pixels** of Individuals of a Count Group with the Tools mentioned above
2. **Create** and name **new Layer** (*Shift+Ctrl+N*)
3. **Fill selection** (*Shift+F5*) with a colour of choice

Repeat until all Count Groups, obscured & N/A-Areas are processed

[I merged obscured & N/A-Areas in one Group and coloured them black]

Measure Coverage

1. Menu/Window>**Histogram**
2. Choose **advanced view**
3. Choose **Source: Selected Layer**
 - a. **Select** respective **Layer**
 - b. Take Number of **Pixels** from the Histogram Statistics and manually log them in a List (**Note: Cache Level MUST be 1**)
 - c. Calculate Coverage from Number of Pixels using the conversion factor from above
Repeat until all Layers are processed

Or

1. **Mark all Pixels in a Layer** with Tools/*Magic Wand Tool (W)*
2. Image/Analyses>**Record Measurements** (*Shift+Ctrl+M*)
Repeat until all Layers are processed
3. **Export as *.txt file from Measurement Log**

VII.2 R-Skript zur Analyse der Daten

```
# Analysis of abundance and coverage of species on Polyethylene groth panels in the Kongsfjord, Svalbard, Norway
# (Masterthesis, Summer 2014)
# by Michael D. Streicher (University of Rostock & Alfred Wegener Institute)
```

```
# PreAnalysis
## set Working directory
rm(list=ls())
setwd("D:/Documents/Masterrarbeit/3_1_Auswertung")
getwd()
dir()

## Packages & functions
if ("plyr" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("plyr") }
if ("ggplot2" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("ggplot2") }
if ("RColorBrewer" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("RColorBrewer") }
if ("vegan" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("vegan") }
if ("reshape2" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("reshape2") }
if ("gdata" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("gdata") }
if ("car" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("car") }
if ("agricolae" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("agricolae")}
if ("pgirmess" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE){ install.packages("pgirmess")}

library(plyr)
library(ggplot2)
library(RColorBrewer)
library(vegan)
library(reshape2)
library(gdata)
library(car)
library(agricolae)
library(pgirmess)

expand.dft <- function(x, na.strings = "NA", as.is = FALSE, dec = ".") {
  # Take each row in the source data frame table and replicate it
  # using the Freq value
  DF <- sapply(1:nrow(x),
               function(i) x[rep(i, each = x$Freq[i]), ],
               simplify = FALSE)
  # Take the above list and rbind it to create a single DF
  # Also subset the result to eliminate the Freq column
  DF <- subset(do.call("rbind", DF), select = -Freq)
  # Now apply type.convert to the character coerced factor columns
  # to facilitate data type selection for each column
  for (i in 1:ncol(DF)) {
    DF[[i]] <- type.convert(as.character(DF[[i]]),
                           na.strings = na.strings,
                           as.is = as.is, dec = dec)
  }
  DF
}

multiplot <- function(..., plotlist=NULL, file, cols=1, layout=NULL) {
  require(grid)
  # Make a list from the ... arguments and plotlist
  plots <- c(list(...), plotlist)
  numPlots = length(plots)
  # If layout is NULL, then use 'cols' to determine layout
  if (is.null(layout)) {
    # Make the panel
    # ncol: Number of columns of plots
    # nrow: Number of rows needed, calculated from # of cols
    layout <- matrix(seq(1, cols * ceiling(numPlots/cols)),
                    ncol = cols, nrow = ceiling(numPlots/cols))
  }
  if (numPlots==1) {
    print(plots[[1]])
  } else {
    # Set up the page
    grid.newpage()
    pushViewport(viewport(layout = grid.layout(nrow(layout), ncol(layout))))
    # Make each plot, in the correct location
    for (i in 1:numPlots) {
      # Get the i,j matrix positions of the regions that contain this subplot
      matchidx <- as.data.frame(which(layout == i, arr.ind = TRUE))
      print(plots[[i]], vp = viewport(layout.pos.row = matchidx$row, layout.pos.col = matchidx$col))
    }
  }
}
```

```
  }
}
}

resetPar <- function() {
  dev.new()
  op <- par(no.readonly = TRUE)
  dev.off()
  op
}

se <- function(x) { sqrt(var(x)/length(x)) }

## Load, Arrange and Sort Dataframe
###Load
dataframe = read.csv2("dataframe.csv", sep=";", dec = ".", header = TRUE, fill=TRUE)

###equalize labels
dataframe$sschicht[dataframe$sschicht == "#NV"] <- NA
dataframe[dataframe == "Na"] <- NA
dataframe$count[is.na(dataframe$count)] <- "0"
dataframe <- with(dataframe, dataframe[!(code=="Alge/Hydro"),])
dataframe <- drop.levels(dataframe)

###define rows types
dataframe$jahr <- as.numeric(dataframe$jahr)
dataframe$alter_d <- as.numeric(dataframe$alter_d)
dataframe$alter_a <- as.numeric(dataframe$alter_a)
dataframe$alter_rund <- as.numeric(dataframe$alter_rund)
dataframe$ges_flaeche <- as.numeric(dataframe$ges_flaeche)
dataframe$durchmesser_pixel <- as.numeric(dataframe$durchmesser_pixel)
dataframe$sschicht <- as.numeric(as.character(dataframe$sschicht))
dataframe$faktor_pixel.pro.cm <- as.numeric(dataframe$faktor_pixel.pro.cm)
dataframe$area <- as.numeric(dataframe$area)
dataframe$count <- as.numeric(dataframe$count)
dataframe$temp_mean <- as.numeric(dataframe$temp_mean)
dataframe$temp_max <- as.numeric(dataframe$temp_max)
dataframe$temp_min <- as.numeric(dataframe$temp_min)
dataframe$temp_sommer <- as.numeric(dataframe$temp_sommer)
dataframe$temp_winter <- as.numeric(dataframe$temp_winter)

dataframe$standort <- as.character(dataframe$standort)
dataframe$platte <- as.character(dataframe$platte)
dataframe$oberflaeche <- as.character(dataframe$oberflaeche)
dataframe$oberflaeche[dataframe$oberflaeche==""] <- "-"
dataframe$code <- as.character(dataframe$code)
dataframe$reich <- as.character(dataframe$reich)
dataframe$stamm <- as.character(dataframe$stamm)
dataframe$klasse <- as.character(dataframe$klasse)
dataframe$ordnung <- as.character(dataframe$ordnung)
dataframe$familie <- as.character(dataframe$familie)
dataframe$gattung <- as.character(dataframe$gattung)
dataframe$art <- as.character(dataframe$art)

dataframe$datum <- as.Date(dataframe$datum,1,10,format='%d.%m.%Y')
dataframe$ausgebracht <- as.Date(dataframe$ausgebracht,1,10,format='%d.%m.%Y')

##Global variables/settings
###Farbshemata und Abbildungen
.pardefault <- par()
th <- theme_bw(base_size = 15, base_family = "") # theme_light(base_size = 12, base_family = "")

s <- (with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code)), ]))
s <- within(s, klasse[klasse=="unbest."] <- stamm[klasse=="unbest."])
s <- within(s, ordnung[ordnung=="unbest."] <- klasse[ordnung=="unbest."])
s <- within(s, familie[familie=="unbest."] <- ordnung[familie=="unbest."])
s <- within(s, gattung[gattung=="unbest."] <- familie[gattung=="unbest."])
s$spec <- with(s, paste(gattung, art, sep=" "))
s$spec[s$spec == "#NV #NV"] <- NA
s$klasse=NULL
s$ordnung=NULL
s$familie=NULL
s$gattung=NULL
dataframe <- merge(dataframe, s, by = intersect(names(dataframe), names(s)), all.x=T)
rm(s)

###Percentage of coverage
```

Anhang

```
dataframe.per <- with(dataframe, data.frame(platte, ges_flaeche, area, code, schicht))
dataframe.per <- with(dataframe.per, data.frame(per[!(is.na(schicht)), ]))

i=1
for (i in 1:(nrow(dataframe.per))) {
  m <- dataframe.per[(dataframe.per[, "platte"] == dataframe.per[i, "platte"])&(dataframe.per[, "schicht"] >
dataframe.per[i, "schicht"]), ] #alle ANDEREN höheren Ebenen dieser Platte listen
  dataframe.per[i, "A_ges"] = dataframe.per[i, "ges_flaeche"] - sum(m$area) #die Summe der ANDEREN flächen der höheren
Ebenen dieser Platte von ges_flaeche abziehen
}

dataframe <- merge(dataframe.per, dataframe)
rm(i, m, dataframe.per)

dataframe$percent <- (dataframe$area / dataframe$ges_flaeche)*100
dataframe$A.per <- (dataframe$area / dataframe$A_ges)*100

###Pixel umrechnen
dataframe$area_qcm <- with(dataframe, (area)/(ges_flaeche/(pi*400))) #umrechnung der einzelfläche in qcm
dataframe$ges_flaeche_qcm <- pi*400 #nicht gewichtet
dataframe$A_qcm <- with(dataframe, (A_ges)/(ges_flaeche/(pi*400))) #gesamtläche Gewichtet auf die Schichtung

###Counts umrechnen
dataframe$count_qcm <- with(dataframe, (count)/(A_qcm)) #umrechnung der counts pro Platte in counts pro qcm

### [m²]
dataframe$count_qm <- dataframe$count_qcm * 10000
dataframe$A_qm <- dataframe$A_qcm / 10000
dataframe$area_qm <- dataframe$area_qcm / 10000
dataframe$ges_flaeche_qm <- dataframe$ges_flaeche_qcm / 10000

### Faktoren
faktor <- with(dataframe, data.frame(alter_rund, jahr, datum, ausgebracht, standort, oberflaeche, platte, code, area_qcm,
A.per, count, alter_d, A_ges, ges_flaeche, ges_flaeche_qcm))
faktor <- with(faktor, faktor[!(code == "NA" | is.na(code)), ])
faktor <- dply(faktor, .(platte, jahr, standort, alter_rund, datum, ausgebracht, oberflaeche), summarise, n_art=length(code))
faktor$ID <- with(faktor, paste(jahr, alter_rund, sep="_"))
write.csv2(faktor, file="faktor.csv")

#Analysis
##Histogramm and overview
###Anzahl der Photos in Abhängigkeit der Expositions
histo <- drop.levels(with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count == ""), ]))
histo1 <- dply(histo, .(platte, alter_rund), summarise, n = sum(count))
histo1 <- as.data.frame(table(histo1$alter_rund))

tiff("Rplot-histo1.tiff", pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
ggplot(data=histo1, aes(x=Var1, y=Freq), main("")) +
  geom_bar(colour="black", size=.3, stat="identity", position=position_dodge()) + # Thinner lines
  xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Anzahl der Platten") + # Set axis labels
  th + theme(axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold"))
dev.off()

histo2 <- dply(histo, .(alter_rund, jahr, standort), summarise, n = sum(count))
histo2 <- dply(histo2, .(alter_rund, jahr), summarise, n = length(standort))
histo2$jahr <- as.factor(histo2$jahr)

tiff("Rplot-histo2.tiff", pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
ggplot(data=histo2, aes(x=alter_rund, y=n)) +
  geom_bar(stat="identity", colour="black", size=.3) +
  #scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Greys"))(length(levels(as.factor(histo2$jahr))))),
name="Beprobungsjahr") +
  xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Anzahl der Platten") + # Set axis labels
  facet_wrap(~jahr, nrow=2) +
  th + theme(axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold"))
dev.off()

rm(histo, histo1, histo2)

platten <- with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count == "" | is.na(count)), ])
platten <- dply(platten, .(platte, standort, ausgebracht, datum, alter_rund), summarise, n=length(count))

###Praesenz/Absenz
prae <- drop.levels(with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count_qm == ""), ]))
prae <- drop.levels(with(prae, prae[(klasse != "Actinopterygii"), ]))
prae <- drop.levels(with(prae, prae[!(code == "Anunbest.unsp.=883"), ]))
```

Anhang

```
prae.1 <- ddply(prae, .(alter_rund, jahr, spec), summarise, n = length(count_qm))
prae.1$ID <- with(prae.1, paste(jahr, alter_rund, sep="_"))
ctable.prae <- as.data.frame.matrix(xtabs(n ~ ID + spec, data = prae.1))
cor <- ddply(ddply(prae, .(alter_rund, jahr, standort), summarise, n = sum(count_qm)), .(alter_rund, jahr), summarise, n =
length(standort) )
  cor$alter_rund <- as.factor(cor$alter_rund)
  cor <- cor[order(cor$jahr),]
  ctable.praecor <- sqrt((ctable.prae)/(cor$n))
write.csv2(ctable.praecor, file = "ctable.praecor.csv")

fit.praec <- hclust(vegdist(ctable.praecor, method="bray", binary = TRUE), method="average")
plot(fit.praec, , hang = -1, main="Clusteranalyse: mean Praesenz/ Absenz pro ID", xlab="Höhe", ylab="")
k=4
groups <- cutree(fit.praec, k=k)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(k, "Set1"))(k)
rect.hclust(fit.praec, k=k, border="red", cluster=groups)

(nmMDS.prae <- metaMDS((ctable.praecor), distance = "bray", k = 3, trymax = 100))

tiff("Rplot-MDS-prae1.tif", pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS.prae, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
box()
ordiellipse(nmMDS.prae, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
#title(main = "nmMDS: Unterschiede der Expositions Zeit im Bezug auf die Präsenz/Absenz")
points(nmMDS.prae, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9, "Blues"))(length(levels(cor$alter_rund)))[cor$alter_rund])
legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS.prae$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
legend("bottomright", title="Expositor", legend = c(levels(cor$alter_rund), NA, paste("Cluster", levels(as.factor(groups)),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9, "Blues"))(length(levels(cor$alter_rund))), NA, cols
))
dev.off()

prae.2 <- ddply(prae, .(platte, spec), summarise, n = length(spec))
ctable.prae.2 <- as.data.frame.matrix(xtabs(n ~ platte + spec, data = prae.2))
write.csv2(ctable.prae.2, file = "ctable.prae.2.csv")
fit.prae.2 <- hclust(vegdist(ctable.prae.2, method="bray", binary = TRUE), method="average")
plot(fit.prae.2, hang = -1, main="Clusteranalyse: Prasenz/ Absenz", xlab="Höhe", ylab="")
k=4
groups <- cutree(fit.prae.2, k=k)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(k, "Set1"))(k)
rect.hclust(fit.prae.2, k=k, border="red", cluster=groups)

(nmMDS.prae.2 <- metaMDS((ctable.prae.2), distance = "bray", k = 3, trymax = 100))

tiff("Rplot-MDS-prae2.tif", pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS.prae.2, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
box()
ordiellipse(nmMDS.prae.2, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
#title(main = "nmMDS: Unterschiede der Expositions Zeit im Bezug auf die Präsenz/Absenz")
points(nmMDS.prae.2, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9, "Blues"))(length(levels(cor$alter_rund)))[cor$alter_rund])
legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS.prae.2$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
legend("bottomright", title="Expositor", legend = c(levels(cor$alter_rund), NA, paste("Cluster", levels(as.factor(groups)),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9, "Blues"))(length(levels(cor$alter_rund))), NA, cols
))
dev.off()

prae.3 <- ddply(prae, .(alter_rund, jahr, spec), summarise, n = length(count_qm))
prae.3$ID <- with(prae.3, paste(jahr, alter_rund, sep="_"))
ctable.prae.3 <- with(prae.3, as.data.frame.matrix(table(ID, spec)))
dat <- data.frame(row.names(ctable.prae.3), substr(row.names(ctable.prae.3), start=6, stop=7))
colnames(dat) <- c("ID", "alter_rund")
dat$alter_rund <- factor(dat$alter_rund, levels=c(1:max(as.numeric(dat$alter_rund))))

write.csv2(ctable.prae.3, file = "ctable.prae.3.csv")

fit.prae.3 <- hclust(vegdist(ctable.prae.3, method="bray", binary = TRUE), method="average")
plot(fit.prae.3, hang = -1, main="Clusteranalyse: Präsenz/ Absenz pro ID", xlab="Höhe", ylab="")
k=3
groups <- cutree(fit.prae.3, k=k)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(k, "Set1"))(k)
rect.hclust(fit.prae.3, k=k, border="red", cluster=groups)

(nmMDS.prae.3 <- metaMDS((ctable.prae.3), distance = "bray", k = 3, trymax = 100))

tiff("Rplot-MDS-prae3.tif", pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
```

Anhang

```
plot(nmMDS.prae.3, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
box()
ordiellipse(nmMDS.prae.3, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
#title(main = "nmMDS: Unterschiede der Expositions Zeit im Bezug auf die Präsenz/Absenz")
points(nmMDS.prae.3, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund)))[dat$alter_rund])
legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS.prae.3$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
legend("bottomright", title="Expositon", legend = c(levels(dat$alter_rund), NA, paste("Cluster",levels(as.factor(groups))),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund))), NA, cols
))
dev.off()

rm(dat, k, cor, prae, groups, prae.1, prae.2, prae.3, ctable.prae, ctable.praecor, nmMDS.prae, fit.praec,
cols, nmMDS.prae.2, nmMDS.prae.3, ctable.prae.2, ctable.prae.3, fit.prae.2, fit.prae.3)

###Gesamt Abundanz/Bedeckung
ges <- drop.levels(with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count_qm == ""), ]))
ges <- within(ges, klasse[klasse=="unbest."] <- stamm[klasse=="unbest."])
ges <- within(ges, ordnung[ordnung=="unbest."] <- klasse[ordnung=="unbest."])
ges <- within(ges, familie[familie=="unbest."] <- ordnung[familie=="unbest."])
ges <- within(ges, gattung[gattung=="unbest."] <- familie[gattung=="unbest."])
ges$ID <- with(ges, paste(jahr,alter_rund, sep="_"))

gesT <- ddply(ges, .(alter_rund, ID, ausgebracht), summarise, c=mean(count_qm), a=mean(area_qcm), cse=se(count_qm),
ase=se(area_qcm))
(g<-ggplot(data=gesT, aes(x=factor(alter_rund), y=c, group=factor(ausgebracht), fill=factor(ausgebracht))) +
geom_bar(stat = "identity", width = 0.5, colour="black", size=.3) +
scale_color_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Spectral"))(length(levels(as.factor(gesT$ausgebracht))))) +
guides(fill=FALSE) +
geom_errorbar(aes(ymin = c - cse, ymax=c), stat = "identity", position = "identity", width=0) +
scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Mittlere Individuenzahl [1/m²]") +
facet_wrap(~ausgebracht, scales = "free_y") +
th + theme(axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold")))
tiff(filename = "Rplot-mitA-bar1.tif",pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
g
dev.off()

(g<-ggplot(data=gesT, aes(x=factor(alter_rund), y=a, group=factor(ausgebracht), fill=factor(ausgebracht))) +
geom_bar(stat = "identity", width = 0.5, colour="black", size=.3) +
scale_color_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Spectral"))(length(levels(as.factor(gesT$ausgebracht))))) +
guides(fill=FALSE) +
geom_errorbar(aes(ymin = a - ase, ymax=a), stat = "identity", position = "identity", width=0) +
scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Mittlere Bedeckung [cm²]") +
facet_wrap(~ausgebracht, scales = "free_y") +
th + theme(axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold")))
tiff(filename = "Rplot-mitB-bar1.tif",pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
g
dev.off()

rm(ges, gesT)

###Häufigkeiten
hauf <- drop.levels(with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count_qm == "" | count_qm == 0), ]))
hauf <- within(hauf, klasse[klasse=="unbest."] <- stamm[klasse=="unbest."])
hauf <- within(hauf, ordnung[ordnung=="unbest."] <- klasse[ordnung=="unbest."])
hauf <- within(hauf, familie[familie=="unbest."] <- ordnung[familie=="unbest."])
hauf <- within(hauf, gattung[gattung=="unbest."] <- familie[gattung=="unbest."])
hauf <- drop.levels(with(hauf, hauf[!(klasse == "Actinopterygii" | klasse == "Ascidiacea" | klasse == "Bivalvia"), ])) #je nur ein Individuum
hauf$ID <- with(hauf, paste(jahr,alter_rund, sep="_"))

(g<-ggplot(data=hauf, aes(x=as.factor(alter_rund), y=count_qm, fill=klasse)) +
geom_boxplot(stat = "boxplot", outlier.colour = "red", outlier.size = 3, width = 0.5) +
scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Spectral"))(length(levels(as.factor(hauf$klasse))))) +
name="Klassen") + guides(fill=FALSE) +
geom_jitter(position = position_jitter(width = .25, height = 0), col="grey", alpha=0.8) +
scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
facet_wrap(~klasse, scales= "free_y") +
xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Individuenzahl [1/m²]") +
th + theme(axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold")))

tiff(filename = "Rplot-hauf-box1.tif",pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
g
dev.off()
```

Anhang

```
(g<-ggplot(data=hauf, aes(x=as.factor(ID), y=count_qm, fill=klasse)) +
  geom_boxplot(stat = "boxplot", outlier.colour = "red", outlier.size = 3, width = 0.5) +
  scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Spectral"))(length(levels(as.factor(hauf$klasse))))),
name="Klassen") + guides(fill=FALSE) +
  geom_jitter(position = position_jitter(width = .25, height = 0), col="grey", alpha=0.8) +
  scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
  facet_grid(klasse~alter_rund, scales= "free") +
  xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Individuenzahl [1/m²]") +
  th + theme(axis.text.x = element_text(angle = 75, hjust = 1), strip.text.y = element_text(angle=0), axis.title.x =
element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold"))))

tiff(filename = "Rplot-hauf-box2.tif",pointsize = 10, width = 15, height = 12, units="in", res = 300)
g
dev.off()

###Bedeckung
deck <- drop.levels(with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count_qm == ""), ]))
deck <- within(deck, klasse[klasse=="unbest."] <- stamm[klasse=="unbest."])
deck <- within(deck, ordnung[ordnung=="unbest."] <- klasse[ordnung=="unbest."])
deck <- within(deck, familie[familie=="unbest."] <- ordnung[familie=="unbest."])
deck <- within(deck, gattung[gattung=="unbest."] <- familie[gattung=="unbest."])
deck <- drop.levels(with(deck, deck[!(klasse == "Actinopterygii" | klasse == "Ascidiacea" | klasse == "Bivalvia"), ])) #je nur ein
Individuum
deck$ID <- with(deck, paste(jahr,alter_rund, sep="_"))

(g<-ggplot(data=deck, aes(x=as.factor(alter_rund), y=area_qcm, fill=klasse)) +
  geom_boxplot(stat = "boxplot", outlier.colour = "red", outlier.size = 3, width = 0.5) +
  scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Spectral"))(length(levels(as.factor(deck$klasse))))),
name="Klassen") + guides(fill=FALSE) +
  geom_jitter(position = position_jitter(width = .25, height = 0), col="grey", alpha=0.8) +
  facet_wrap(~klasse, scales= "free_y") +
  scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
  xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Bedeckung [cm²]") +
  th + theme(axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold"))))

tiff(filename = "Rplot-deck-box1.tif",pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
g
dev.off()

(g<-ggplot(data=deck, aes(x=as.factor(ID), y=area_qcm, fill=klasse)) +
  geom_boxplot(stat = "boxplot", outlier.colour = "red", outlier.size = 3, width = 0.5) +
  scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Spectral"))(length(levels(as.factor(deck$klasse))))),
name="Klassen") + guides(fill=FALSE) +
  geom_jitter(position = position_jitter(width = .25, height = 0), col="grey", alpha=0.8) +
  scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
  facet_grid(klasse~alter_rund, scales= "free") +
  xlab("Expositionszeit [a]") + ylab("Bedeckung [cm²]") +
  th + theme(axis.text.x = element_text(angle = 75, hjust = 1), strip.text.y = element_text(angle=0), axis.title.x =
element_text(face="bold"), axis.title.y = element_text(face="bold"))))

tiff(filename = "Rplot-deck-box2.tif",pointsize = 10, width = 15, height = 12, units="in", res = 300)
g
dev.off()

rm(hauf)
rm(deck)

###Anzahl der Arten/Einheiten pro Taxa
NUM <- drop.levels(with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code)), ]))

NUM <- within(NUM, klasse[klasse=="unbest."] <- stamm[klasse=="unbest."])
NUM <- within(NUM, ordnung[ordnung=="unbest."] <- klasse[ordnung=="unbest."])
NUM <- within(NUM, familie[familie=="unbest."] <- ordnung[familie=="unbest."])
NUM <- within(NUM, gattung[gattung=="unbest."] <- familie[gattung=="unbest."])

NUM <- drop.levels(with(NUM, NUM[!(code == "" | is.na(code) | klasse == "#NV" | stamm == "#NV" | is.na(spec)), ]))

write.csv2(file="NUM_stamm.csv", (NUM_stamm <- drop.levels(ddply(with(NUM, NUM[!(stamm == "#NV"), ]), .(stamm),
summarise, n = sum(count))))
write.csv2(file="NUM_klasse.csv", (NUM_klasse <- drop.levels(ddply(with(NUM, NUM[!(klasse == "#NV"), ]), .(klasse),
summarise, n = sum(count))))
write.csv2(file="NUM_art.csv", (NUM_art <- drop.levels(ddply(with(NUM, NUM[!(code == "" | is.na(code)), ]), .(code),
summarise, n = sum(count))))
write.csv2(file="NUM_spec.csv", (NUM_spec <- drop.levels(ddply(NUM, .(spec), summarise, n = sum(count))))))

rm(NUM)
```

Anhang

```
###Anzahl der parallelen (gleiche Kohorte, in selben Jahr)
parallels <- with(dataframe, dataframe[!(code == "" | is.na(code) | count_qm == "" | is.na(count_qm)), ])
parallels <- ddpby(parallels, .(alter_rund,jahr, standort),summarise, n = sum(count_qm))
parallels <- ddply(parallels, .(alter_rund,jahr),summarise, n = length(standort) )
parallels$ID <- with(parallels,paste(jahr, alter_rund, sep="_"))
parallels <- rbind(parallels, c("sum", "platten", sum(parallels$n)), c("sum", "parallelen", nrow(parallels)))

write.csv2(parallels, file = "parallelen.csv")

##ecological indices
dataframe.ec <- dataframe
dataframe.ec <- with(dataframe.ec, dataframe.ec[!(code == "" | is.na(code) | count_qm == "" | is.na(count_qm) | count_qm ==
"0"), ])

### in Abhk.v.alter, jahr und platte
####Artenzahl
species <- ddpby(dataframe.ec, .(alter_rund,jahr, standort,code),summarise, n = sum(count_qm) )
S.2 = ddpby(species, .(alter_rund,jahr, standort), summarise, S = length(code))
species <- merge(species,S.2, by=c("alter_rund","jahr","standort"))

####Artenreichtum d
N.2 <- ddpby(species, .(alter_rund,jahr, standort),summarise, N = sum(n) )
species <- merge(species,N.2, by=c("alter_rund","jahr","standort"))
species$d <- with(species, ((S-1)/(log(N))))
species$d[species$d == "NaN"] <- 0

####Diversity H'
species$p <- with(species, n/N)
H.2 <- ddpby(species, .(alter_rund, jahr, standort), summarise, H=-sum(p*(log(p))) )
species <- merge(species,H.2, by=c("alter_rund","jahr","standort"))

####Aequitaet J'
species$J <- with(species, (H/(log(S))))
species$J[species$J == "NaN"] <- 0

####mean, stab
species$ID <- with(species,paste(jahr, alter_rund, sep="_"))
indices.aov <- ddpby(species, .(alter_rund, jahr, standort, ID), summarise, S=mean(S), d=mean(d), H=mean(H),
J=mean(J))

#Indices ANVOA/kruskal-Wallis
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$S, as.factor(indices.aov$ID)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.s <- kruskalmc(indices.aov$S,
indices.aov$ID))$dif.com[krus.s$dif.com$difference==TRUE,]}
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$d, as.factor(indices.aov$ID)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.d <- kruskalmc(indices.aov$d,
indices.aov$ID))$dif.com[krus.d$dif.com$difference==TRUE,]}
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$H, as.factor(indices.aov$ID)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.h <- kruskalmc(indices.aov$H,
indices.aov$ID))$dif.com[krus.h$dif.com$difference==TRUE,]}
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$J, as.factor(indices.aov$ID)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.j <- kruskalmc(indices.aov$J,
indices.aov$ID))$dif.com[krus.j$dif.com$difference==TRUE,]}

(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$S, as.factor(indices.aov$alter_rund)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.s <- kruskalmc(indices.aov$S,
indices.aov$alter_rund))$dif.com[krus.s$dif.com$difference==TRUE,]}
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$d, as.factor(indices.aov$alter_rund)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.d <- kruskalmc(indices.aov$d,
indices.aov$alter_rund))$dif.com[krus.d$dif.com$difference==TRUE,]}
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$H, as.factor(indices.aov$alter_rund)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.h <- kruskalmc(indices.aov$H,
indices.aov$alter_rund))$dif.com[krus.h$dif.com$difference==TRUE,]}
(krus.test <- kruskal.test(indices.aov$J, as.factor(indices.aov$alter_rund)))
if ((krus.test)$p.value < 0.05) {(krus.j <- kruskalmc(indices.aov$J,
indices.aov$alter_rund))$dif.com[krus.j$dif.com$difference==TRUE,]}

####plot indices

indices.box <- melt( (with(indices.aov, data.frame(ID, jahr, alter_rund, S, d, H, J))) , id.vars=c("ID", "jahr", "alter_rund"),
value.name = "Value", variable.name="Indices")
levels(indices.box$Indices) <- c("Artenzahl (S)",
"Margalef's Index (d)",
"Shannon-Wiener Diversität (H)",
"Pielou's Äquitäts Index (J)")
(ggplot(data=indices.box, aes(x=as.factor(ID), y=Value, fill=Indices)) +
```

Anhang

```
geom_boxplot(stat = "boxplot", outlier.colour = "red", outlier.size = 3, width = 0.5) +
scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Set1"))(length(levels(as.factor(indices.box$Indices)))),
name="Klassen") + guides(fill=FALSE) +
geom_jitter(position = position_jitter(width = .25, height = 0), col="grey", alpha=0.8) +
facet_grid(Indices~alter_rund, scales= "free") +
xlab("Expositions Zeit [a]") + #ylab("Ökologische Indizes") + #axis.title.y = element_text(face="bold")
th + theme(axis.text.x = element_text(angle = 75, hjust = 1), strip.text.y = element_text(angle=0), axis.title.x =
element_text(face="bold"), axis.title.y = element_blank())

tiff(filename = "Rplot-indices-box1.tif",pointsize = 10, width = 15, height = 12, units="in", res = 300)
g
dev.off()

(g<- ggplot(data=indices.box, aes(x=as.factor(alter_rund), y=Value, fill=Indices)) +
geom_boxplot(stat = "boxplot", outlier.colour = "red", outlier.size = 3, width = 0.5) +
scale_y_continuous(expand = c(0, 0)) + #scale_x_discrete(expand = c(0, 0)) +
scale_fill_manual(values=colorRampPalette(brewer.pal(9,"Set1"))(length(levels(as.factor(indices.box$Indices)))),
name="Klassen") + guides(fill=FALSE) +
geom_jitter(position = position_jitter(width = .25, height = 0), col="grey", alpha=0.8) +
facet_wrap(~Indices, scales= "free") +
xlab("Expositions Zeit [a]") + #ylab("Ökologische Indizes") + #axis.title.y = element_text(face="bold")
th + theme(strip.text.y = element_text(angle=0), axis.title.x = element_text(face="bold"), axis.title.y = element_blank()))

tiff(filename = "Rplot-indices-box2.tif",pointsize = 10, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
g
dev.off()

rm(H.2, N.2, S.2, p, g, indices.plot, indices.se, indices.box, indices.aov, dataframe.ec, krus.d, krus.h, krus.s, krus.j, krus.test)

##Contingency tables and dissimilarity indices
dataframe.1 <- with(dataframe, data.frame(platte, code, spec, klasse, area, A.per, count, count_qm, standort, oberflaeche,
jahr, ausgebracht, alter_rund, alter_d, area_qcm, area_qm))
dataframe.1 <- with(dataframe.1, data.frame.1[!(is.na(code)|code==""), ])
dataframe.1 <- drop.levels(with(dataframe.1, data.frame.1[(klasse != "Actinopterygii"), ]))
dataframe.1 <- drop.levels(with(dataframe.1, data.frame.1[(code == "Anunbest.unsp.=883"), ]))

###Contingency tables: ohne Polychaet, ohne Fische
dataframe.count_qm <- drop.levels(with(dataframe.1, data.frame.1[(count_qm==0), ]))
write.csv2(ddply(dataframe.count_qm, .(platte, standort, oberflaeche, alter_rund, jahr, ausgebracht), summarise,
n=length(code)), file = "dataframe.count_qm.csv")
write.csv2(ddply(dataframe.1, .(platte, standort, oberflaeche, alter_rund, jahr, ausgebracht), summarise, n=length(code)), file
= "dataframe.1.csv")
ctable.count_qm <- as.data.frame.matrix(xtabs(count_qm ~ platte + spec, data = dataframe.count_qm))
ctable.A.per <- as.data.frame.matrix(xtabs(A.per ~ platte + spec, data = dataframe.1))
ctable.area_qm <- as.data.frame.matrix(xtabs(area_qm ~ platte + spec, data = dataframe.1))

write.csv2(ctable.count_qm, file = "ctable_count_qm.csv")
write.csv2(ctable.area_qm, file = "ctable_area_qm.csv")
write.csv2(ctable.A.per, file = "ctable_A_per.csv")

#transformation
ctable.count_qm <- sqrt(ctable.count_qm[,1:ncol(ctable.count_qm)])
ctable.area_qm <- sqrt(ctable.area_qm[,1:ncol(ctable.area_qm)])
ctable.A.per <- sqrt(ctable.A.per[,1:ncol(ctable.A.per)])

#dissimilarities
dist.count_qm <- vegdist(ctable.count_qm, method="bray")
dist.area_qm <- vegdist(ctable.area_qm, method="bray")
dist.A.per <- vegdist(ctable.A.per, method="bray")

rm(dataframe.1, dataframe.count_qm)

## Cluster + MDS + ANOSIM + SIMPER + PerMANOVA(vegan)
#Abundanz: count pro qm
dat <- with(faktor, faktor[platte %in% row.names(ctable.count_qm),])
write.csv2(dat, file = "dat_count_qm.csv")
dat$alter_rund <- as.factor(dat$alter_rund)
plot((fit.count_qm<-hclust(dist.count_qm, method="average")), hang = -1, main="Clusteranalyse: Abundanz", xlab="Höhe",
ylab="")
klus=4
groups <- cutree(fit.count_qm, k=klus)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(klus, "Set1"))(klus)
rect.hclust(fit.count_qm, k=klus, border="red", cluster=groups)

(nmMDS.count_qm <- metaMDS(dist.count_qm, distance = "bray", k = 3, trymax = 50))
```

Anhang

```
tiff(filename = "Rplot-MDS-count.tif",pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS.count_qm, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
box()
ordiellipse(nmMDS.count_qm, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
#title(main = "nmMDS: Abundanz")
points(nmMDS.count_qm, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund)))[dat$alter_rund])
legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS.count_qm$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
legend("bottomright", title="Expositon" ,legend = c(levels(dat$alter_rund), NA, paste("Cluster",levels(as.factor(groups)),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund))), NA, cols
))
dev.off()

ano.count_qm_age <- anosim(dist.count_qm, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.count_qm_age)
ano.count_qm_ort <- anosim(dist.count_qm, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.count_qm_ort)
ano.count_qm_srf <- anosim(dist.count_qm, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.count_qm_srf)

(sim.count_qm_age <- simper(ctable.count_qm, dat$alter_rund))
summary(sim.count_qm_age)
(sim.count_qm_ort <- simper(ctable.count_qm, dat$standort))
summary(sim.count_qm_ort)
(sim.count_qm_srf <- simper(ctable.count_qm, dat$oberflaeche))
summary(sim.count_qm_srf)

#Bedeckung [m²]
dat <- with(faktor, faktor[platte %in% row.names(ctable.area_qm),])
write.csv2(dat, file = "dat_area_qm.csv")
dat$alter_rund <- as.factor(dat$alter_rund)
plot((fit.area_qm <- hclust(dist.area_qm, method="average")), hang = -1, main="Clusteranalyse: Bedeckung", xlab="Höhe",
ylab="")
klus=5
groups <- cutree(fit.area_qm, k=klus)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(klus,"Set1"))(klus)
rect.hclust(fit.area_qm, k=klus, border="red", cluster=groups)

(nmMDS_area_qm <- metaMDS(dist.area_qm, distance = "bray", k = 3, trymax = 50))

tiff(filename = "Rplot-MDS-area.tif",pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS_area_qm, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
box()
ordiellipse(nmMDS_area_qm, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
#title(main = "nmMDS: Bedeckung [m²]")
points(nmMDS_area_qm, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund)))[dat$alter_rund])
legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS_area_qm$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
legend("bottomright", title="Expositon" ,legend = c(levels(dat$alter_rund), NA, paste("Cluster",levels(as.factor(groups)),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund))), NA, cols
))
dev.off()

ano.area_qm_age <- anosim(dist.area_qm, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.area_qm_age)
ano.area_qm_ort <- anosim(dist.area_qm, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.area_qm_ort)
ano.area_qm_srf <- anosim(dist.area_qm, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.area_qm_srf)

(sim.area_qm_age <- simper(ctable.area_qm, dat$alter_rund))
summary(sim.area_qm_age)
(sim.area_qm_ort <- simper(ctable.area_qm, dat$standort))
summary(sim.area_qm_ort)
(sim.area_qm_srf <- simper(ctable.area_qm, dat$oberflaeche))
summary(sim.area_qm_srf)

#Bedeckung in Prozent proPlatte/Schicht
dat <- with(faktor, faktor[platte %in% row.names(ctable.A.per),])
write.csv2(dat, file = "dat_A.per.csv")
dat$alter_rund <- as.factor(dat$alter_rund)
plot((fit.A.per <- hclust(dist.A.per, method="average")), hang = -1, main="Clusteranalyse: Prozentuale Bedeckung",
xlab="Höhe", ylab="")
klus=5
groups <- cutree(fit.A.per, k=klus)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(klus,"Set1"))(klus)
```

Anhang

```
rect.hclust(fit.A.per, k=klus, border="red", cluster=groups)

(nmMDS_A.per <- metaMDS(dist.A.per, distance = "bray", k = 3, trymax = 50))

tiff(filename = "Rplot-MDS-A_per.tif", pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS_A.per, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
box()
#title(main = "nmMDS: prozentuale Bedeckung pro Platte")
ordiellipse(nmMDS_A.per, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
points(nmMDS_A.per, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund)))[dat$alter_rund])
legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS_A.per$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
legend("bottomright", title="Expositon", legend = c(levels(dat$alter_rund), NA, paste("Cluster",levels(as.factor(groups)),
sep=" "))), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund))), NA, cols
))
dev.off()

ano.A.per_age <- anosim(dist.A.per, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.A.per_age)
ano.A.per_ort <- anosim(dist.A.per, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.area_qm_ort)
ano.A.per_srf <- anosim(dist.A.per, dat$alter_rund, permutations = 999)
summary(ano.area_qm_srf)

(sim.A.per_age <- simper(ctable.A.per, dat$alter_rund))
summary(sim.A.per_age)
(sim.A.per_ort <- simper(ctable.A.per, dat$standort))
summary(sim.A.per_ort)
(sim.A.per_srf <- simper(ctable.A.per, dat$oberflaeche))
summary(sim.A.per_srf)

rm(cols, klus, groups, dat, sim.area_qm_age, sim.area_qm_srf, sim.area_qm_ort, sim.A.per_age, sim.A.per_ort,
sim.A.per_srf, sim.area_qm_ort, sim.area_qm_srf,
ano.A.per_age, ano.A.per_ort, ano.A.per_srf, ano.area_qm_srf, ano.area_qm_ort, ano.area_qm_age, ano.count_qm_age,
ano.count_qm_srf, ano.count_qm_ort)

###MDS with parallels
##Contingency tables and dissimilarity indices
dataframe.2 <- with(dataframe, data.frame(platte, code, spec, klasse, area, A.per, count, count_qm, standort, oberflaeche,
jahr, ausgebracht, alter_rund, alter_d, area_qcm, area_qm))
dataframe.2 <- with(dataframe.2, data.frame.2[!(is.na(code))|code=="", ])
dataframe.2 <- drop.levels(with(dataframe.2, data.frame.2[(klasse != "Actinopterygii"), ]))
dataframe.2 <- drop.levels(with(dataframe.2, data.frame.2[!(code == "Anunbest.unsp.=883"), ]))
dataframe.2$ID<- with(dataframe.2, paste(jahr, alter_rund, sep="_"))

###Contingency tables: ohne Polychaet, ohne Fische
dataframe.count.2 <- ddply((drop.levels(with(dataframe.2, data.frame.2[!(count_qm==0), ]))), .(ID, alter_rund, jahr,
spec),summarise, n = mean(count_qm))
dataframe.area.2 <- ddply(dataframe.2, .(ID, alter_rund, jahr, spec),summarise, n = mean(area_qm))
ctable.count.2 <- as.data.frame.matrix(xtabs(n ~ ID + spec, data = dataframe.count.2))
ctable.area.2 <- as.data.frame.matrix(xtabs(n ~ ID + spec, data = dataframe.area.2))

write.csv2(ctable.count.2, file = "ctable_count_2.csv")
write.csv2(ctable.area.2, file = "ctable_area_2.csv")

#transformation
ctable.count.2 <- sqrt(ctable.count.2[,!(1:ncol(ctable.count_qm))])
ctable.area.2 <- sqrt(ctable.area.2[,!(1:ncol(ctable.area_qm))])

#dissimilarities
dist.count.2 <- vegdist(ctable.count.2, method="bray")
dist.area.2 <- vegdist(ctable.area.2, method="bray")

rm(dataframe.2, dataframe.count.2, dataframe.area.2)

#Abundanz: count pro qm
dat <- data.frame(row.names(ctable.count.2), substr(row.names(ctable.count.2), start=6, stop=7))
colnames(dat) <- c("ID", "alter_rund")
dat$alter_rund <- factor(dat$alter_rund, levels=c(1:max(as.numeric(dat$alter_rund))))
write.csv2(dat, file = "dat_count_2.csv")
plot((fit.count_2<-hclust(dist.count.2, method="average")), hang = -1, main="Clusteranalyse: Abundanz pro ID", xlab="Höhe",
ylab="")
klus=3
groups <- cutree(fit.count_2, k=klus)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(klus,"Set1"))(klus)
rect.hclust(fit.count_2, k=klus, border="red", cluster=groups)
```

Anhang

```
(nmMDS.count_2 <- metaMDS(dist.count.2, distance = "bray", k = 3, trymax = 50))

tiff(filename = "Rplot-MDS-count2.tif",pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS.count_2, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
  box()
  ordiellipse(nmMDS.count_2, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
  #title(main = "nmMDS: Abundanz")
  points(nmMDS.count_2, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund)))[dat$alter_rund])
  legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS.count_2$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
  legend("bottomright", title="Expositon" ,legend = c(levels(dat$alter_rund), NA, paste("Cluster",levels(as.factor(groups)),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund))), NA, cols
))
  dev.off()

#Bedeckung [m²]
dat <- data.frame(row.names(ctable.area.2), substr(row.names(ctable.area.2), start=6, stop=7))
colnames(dat) <- c("ID", "alter_rund")
dat$alter_rund <- factor(dat$alter_rund, levels=c(1:max(as.numeric(dat$alter_rund))))
write.csv2(dat, file = "dat_area_2.csv")
plot((fit.area_2 <- hclust(dist.area.2, method="average")), hang = -1, main="Clusteranalyse: Bedeckung pro ID", xlab="Höhe",
ylab="")
klus=3
groups <- cutree(fit.area_2, k=klus)
cols <- colorRampPalette(brewer.pal(klus,"Set1"))(klus)
rect.hclust(fit.area_2, k=klus, border="red", cluster=groups)

(nmMDS_area_2 <- metaMDS(dist.area.2, distance = "bray", k = 3, trymax = 50))

tiff(filename = "Rplot-MDS-area2.tif",pointsize = 12, width = 10, height = 10, units="in", res = 300)
plot(nmMDS_area_2, type="n", axes = FALSE, xlab="", ylab="")
  box()
  ordiellipse(nmMDS_area_2, groups = groups, display = "sites", kind = "sd", conf = 0.95)
  #title(main = "nmMDS: Bedeckung [m²]")
  points(nmMDS_area_2, pch=21, cex= 3, lwd=3, col= cols[groups], bg=
colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund)))[dat$alter_rund])
  legend("topright", legend=c(paste("Stress =", round(nmMDS_area_2$stress,4))), cex=0.75, bty="n")
  legend("bottomright", title="Expositon" ,legend = c(levels(dat$alter_rund), NA, paste("Cluster",levels(as.factor(groups)),
sep=" ")), inset= 0.01, pch=19, cex= 1, col= c(colorRampPalette(brewer.pal(9,"Blues"))(length(levels(dat$alter_rund))), NA, cols
))
  dev.off()
```

VII.3 Datentabellen

VII.3.1 Besiedlungsplatten

Tabelle A 1 Tabelle über die verwendeten 218 Platten, mit zugehörigem Standort, Installationszeitpunkt, und gerundeter Expositionszeit [a] zum Zeitpunkt der Aufnahme.

	Photographie	Standort	Installationszeitpunkt	Aufnahmedatum	Expositionszeit gerundet [a]
1	01_2005	1	02.07.2002	05.08.2005	3
2	02_2005	2	02.07.2002	05.08.2005	3
3	03_2003	3	02.07.2002	03.06.2003	1
4	03_2004	3	02.07.2002	04.08.2004	2
5	04_2003	4	02.07.2002	03.06.2003	1
6	04_2004	4	02.07.2002	04.08.2004	2
7	04_2005	4	02.07.2002	05.08.2005	3
8	04_2006	4	05.08.2005	25.08.2006	1
9	04_2007	4	05.08.2005	03.09.2007	2
10	04_2008	4	05.08.2005	05.09.2008	3
11	04_2009	4	05.08.2005	01.09.2009	4
12	04_2011	4	05.08.2005	19.09.2011	6
13	04_2012	4	05.08.2005	04.09.2012	7
14	04_2013	4	05.08.2005	26.08.2013	8
15	05_2003	5	02.07.2002	03.06.2003	1
16	05_2004	5	02.07.2002	04.08.2004	2
17	05_2005	5	02.07.2002	05.08.2005	3
18	05_2006	5	02.07.2002	25.08.2006	4
19	05_2007	5	25.08.2006	03.09.2007	1
20	05_2008	5	03.09.2007	05.09.2008	1
21	05_2009	5	03.09.2007	01.09.2009	2
22	05_2012	5	03.09.2007	04.09.2012	5
23	05_2013	5	03.09.2007	26.08.2013	6
24	06_2004	6	03.06.2003	04.08.2004	1
25	06_2005	6	03.06.2003	05.08.2005	2
26	06_2006	6	05.08.2005	25.08.2006	1
27	06_2007	6	25.08.2006	03.09.2007	1
28	07_2004	7	03.06.2003	04.08.2004	1
29	08_2005	8	02.07.2002	05.08.2005	3
30	08_2006	8	02.07.2002	25.08.2006	4
31	08_2007	8	02.07.2002	03.09.2007	5
32	08_2008	8	02.07.2002	05.09.2008	6
33	08_2009	8	02.07.2002	01.09.2009	7
34	08_2011	8	02.07.2002	19.09.2011	9
35	08_2012	8	02.07.2002	04.09.2012	10
36	09_2004	9	02.07.2002	04.08.2004	2
37	10_2005	10	02.07.2002	05.08.2005	3
38	10_2006	10	02.07.2002	25.08.2006	4
39	10_2007	10	02.07.2002	03.09.2007	5

Anhang

40	10_2008	10	02.07.2002	05.09.2008	6
41	10_2009	10	02.07.2002	01.09.2009	7
42	10_2011	10	02.07.2002	19.09.2011	9
43	10_2012	10	02.07.2002	04.09.2012	10
44	10_2013	10	02.07.2002	26.08.2013	11
45	11_2005	11	03.06.2003	05.08.2005	2
46	11_2006	11	03.06.2003	25.08.2006	3
47	11_2007	11	25.08.2006	03.09.2007	1
48	11_2008	11	25.08.2006	05.09.2008	2
49	11_2009	11	25.08.2006	01.09.2009	3
50	11_2011	11	25.08.2006	19.09.2011	5
51	11_2013	11	25.08.2006	26.08.2013	7
52	12_2003	12	02.07.2002	03.06.2003	1
53	12_2004	12	02.07.2002	04.08.2004	2
54	12_2007	12	02.07.2002	03.09.2007	5
55	12_2008	12	02.07.2002	05.09.2008	6
56	12_2009	12	02.07.2002	01.09.2009	7
57	12_2011	12	02.07.2002	19.09.2011	9
58	12_2012	12	02.07.2002	04.09.2012	10
59	12_2013	12	02.07.2002	26.08.2013	11
60	13_2003	13	02.07.2002	03.06.2003	1
61	13_2004	13	02.07.2002	04.08.2004	2
62	13_2005	13	02.07.2002	05.08.2005	3
63	13_2006	13	02.07.2002	25.08.2006	4
64	13_2007	13	02.07.2002	03.09.2007	5
65	13_2008	13	02.07.2002	05.09.2008	6
66	13_2009	13	02.07.2002	01.09.2009	7
67	13_2011	13	02.07.2002	19.09.2011	9
68	13_2012	13	02.07.2002	04.09.2012	10
69	13_2013	13	02.07.2002	26.08.2013	11
70	15_2006	15	02.07.2002	25.08.2006	4
71	15_2007	15	25.08.2006	03.09.2007	1
72	15_2008	15	25.08.2006	05.09.2008	2
73	15_2009	15	25.08.2006	01.09.2009	3
74	15_2011	15	25.08.2006	19.09.2011	5
75	15_2012	15	25.08.2006	04.09.2012	6
76	15_2013	15	25.08.2006	26.08.2013	7
77	16_2004	16	02.07.2002	04.08.2004	2
78	16_2005	16	04.08.2004	05.08.2005	1
79	16_2006	16	05.08.2005	25.08.2006	1
80	17_2006	17	03.06.2003	25.08.2006	3
81	18_2003	18	02.07.2002	03.06.2003	1
82	19_2004	19	02.07.2002	04.08.2004	2
83	19_2006	19	02.07.2002	25.08.2006	4
84	19_2007	19	02.07.2002	03.09.2007	5
85	19_2008	19	02.07.2002	05.09.2008	6
86	19_2009	19	02.07.2002	01.09.2009	7

Anhang

87	19_2011	19	02.07.2002	19.09.2011	9
88	19_2012	19	02.07.2002	04.09.2012	10
89	19_2013	19	02.07.2002	26.08.2013	11
90	20_2005	20	02.07.2002	05.08.2005	3
91	20_2006	20	05.08.2005	25.08.2006	1
92	20_2007	20	05.08.2005	03.09.2007	2
93	20_2008	20	05.08.2005	05.09.2008	3
94	20_2009	20	05.08.2005	01.09.2009	4
95	20_2011	20	05.08.2005	19.09.2011	6
96	20_2012	20	05.08.2005	04.09.2012	7
97	20_2013	20	05.08.2005	26.08.2013	8
98	21_2005	21	03.06.2003	05.08.2005	2
99	21_2006	21	03.06.2003	25.08.2006	3
100	21_2008	21	25.08.2006	05.09.2008	2
101	21_2009	21	25.08.2006	01.09.2009	3
102	21_2011	21	25.08.2006	19.09.2011	5
103	21_2012	21	25.08.2006	04.09.2012	6
104	21_2013	21	25.08.2006	26.08.2013	7
105	22_2005	22	02.07.2002	05.08.2005	3
106	22_2006	22	05.08.2005	25.08.2006	1
107	22_2007	22	05.08.2005	03.09.2007	2
108	22_2009	22	05.08.2005	01.09.2009	4
109	22_2011	22	05.08.2005	19.09.2011	6
110	22_2012	22	05.08.2005	04.09.2012	7
111	22_2013	22	05.08.2005	26.08.2013	8
112	23_2003	23	02.07.2002	03.06.2003	1
113	23_2004	23	02.07.2002	04.08.2004	2
114	23_2006	23	04.08.2004	25.08.2006	2
115	23_2007	23	04.08.2004	03.09.2007	3
116	23_2008	23	04.08.2004	05.09.2008	4
117	23_2009	23	04.08.2004	01.09.2009	5
118	23_2011	23	04.08.2004	19.09.2011	7
119	23_2012	23	04.08.2004	04.09.2012	8
120	23_2013	23	04.08.2004	26.08.2013	9
121	25_2004	25	02.07.2002	04.08.2004	2
122	25_2005	25	02.07.2002	05.08.2005	3
123	25_2006	25	02.07.2002	25.08.2006	4
124	25_2008	25	25.08.2006	05.09.2008	2
125	25_2009	25	25.08.2006	01.09.2009	3
126	25_2011	25	25.08.2006	19.09.2011	5
127	25_2012	25	25.08.2006	04.09.2012	6
128	26_2004	26	02.07.2002	04.08.2004	2
129	26_2005	26	02.07.2002	05.08.2005	3
130	26_2006	26	02.07.2002	25.08.2006	4
131	26_2008	26	02.07.2002	05.09.2008	6
132	26_2009	26	02.07.2002	01.09.2009	7
133	26_2011	26	02.07.2002	19.09.2011	9

Anhang

134	26_2012	26	02.07.2002	04.09.2012	10
135	26_2013	26	02.07.2002	26.08.2013	11
136	29_2003	29	02.07.2002	03.06.2003	1
137	29_2005	29	02.07.2002	05.08.2005	3
138	30_2005	30	02.07.2002	05.08.2005	3
139	30_2006	30	02.07.2002	25.08.2006	4
140	30_2008	30	02.07.2002	05.09.2008	6
141	30_2009	30	02.07.2002	01.09.2009	7
142	30_2011	30	02.07.2002	19.09.2011	9
143	30_2012	30	02.07.2002	04.09.2012	10
144	30_2013	30	02.07.2002	26.08.2013	11
145	31_2008	31	25.08.2006	05.09.2008	2
146	31_2009	31	25.08.2006	01.09.2009	3
147	31_2011	31	25.08.2006	19.09.2011	5
148	31_2012	31	25.08.2006	04.09.2012	6
149	31_2013	31	25.08.2006	26.08.2013	7
150	32_2005	32	02.07.2002	05.08.2005	3
151	32_2006	32	02.07.2002	25.08.2006	4
152	32_2007	32	02.07.2002	03.09.2007	5
153	32_2008	32	03.09.2007	05.09.2008	1
154	32_2009	32	03.09.2007	01.09.2009	2
155	32_2011	32	03.09.2007	19.09.2011	4
156	32_2012	32	03.09.2007	04.09.2012	5
157	32_2013	32	03.09.2007	26.08.2013	6
158	33_2005	33	02.07.2002	05.08.2005	3
159	33_2006	33	05.08.2005	25.08.2006	1
160	33_2007	33	05.08.2005	03.09.2007	2
161	33_2008	33	05.08.2005	05.09.2008	3
162	33_2009	33	05.08.2005	01.09.2009	4
163	33_2011	33	05.08.2005	19.09.2011	6
164	33_2012	33	05.08.2005	04.09.2012	7
165	33_2013	33	05.08.2005	26.08.2013	8
166	34_2004	34	02.07.2002	04.08.2004	2
167	34_2005	34	02.07.2002	05.08.2005	3
168	34_2006	34	02.07.2002	25.08.2006	4
169	34_2007	34	02.07.2002	03.09.2007	5
170	34_2008	34	03.09.2007	05.09.2008	1
171	34_2009	34	03.09.2007	01.09.2009	2
172	35_2003	35	02.07.2002	03.06.2003	1
173	35_2004	35	02.07.2002	04.08.2004	2
174	35_2005	35	02.07.2002	05.08.2005	3
175	35_2007	35	02.07.2002	03.09.2007	5
176	35_2008	35	02.07.2002	05.09.2008	6
177	35_2009	35	02.07.2002	01.09.2009	7
178	35_2011	35	02.07.2002	19.09.2011	9
179	35_2012	35	02.07.2002	04.09.2012	10
180	35_2013	35	02.07.2002	26.08.2013	11

Anhang

181	36_2004	36	02.07.2002	04.08.2004	2
182	36_2005	36	02.07.2002	05.08.2005	3
183	36_2006	36	02.07.2002	25.08.2006	4
184	36_2007	36	25.08.2006	03.09.2007	1
185	36_2008	36	25.08.2006	05.09.2008	2
186	36_2009	36	25.08.2006	01.09.2009	3
187	36_2011	36	25.08.2006	19.09.2011	5
188	36_2012	36	25.08.2006	04.09.2012	6
189	36_2013	36	25.08.2006	26.08.2013	7
190	37_2004	37	03.06.2003	04.08.2004	1
191	37_2005	37	02.07.2002	05.08.2005	3
192	37_2006	37	05.08.2005	25.08.2006	1
193	37_2008	37	25.08.2006	05.09.2008	2
194	37_2011	37	25.08.2006	19.09.2011	5
195	37_2012	37	25.08.2006	04.09.2012	6
196	37_2013	37	25.08.2006	26.08.2013	7
197	38_2004	38	02.07.2002	04.08.2004	2
198	38_2005	38	04.08.2004	05.08.2005	1
199	38_2006	38	04.08.2004	25.08.2006	2
200	38_2008	38	03.09.2007	05.09.2008	1
201	38_2009	38	03.09.2007	01.09.2009	2
202	38_2011	38	03.09.2007	19.09.2011	4
203	38_2012	38	03.09.2007	04.09.2012	5
204	38_2013	38	03.09.2007	26.08.2013	6
205	39_2006	39	05.08.2005	25.08.2006	1
206	39_2009	39	25.08.2006	01.09.2009	3
207	39_2011	39	25.08.2006	19.09.2011	5
208	39_2012	39	25.08.2006	04.09.2012	6
209	39_2013	39	25.08.2006	26.08.2013	7
210	40_2004	40	02.07.2002	04.08.2004	2
211	40_2005	40	02.07.2002	05.08.2005	3
212	40_2006	40	02.07.2002	25.08.2006	4
213	40_2007	40	02.07.2002	03.09.2007	5
214	40_2008	40	03.09.2007	05.09.2008	1
215	40_2009	40	03.09.2007	01.09.2009	2
216	40_2011	40	03.09.2007	19.09.2011	4
217	40_2012	40	03.09.2007	04.09.2012	5
218	40_2013	40	03.09.2007	26.08.2013	6

VII.3.2 Artliste

Tabelle A 2 Liste der identifizierten taxonomischen Gruppen. Es wurden 6 verschiedene, nicht näher bestimmbare, morphologisch verschiedene Bryozoen gefunden, welche hier alle unter „Bryozoa“ fallen. Das Taxon Decapoda umfasst in dieser Studie Garnelen und Garnelenartige. (<http://www.marinespecies.org/>)

Reich	Stamm	Klasse	Ordnung	Familie	Gattung	Art	Erstbeschreiber
Animalia	Annelida	Polychaeta	unbest.	unbest.	unbest.	sp.	Grube, 1850
Animalia	Annelida	Polychaeta	Phyllodocta	Polynoidae	<i>Harmothoe</i>	sp.	Kinberg, 1856
Animalia	Annelida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	unbest.	sp.	Rafinesque, 1815
Animalia	Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Caprellidae	unbest.	sp.	Leach, 1814
Animalia	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	unbest.	unbest.	sp.	Latreille, 1803
Animalia	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Oregonidae	<i>Hyas</i>	<i>araneus</i>	Linnaeus, 1758
Animalia	Arthropoda	Maxillopoda	Sessilia	Balanidae	<i>Balanus</i>	sp.	Costa, 1778
Animalia	Bryozoa	unbest.	unbest.	unbest.	unbest.	sp.	Ehrenberg, 1831
Animalia	Chordata	Actinopterygii	Perciformes	Stichaeidae	<i>Lumpenus</i>	sp.	Reinhardt, 1836
Animalia	Chordata	Actinopterygii	Scorpaeniformes	Cottidae	<i>Gymnocanthus</i>	<i>tricuspis</i>	Reinhardt, 1830
Animalia	Chordata	Actinopterygii	Scorpaeniformes	Cyclopteridae	<i>Eumicrotremus</i>	sp.	Gill, 1862
Animalia	Chordata	Ascidacea	Stolidobranchia	Pyuridae	<i>Halocynthia</i>	<i>pyriformis</i>	Rathke, 1806
Animalia	Cnidaria	Anthozoa	unbest.	unbest.	unbest.	sp.	Ehrenberg, 1834
Animalia	Cnidaria	Anthozoa	Actinaria	Actinidae	<i>Urticina</i>	sp.	Ehrenberg, 1834
Animalia	Cnidaria	Hydrozoa	unbest.	unbest.	unbest.	sp.	Owen, 1843
Animalia	Echinodermata	Asteroidea	Spinulosida	Echinasteridae	<i>Henricia</i>	sp.	Gray, 1840
Animalia	Echinodermata	Echinoidea	Cammarodonta	Strongylocentrotidae	<i>Strongylocentrotus</i>	sp.	Brandt, 1835
Animalia	Mollusca	Bivalvia	Euheterodonta	Hiatellidae	<i>Hiatella</i>	<i>arctica</i>	Linnaeus, 1767
Animalia	Mollusca	Gastropoda	-	Margaritidae	<i>Margarites</i>	sp.	Gray, 1847
Animalia	Mollusca	Gastropoda	Nudibranchia	Dendronotidae	<i>Dendronotus</i>	<i>frondosus</i>	Ascanius, 1774
Animalia	Mollusca	Polyplocophora	Chitonida	Mopaliidae	<i>Tonicella</i>	sp.	Carpenter, 1873
Animalia	Porifera	unbest.	unbest.	unbest.	unbest.	sp.	Grant, 1836
Chromista	Ochrophyta	Phaeophyceae	Desmarestiales	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia</i>	sp.	<i>J.V.Lamouroux, 1813</i>
Chromista	Ochrophyta	Phaeophyceae	Desmarestiales	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia</i>	<i>aculeata</i>	(Linnaeus) J.V.Lamouroux, 1813
Chromista	Ochrophyta	Phaeophyceae	Desmarestiales	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia</i>	<i>viridis</i>	(O.F.Müller) J.V.Lamouroux, 1813
Chromista	Ochrophyta	Phaeophyceae	Laminariales	unbest.	unbest.	sp.	Migula, 1909
Plantae	Rhodophyta	Florideophyceae	Corallinales	Hapallidiaceae	unbest.	sp.	J.E.Gray, 1864

Anhang

Tabelle A 3 Übersicht die gefundenen Arten mit zugehöriger Gesamtindividuenzahl.

Art	Gesamtindividuenzahl
Balanus sp.	229
Bryozoa I	623
Bryozoa II	736
Bryozoa III	35
Bryozoa IV	18
Bryozoa IX	0
Bryozoa X	12
Caprellidae sp.	24
Decapoda sp.	354
Dendronotus frondosus	1
<i>Desmarestia</i> sp.	154
<i>Desmarestia viridis</i>	5
Eumicrotremus sp.	3
Gymnocanthus tricuspis	1
Halocynthia pyriformis	1
Hapalidiaceae sp.	37189
Harmothoe sp.	2
Hiatella arctica	1
Hyas araneus	1
Hydrozoa sp.	0
Laminariales sp.	495
Lumpenus sp.	1
<i>Margarites</i> sp.	79
Polychaeta sp.	6
Porifera sp.	28
Serpulidae sp.	161
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	49
<i>Tonicella</i> sp.	243
<i>Urticina</i> sp.	13

Anhang

VII.3.3 SIMPER

Tabelle A 4 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Bedeckung für die Platten gruppiert nach Perioden und Expositionszeit. Paarweise Vergleiche der Probenjahre, welche in Tabelle 4 R-Werte >0,75 zeigten. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige.

Gruppen 2004 & 2008

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 78,57%

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2008		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,13	24,05	1,58	30,61	30,61
Laminariales sp.	0	0,07	14,09	1,51	17,93	48,54
Hapalidiaceae sp.	0	0,04	8,78	1,09	11,18	59,72
Bryozoa II	0,02	0,03	5,79	1,27	7,37	67,08
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,03	5,29	1,02	6,73	73,82
Bryozoa I	0,02	0,02	4,01	1,15	5,11	78,93
<i>Desmarestia</i> viridis	0	0,02	3,53	0,47	4,5	83,42
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	0	2,96	1,84	3,77	87,19
Hydrozoa sp.	0,01	0	2,3	0,93	2,93	90,12

Gruppen 2004 & 2013

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 81,78%

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2013		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0	0,2	22,41	2,02	27,4	27,4
Hydrozoa sp.	0,01	0,16	17,31	1,39	21,16	48,56
Bryozoa II	0,02	0,13	13,39	1,35	16,37	64,93
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,08	8,24	0,92	10,08	75,01
Bryozoa IX	0	0,04	4,26	0,47	5,21	80,22
Bryozoa I	0,02	0,02	2,81	0,93	3,43	83,66
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,02	2,62	1,1	3,2	86,85
<i>Urticina</i> sp.	0,01	0,02	2,13	0,8	2,61	89,46
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	0,03	1,34	2,4	1,64	91,1

Gruppen 2005 & 2008

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 80,72%

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2008		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,13	24,65	1,58	30,54	30,54
Laminariales sp.	0	0,07	14,36	1,5	17,79	48,33
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,04	8,35	1,03	10,35	58,68
Bryozoa II	0,02	0,03	6,88	1,45	8,52	67,2
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	0	6,34	1,17	7,85	75,05
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,03	5,62	0,98	6,96	82,01
Bryozoa I	0,02	0,02	4,66	1,3	5,78	87,79
<i>Desmarestia</i> viridis	0	0,02	3,58	0,48	4,44	92,22

Anhang

Gruppen 2005 & 2011

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 78,57%

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2011		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,16	26,4	1,06	33,6	33,6
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,09	13,8	1,21	17,56	51,17
Bryozoa II	0,02	0,09	12,72	1,14	16,2	67,36
Bryozoa I	0,02	0,05	5,98	1,3	7,61	74,97
Hydrozoa sp.	0	0,04	5,78	0,77	7,36	82,32
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,02	3,51	0,94	4,46	86,79
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	0,02	3,09	1,05	3,93	90,72

Gruppen 2005 & 2012

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 81,49%

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2012		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,17	29,02	1,1	35,62	35,62
Bryozoa II	0,02	0,09	13	0,93	15,95	51,57
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,1	11,95	1,19	14,67	66,24
Hydrozoa sp.	0	0,05	5,17	0,77	6,34	72,58
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,03	3,97	1,03	4,87	77,45
Bryozoa I	0,02	0,02	3,36	1,15	4,12	81,57
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	0,03	3,27	0,93	4,01	85,58
Bryozoa IV	0	0,02	1,84	0,68	2,26	87,84
Laminariales sp.	0	0,02	1,78	0,78	2,19	90,03

Gruppen 2005 & 2013

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 83,42%

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2013		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,2	21,72	1,88	26,04	26,04
Hydrozoa sp.	0	0,16	18,91	1,57	22,67	48,7
Bryozoa II	0,02	0,13	13,9	1,35	16,67	65,37
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,08	8,29	0,92	9,94	75,31
Bryozoa IX	0	0,04	4,29	0,48	5,14	80,45
Bryozoa I	0,02	0,02	2,97	0,88	3,56	84,01
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,02	2,48	0,96	2,98	86,98
<i>Tonicella</i> sp.	0,03	0,03	2,26	1,26	2,71	89,7
<i>Urticina</i> sp.	0	0,02	1,73	0,56	2,07	91,77

Anhang

Gruppen 2006 & 2011

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 78,50%

Art	Gruppe 2006		Gruppe 2011		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,16	24,2	1,07	30,82	30,82
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,09	12,8	1,19	16,31	47,14
Bryozoa II	0,02	0,09	11,62	1,24	14,8	61,93
Hydrozoa sp.	0,02	0,04	6,47	0,93	8,24	70,17
Bryozoa I	0,02	0,05	5,5	1,31	7	77,17
Laminariales sp.	0,03	0	4,33	0,66	5,52	82,69
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,02	3,35	1,11	4,27	86,96
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	0,02	2,03	1,14	2,58	89,54
Decapoda sp.	0,01	0,01	1,47	1,69	1,88	91,42

Gruppen 2006 & 2012

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 80,50%

Art	Gruppe 2006		Gruppe 2012		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,17	26,34	1,11	32,72	32,72
Bryozoa II	0,02	0,09	11,42	0,94	14,19	46,91
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,1	11,19	1,16	13,9	60,81
Hydrozoa sp.	0,02	0,05	6,23	0,93	7,74	68,55
Laminariales sp.	0,03	0,02	5,09	0,77	6,33	74,87
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,03	3,67	1,21	4,56	79,43
Bryozoa I	0,02	0,02	3,08	1,24	3,82	83,26
Decapoda sp.	0,01	0	2,05	2,24	2,55	85,81
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	0,03	2	1	2,48	88,29
Bryozoa IV	0	0,02	1,78	0,73	2,21	90,5

Gruppen 2006 & 2013

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 79,92%

Art	Gruppe 2006		Gruppe 2013		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0,01	0,2	20,25	1,82	25,34	25,34
Hydrozoa sp.	0,02	0,16	16,2	1,37	20,27	45,6
Bryozoa II	0,02	0,13	12,86	1,41	16,09	61,69
<i>Desmarestia</i> sp.	0,01	0,08	7,85	0,91	9,82	71,51
Bryozoa IX	0	0,04	4,07	0,48	5,09	76,6
Laminariales sp.	0,03	0,01	3,47	0,72	4,35	80,95
Bryozoa I	0,02	0,02	2,69	0,88	3,37	84,32
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,02	0,02	2,58	1,17	3,23	87,54
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	0,03	1,7	1,33	2,13	89,67
<i>Urticina</i> sp.	0	0,02	1,65	0,56	2,06	91,73

Anhang

Gruppen 2008 & 2013

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 70,84%

Art	Gruppe 2008		Gruppe 2013		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hydrozoa sp.	0	0,16	14,35	1,64	20,25	20,25
Hapalidiaceae sp.	0,04	0,2	13,51	1,6	19,08	39,33
<i>Desmarestia</i> sp.	0,13	0,08	9,88	1,94	13,95	53,28
Bryozoa II	0,03	0,13	9,05	1,53	12,78	66,06
Laminariales sp.	0,07	0,01	5,92	1,5	8,36	74,42
Bryozoa IX	0	0,04	3,38	0,49	4,77	79,19
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,03	0,02	2,52	1,14	3,55	82,75
<i>Tonicella</i> sp.	0	0,03	2,06	2,13	2,9	85,65
Bryozoa I	0,02	0,02	2,05	1,17	2,89	88,54
<i>Desmarestia viridis</i>	0,02	0	1,76	0,48	2,48	91,03

Tabelle A 5 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Bedeckung für die Platten gruppiert nach Perioden und Expositionszeit. Ähnlichkeit innerhalb der Kohorten, welche in Tabelle 4 R-Werte >0,75 zeigten. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige.

Gruppe 2002

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 44,15%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Desmarestia</i> sp.	0,11	10,11	1,03	22,91	22,91
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,03	6,68	0,95	15,12	38,04
Bryozoa II	0,06	6,16	1,11	13,94	51,98
Hapalidiaceae sp.	0,07	5,83	1,05	13,2	65,17
Bryozoa I	0,04	4,81	0,98	10,9	76,08
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	3,85	3,2	8,71	84,79
Hydrozoa sp.	0,06	2,73	0,48	6,18	90,97

Gruppe 2003

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 44,05%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Margarites</i> sp.	0,01	24,26	5,74	55,06	55,06
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	14,84	0,58	33,7	88,76
Decapoda sp.	0,01	4,95	0,58	11,24	100

Anhang

Gruppe 2005

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 35,76%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	0,11	10,8	0,78	30,2	30,2
Bryozoa II	0,08	8,73	0,92	24,4	54,6
Laminariales sp.	0,04	2,94	0,46	8,22	62,82
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	2,9	1,34	8,12	70,95
Bryozoa I	0,02	2,69	0,85	7,51	78,46
<i>Margarites</i> sp.	0,01	2,08	1,92	5,82	84,28
Hydrozoa sp.	0,05	1,91	0,4	5,34	89,61
Decapoda sp.	0,01	1,08	0,61	3,03	92,64

Gruppe 2006

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 51,00%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Desmarestia</i> sp.	0,17	21,66	1,83	42,47	42,47
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,05	6,13	1,22	12,03	54,49
Hapalidiaceae sp.	0,08	5,95	1,03	11,67	66,16
Bryozoa II	0,05	4,39	1,15	8,61	74,77
Bryozoa I	0,03	4,31	1,03	8,44	83,21
Decapoda sp.	0,02	2,65	1,12	5,2	88,41
Laminariales sp.	0,02	2	0,72	3,93	92,34

Gruppe 2007

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 56,55%

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Desmarestia</i> sp.	0,12	21,49	3,46	37,99	37,99
Bryozoa II	0,12	17,32	1,1	30,63	68,63
Bryozoa I	0,04	5,5	1,89	9,73	78,35
Hapalidiaceae sp.	0,03	3,42	1,12	6,04	84,39
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,03	2,78	0,59	4,92	89,31
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	2,2	1,09	3,89	93,21

Anhang

Tabelle A 6 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Bedeckung für die Platten gruppiert nach Perioden und Expositionszeit. Paarweiser Vergleich der unterscheidbaren Kohorten, welche in Tabelle 4 R-Werte >0,75 zeigten. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige.

Gruppen 2002 & 2003

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 86,24%

Art	Gruppe 2002	Gruppe 2003	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
<i>Desmarestia</i> sp.	0,11	0	20,13	1,14	23,34	23,34
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,03	0	11,11	0,91	12,89	36,23
Hapalidiaceae sp.	0,07	0	11,01	1,59	12,76	48,99
Bryozoa II	0,06	0,01	10,07	1,57	11,68	60,67
Hydrozoa sp.	0,06	0	8,37	0,92	9,7	70,38
Bryozoa I	0,04	0	8,21	1,37	9,52	79,9
Laminariales sp.	0,02	0	3,03	0,64	3,51	83,41
<i>Tonicella</i> sp.	0,02	0,01	2,43	1,14	2,82	86,22
Bryozoa IX	0,02	0	2,32	0,33	2,7	88,92
Decapoda sp.	0,01	0,01	2,22	1,01	2,57	91,49

Gruppen 2003 & 2005

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 86,11%

Art	Gruppe 2003	Gruppe 2005	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Hapalidiaceae sp.	0	0,11	21,73	1,13	25,24	25,24
Bryozoa II	0,01	0,08	15,7	1,08	18,24	43,47
Laminariales sp.	0	0,04	10,42	0,76	12,1	55,57
Hydrozoa sp.	0	0,05	8,57	0,75	9,95	65,52
<i>Desmarestia</i> sp.	0	0,03	5,67	0,56	6,58	72,1
Bryozoa I	0	0,02	5,15	1,28	5,98	78,08
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0	0,01	3,83	0,6	4,45	82,53
<i>Desmarestia viridis</i>	0	0,02	2,9	0,4	3,37	85,9
Decapoda sp.	0,01	0,01	2,33	1,42	2,71	88,61
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	0,02	2,24	1,14	2,61	91,22

Anhang

Gruppen 2003 & 2006

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 91,11%

Art	Gruppe 2003		Gruppe 2006		Contrib%	Cum. %
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
<i>Desmarestia</i> sp.	0	0,17	32,28	1,7	35,43	35,43
Hapalidiaceae sp.	0	0,08	12,66	1,69	13,9	49,33
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0	0,05	8,41	1,68	9,23	58,56
Bryozoa II	0,01	0,05	7,74	1,74	8,5	67,06
Bryozoa I	0	0,03	6,44	1,31	7,07	74,13
Laminariales sp.	0	0,02	4,43	1,1	4,87	78,99
Hydrozoa sp.	0	0,04	3,65	0,68	4,01	83
<i>Urticina</i> sp.	0	0,03	3,38	0,95	3,71	86,71
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	0,02	2,8	1,53	3,07	89,78
Decapoda sp.	0,01	0,02	2,79	1,23	3,07	92,84

Gruppen 2003 & 2007

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 88,80%

Art	Gruppe 2003		Gruppe 2007		Contrib%	Cum. %
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
<i>Desmarestia</i> sp.	0	0,12	27,43	1,91	30,89	30,89
Bryozoa II	0,01	0,12	24,94	1,56	28,08	58,98
Bryozoa I	0	0,04	8,48	1,71	9,55	68,52
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0	0,03	7,02	1,04	7,91	76,43
Hapalidiaceae sp.	0	0,03	6,18	1,42	6,96	83,39
<i>Tonicella</i> sp.	0,01	0,02	2,39	1,27	2,69	86,08
Decapoda sp.	0,01	0,01	2,34	1,49	2,63	88,71
<i>Urticina</i> sp.	0	0,01	2,09	0,78	2,35	91,06

Anhang

Tabelle A 7 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Abundanz für die Platten gruppiert nach Perioden und Expositionszeit. Ähnlichkeit innerhalb der unterscheidbaren Perioden, welche in Tabelle 4 R-Werte >0,75 zeigten. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige. Bei „#####“ konnte von Primer kein Wert berechnet werden. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige.

Group 2004

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 40,64

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Margarites</i> sp.	4,82	16,83	#####	41,42	41,42
Decapoda sp.	3,28	11,9	#####	29,29	70,71
<i>Tonicella</i> sp.	3,04	11,9	#####	29,29	100

Gruppe 2005

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 25,80

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Tonicella</i> sp.	3,15	18,67	1,05	72,35	72,35
Decapoda sp.	3,01	3,67	0,58	14,23	86,57
<i>Margarites</i> sp.	2,48	3,46	0,58	13,43	100

Gruppe 2006

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 27,11

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Decapoda sp.	5,83	11,03	1,7	40,7	40,7
<i>Margarites</i> sp.	3,77	7,61	1,71	28,09	68,79
<i>Tonicella</i> sp.	3,4	3,11	0,81	11,46	80,24
Laminariales sp.	11,95	1,86	0,41	6,85	87,09
Bryozoa I	4,71	1,31	0,41	4,84	91,94

Gruppe 2007

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 32,90

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	10,45	14,35	0,9	43,61	43,61
<i>Tonicella</i> sp.	2,79	4,25	0,91	12,91	56,53
Bryozoa I	3,37	2,76	0,41	8,39	64,92
<i>Desmarestia</i> sp.	2,8	2,68	0,41	8,13	73,05
Bryozoa II	4,28	2,61	0,41	7,94	80,99
Decapoda sp.	1,41	2,13	0,41	6,47	87,45
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	1,89	2,12	0,41	6,43	93,88

Anhang

Gruppe 2008

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 55,25

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	36,33	17,32	1,15	31,34	31,34
Laminariales sp.	13,72	10,9	4,1	19,73	51,07
<i>Desmarestia</i> sp.	6,2	5,93	2,2	10,74	61,81
<i>Balanus</i> sp.	10,6	5,4	1,11	9,78	71,59
Decapoda sp.	4,82	4,91	2,28	8,89	80,48
Bryozoa I	6,56	4,41	1,07	7,98	88,47
Bryozoa II	5,15	4,33	6,44	7,83	96,3

Gruppe 2009

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 61,87

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	59,35	39,67	7,38	64,12	64,12
Bryozoa I	10,26	5,57	1,15	9,01	73,12
Decapoda sp.	6,49	4,44	1,14	7,18	80,3
<i>Tonicella</i> sp.	4,01	3,05	7,65	4,92	85,22
Bryozoa II	4,39	2,82	1,15	4,55	89,77
<i>Balanus</i> sp.	3,96	1,88	1,06	3,04	92,81

Gruppe 2011

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 61,70

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	61,37	38,12	2,57	61,78	61,78
Bryozoa II	7,48	4,44	1,02	7,19	68,97
Bryozoa I	8,49	4,37	1,16	7,08	76,05
<i>Tonicella</i> sp.	5,1	4,35	6,87	7,05	83,1
<i>Balanus</i> sp.	3,97	3,08	6,11	5	88,1
Serpulidae sp.	5,32	2,99	0,96	4,85	92,95

Gruppe 2012

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 59,31

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	59,18	40,86	2,96	68,89	68,89
<i>Tonicella</i> sp.	5,39	4,6	5,58	7,76	76,66
Bryozoa II	7,35	4,19	0,85	7,06	83,72
<i>Balanus</i> sp.	4,84	3,44	3,98	5,8	89,52
Bryozoa I	5,99	2,31	0,62	3,9	93,42

Anhang

Gruppe 2013

Durchschnittliche Ähnlichkeit: 62,14

Art	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Hapalidiaceae sp.	93,01	39,35	4,77	63,31	63,31
Bryozoa II	13,41	7,67	2,44	12,34	75,65
<i>Tonicella</i> sp.	6,8	3,8	5,15	6,12	81,77
Serpulidae sp.	6,95	3,4	2,75	5,48	87,25
<i>Balanus</i> sp.	4,37	1,8	1,08	2,89	90,14

Tabelle A 8 Ergebnisse der SIMPER-Analyse der Abundanz für die Platten gruppiert nach Perioden und Expositionszeit. Paarweise Vergleiche der unterscheidbaren Perioden, welche in Tabelle 4 R-Werte >0,75 zeigten. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige. Decapoda sp. Umfasst Garnelen und Garnelenartige.

Gruppen 2004 & 2008

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 75,73

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2008		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0	36,33	27,38	1,45	36,16	36,16
Laminariales sp.	0	13,72	11,98	3,64	15,82	51,98
<i>Balanus</i> sp.	0	10,6	8,08	1,56	10,68	62,66
Bryozoa I	4,47	6,56	5,39	1,29	7,12	69,78
<i>Desmarestia</i> sp.	1,41	6,2	5,32	1,14	7,03	76,81
Bryozoa II	3,86	5,15	3,87	1,7	5,1	81,91
<i>Margarites</i> sp.	4,82	1,36	3,32	1,59	4,38	86,29
<i>Tonicella</i> sp.	3,04	0,82	2,7	1,63	3,56	89,85
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	1,41	2,01	1,84	0,87	2,43	92,28

Gruppen 2004 & 2009

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 76,74

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2009		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0	59,35	45,01	2,6	58,66	58,66
Bryozoa I	4,47	10,26	6,44	0,96	8,39	67,05
Decapoda sp.	3,28	6,49	3,71	2,37	4,84	71,88
Bryozoa II	3,86	4,39	3,15	1,53	4,1	75,99
<i>Balanus</i> sp.	0	3,96	3,13	1,24	4,08	80,06
<i>Margarites</i> sp.	4,82	1,62	2,84	1,48	3,7	83,76
Laminariales sp.	0	2,52	2,16	1,02	2,81	86,57
<i>Desmarestia</i> sp.	1,41	3,31	2,1	1,02	2,74	89,31
Serpulidae sp.	0	2,4	1,81	0,76	2,36	91,67

Anhang

Gruppen 2004 & 2011

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 77,73

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2011		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0	61,37	46,41	2,34	59,71	59,71
Bryozoa I	4,47	8,49	5,5	1,08	7,08	66,79
Bryozoa II	3,86	7,48	4,96	1,08	6,38	73,17
Serpulidae sp.	0	5,32	4,44	1,43	5,72	78,88
<i>Balanus</i> sp.	0	3,97	3,12	4,01	4,02	82,9
<i>Margarites</i> sp.	4,82	1,6	2,77	1,26	3,56	86,46
<i>Desmarestia</i> sp.	1,41	3,19	2,42	1,23	3,12	89,58
Porifera sp.	0	2,25	1,86	1,09	2,39	91,97

Gruppen 2004 & 2012

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 83,39

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2012		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0	59,18	47,5	2,42	56,97	56,97
Bryozoa II	3,86	7,35	5,31	1,17	6,37	63,33
Bryozoa I	4,47	5,99	4,61	1,16	5,52	68,86
<i>Balanus</i> sp.	0	4,84	3,87	3	4,64	73,5
<i>Margarites</i> sp.	4,82	0,56	3,64	2,09	4,37	77,87
Decapoda sp.	3,28	0	2,73	4,74	3,28	81,14
Serpulidae sp.	0	2,47	2,54	0,58	3,05	84,19
Laminariales sp.	0	2,86	2,05	0,75	2,46	86,65
<i>Tonicella</i> sp.	3,04	5,39	1,91	1,96	2,29	88,94
Porifera sp.	0	1,98	1,83	1,13	2,2	91,14

Gruppen 2004 & 2013

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 81,43

Art	Gruppe 2004		Gruppe 2013		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	0	93,01	50	2,97	61,4	61,4
Bryozoa II	3,86	13,41	6,35	1,35	7,8	69,2
Serpulidae sp.	0	6,95	4,15	2,06	5,09	74,29
Bryozoa I	4,47	4,48	3,29	1,1	4,04	78,33
<i>Balanus</i> sp.	0	4,37	2,7	1,61	3,32	81,65
<i>Tonicella</i> sp.	3,04	6,8	2,1	2,6	2,58	84,23
Decapoda sp.	3,28	3,65	1,8	3,09	2,22	86,45
Porifera sp.	0	2,53	1,78	1,12	2,19	88,63
Caprellidae sp.	0	2,65	1,27	0,47	1,55	90,19

Anhang

Gruppen 2005 & 2008

Durschnittliche Unähnlichkeit = 76,76

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2008		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	6,29	36,33	26,05	1,35	33,94	33,94
Laminariales sp.	0	13,72	12,31	3,16	16,04	49,98
<i>Balanus</i> sp.	1,34	10,6	7,83	1,51	10,21	60,19
Bryozoa I	3,18	6,56	6,18	1,28	8,05	68,24
<i>Desmarestia</i> sp.	0,94	6,2	6,17	1,13	8,04	76,28
Bryozoa II	1,63	5,15	3,94	1,79	5,14	81,42
<i>Tonicella</i> sp.	3,15	0,82	2,84	1,52	3,7	85,11
Decapoda sp.	3,01	4,82	2,6	0,8	3,38	88,5
<i>Strongylocentrotus</i> sp.	0,94	2,01	2,2	0,88	2,86	91,36

Gruppen 2005 & 2009

Durschnittliche Unähnlichkeit = 74,30

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2009		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	6,29	59,35	41,83	1,94	56,3	56,3
Bryozoa I	3,18	10,26	7,54	1,06	10,15	66,45
Decapoda sp.	3,01	6,49	3,96	1,4	5,32	71,78
Bryozoa II	1,63	4,39	3,09	1,29	4,15	75,93
<i>Balanus</i> sp.	1,34	3,96	2,89	1,13	3,89	79,82
<i>Desmarestia</i> sp.	0,94	3,31	2,45	1,1	3,3	83,11
Laminariales sp.	0	2,52	2,2	1,01	2,96	86,07
Serpulidae sp.	0,95	2,4	1,96	0,91	2,64	88,72
<i>Margarites</i> sp.	2,48	1,62	1,89	1,22	2,54	91,26

Gruppen 2005 & 2011

Durschnittliche Unähnlichkeit = 75,09

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2011		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	6,29	61,37	43,2	1,81	57,54	57,54
Bryozoa I	3,18	8,49	6,33	1,15	8,42	65,96
Bryozoa II	1,63	7,48	5,91	1,15	7,88	73,84
Serpulidae sp.	0,95	5,32	4,15	1,27	5,53	79,37
<i>Desmarestia</i> sp.	0,94	3,19	2,61	1,13	3,48	82,85
<i>Balanus</i> sp.	1,34	3,97	2,59	1,66	3,45	86,3
Decapoda sp.	3,01	2,62	1,99	1,07	2,65	88,95
Porifera sp.	0	2,25	1,89	1,09	2,52	91,47

Anhang

Gruppen 2005 & 2012

Durschnittliche Unähnlichkeit = 78,98

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2012		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	6,29	59,18	44,32	1,84	56,12	56,12
Bryozoa II	1,63	7,35	6,06	1,15	7,67	63,79
Bryozoa I	3,18	5,99	4,86	1,1	6,15	69,94
<i>Balanus</i> sp.	1,34	4,84	3,3	1,63	4,17	74,11
Serpulidae sp.	0,95	2,47	2,72	0,63	3,44	77,55
Decapoda sp.	3,01	0	2,5	1,1	3,17	80,72
Laminariales sp.	0	2,86	2,08	0,75	2,63	83,35
<i>Tonicella</i> sp.	3,15	5,39	1,9	1,67	2,41	85,76
Porifera sp.	0	1,98	1,88	1,11	2,37	88,14
<i>Margarites</i> sp.	2,48	0,56	1,85	1,23	2,35	90,48

Gruppen 2005 & 2013

Durschnittliche Unähnlichkeit = 79,70

Art	Gruppe 2005		Gruppe 2013		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	6,29	93,01	47,3	2,37	59,34	59,34
Bryozoa II	1,63	13,41	7,78	1,68	9,76	69,11
Serpulidae sp.	0,95	6,95	3,72	1,58	4,67	73,77
Bryozoa I	3,18	4,48	3,28	0,96	4,12	77,89
<i>Balanus</i> sp.	1,34	4,37	2,34	1,3	2,93	80,83
<i>Tonicella</i> sp.	3,15	6,8	2,08	2,24	2,61	83,44
Decapoda sp.	3,01	3,65	1,87	1,11	2,34	85,78
Porifera sp.	0	2,53	1,8	1,12	2,26	88,04
Caprellidae sp.	0,94	2,65	1,58	0,65	1,98	90,02

Gruppen 2006 & 2009

Durschnittliche Unähnlichkeit = 70,00

Art	Gruppe 2006		Gruppe 2009		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
Hapalidiaceae sp.	7,43	59,35	35,14	1,73	50,2	50,2
Laminariales sp.	11,95	2,52	7	0,88	9,99	60,19
Bryozoa I	4,71	10,26	6,22	1,07	8,88	69,07
<i>Balanus</i> sp.	1	3,96	2,52	1,15	3,59	72,66
Decapoda sp.	5,83	6,49	2,38	1,56	3,4	76,07
<i>Desmarestia</i> sp.	1,22	3,31	2,24	1,26	3,2	79,27
Bryozoa II	2,3	4,39	2,23	1,29	3,19	82,46
Bryozoa III	4	0	2,21	0,56	3,16	85,62
<i>Margarites</i> sp.	3,77	1,62	1,86	1,79	2,66	88,28
Serpulidae sp.	0,71	2,4	1,66	0,87	2,37	90,65

Anhang

Gruppen 2006 & 2011

Durschnittliche Unähnlichkeit = 73,40

Art	Gruppe 2006	Gruppe 2011	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Hapalidiaceae sp.	7,43	61,37	36,94	1,75	50,33	50,33
Laminariales sp.	11,95	0	6,62	0,72	9,02	59,35
Bryozoa I	4,71	8,49	5,19	1,12	7,07	66,42
Bryozoa II	2,3	7,48	4,42	1,22	6,03	72,45
Serpulidae sp.	0,71	5,32	3,58	1,3	4,87	77,32
Decapoda sp.	5,83	2,62	2,37	1,06	3,22	80,55
<i>Balanus</i> sp.	1	3,97	2,32	1,82	3,16	83,71
Bryozoa III	4	0	2,23	0,56	3,03	86,74
<i>Desmarestia</i> sp.	1,22	3,19	2,22	1,08	3,02	89,76
<i>Margarites</i> sp.	3,77	1,6	1,81	1,73	2,47	92,23

Gruppen 2006 & 2012

Durschnittliche Unähnlichkeit = 76,95

Art	Gruppe 2006	Gruppe 2012	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Hapalidiaceae sp.	7,43	59,18	37,32	1,74	48,5	48,5
Laminariales sp.	11,95	2,86	7,15	0,82	9,29	57,79
Bryozoa II	2,3	7,35	4,65	1,3	6,05	63,84
Decapoda sp.	5,83	0	4,37	1,72	5,68	69,51
Bryozoa I	4,71	5,99	4,18	1,14	5,44	74,95
<i>Balanus</i> sp.	1	4,84	2,92	1,73	3,8	78,75
Bryozoa III	4	0	2,29	0,56	2,97	81,72
Serpulidae sp.	0,71	2,47	2,2	0,62	2,86	84,58
<i>Margarites</i> sp.	3,77	0,56	2,15	2,22	2,79	87,37
<i>Tonicella</i> sp.	3,4	5,39	2	1,13	2,59	89,96
<i>Desmarestia</i> sp.	1,22	2,34	1,69	1,15	2,19	92,16

Gruppen 2006 & 2013

Durschnittliche Unähnlichkeit = 76,00

Art	Gruppe 2006	Gruppe 2013	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Hapalidiaceae sp.	7,43	93,01	41,54	2,12	54,65	54,65
Bryozoa II	2,3	13,41	6,24	1,76	8,2	62,86
Laminariales sp.	11,95	1,26	5,42	0,74	7,13	69,98
Serpulidae sp.	0,71	6,95	3,37	1,68	4,44	74,42
Bryozoa I	4,71	4,48	2,95	1	3,88	78,3
Bryozoa III	4	1,02	2,18	0,73	2,87	81,17
<i>Balanus</i> sp.	1	4,37	2,13	1,35	2,81	83,98
Decapoda sp.	5,83	3,65	1,89	1,17	2,49	86,47
<i>Tonicella</i> sp.	3,4	6,8	1,83	1,19	2,4	88,87
Porifera sp.	0	2,53	1,56	1,11	2,06	90,93

Anhang

Gruppen 2007 & 2012

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 68,57

Art	Gruppe 2007	Gruppe 2012	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Hapalidiaceae sp.	10,45	59,18	36,91	1,83	53,83	53,83
Bryozoa II	4,28	7,35	4,93	1,18	7,19	61,02
Bryozoa I	3,37	5,99	4,14	1,23	6,04	67,06
<i>Balanus</i> sp.	0	4,84	3,65	3,08	5,33	72,39
Serpulidae sp.	0	2,47	2,36	0,6	3,44	75,82
<i>Desmarestia</i> sp.	2,8	2,34	2,25	1,27	3,29	79,11
<i>Tonicella</i> sp.	2,79	5,39	2,19	1,21	3,2	82,31
Laminariales sp.	1	2,86	2,17	0,95	3,17	85,48
<i>Margarites</i> sp.	2,44	0,56	1,91	1,01	2,78	88,26
Porifera sp.	0	1,98	1,71	1,17	2,5	90,76

Gruppen 2007 & 2013

Durchschnittliche Unähnlichkeit = 73,74

Art	Gruppe 2007	Gruppe 2013	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Hapalidiaceae sp.	10,45	93,01	42,24	2,34	57,28	57,28
Bryozoa II	4,28	13,41	5,91	1,4	8,01	65,29
Serpulidae sp.	0	6,95	3,97	2,15	5,38	70,67
Bryozoa I	3,37	4,48	2,83	1,03	3,84	74,51
<i>Balanus</i> sp.	0	4,37	2,59	1,66	3,51	78,02
<i>Tonicella</i> sp.	2,79	6,8	2,22	1,55	3,01	81,03
Decapoda sp.	1,41	3,65	1,96	1,51	2,66	83,69
Porifera sp.	0	2,53	1,7	1,15	2,3	85,99
<i>Desmarestia</i> sp.	2,8	1,95	1,59	1,32	2,16	88,15
<i>Margarites</i> sp.	2,44	2,9	1,52	1,47	2,06	90,21

VII.4 Abbildungen

VII.4.1 Bedeckung und Abundanz

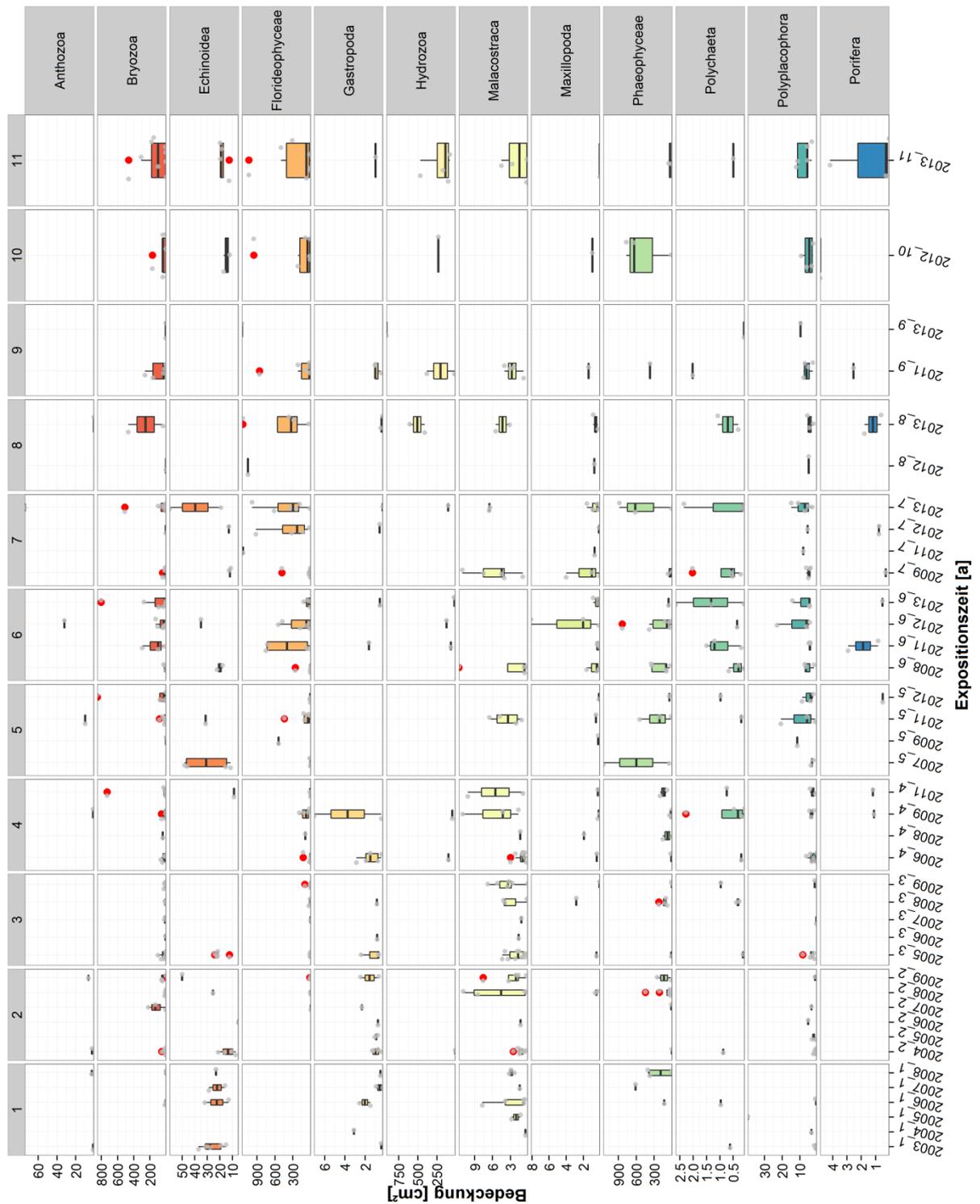


Abb. A 1: Boxplots des Bedeckungsgrades [cm²] der verschiedenen gefundenen taxonomischen Gruppen in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a], für alle Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. In grau sind die Datenpunkte der einzelnen Platten dargestellt, Ausreißer als rote Punkte.

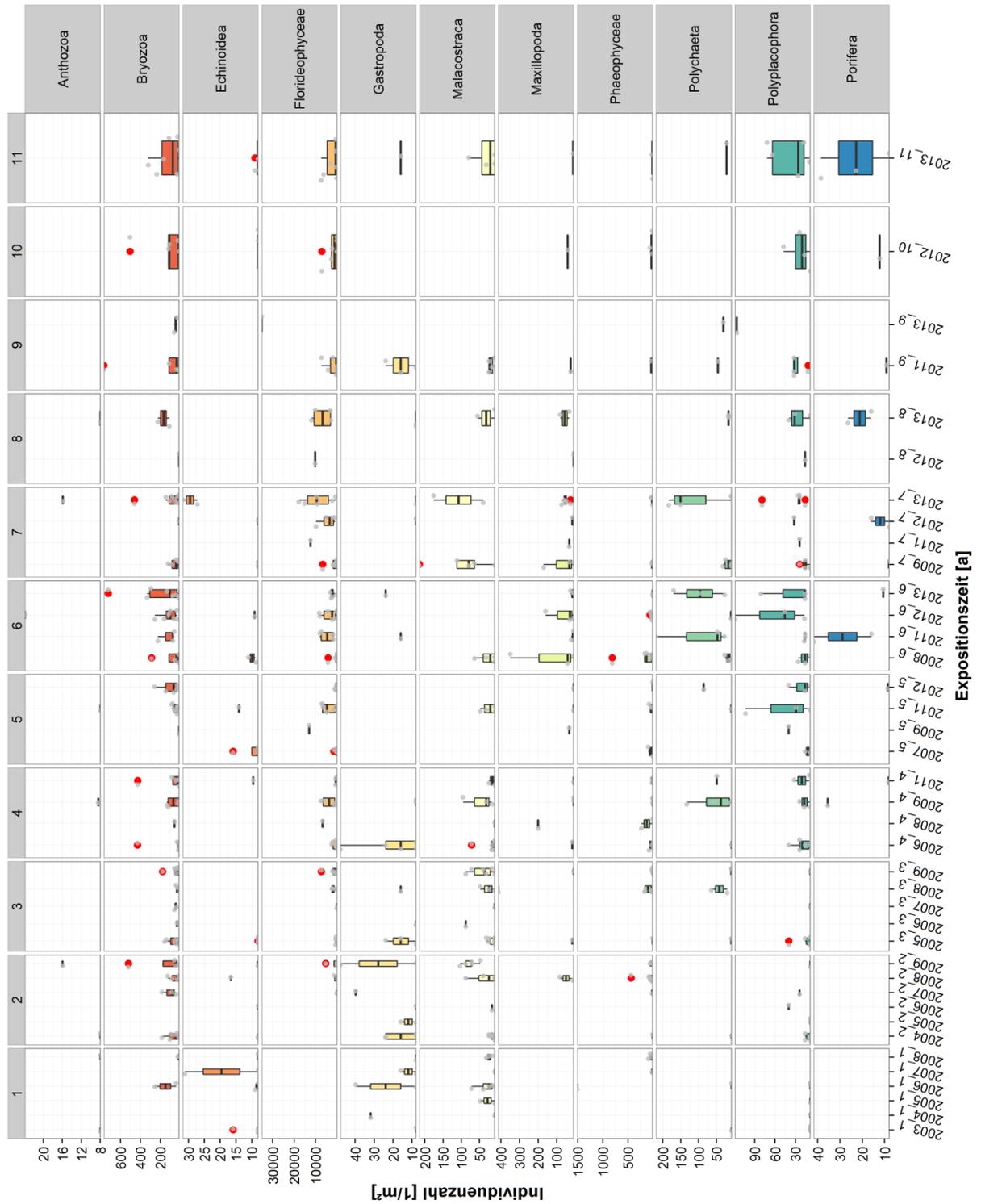


Abb. A 2: Boxplots der Individuenzahl [m^{-2}] der verschiedenen gefundenen taxonomischen Gruppen in Abhängigkeit von der Expositionszeit [a], für alle Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit. In grau sind die Datenpunkte der einzelnen Platten dargestellt, Ausreißer als rote Punkte.

VII.4.2 Ökologische Indices

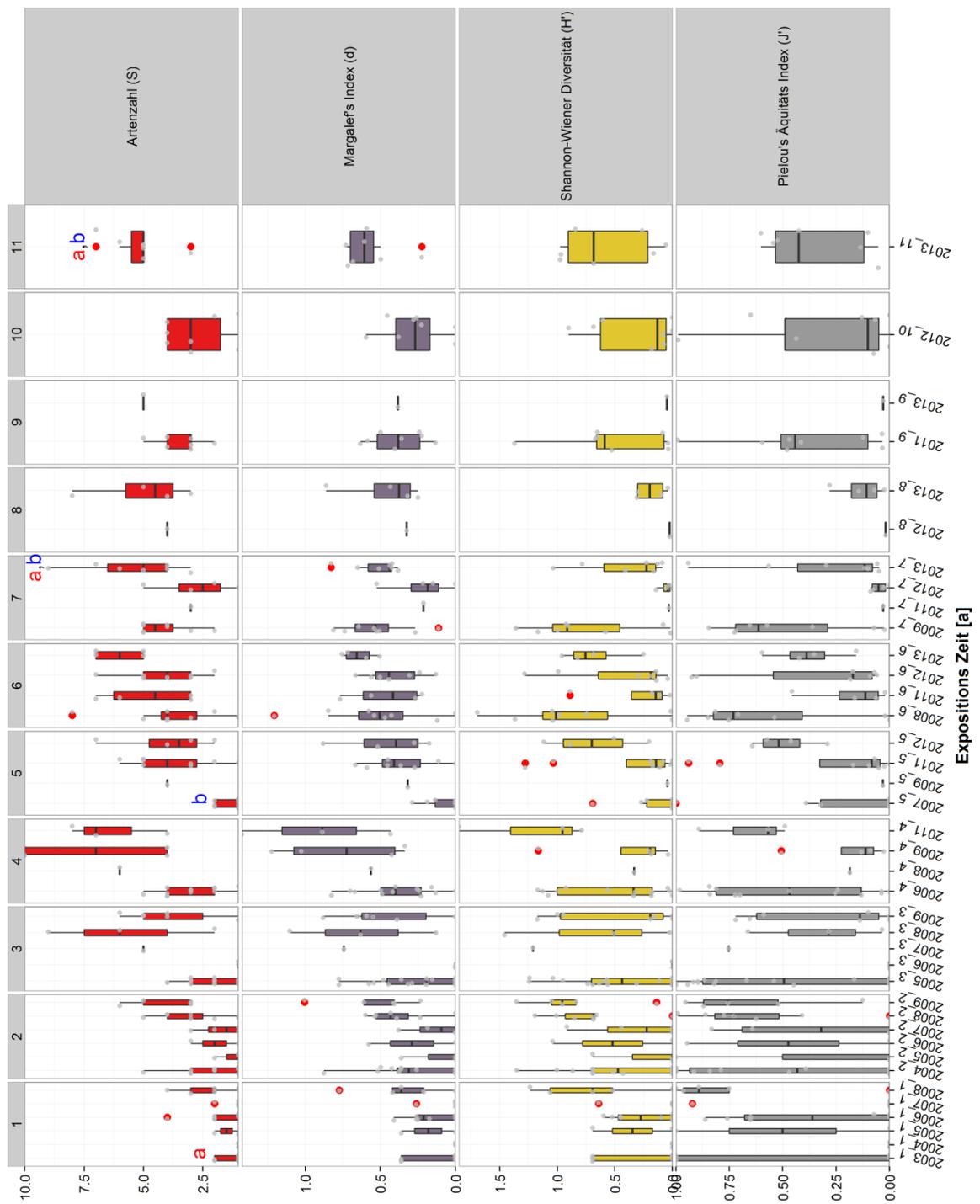


Abb. A 3: Boxplots der Artenzahl (S), des Margalef Index (d), Shannon-Weaver Index (H') und der Äquität nach Pielou (J') für aller Platten einer Periode mit gleicher Expositionszeit, in Abhängigkeit der Expositionszeit [a]. Ein Kruskal-Wallis Test ergab signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) für jeweils mindestens zwei Proben der Artenzahl (S), des Margalef Indexes (d) und Shannon-Weaver Indexes (H'). Die Buchstaben geben signifikante Unterschieden wieder, beruhend auf paarweisen-Vergleichen. In grau sind die Datenpunkte der einzelnen Platten dargestellt, Ausreißer als rote Punkte.

VII.4.3 Clusteranalysen

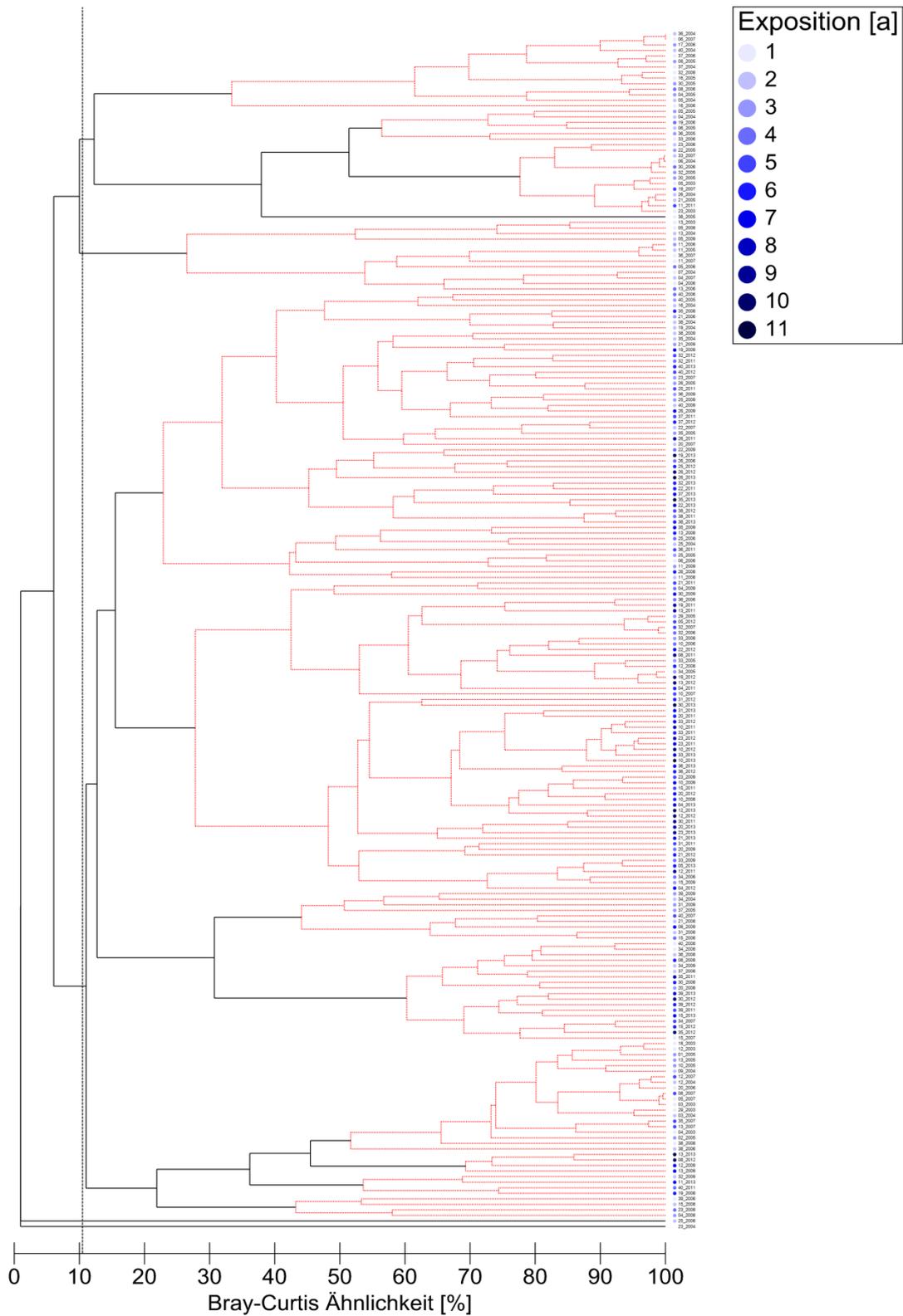


Abb. A 4: Dendrogramm des Bedeckungsgrades der Platten. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse mit einem Signifikanz Level von 5% sind in rot und schwarz dargestellt. In schwarz jene Bereiche des Dendrogramms mit 95% Genauigkeit, in rot jener mit geringerer Genauigkeit. In blau die Expositionszeit [a].

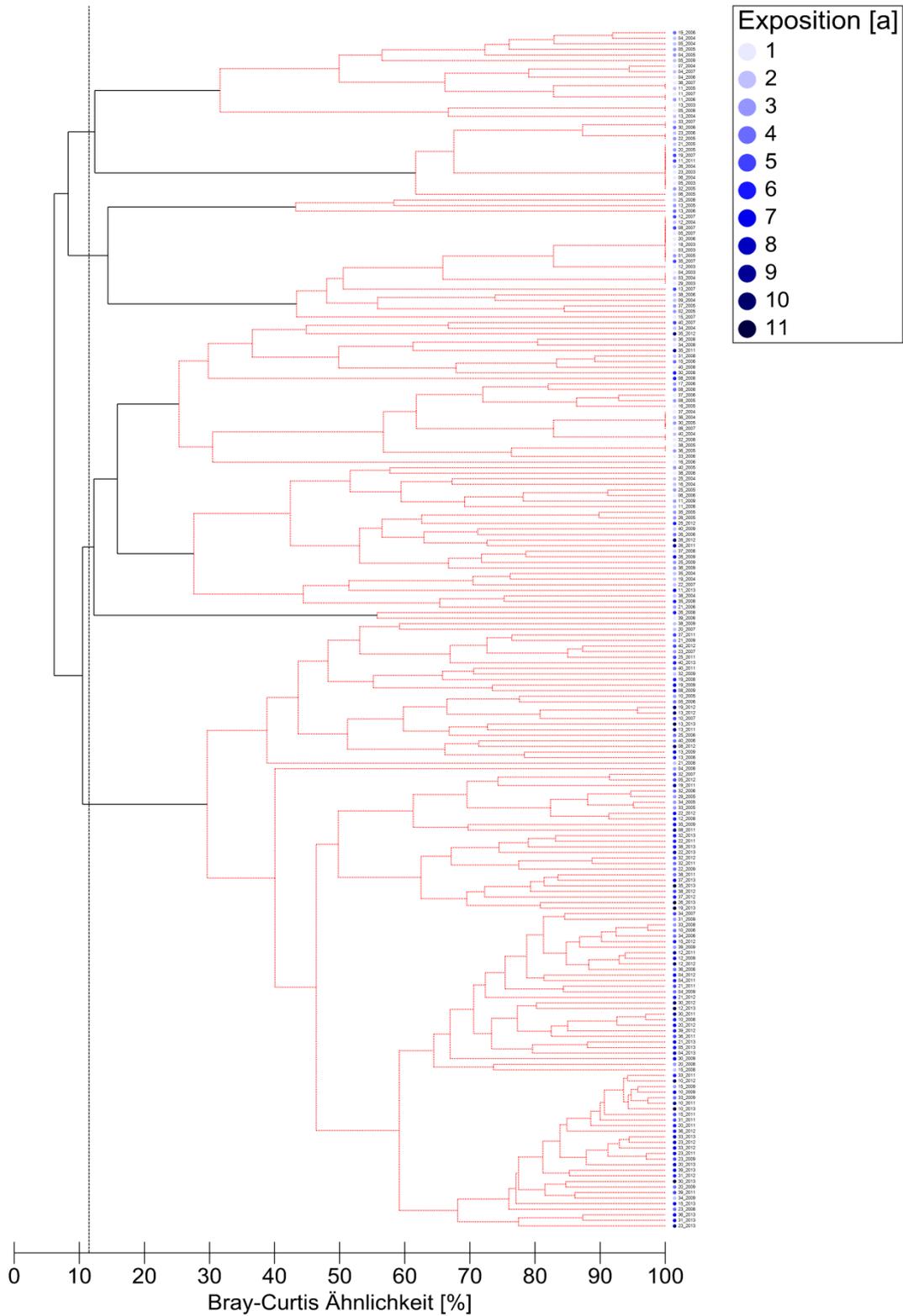


Abb. A 5: Dendrogramm der Abundanzdaten der Platten. Die Ergebnisse einer SIMPROF-Analyse mit einem Signifikanz Level von 5% sind in rot und schwarz dargestellt. In schwarz jene Bereiche des Dendrogramms mit 95% Genauigkeit, in rot jener mit geringerer Genauigkeit. In blau die Expositionszeit [a].

VII.4.4 nmMDS Darstellungen

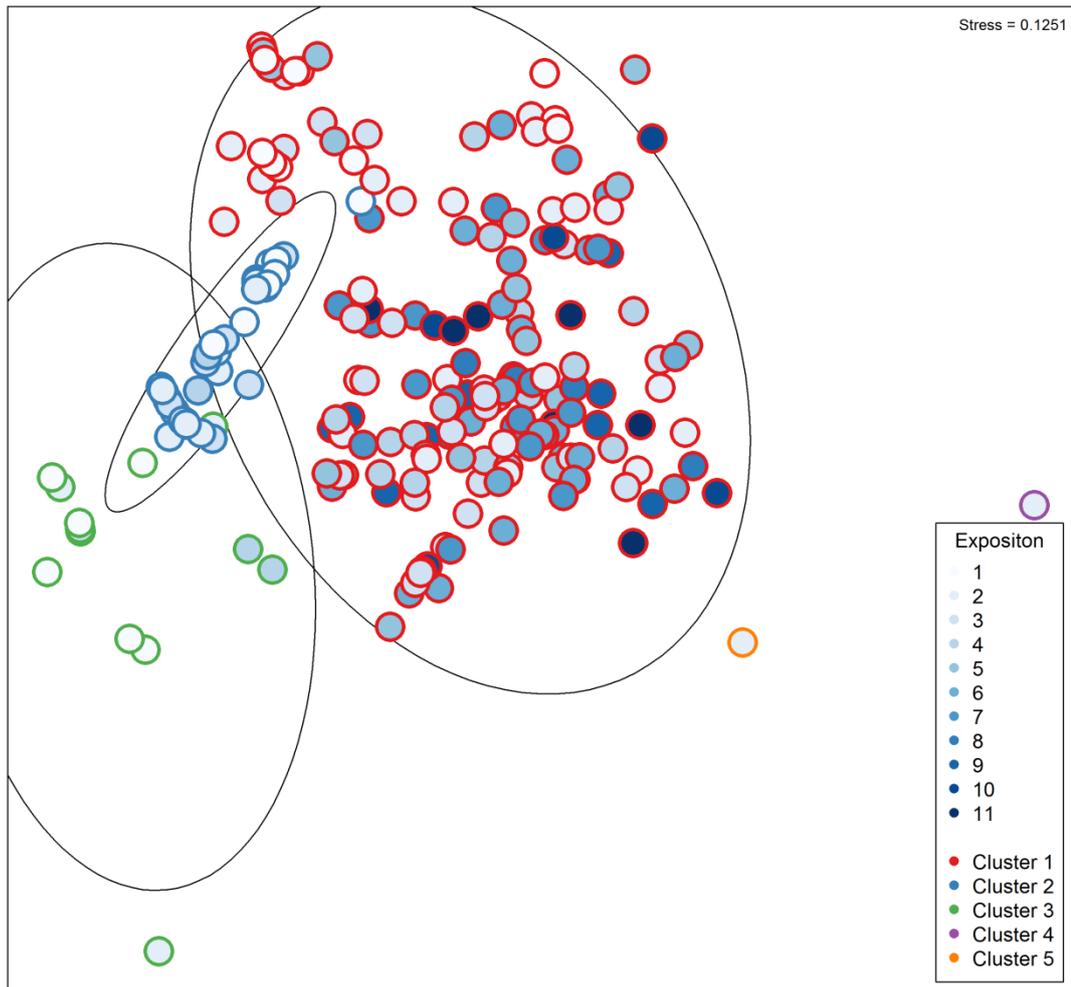


Abb. A 6: nmMDS-Plot des Bedeckungsgrades der Platten. In blau die Expositionszeit [a]. Farblich hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 10,5%. Die Streuungs-Ellipsen beruhen auf der Standardabweichung der Punktwerte des jeweiligen Clusters, bei einer Vertrauensgrenze von 0,95.

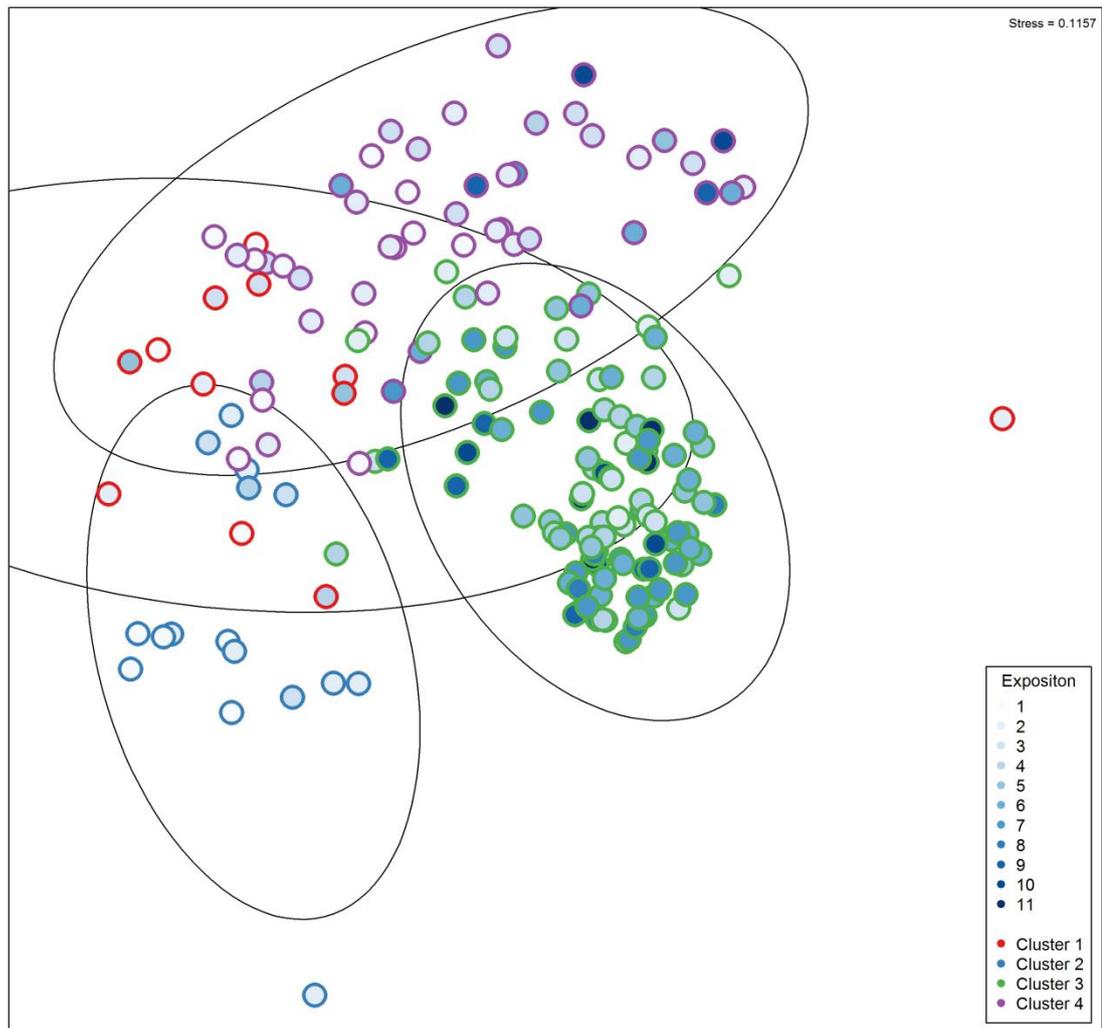


Abb. A 7: nmMDS-Plot der Abundanzdaten der Platten. In blau die Expositionszeit [a]. Farbig hervorgehoben die Cluster mit einer Bray-Curtis Ähnlichkeit von 11,5%. Die Streuungs-Ellipsen beruhen auf der Standardabweichung der Punktwerte des jeweiligen Clusters, bei einer Vertrauensgrenze von 0,95.