

**Ergebnisse einer
quantitativen Winterkartierung
des Eulitorals auf Helgoland und
Vergleich bisheriger Untersuchungen im
jahreszeitlichen Verlauf**

*Bericht an das Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung*

*vorgelegt von
Dipl. Biol. Philipp Schubert und Dr. Ralph Kühlenkamp
Mai 2007*

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 1 |
| 2. METHODE | 2 |
| 3. ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN | 6 |
| 3.1 SAISONALE UNTERSCHIEDE | 6 |
| 3.1.1 <i>Veränderungen der Fucus serratus-Bedeckung</i> | 7 |
| 3.1.2 <i>Similaritätsberechnungen (Anosim) für den dichten Fucus-Bereich</i> | 9 |
| 3.2 DIVERSITÄT | 11 |
| 3.2.1 <i>Veränderungen bei non-Fucus-Arten</i> | 11 |
| 3.2.2 <i>Analyse von Cladophora</i> | 12 |
| 3.2.3 <i>Analyse von Enteromorpha</i> | 13 |
| 3.2.4 <i>Analyse von Ulva</i> | 18 |
| 3.2.5 <i>Analyse von Mytilus</i> | 19 |
| 3.3 VEGETATIONSZONEN | 21 |
| 3.3.1 <i>MDS-Plots</i> | 21 |
| 3.3.2 <i>Anosim</i> | 24 |
| 4. ABSCHLUSSDISKUSSION | 26 |
| 5. LITERATUR | 30 |
| 6. ANHANG | 31 |

1. EINLEITUNG

Im Rahmen eines erweiterten Praxistests für das Makrophyten-Monitoring des Eulitorals auf Helgoland wurden erstmals zwei Winterkartierungen im Dezember 2006 und Februar 2007 durchgeführt. Ziel dieses Rastermonitoring war es, die bisherigen Untersuchungen (Herbst 2003, Sommer 2005, Mai, Juli, Oktober 2006) in einen jahreszeitlichen Kontext zu stellen und das Monitoring und seine Methoden in einem größeren Rahmen zu testen und zu bewerten.

Winterliche Begehungen des Felswatts fanden aufgrund der damit verbundenen Schwierigkeiten und der oft widrigen Wetterbedingungen nur selten statt. Daher fehlten bisher quantitative Angaben zur Makrophytenbedeckung der Monate November bis April.

Um zukünftig ein sinnvolles Makrophyten-Monitoring im Rahmen der Wasser-rahmenrichtlinie (WRRL) zu gewährleisten, bedarf es aber möglichst genauer Informationen insbesondere zur Saisonalität bestimmter Algenarten und zur natürlichen Variabilität der Artenzusammensetzung im gesamten Eulitoral oder innerhalb einzelner Habitats. Die vorliegende Kartierung ist ein erster Versuch, die natürliche Variabilität und mögliche saisonale Unterschiede im Felswatt zu erfassen und zu dokumentieren.

Ein Problem hierbei stellte die starke Abweichung des Winters 2006/2007 vom langjährigen Mittel dar (zu windig, zu warm, kaum Frost, Quelle: DWD). Man kann also nicht davon ausgehen, einen typischen Winteraspekt beobachtet zu haben, doch bot sich so auch die Gelegenheit, einen Einblick in die zukünftige Entwicklung der Makrophytenbestände auf Helgoland zu bekommen, da sich vergleichbare Winter nach Aussage von Klimaforschern durch den Klimawandel häufiger zu erwarten werden.

Zusätzlich konnten die Daten für eine statistische Überprüfung der vor der ersten Kartierung durch Kühlenkamp und Boos (in Bartsch et al., 2005) vorgenommenen Zoneneinteilung genutzt werden.

2. METHODE

Die Winterkartierungen wurden vom 4. bis 19. Dezember 2006 und vom 6. bis 20. Februar durchgeführt. Durch die eingeschränkten Lichtverhältnisse konnte jeweils nur ein Niedrigwasser am Tag zur Arbeit im Watt genutzt werden, meist im Laufe des Vormittags (genaue Auflistung der Niedrigwasserzeiten und der erledigten Arbeiten im ANHANG - Metadaten).

Im Dezember war das Wasser wegen des sehr starken Westwindes (meist 6-7 Bft., teilweise über 11 Bft.) zu keinem Niedrigwasser gut abgelaufen, häufig war ein Einstieg ins Watt gar nicht möglich. Dies hat die Untersuchungsmöglichkeiten sehr stark eingeschränkt und dazu geführt, dass im Dezember von den 140 Punkten des Rasters nur 48, meist höher gelegene Punkte, beprobt werden konnten (genauere Informationen zum Raster und der Untersuchungsmethode im 'Praxistest für das Makrophyten-Monitoring' von Bartsch et al., 2005). Daher wurde der Dezember in der Auswertung nur für die Vergleiche mit ausreichender Datenlage berücksichtigt (z.B. *Enteromorpha*-Vergleich).

Im Februar herrschten ebenfalls starke Winde, diesmal allerdings aus östlichen Richtungen, was zu sehr niedrigen Wasserständen im Felswatt führte und die Arbeit sehr erleichterte. Es konnten sämtliche Punkte beprobt werden (abgesehen von sieben durch einen Hangrutsch verschüttete Punkte in der *Enteromorpha*-Zone).

Sämtliche Daten wurden gemeinsam mit den im Sommer 2005, Mai, Juli und Oktober 2006 an den selben Punkten durchgeführten Kartierungen in ein vorbereitetes Excel-Datenblatt eingetragen und zur statistischen Auswertung teilweise in PRIMER und SPSS überführt. Die im Herbst 2003 von Gehling und Eschmann aufgenommenen Daten konnten nur für einige Arten zum Vergleich herangezogen werden, da das Untersuchungsgebiet und die aufgenommenen Arten zu stark von den übrigen Kartierungen abweichen und so zu Verfälschungen bei der Analyse der Artengemeinschaften oder Diversität geführt hätten.

Im Folgenden wird kurz der Ablauf der Datenaufnahme im Feld beschrieben und erläutert:

Circa zwei Stunden vor der Niedrigwasserzeit wird vom Nordstrand her in das Felswatt eingestiegen. Dort erfolgt die Orientierung und das Auffinden der Messpunkte mithilfe eines tragbaren D-GPS-Empfängers (Trimble GeoXT, Genauigkeit <1m), in den auch Metadaten während der Feldarbeit eingegeben werden können. Die Daten können dann am Rechner mithilfe eines GIS-Programms (ArcGIS 9.1) weiterverarbeitet werden.

An den einzelnen Messpunkten des Rasters wird der Zählrahmen (0,25 m²) positioniert (stets in Streichrichtung = von SO nach NW), zunächst ein Foto gemacht (Blickrichtung möglichst immer SO) und die Abschätzung der obersten Schicht (Toplayer, meist *Fucus serratus*) vorgenommen. Diese wird dann

möglichst schonend zur Seite geräumt, die Bedeckung des Unterwuchses abgeschätzt und, wenn nötig, nochmals fotografiert. Durch eine Zifferkennung die der ProbenID entspricht sind die Fotos später eindeutig den Messpunkten zuzuordnen (Abb. 1).



Abb. 1: Zählrahmen mit Zifferkennung (Position 1854), Foto: P. Schubert

Die Bedeckung jeder einzelnen Makrophyten-Art und die Abundanzen der wichtigsten Makrofauna-Arten wird prozentgenau geschätzt (Ausnahme: *Phymatolithon*-Arten werden gemeinsam aufgenommen) und Proben unbekannter Arten zur Labor-Bestimmung mitgenommen. Zu zweit kann man bei einem guten Niedrigwasser zwischen 20 und 30 Quadrate auswerten. Allerdings können Störungen des Satelliten-Empfangs insbesondere bei nahe der Felskante gelegenen Punkten des Rasters auftreten und so zu Verzögerungen führen. Bei Beibehaltung des Punkterasters wäre es empfehlenswert, jeden Messpunkt mit einer festen Markierung zu versehen, die dann mithilfe des GPS aufgefunden werden kann.

Zusätzlich zu den Messpunkten des Rasters wurden mithilfe des GPS auch *Enteromorpha*-Polygone ausgemessen. Dazu wurden die Grenzen der *Enteromorpha*-Flächen im oberen Eulitoral des Watts mit dem GPS abgegangen und Stützpunkte gesetzt, anhand derer die Flächen der Polygone berechnet werden können.

Alle im Raster vorhandenen Messpunkte wurden durchnummeriert und erhielten damit eine eindeutige Positions-ID (Abb. 2) der die ProbenIDs für den jeweiligen Probenzeitraum zugeordnet wurden.

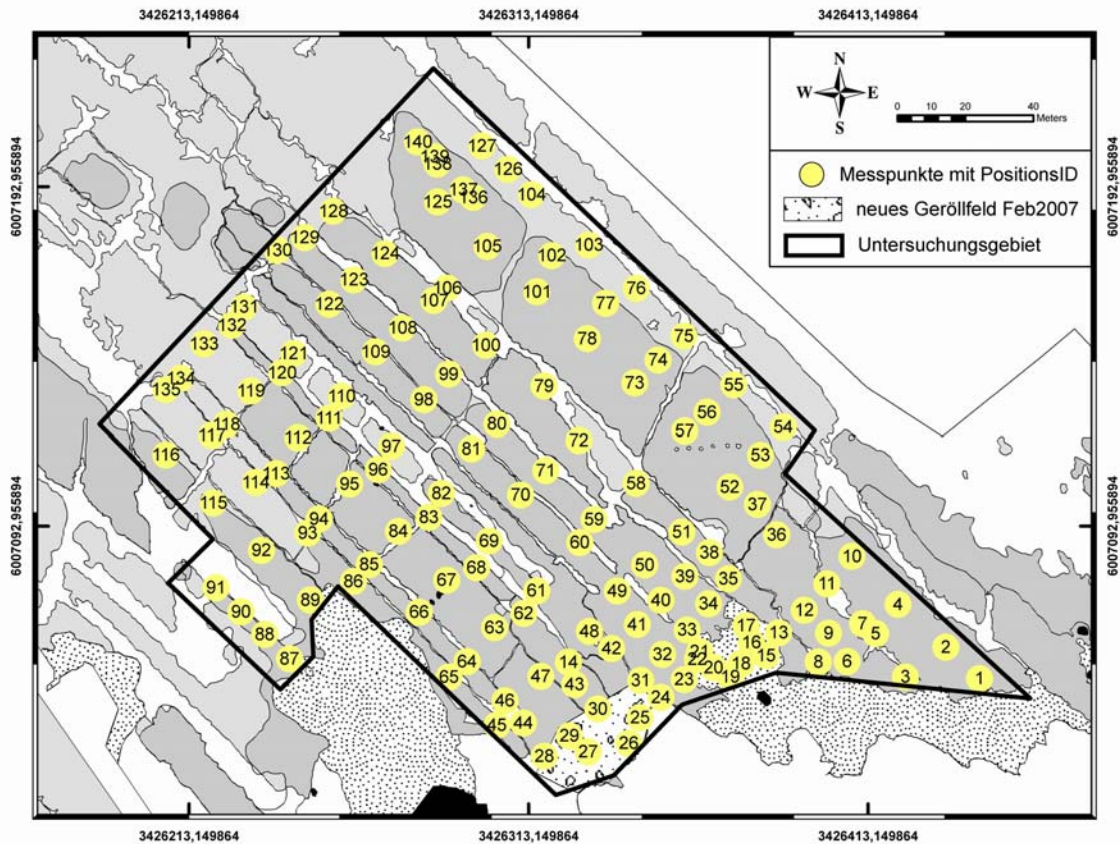


Abb.2: GIS-Karte mit Positionen und Ids der Messquadrate im Untersuchungsgebiet N-Watt Helgoland.

Das Nordwatt wurde nach ersten Begehungen im Sommer 2005 in sechs Zonen eingeteilt, die man Abb. 3 entnehmen kann (Bartsch et al., 2005). Diese Zonen entsprechen, wie für die *Enteromorpha*-Flächen beschrieben, GPS-gestützten Polygonen und verlaufen entlang festgelegter Vegetationsgrenzen. Während des Rastermonitoring in 2006 wurde ein Bereich hinzugenommen der von den Positionen 15 – 22 abgedeckt wird. Es ist ein altes Geröllfeld welches durch Felsabbrüche entstanden ist. Dort befinden sich neben Bundsandsteinfelsen auch Betonplattenreste. Das Gebiet ist charakterisiert durch ein Plateau aus Bundsandstein auf dem sich unterschiedlich große Felsblöcke befinden. Messquadrate wurden entweder auf dem niedrig gelegenen Plateau ausgelegt oder auf den Oberflächen einiger Felsblöcke.

Die statistische Vorauswertung der gewonnen Daten erfolgte teilweise anhand dieser *a priori* definierten Zonen, denen jeder der 140 Messpunkte zugeordnet wurde. Zusätzlich wurde im zweiten Teil der Auswertung die Einteilung dieser Zonen unter statistischen Gesichtspunkten überprüft.

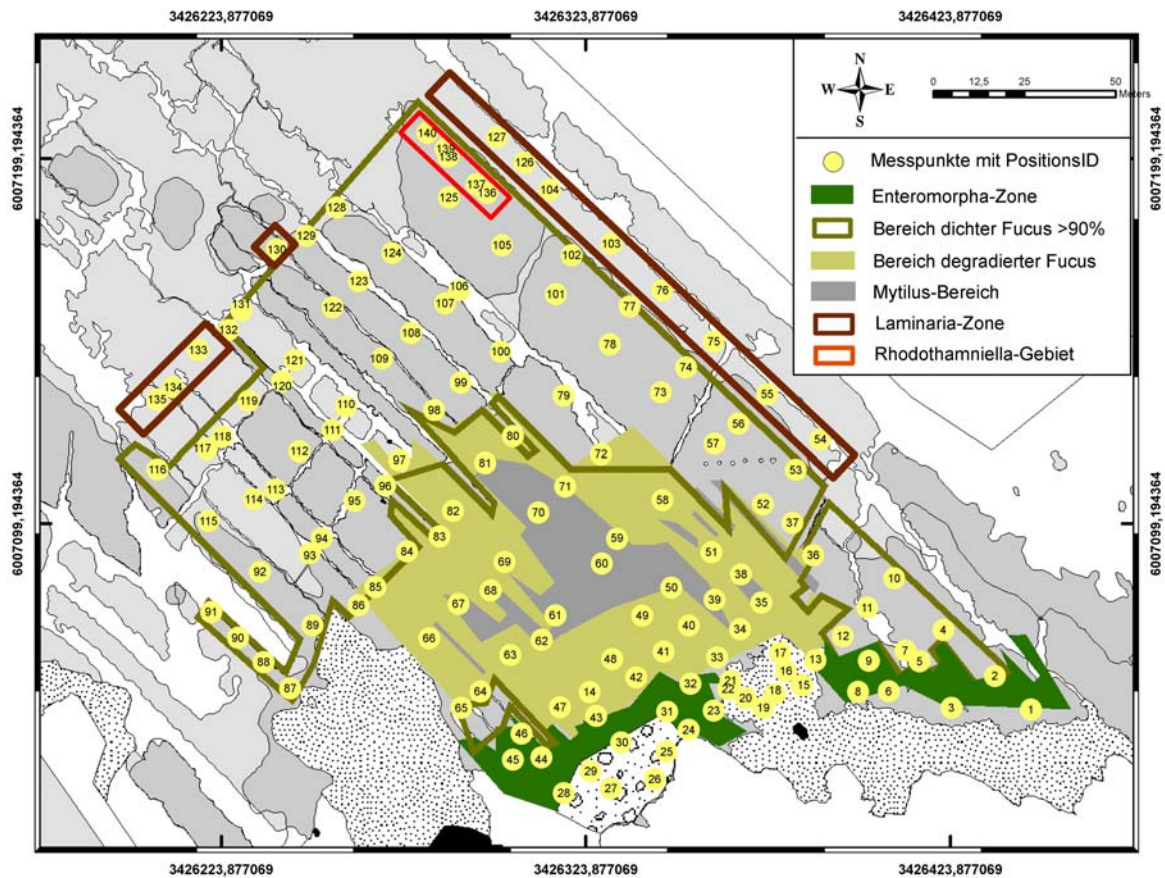


Abb.3: GIS-Karte Untersuchungsgebiet N-Watt Helgoland eingeteilt in die verschiedenen Zonen und Bereiche gemäß bisheriger Untersuchungen (Bartsch & Kühlenkamp, 2004, Bartsch et al. 2005). Die *Laminaria*-Zone bezeichnet im Grenzbereich zwischen Eu- und Sublitoral den Übergang von dichter *Fucus*-Bedeckung zum Bereich mit *Laminaria digitata*. Das *Rhodothamniella*-Gebiet ist ein Bereich mit relativ großen 'patches' von 'turf'-Bewuchs in denen *Rhodothamniella* eine bedeutende Rolle spielt.

Die statistischen Gemeinschaftsanalysen wurden mit PRIMER (Vers. 5.2.2) durchgeführt, also alle MDS-Plots, die ANOSIM und SIMPER-Analysen sowie die Diversitätsindices. Die Grundlage dafür bildete eine Excel-Tabelle (HELmonitorAbundanzen.xls), in der sämtliche Daten eingetragen wurden. Mit den Mittelwerten der Bedeckung wichtiger Taxa und der Shannon-Diversität wurden mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 10.0) Varianzanalysen durchgeführt.

Zusätzliche Grafiken wurden mit Excel erstellt, die Datentabellen dazu finden sich ebenso wie alle in den Ergebnissen erwähnten Auswertungen und die Digitalfotos der Rahmen im beigefügtem Material.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN

3.1 Saisonale Unterschiede

Grundsätzlich ist zu sagen, dass hochsignifikante Unterschiede zwischen einzelnen Monitoring-Zeitpunkten vorliegen können. Die Frage ist, in wie weit diese Unterschiede saisonaler Art sind, sich also durch den „normalen“ Jahresgang im Felswatt erklären lassen, oder das Ergebnis eines „abnormen“ Herbstes und Winters waren. Abschließend kann diese Frage wohl erst durch weitere Untersuchungen im nächsten Sommer und Winter geklärt werden, da in der vorliegenden Studie erstmalig auch quantitative Daten einer Winterkartierung ausgewertet wurden.

Die Vermutung liegt allerdings nahe, dass dieser Winter mit seinen starken Stürmen und nördlichen Windrichtungen außergewöhnlich war und einen starken Einfluss auf bestimmte Arten des sonst eher geschützten Standortes hatte. Die Photos des Nordstrandes (Abb. 4 und 5) belegen dies anschaulich. Im Dezember waren am Strand nur wenige Steine zu finden, im Februar, nur sechs Wochen später, liegt der gesamte Westteil des Strandes unter einer bis zu drei Meter hohen Geröllschicht.



Abb. 4: Nordstrand im Dezember 2006, Foto: P. Schubert



Abb. 5: Nordstrand mit Geröllschicht im Februar 2007, Foto: P. Schubert

3.1.1 Veränderungen der *Fucus serratus*-Bedeckung

Der auffälligste Unterschied zwischen den einzelnen Messzeitpunkten, sowohl im Feld als auch in den Daten, war die stark zurückgegangene Bedeckung mit der wichtigsten und abundantesten Makroalge des Felswatts, *Fucus serratus* (Abb. 6).



Abb. 6: Veränderung der *Fucus*-Flächen im N-Watt Helgoland zwischen 2005 und 2007.
Links: Juni 2005; Dichte Bedeckung mit *Fucus serratus*.
Rechts: Februar 2007; Stark reduzierte *Fucus*-Bedeckung, freiliegender 'understorey'-Bewuchs wie *Cladophora rupestris*. Fotos: R. Kühlenkamp

Insbesondere in dem als *Fucus*-Zone deklarierten Bereich des Watts ($\geq 90\%$ Bedeckung, Bartsch et al., 2005) nahm die mittlere Bedeckung vom Sommer 2006 bis Februar 2007 um ca. 60% ab (Tab. 1).

Tab. 1: Entwicklung der über alle Messpunkte der dichten *Fucus*-Zone gemittelten Bedeckung mit *Fucus serratus*

| Zeitpunkt | mittlere Bedeckung in % |
|--------------|-------------------------|
| 2005 | 94,5 |
| Mai 2006 | 90,5 |
| Juli 2006 | 95,4 |
| Oktober 2006 | 72,7 |
| Februar 2007 | 35,5 |

Eine Darstellung jedes Messwertes für den jeweiligen Probenzeitraum in einem Balkendiagramm lässt einen direkten visuellen Vergleich der von *Fucus* bedeckten Flächen in der dichten *Fucus*-Zone zu (Abb. 8). Die ersten drei Zeiträume bis einschließlich Juli 2006 sind in ihrer *Fucus*-Bedeckung fast unverändert während im Oktober 2006 schon deutliche Einbrüche zu verzeichnen sind. Im Februar 2007 wurden bei einer generell sehr stark abgenommenen Abundanz keine Messungen mit Werten über 80% Bedeckungsgrad gefunden.

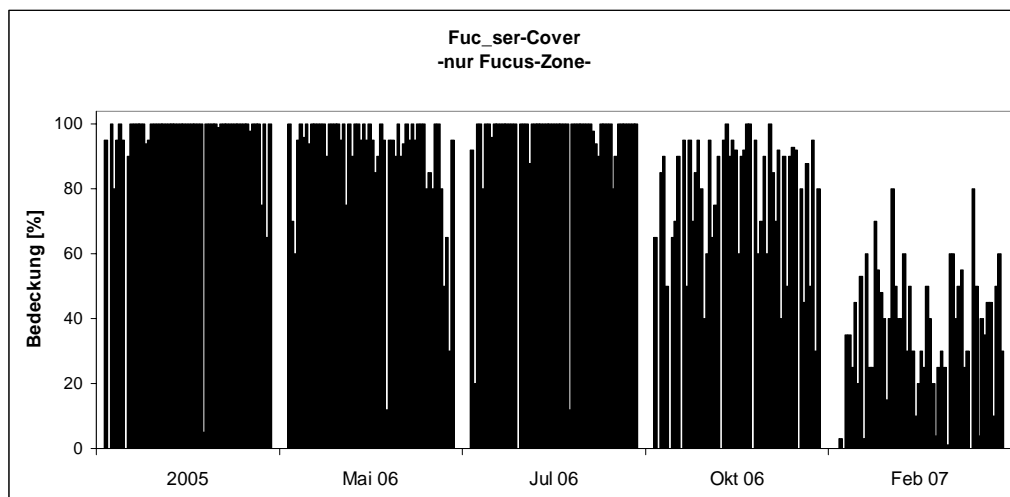


Abb. 8: Balkendiagramm der *Fucus serratus*-Bedeckung: Einzelwerte aller Quadrate aus der dichten *Fucus*-Zone (>90% Bedeckung)

Die Abnahme der Bedeckung ist auch außerhalb der *Fucus*-Zone beziehungsweise für das gesamte Raster zumindest für die Probennahme Feb 2007 deutlich zu erkennen (Abb. 9). Es fehlen bei einer generell niedrigen Abundanz von *Fucus* für das ganze Gebiet wiederum die Bedeckungsgrade von 80 - 100%.

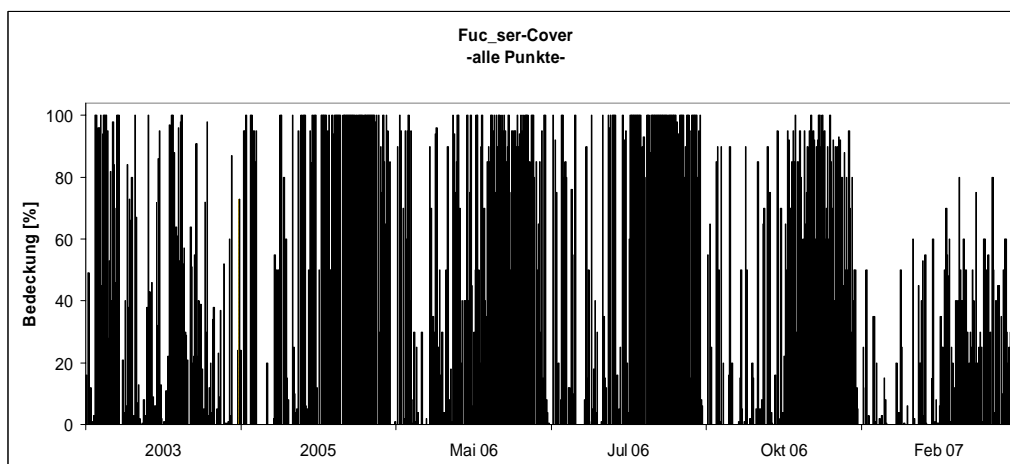


Abb. 9: Balkendiagramm der *Fucus serratus*-Bedeckung: Einzelwerte aller Quadrate des gesamten Rasters.

Es ist somit eine gleichmäßige Ausdünnung der *Fucus*-Bestände erfolgt, wie durch Stürme zu erwarten ist, die den gesamten Bereich des N-Watts beeinträchtigen im Gegensatz zu lokalen Ausfällen oder der Reduzierung von *Fucus*-Pflanzen, wie es beispielsweise durch Überalterung, Fraß oder anderen biologischen Faktoren geschehen kann.

Die statistische Auswertung (repeated measurements ANOVA, BONFERRONI-korrigiert für die Anzahl der Vergleiche (10), Tab. 2) ergab dann auch für fast alle Vergleiche (Ausnahme: Sommermonate 2005/2006) hochsignifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Zeitpunkten für die *Fucus*-Bedeckungen des gesamten Rasters. Das heißt, die *Fucus*-Bedeckungen in 2005, Mai und Juli 2006 unterscheiden sich nicht, die Bedeckungen aller anderen Paare sind signifikant voneinander verschieden.

Tab. 2: p-Werte der ANOVA mit den *Fucus*-Bedeckungen aller Messpunkte (Quelle: SPSS 10.0) im saisonalen Vergleich.

| Vergleich | p-Werte (Signifikanzniveau nach BONFERRONI-Korr. =0,005) |
|---------------|---|
| 2005 vs. Mai | 0,123 |
| 2005 vs. Juli | 0,843 |
| 2005 vs. Okt | <0,001 |
| 2005 vs. Feb | <0,001 |
| Mai vs. Juli | 0,029 |
| Mai vs. Okt | <0,001 |
| Mai vs. Feb | <0,001 |
| Juli vs. Okt | <0,001 |
| Juli vs. Feb | <0,001 |
| Okt vs. Feb | <0,001 |

3.1.2 Similaritätsberechnungen (Anosim) für den dichten *Fucus*-Bereich

Führt man mit allen Arten der Messpunkte innerhalb des dichten *Fucus*-Bereiches eine Similaritätsanalyse (ANOSIM) durch, so bekommt man ähnliche Ergebnisse wie mit der Anova für die *Fucus*-Bedeckung (Tab. 3): der Februar lässt sich in seiner Artenzusammensetzung sehr gut von den Sommermonaten (2005, Mai, Juli) abgrenzen ($R > 0,5$), vom Oktober nicht ganz so deutlich ($R > 0,37$). Die Artenzusammensetzung der übrigen Zeitpunkte (2005, Mai, Juli und Oktober) war nicht voneinander unterscheidbar ($R < 0,25$, siehe PRIMER-Manual).

Tab. 3: Anosim mit allen Arten aus den Rasterquadraten im dichten *Fucus*-Bereich.

| <i>Pairwise Tests</i> | | |
|--|----------------|-------------------------|
| Groups | R Statistic | Significance Level % |
| 2005, M06 | 0,064 | 0,1 |
| 2005, J06 | 0,027 | 0,9 |
| 2005, O06 | 0,15 | 0,1 |
| 2005, F07 | 0,536 | 0,1 |
| M06, J06 | 0,057 | 0,1 |
| M06, O06 | 0,091 | 0,1 |
| M06, F07 | 0,535 | 0,1 |
| J06, O06 | 0,18 | 0,1 |
| J06, F07 | 0,589 | 0,1 |
| O06, F07 | 0,374 | 0,1 |
| R > 0,75: gut getrennt | | |
| R > 0,5 : überlappend aber klar getrennt | | |
| R < 0,25: kaum unterscheidbar | | |

Um zu testen, ob die Unterschiede in der Similarität der Probenzeitpunkte, die sich in dieser Anosim-Analyse zeigten, auf einer Veränderung des *Fucus*-Vorkommens oder auch auf Unterschiede in der Artenzusammensetzung der restlichen Algenarten beruhte, wurden im folgenden die Berechnungen ohne die *Fucus*-Arten durchgeführt. In dieser zweiten Similaritätsanalyse wurden somit nur non-*Fucus*-Arten analysiert, die im dichten *Fucus*-Bereich hauptsächlich als 'understorey'-Arten vorkommen. Es waren keine der Probenmesspunkte voneinander unterscheidbar bei einem $R < 0,25$ (Ergebnisse deshalb hier nicht gezeigt).

Das Ergebnis war eindeutig und signifikant und belegt, dass die Unterschiede zwischen den Probenmonaten sich rein durch das unterschiedliche Vorkommen von *Fucus* ergaben und die restlichen Arten keinen Einfluß hatten.

3.2 Diversität

3.2.1 Veränderungen bei non-*Fucus*-Arten

Aus den Ergebnissen der vorherigen Analysen läßt sich vermuten, dass die Abnahme der *Fucus*-Bedeckung im Februar offensichtlich keine nennenswerten Auswirkungen auf die Artensammensetzung der Messstationen hatte.

Um dies statistisch zu testen wurde die gesamte Diversität in der *Fucus*-Zone ohne die Bedeckungswerte für *Fucus* mittels des Shannon-Wiener-Index H' analysiert. Der für jeden Messzeitpunkt gemittelte Index H' ist in Tab. 4 wiedergegeben.

Es zeigte sich, dass der Index für Februar nicht signifikant von den Indices der anderen Zeitpunkte verschieden ist (repeated measurements ANOVA). Somit hat sich die Diversität der Artenzusammensetzung in der dichten *Fucus*-Zone, wenn sie ohne *Fucus serratus* betrachtet wird, nicht verändert.

Tab. 4: Entwicklung des für jeden Zeitpunkt gemittelten Shannon-Wiener-Indexes innerhalb der dichten *Fucus*-Zone.

| Zeitpunkt | Shannon-Wiener-Index H' |
|-----------|---------------------------|
| 2005 | 1,024 |
| Mai | 1,071 |
| Juli | 1,104 |
| Oktober | 1,147 |
| Dezember | 1,097 |
| Februar | 1,084 |

Der beobachtete Zeitraum von wenigen Monaten war sicherlich für eine Reaktion anderer Arten (Nischeneroberung, erhöhte Sterberaten durch Austrocknung/UV-Strahlung etc.) zu kurz, als dass sich Auswirkungen auf die Diversität feststellen lassen würden. Zumal erhöhte Strahlungswerte, die sich beispielsweise durch UV-Belastung oder Austrocknung negativ auf jetzt dauerhaft exponierte 'understorey'-Arten auswirken könnten, erst später im Frühjahr und Sommer auftreten. Auch hier gilt, dass weitere Beobachtungen im nächsten Jahresgang nötig sind, um bessere Aussagen über die Auswirkung des Rückgangs der *Fucus*-Bedeckungen machen zu können.

3.2.2 Analyse von *Cladophora*

Durch die Verringerung der Bedeckung von *Fucus serratus* wurde der Vermutung nachgegangen, dass in den quantitativen Daten eventuell Auswirkungen auf den Unterwuchs aufgrund fehlenden Schutzes vor Austrocknung oder erhöhter Sonnenstrahlung zu vermerken sind. Insbesondere war es offensichtlich, dass die sehr abundante Grünalge, *Cladophora rupestris*, vermehrt exponiert war.

In der dichten *Fucus*-Zone sind jedoch keine Unterschiede in der mittleren Bedeckung mit *Cladophora rupestris* festzustellen (Abb. 10). *Cladophora* ist bisher weder vom Wegfall der bedeckenden *Fucus*-Schicht benachteiligt worden, noch hat sie profitieren können. Auch im Februar 2007 sind ebenso hohe Bedeckungsgrade anzutreffen wie in den vorhergehenden Probenzeiträumen. Mittelfristig könnten sich allerdings insbesondere durch den verringerten Austrocknungs- und Strahlungs-Schutz mit zunehmender Sonnenintensität im Frühjahr Nachteile für die *Cladophora*-Bestände ergeben.

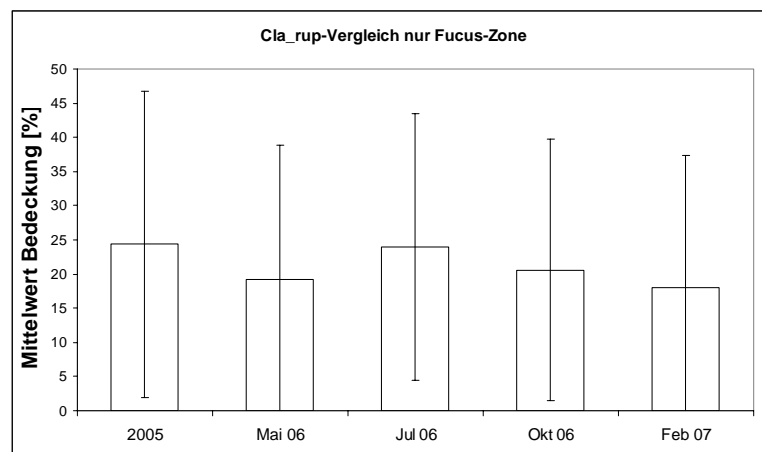


Abb. 10: *Cladophora rupestris*: Mittelwerte der Bedeckung aller Quadrate in der dichten *Fucus*-Zone zum jeweiligen Probennahmezeitpunkt und Standardabweichung.

Cladophora rupestris kam allerdings auch außerhalb der dichten *Fucus*-Zone mit hohen Bedeckungsgraden vor (Abb. 11), die sich im Februar 2007 nicht wesentlich von den anderen Werten unterscheiden im Gegensatz zu den *Fucus*-Bedeckungsgraden, die im Februar 2007 deutlich geringere Werte aufweisen. Außerhalb der dichten *Fucus*-Zone sind die Bestände an *Cladophora rupestris* meistens exponiert und sollten durch eine geringere *Fucus*-Bedeckung unbeeinflusst bleiben.

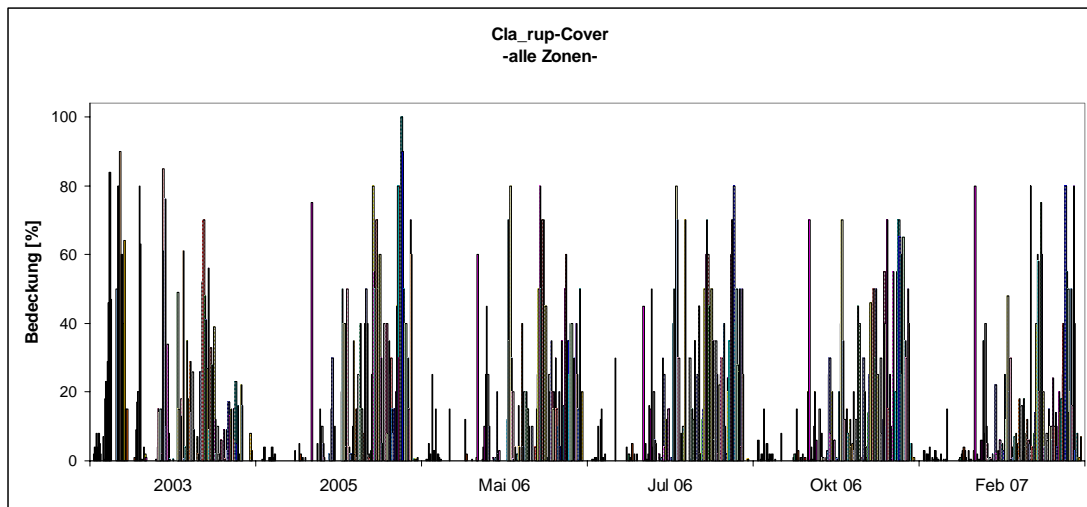


Abb. 11: *Cladophora rupestris*-Bedeckung: Einzelwerte aller Quadrate des gesamten Rasters zum jeweiligen Probenahmepunkt.

3.2.3 Analyse von *Enteromorpha*

Im oberen Eulitoral finden sich im Felswatt je nach Jahreszeit mehr oder weniger ausgedehnte Flächen mit *Enteromorpha*-Bewuchs (die taxonomische Unterscheidung der einzelnen *Enteromorpha*-Arten ist im Feld sehr schwierig und aufwendig, daher wird nur der Gattungsname verwendet). Diese Rasen sind nicht nur in ihrer Ausdehnung, sondern auch in der Länge der Thalli sehr variabel und gelten als Eutrophierungsanzeiger. Im Felswatt der Insel Helgoland existierten die *Enteromorpha*-Rasen, wahrscheinlich begünstigt durch die regelmäßigen Störungen durch Driftmaterial, Wellenschlag sowie den Nährstoffeintrag durch Seevögel, auch schon in vorindustrieller Zeit. Ihre Ausdehnung im Sommer hat sich seitdem kaum verändert (Bartsch & Kuhlenkamp, 2004).

Enteromorpha hat eine starke licht- und temperaturabhängige Saisonalität. Die durch die *Enteromorpha*-Polygone errechneten Flächen der *Enteromorpha*-Besiedlung im oberen Eulitoral (*Enteromorpha*-Bedeckung >95%) zeigten jedoch eine wesentliche Reduzierung schon im Monat Oktober 2006 verglichen zu der

Fläche, die in 2005 im Spätsommer gemessen wurde (Abb. 12). Damit sind die von Bartsch *et al.* (2005) vorgebrachten Argumente, dass *Enteromorpha* in diesem Bereich des Helgoländer N-Watts eher durch starke Erosionskräfte bei Stürmen in der Ausbreitung beeinflusst wird als durch saisonale physiologische Abhängigkeiten, voll unterstützt.

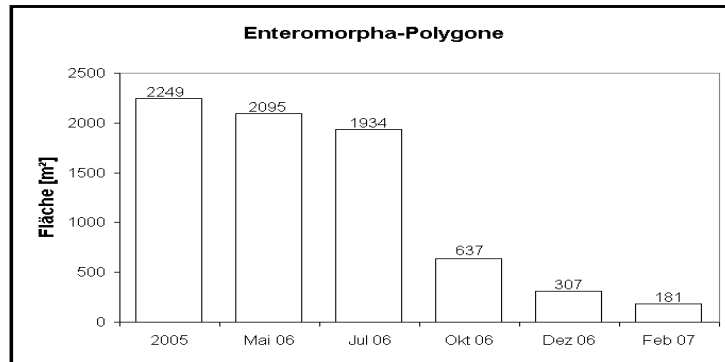


Abb. 12 : Entwicklung der *Enteromorpha*-Flächen im Eulitoral als Veränderung der Fläche in m² dargestellt, unabhängig von der effektiven Bedeckung. Die Gesamtfläche ist jeweils über dem dazugehörigen Balken angegeben.

Im Winter (Februar 2007) ging die von *Enteromorpha* bedeckte Fläche bis auf weniger als 10% der sommerlichen Ausdehnung zurück (Tab. 5). Zusätzlich ist die Länge der Thalli und damit die Biomasse der vorhandenen Pflanzen sehr unterschiedlich. In guten Wachstumszeiten wie den Frühjahr- und Sommermonaten waren die Thalli etwa 10 - 15 cm lang, während sie im Dezember und Februar meistens unter 2 cm Länge blieben (Feldmessungen Rastermonitoring, AWI).

Tab. 5: Absolute Flächenwerte der *Enteromorpha*-Zone.

| Zeitpunkt | <i>Enteromorpha</i> -Fläche in m ² |
|-----------|---|
| 2005 | 2249 |
| Mai | 2095 |
| Juli | 1934 |
| Oktober | 637 |
| Dezember | 307 |
| Februar | 181 |

In der georeferenzierten Ansicht der *Enteromorpha*-Polygone im oberen Eulitoral des N-Watts entsprechen die Werte im Mai und Juli 2006 noch fast vollständig der Fläche, die in 2005 festgestellt worden war (Abb. 13).

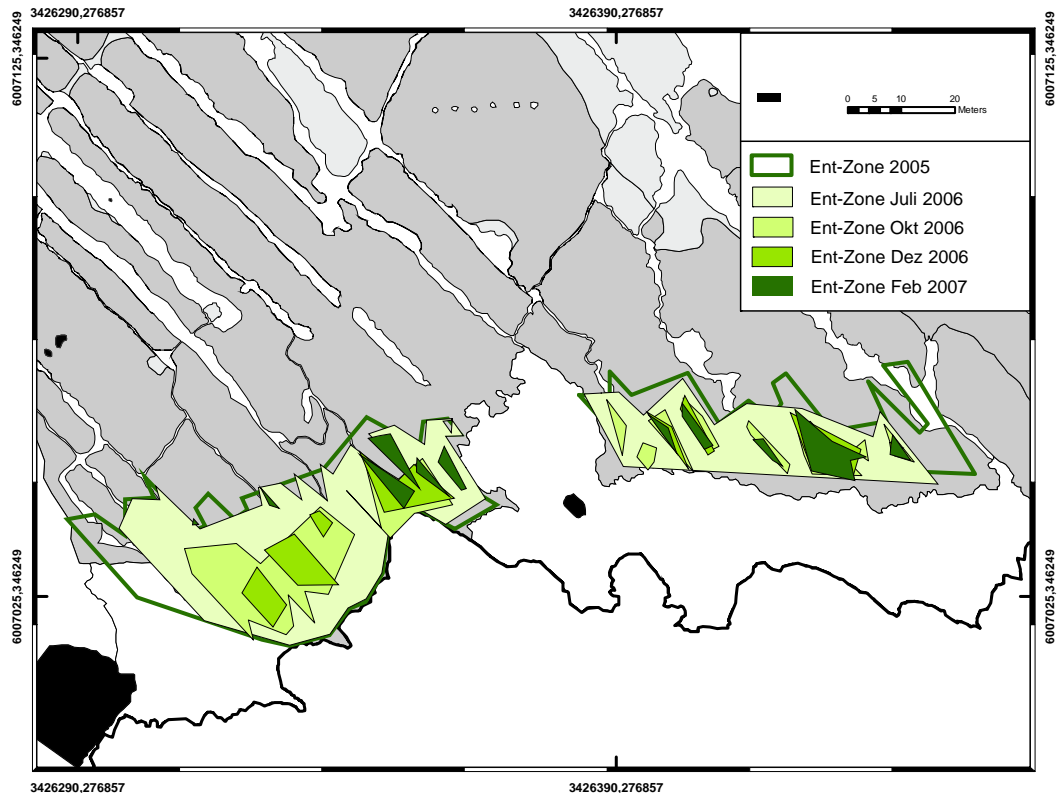


Abb. 13: Während des Rastermonitoring gemessene Polygone der *Enteromorpha*-Bedeckung (cover >95%). Das Polygon im Mai 2006 entspricht in etwa dem aus 2005 und wurde der Übersichtlichkeit wegen nicht gezeigt.

Danach jedoch reduziert sich diese Fläche auf wenige kleine, voneinander getrennte Flächen mit sehr niedrigem Bewuchs. Durch Beobachtungen während der Feldmessungen lässt sich sagen, dass diese Flächen oft leicht erhöhte Bereiche der Plateaus oder Schichtköpfe im oberen Eulitoral sind, die im Vergleich zu den niedrigeren Flächen nicht so sehr durch Geröll, Kies, Felsabrieb etc. beeinflusst werden können, da dieses Material sich eher in den Senken sammelt. Dafür spricht auch die längliche Ausrichtung der bewachsenen Flächen in Richtung der Schichtköpfe (von SO nach NW). Insbesondere im östlichen Sektor der *Enteromorpha*-Zone sind die verkleinerten Flächen in ihrer Ausdehnung und Standort sehr konstant, was für eine mechanische Beeinflussung in der beschriebenen Weise spricht.

Im westlichen Teil wurde im Februar 2007, wahrscheinlich bedingt durch den neuen Felsabsturz und die damit verbundenen großen Mengen an Felsmaterial und Abrieb im oberen Eulitoral, fast kein *Enteromorpha*-Bewuchs festgestellt, obwohl dort in den vorangegangenen Beprobungen, insbesondere im Dezember 2006, noch substantielle Flächen vorhanden waren (Abb. 14). Aufgrund der milden Witterung ohne Frost wären im Winter 2006/2007 größere *Enteromorpha*-Bestände zu erwarten gewesen.

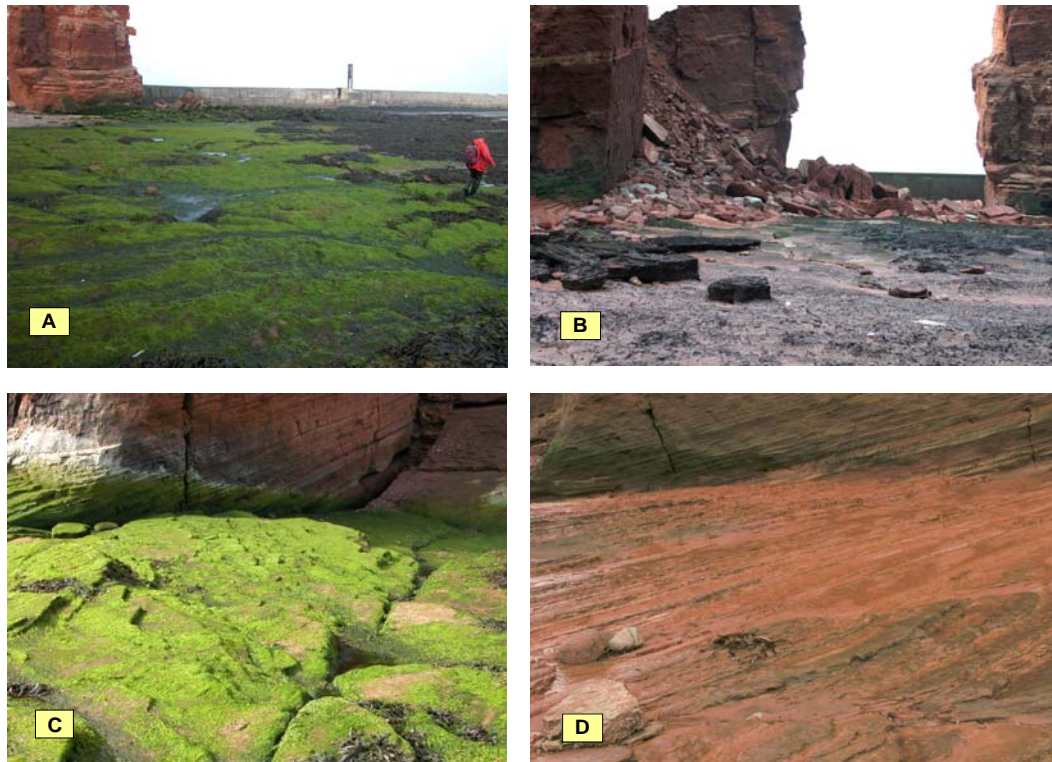


Abb. 14: Veränderung der *Enteromorpha*-Flächen im westlichen Teil des oberen Eulitorals zwischen 2005 und Februar 2007. Fotos: R. Kühlenkamp
A: Juli 2005; Dichte Bedeckung im *Enteromorpha*-Polygon mit *Enteromorpha*.
B: Februar 2007; Dasselbe Gebiet wie A mit neuem Geröllfeld durch Felsabsturz und sehr geringem *Enteromorpha*-Bewuchs.
C: Juli 2005; Dichter *Enteromorpha*-Bewuchs bis an die senkrechte Felskante
D: Dez 2006; Gleiches Gebiet wie in C mit fast unbewachsenem Substratum durch Geröllabrieb (veränderter Blickwinkel wodurch die Felsspalten nicht zu sehen sind).

Gleichlaufend mit der Flächenveränderung der *Enteromorpha*-Polygone verändern sich die Bedeckungsgrade von *Enteromorpha* in den Messquadraten der in 2005 festgelegten *Enteromorpha*-Zone (Abb. 15). Zusätzlich zu der starken Abnahme der Gesamtbedeckung im Februar 2007 ist zu sehen, dass

viele der Messstellen gar keinen Bewuchs an *Enteromorpha* und nur sehr wenige hohe Bedeckungsgrade aufwiesen.

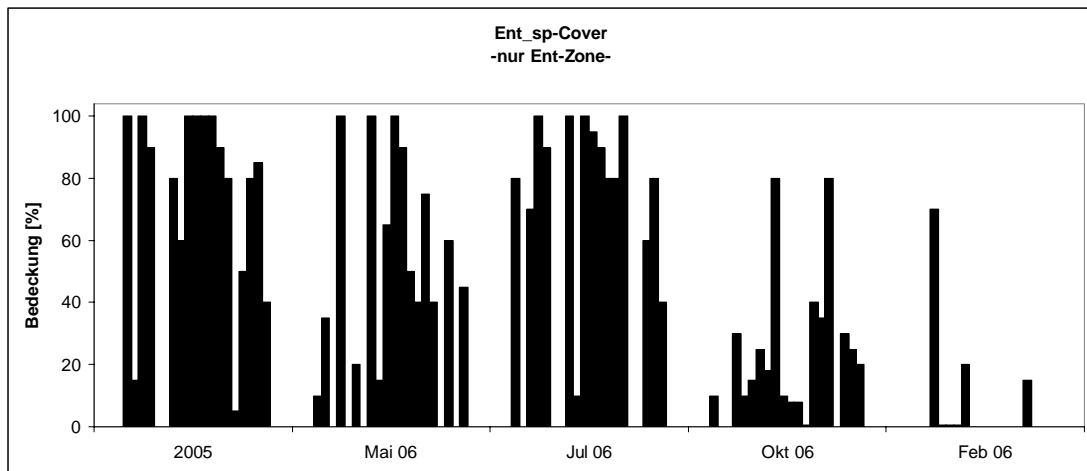


Abb. 15: Balkendiagramm der *Enteromorpha*-Bedeckung: Einzelwerte aller Quadrate der *Enteromorpha*-Zone.

Die hohe Variabilität der Bedeckungsgrade lässt sich an den hohen Standardabweichungen der Mittelwerte der *Enteromorpha*-Bedeckung erkennen (Abb. 16).

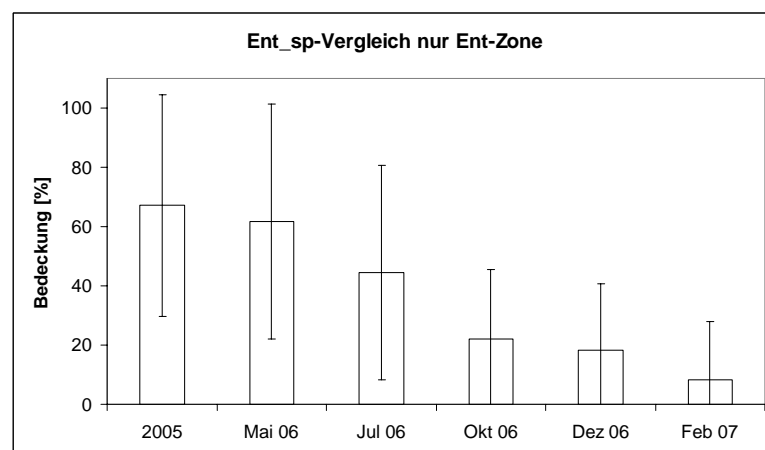


Abb. 16: Graphik der *Enteromorpha*-Bedeckung: Mittelwerte der Bedeckung aller Quadrate der *Enteromorpha*-Zone zum jeweiligen Zeitpunkt und Standardabweichung.

Bemerkenswert ist, dass das Landesamt für Natur- und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) zu ähnlichen Ergebnissen kam. So zeigte das jährliche Transekt-Monitoring des LANU eine deutliche Abnahme der *Enteromorpha*-Bedeckung im oberen Eulitoral um ca. 20% zwischen Sommer 2005 und Sommer 2006

(Schubert, 2006). Diese Daten sind konsistent mit den Beobachtungen der vorliegenden Untersuchung, die eine Abnahme der Fläche von Sommer 2005 auf Juli 2006 um ca. 14% zeigen.

Da sich laut Angaben der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) die Wasserqualität und die Sichttiefe in den letzten Jahren stetig gebessert haben, könnte dies ein weiterer Hinweis auf die verbesserten Randbedingungen sein.

Viele Faktoren können den Rückgang der im Sommer mit *Enteromorpha* bedeckten Fläche beeinflussen und erst ein langfristiges Monitoring kann eine Basis für abgesicherte Aussagen schaffen. Wahrscheinlich ist, dass es sich um natürliche Schwankungen in der Ausbreitung dieser *Enteromorpha*-Rasen handelt, die stark von den physikalischen Bedingungen wie Abrieb durch Geröll usw. abhängig sind.

3.2.4 Analyse von *Ulva*

Arten der Gattung *Ulva*, die mit flächigen Thalli wachsen, sind im N-Watt Helgolands zwischen Frühjahr und Herbst anzutreffen. Die Art *Ulva lactuca* besiedelt Bereiche der *Enteromorpha*-Zone im oberen Eulitoral und bildet auch ausgeprägte 'patches' insbesondere im dichten *Fucus*-Gebiet (Bartsch *et al.* 2005).

Wenn die Einzelwerte der *Ulva lactuca*-Bedeckung für jedes Messquadrat des gesamten Rasters dargestellt werden, dann sind die teilweise sehr hohen Bedeckungsgrade erkennbar (60 – 90%), die jedoch nur sporadisch im gesamten Raster, jedoch nicht im Wintermonat Februar auftreten (Abb. 17).

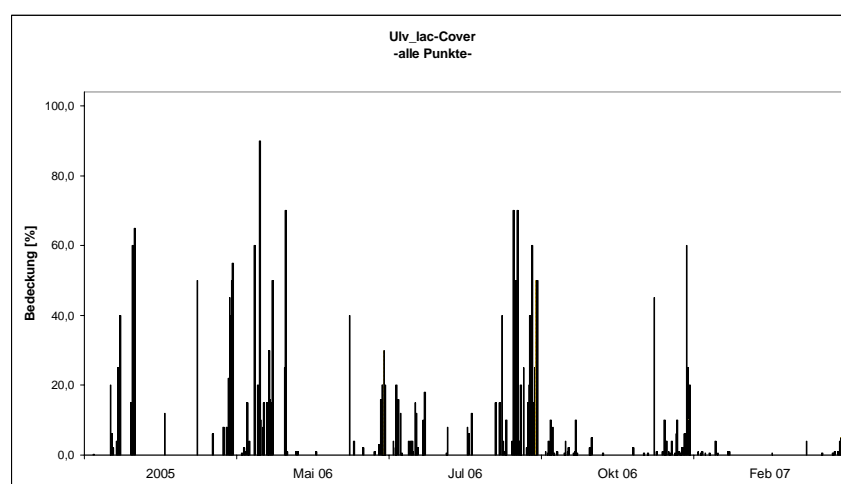


Abb. 17: *Ulva lactuca*-Bedeckungsgrade: Einzelwerte aller Quadrate des gesamten Rasters.

Ein Vergleich der Mittelwerte der *Ulva*-Bedeckung unterstützt die Aussage, dass das Auftreten von *Ulva* saisonal stark fluktuiert (Abb. 18). Im Sommer, aber auch schon im Mai, werden hohe Bedeckungsgrade erreicht, die im Herbst und dann im Winter auf ihre Niedrigststände zurückfallen. Der Wert für 2005 ist ein Mittelwert zum einen aus den wachstumsstarken Monaten Juli und August und zum anderen aus September, in dem die *Ulva*-Bedeckung schon abnimmt. Insofern ist der Wert auf dem Niveau vom Mai 2006 für den Probenzeitraum 2005 durchaus zu erwarten.

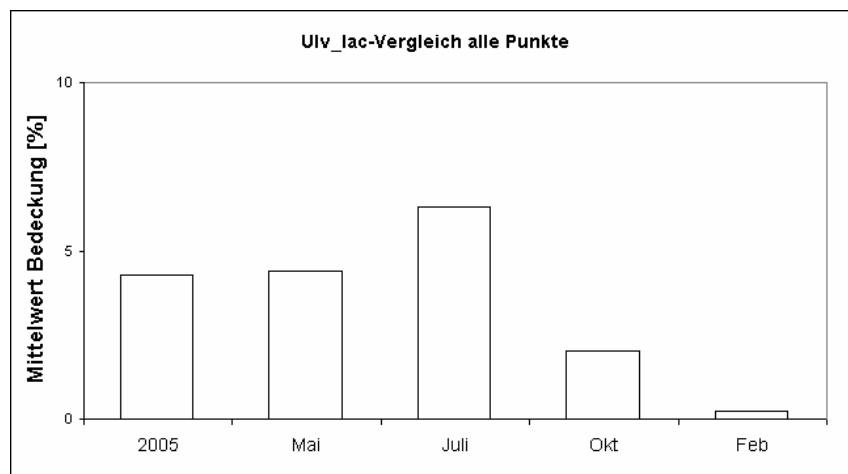


Abb. 18: *Ulva*-Bedeckung in % als Mittelwerte aus den gesamten Rasterpunkten.

Das Verteilungsmuster von *Ulva* im N-Watt Helgolands aufgrund des Messrasters belegt das sporadische Vorkommen von *Ulva*-patches, die stark saisonal auftraten. Allerdings sind natürlich auch Stürme ein wesentlicher Faktor, der *Ulva* dezimieren kann, da einerseits das Substratum *Fucus* der epiphytisch vorkommenden *Ulva* in der *Fucus*-Zone reduziert wird und andererseits großflächige Thalli leicht abgerissen werden. In der *Enteromorpha*-Zone wirkt sich der Abrieb durch Geröll natürlich ebenso auf *Ulva* aus wie bei *Enteromorpha* und dezimiert die Bestände auch wenn es saisonal noch möglich ist, dass *Ulva* gut wachsen kann.

3.2.5 Analyse von *Mytilus*

Große und flächenmäßig bedeutsame Vorkommen von *Mytilus* sind im Bereich des degradierten *Fucus*-Bestandes anzutreffen (siehe Darstellung der Polygone Abb. 3; Bartsch & Kuhlenkamp, 2004). Die höchste Anzahl an Individuen pro

Messquadrat wurde im Mai und Juli 2006 gefunden (Abb. 19). Eine Ausdünnung erfolgte eher großflächig und nicht lokal durch Ausfall in einzelnen Messpunkten.

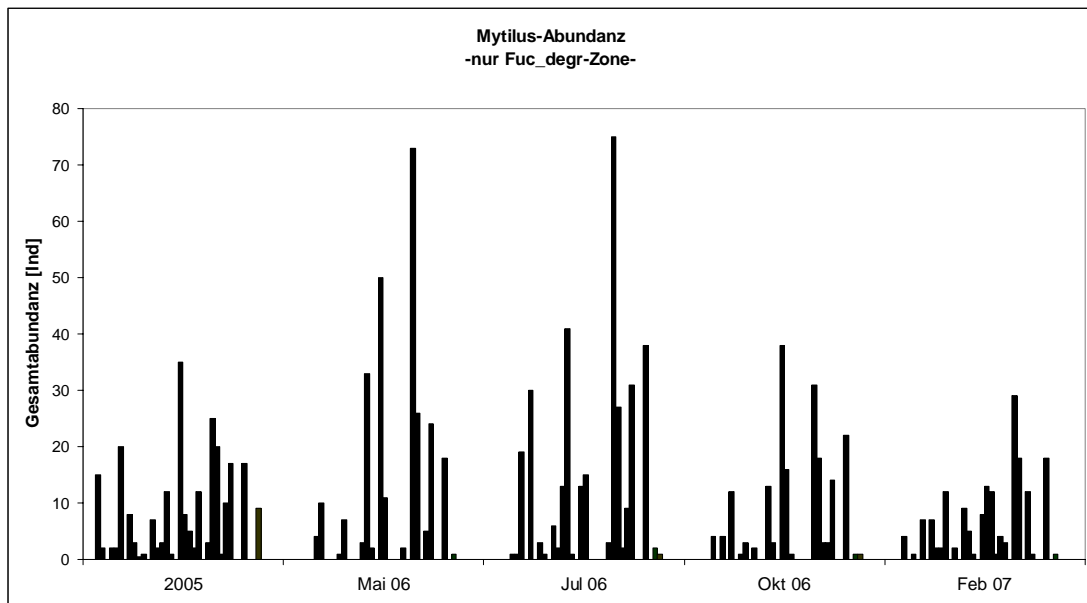


Abb. 19: *Mytilus*-Abundanz als Anzahl der Individuen pro Messquadrat: Einzelwerte aller Quadrate der degradierten *Fucus*-Zone.

Es fehlen in den Monaten Oktober und Februar die sehr hohen Individuenzahlen an *Mytilus* wie sie in den Sommermonaten anzutreffen waren und es fand eine deutliche Reduzierung von Juli mit seinem Maximalwert bis Februar 2007 statt (Tab. 6). Die Individuenzahl ist im Februar 2007 zwar geringer als in den Porbenmonaten davor, aber noch vergleichbar zu den Werten aus 2005 und Oktober 2006. *Mytilus* ist durch die starke Anheftung sicherlich nicht sehr beeinflusst durch Stürme und damit resistenter gegen die physikalischen Einflüsse, die *Fucus* in seiner Ausbreitung beeinträchtigen.

Tab. 6: Gesamtanzahl der *Mytilus*-Individuen im gesamten Messraster.

| | Gesamtanzahl <i>Mytilus</i> -Individuen |
|-----------|---|
| 2005 | 285 |
| Mai 2006 | 317 |
| Juli 2006 | 354 |
| Okt 2006 | 220 |
| Feb 2007 | 185 |

3.3 Vegetationszonen

3.3.1 MDS-Plots

Die Einteilung der Zonen, die zu Beginn der ersten Rasterkartierung im Frühsommer 2005 vorgenommen wurde, konnte mit den vorliegenden Daten nun erstmals überprüft werden. Es ist allerdings so, dass ein Beobachter im Felswatt eine Zoneneinteilung anhand der offensichtlichen und abundanten Arten einer Zone vornimmt, während das Programm PRIMER die gesamte Arten-gemeinschaft analysiert und mit der anderer Standorte vergleicht. Verständlicherweise entsprechen sich diese Einteilungen nicht immer.

Die berechneten MDS-Plots, zwei-dimensionale Darstellungen einer Ähnlichkeitsmatrix, zeigen eindeutige Zonen wie sie auch visuell mittels der georeferenzierten Polygonerstellung zustande gekommen waren, aber auch nicht eindeutige Muster, in denen einzelne Messquadrante sehr von den anderen getrennt vorkommen. Am deutlichsten lässt sich die Situation anhand des Plots für Februar 2007 darstellen (Abb. 20); die Analysen der übrigen Zeitpunkte sind mit dieser fast identisch.

Die *Fucus*-, *Laminaria*- und degradierte *Fucus*-Zone sind sowohl in sich als auch untereinander am ähnlichsten, sie nehmen trotz einer großen Zahl von Punkten nur einen kleinen Raum im Diagramm ein, wenn man von wenigen Ausreißern absieht.

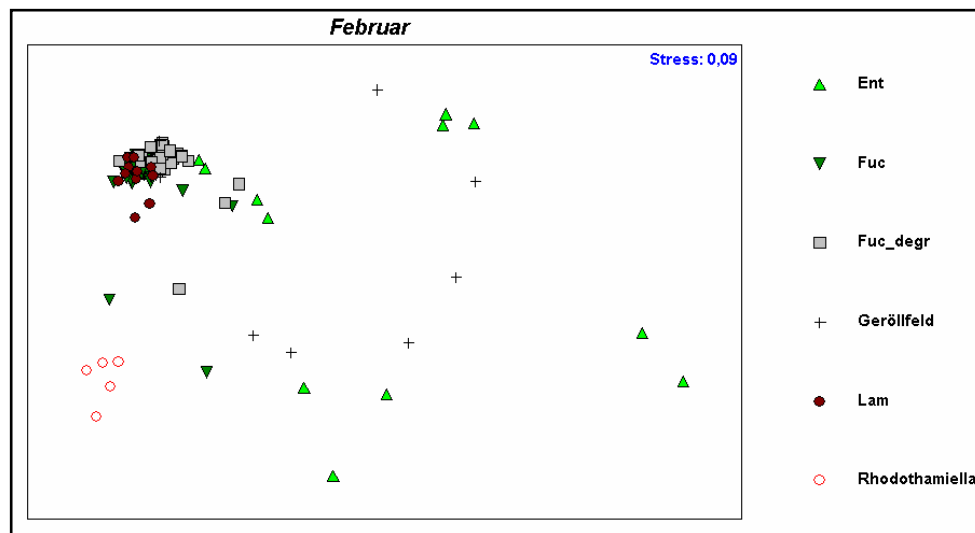


Abb. 20: MDS-Plot aller Punkte im Februar 2007, Zonen durch verschiedene Symbole dargestellt.

Dahingegen weisen die *Enteromorpha*-Zone und insbesondere das Geröllfeld in sich große Unterschiede auf. Manche Punkte der *Enteromorpha*-Zone sind in

ihrer Artenzusammensetzung unähnlicher als alle Punkte der *Fucus*-Zone zusammen. Dies ist wahrscheinlich auf die sehr ausgeprägten Unterschiede in der Bewuchsstruktur zurückzuführen. Entweder wurden in der *Enteromorpha*-Zone Punkte mit reinen Beständen an *Enteromorpha* gefunden oder mit einer relativ artenreichen 'turf'-Gemeinschaft in der *Enteromorpha* nicht immer die Hauptart war. Zudem sind manche Stellen durch Abrieb insbesondere in den Herbst- und Wintermonaten völlig bewuchsfrei gewesen.

Das Ergebnis des Geröllfeldes ist allein aufgrund der Probennahmen zu erklären, da die Topographie so unterschiedliche Habitate wie die Oberfläche von Felsblöcken und das niedrig liegende Felsplateau beinhalten. Nur die hochgelegenen Oberflächen der Felsen zeigten artenreichen Bewuchs im Gegensatz zu dem häufig bewuchsfreien Felsplateau, welches nur manchmal mit *Enteromorpha* und Diatomeen bewachsen war.

Aufgrund der andersartigen Artenzusammensetzung des *Rhodothamniella*-Biotops im Verhältnis zum umgebenden *Fucus*-Gebiet war zu erwarten, dass dieses Kleinbiotop sich von den restlichen Biotopen abgrenzen lässt. Im MDS-Plot (Abb. 20) ist keinerlei Zusammenhang mit anderen Biotopen erkennbar, auch nicht mit anderen 'turf'-Gemeinschaften wie sie in der *Enteromorpha*-Zone auftraten. Eventuell hängt dies mit einer relativ hohen Saisonalität dieses Biotops zusammen wie anhand eines MDS-Plots mit den Daten für das *Rhodothamniella*-Biotop zu entnehmen ist, welches zu den verschiedenen Probennahmezeitpunkten Cluster zeigt, die teilweise weit voneinander entfernt sind (Abb. 21).

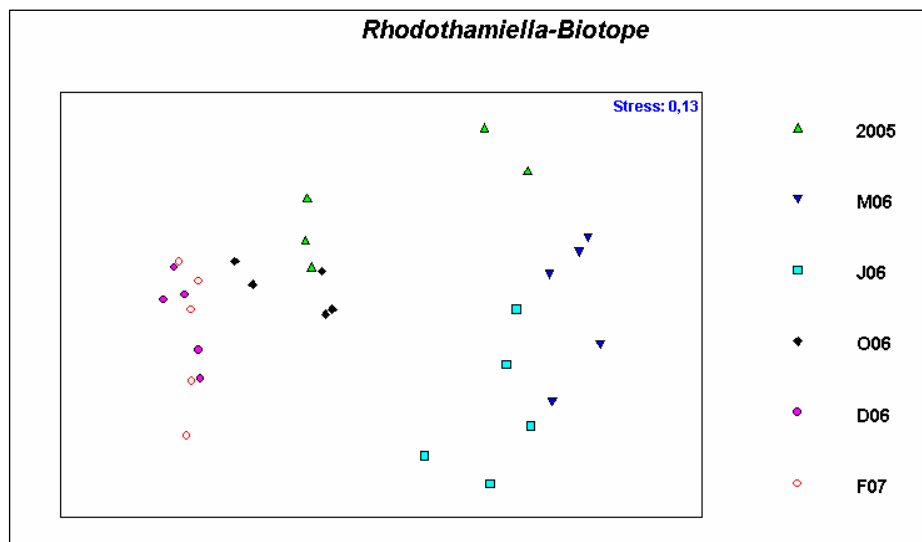


Abb. 21: MDS-Plot der Messpunkte im *Rhodothamniella*-Biotop aufgeteilt nach Beprobungsmonaten von 2005 bis Februar 2007.

Rhodothamniella ist zwar in manchen Monaten die Hauptart, aber es kommen auch viele andere Arten saisonal vor. *Ulva* ist eine häufige Sommerart und einige fädige Braun- und Rotalgen zeigten in unterschiedlichen Quantitäten eine ausgeprägte Saisonalität. Auch perennierende Arten wie *Sargassum muticum* sind vorhanden.

Die Punkte mancher Cluster liegen relativ dicht beieinander wie die Punkte vom Dezember 2006 und Februar 2007, deren Cluster zudem übereinander liegen und damit anzeigen, dass diese beiden Winterzeitpunkte sehr ähnlich in ihrer Artenzusammensetzung sind. In anderen Probenmonaten lassen sich trotz starker Streuung der Punkte im Cluster zumindest tendenziell Aussagen machen. Die weit auseinander liegenden Punkte für 2005 überlappen nur mit denen vom Oktober 2006, ein Hinweis auf Ähnlichkeiten der Artenzusammensetzung. In ähnlicher Weise liegen die Sommer-Punkte für Mai und Juli 2006 zueinander und überlappen ebenfalls in einem Teilbereich. Diese beiden Cluster sind relativ weit von den anderen entfernt und zeigen, dass die sommerliche Artenzusammensetzung deutlich verschieden vom Winter- oder Herbstaspekt ist. Obwohl im Juli beprobt, liegen die Werte aus 2005 jedoch nicht bei den Sommermonaten 2006, sondern deuten aufgrund ihrer Nähe zum Oktober 2006 auf einen schon herbstlichen Anteil bei den Arten. Annuelle Arten, wie sie in der *Rhodothamniella*-Gemeinschaft gefunden wurden, reagieren sicherlich wesentlich schneller auf Veränderungen der Temperatur und anderer physikalischer Faktoren, so dass die Werte zu bestimmten Monaten nicht zwangsläufig denselben saisonalen Bewuchsaspekt zeigen müssen.

Inwieweit diese Analyse charakteristisch für die 'turf'-Gemeinschaften des Felswatts in Helgoland ist, müsste noch an einer umfassenderen Arbeit festgestellt werden.

3.3.2 Anosim

Deutlichere Ergebnisse zur Unterscheidung der Vegetationszonen, wenn auch weniger anschaulich, liefert eine ANOSIM aller Quadrate mit dem Faktor Habitat (Abb. 22). Nicht voneinander zu unterscheiden sind danach die Zonen *Fucus* und *Laminaria*, sowie *Fuc_deg* und *Laminaria* mit einem R-Wert unter 0,25. Kaum verschieden sind die Zonen *Rhodothamniella* und *Enteromorpha*, sowie *Fucus* und *Fuc_deg* mit $R < 0,5$. Die anderen paarweisen Vergleiche sind klar voneinander trennbar, insbesondere das *Rhodothamniella*-Biotop und die *Enteromorpha*-Zone setzen sich von den beiden *Fucus*-Zonen und der *Laminaria*-Zone ab ($R > 0,75$).

Die Ergebnisse stimmen teilweise sehr gut mit der bisherigen Einteilung der Vegetationsgebiete überein. Beide 'turf'-Gemeinschaften (*Enteromorpha*- und *Rhodothamniella*-Gebiet) sind deutlich von den *Fucus*-Gesellschaften in ihrer Artenzusammensetzung verschieden aber untereinander sehr ähnlich. Von den zwei *Fucus*-Gesellschaften ist die mit dem dichten *Fucus serratus* – Bewuchs weiter von der *Enteromorpha*-Zone entfernt als jene mit dem degradierten Bestand an *Fucus*, welche ebenfalls einen geringen Besatz an Hauptarten wie *Fucus* und roten Krustenalgen aufweist.

| Pairwise Tests | | |
|--|-------|----------------------|
| | R | Significance Level % |
| Ent, Fuc | 0,861 | 0,1 |
| Ent, Fuc_degr | 0,759 | 0,1 |
| Ent, Lam | 0,627 | 0,1 |
| Ent, Rhodothamniella | 0,274 | 0,1 |
| Fuc, Fuc_degr | 0,403 | 0,1 |
| Fuc, Lam | 0,215 | 0,1 |
| Fuc, Rhodothamniella | 0,962 | 0,1 |
| Fuc_degr, Lam | 0,232 | 0,1 |
| Fuc_degr, Rhodothamniella | 0,947 | 0,1 |
| Lam, Rhodothamniella | 0,997 | 0,1 |
| R > 0,75: gut getrennt | | |
| R > 0,5 : überlappend aber klar getrennt | | |
| R < 0,25: kaum unterscheidbar | | |
| (gemäß Primer 5.0) | | |

Abb. 22: Ergebnisse einer paarweisen ANOSIM für alle Quadrate und den Faktor Habitat.

Rot: Ergebnisse signifikant: Zonen eindeutig verschieden.

Blau: Ergebnisse signifikant: Zonen getrennt aber überlappend

Schwarz: Ergebnisse schwach: Zonen überlappend

Grün: Ergebnisse nicht signifikant: Zonen nicht unterscheidbar

Die *Laminaria*-Zone wird in der Analyse nicht eindeutig von den anderen Zonen getrennt: teilweise überlappt sie mit der *Enteromorpha*-Zone und erscheint als nicht unterscheidbar zur degradierten *Fucus*-Gesellschaft, auch wenn dieses Gebiet in seiner Artenzusammensetzung deutlich anders war als die *Laminaria*-Zone. Nur die Übereinstimmung mit dem dichten *Fucus*-Gebiet ist akzeptabel, da die *Laminaria*-Zone das Übergangsgebiet vom dichten *Fucus*-Bewuchs zum *Laminaria*-Gürtel ist in dem zum Großteil dieselben 'understorey'-Arten vorkamen.

4. ABSCHLUSSDISKUSSION

Saisonale Veränderungen

Fucus-serratus Bedeckung

Aus den Analysen ergibt sich zusammenfassend die Aussage, dass die Bedeckung mit *Fucus serratus* insbesondere innerhalb der *Fucus*-Zone aufgrund von wetterbedingten Faktoren stark zurückgegangen ist. Als mögliche Gründe können die starken Stürme aus nördlichen Richtungen angeführt werden, da *F. serratus* eine typische Art geschützter Standorte ist und empfindlich auf Exposition reagiert.

Die Möglichkeit, dass der sehr starke Rückgang ein saisonaler Effekt ist, und die Bestände sich bis zum Sommer wieder erholen, scheint uns vor dem Hintergrund der langsamen Wachstumsraten dieser mehrjährigen Alge sehr unwahrscheinlich. Ob sich die Abnahme auf andere Arten oder das gesamte Artengefüge im Felswatt auswirkt, positiv oder negativ, und wie lange *Fucus serratus* braucht, um sich zu erholen, ist unklar und kann erst in künftigen Untersuchungen vollständig geklärt werden.

Die vorliegende Untersuchung hat allerdings gezeigt, dass auch diese Bestandsbildende Art starken natürlichen Schwankungen unterworfen ist und daher ihre Rolle bei der Klassifizierung von Wasserkörpern gemäß WRRL überdacht werden sollte.

Diversität

Mögliche Veränderungen von non-Fucus-Arten

Insbesondere das Gebiet der dichten *Fucus*-Bedeckung war von Interesse, da bisher angenommen wurde, dass diese Zone in ihrem Bestand recht stabil ist (Bartsch & Kuhlenkamp 2004). Nun waren jedoch die Bestände von durchschnittlich 95% Bedeckung im Juli auf nur noch 35% im Februar massiv reduziert worden, wobei noch zu beachten ist, dass sich die Biomasse sicherlich stärker als die reine Bedeckung verringert hatte. Bei Betrachtung der gesamten Artenzusammensetzung ergaben Similaritätsberechnungen, dass trotz dieser starken Veränderungen der dominanten Art *Fucus* im N-Watt, sich in Berechnungen ohne *Fucus*-Arten keinerlei kurzfristige Veränderungen in der Artenzusammensetzung feststellen ließen. Es bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten, ob sich langfristig keine Beeinträchtigungen bei den bisher als 'understorey'-Arten fungierenden Algen feststellen lassen oder sich generell die Gesellschaften in ihrer Artenzusammensetzung verändern.

Grünalgen

Im Zusammenhang mit dem Rückgang der *Fucus*-Bedeckung in der dichten *Fucus*-Zone wurde anhand von quantitativen Daten gezeigt, dass die recht häufige 'understorey'-Art *Cladophora rupestris* bisher nicht vom Rückgang der *Fucus*-Bedeckung beeinflusst wurde. Diese Art ist oft exponiert in anderen Bereichen des Felswatts anzutreffen und in folgenden Untersuchungen wäre es interessant herauszufinden, ob die Bestände, die bei Niedrigwasser unter der *Fucus*-Decke geschützt waren, weiter in ihrer bisherigen Ausdehnung bestehen bleiben und den abrupten Wechsel in eine exponierte Lage überstehen.

Im oberen Eulitoral dominiert *Enteromorpha* in einer Zone, die in ihren Umrissen konstant blieb, jedoch saisonal und durch Stürme verursachte Änderungen der Bedeckung zeigte. In den Sommermonaten 2005 und 2006 war das Gebiet fast immer vollständig mit *Enteromorpha* bewachsen, einschließlich einiger markanter Stellen mit einer reichhaltigen 'turf'-Gemeinschaft. Schon im Oktober 2006 und in den zwei folgenden Probennahmen wurde die *Enteromorpha*-Bedeckung sehr stark reduziert. Die Hinweise, dass es sich hauptsächlich um die Auswirkungen von Stürmen handelt, wurde durch Analysen der Bedeckungsgrade weiter erhärtet und durch die Tatsache, dass im Februar in Einzelfällen noch hohe Bedeckungsgrade von etwa 70% pro Messquadrat gefunden wurden. Der Winter 2006/2007 war sehr mild mit nur sehr wenig Frost und deshalb konnten Arten wie *Enteromorpha* wahrscheinlich den Winter überleben. Es waren außerdem hauptsächlich sehr kleine Pflanzen bis 2 cm Länge, die im Februar gefunden wurden, was auf ein Auswachsen aus bestehenden cryptischen Stadien oder auf eine Neubesiedlung, beides nach einer physikalischen Störung, hinweist. Ansonsten ist es kaum zu erklären, warum keine größeren Pflanzen anzutreffen waren.

Ulva zeigte eine deutliche Saisonalität mit sehr hohen Bedeckungsgraden im Mai und Juli und einem Minimalwert im Februar. Die Saisonalität aufgrund der geringeren Wachstumsraten bei niedrigen Temperaturen wurde sicherlich auch durch die physikalischen Faktoren wie Stürme überlagert, die dazu führten großflächige Thalli wie die von *Ulva* zu reduzieren.

Mytilus

Als wichtige strukturgebende Zoobenthosart im N-Watt wurden auch die *Mytilus*-Bestände im Raster erfasst. Tendenziell ist eine Abnahme der Individuenzahlen von den Sommermonaten bis Februar zu verzeichnen, allerdings in einem gemäßigten Ausmass. Es sollte in weiteren Rasteruntersuchungen festgestellt werden, ob dieser Rückgang sich manifestiert und die *Mytilus*-Bestände zurückgehen oder es ein saisonaler Effekt ist.

Vegetationszonen

Obwohl die Festlegung der Polygone auf der Basis unterschiedlicher Algengesellschaften im Praxistest 2005 (Bartsch *et al.* 2005) sich nur auf die Abundanzen von *Fucus*, *Enteromorpha*, *Laminaria* und *Mytilus* beschränkte, wurden in der vorliegenden Bearbeitung die Gebiete durch die statistischen Analysen der Artenzusammensetzung eines jeden Bereiches teilweise bestätigt. Die drei Gebiete mit den Strukturbildenden Großalgen *Fucus* und *Laminaria* (dichter *Fucus*, degradiertes *Fucus*, *Laminaria*-Zone) sind alle in sich relativ geschlossen dargestellt worden, jedoch wurden sie im MDS-Plot nicht als getrennte Gebiete aufgeführt. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass es in der Analyse keine Rolle spielt mit welchen Bedeckungsgraden *Fucus* vorkommt. Damit ist die Zone mit sehr wenig *Fucus* wie im Gebiet des degradierten *Fucus* nicht von der mit dem dichten Bewuchs zu unterscheiden. Allerdings müsste noch untersucht werden, ob die Zusammensetzungen der restlichen Arten in den beiden Gebieten nicht doch soweit voneinander verschieden sind, dass in einer Analyse der Lebensgemeinschaften Unterschiede erscheinen müssten.

Die *Laminaria*-Zone ist sicherlich nicht deutlich vom *Fucus*-Gebiet zu trennen, da *Laminaria* nur als eine zusätzliche Art im Grenzbereich der *Fucus*-Zone zum *Laminaria*-Gürtel auftritt und sich dadurch nicht automatisch das ganze Artenspektrum ändert.

In der Primer-Analyse wurde die bei der vormals visuellen Einteilung der Gebiete erstellte Trennung des *Rhodothamniella*-Polygon von der umgebenden *Fucus*-Zone eindeutig bestätigt, denn die als 'turf'-Gemeinschaft zu beschreibende Lebensgemeinschaft erscheint klar getrennt von den anderen Gebieten. Somit ist es berechtigt, diese kleinen Bereiche mit ihrer speziellen Artenzusammensetzung als besondere Gemeinschaften innerhalb des großräumigen *Fucus*-Gebietes zu definieren. Trotz ihrer eindeutigen Trennung von den anderen Gemeinschaften, ergaben sich innerhalb des *Rhodothamniella*-Biotops in einer separaten Primer-Analyse starke saisonale Unterschiede der Artenzusammensetzungen bezogen auf die jeweiligen Probenmonate. Dies ist eine Bestätigung der beobachteten deutlichen Saisonalität dieser 'turf'-Gemeinschaft, in der *Rhodothamniella* zwar eine wichtige Hauptart darstellt, sich aber zu verschiedenen Jahreszeiten andere Arten hinzugesellen. Zudem sind im Sommer sporadische Bedeckungen mit Grünalgen wie *Ulva* zu verzeichnen.

Als sehr uneinheitlich in der Primer-Analyse zeigten sich das *Enteromorpha*-Gebiet und die Gemeinschaften der Geröllzone. In der Geröllzone wurden zwei sehr verschiedene Habitate vermischt, das Felsplateau, welches durch Abrieb gekennzeichnet ist und die Felsblöcke mit ihren von perennierenden Algen bewachsenen Oberflächen. Somit ist zu erwarten, dass dieses Gebiet kein einheitliches Ergebnis zeigt. Die *Enteromorpha*-Zone wurde zwar in ihrer

Ausdehnung durch den Bewuchs mit *Enteromorpha* definiert, beinhaltet aber so extreme Situationen wie kahle Felsen, vollständig mit *Enteromorpha* bewachsene Flächen und spezielle 'turf'-Gemeinschaften. Insofern ist das sehr uneinheitliche Bild der Analyse eher eine Bestätigung der Situation als ein gegenteiliges Ergebnis. Eventuell sollten die verschiedenen 'turf'-Gemeinschaften miteinander verglichen werden, um mögliche Gemeinsamkeiten heraus zuarbeiten.

Ein sehr wichtiger Punkt ist die Tatsache, dass die Primer-Analysen der Gesamtgemeinschaft für jeden Probenzeitpunkt fast identisch ausfallen und somit keine Unterschiede in den Makroalgen-Gemeinschaften im Laufe eines Jahres festzustellen sind. Dies ist etwas unerwartet, liegt aber wohl an der Art der Analyse von Primer, in der die Abundanzen der Arten wenig Auswirkung haben. Allerdings entspricht es auch der Situation, dass trotz saisonaler Unterschiede immer dieselbe Gemeinschaft betrachtet wird, die sich natürlicherweise kaum verändern sollte, falls nicht durch äußere Faktoren bedingt. Und es ist ein Hinweis darauf, dass sich die Wasserqualität nicht verschlechtert hat, sondern eher physikalische Faktoren die Situation der Algen-Gemeinschaften im N-Watt Helgolands beeinflusst haben.

5. LITERATUR

- Bartsch I., Kuhlenkamp R. 2004. WRRL-Klassifizierungssystem WK Helgoland. Bericht an das LANU-SH, Flintbek. 110 Seiten.
- Bartsch I., Kuhlenkamp R., Boos K., Gehling C. 2005. Praxistest für das Makrophyten- und Miesmuschel- Monitoring bei Helgoland im Rahmen der WRRL: Küstengewässertyp Helgoland. Bericht an das LANU-SH, Flintbek. 60 Seiten.
- Schubert, P. 2006. Bericht über das Makroalgen-Monitoring des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) im Felswatt der Insel Helgoland

6. ANHANG

Metadaten -Dezember 2006

| Datum: | Bedingungen, Bemerkungen, erledigte Arbeiten: |
|------------|--|
| 08.12.2006 | NW: 8:26Uhr, sehr schlecht abgelaufen, Sturm aus SW (7-8Bft), wolzig, mild (10°C), 3 Quadrate in <i>Enteromorpha</i> -Zone gezählt, nur ca. 40min im Watt |
| 09.12.2006 | NW: 9:09 Uhr, schlecht abgelaufen, Wind: NW 5-6Bft, wolzig 13 Quadrate in Geröllzone und <i>Enteromorpha</i> -Zone gezählt, ca. 2h im Watt |
| 10.12.2006 | NW: 9:49 Uhr, mäßig abgelaufen, Wind: NW 4-6Bft, teilweise bewölkt, 26 Quadrate in <i>Fucus</i> -Zone und <i>Mytilus</i> -Zone gezählt, ca. 3,5h im Watt |
| 12.12.2006 | NW: 11:09 Uhr, nicht abgelaufen, auf halbem Weg umgedreht, Wind: SW 7-8 |
| 16.12.2006 | NW: 15:04 Uhr, schlecht abgelaufen, Wind: SW 3-4, immerhin die <i>Enteromorpha</i> -Polygone und 6 Quadrate geschafft, ca. 2h im Watt |

Total: *Enteromorpha*-Polygone aufgenommen und 48 Quadrate gezählt

Metadaten -Februar 2007

| Datum: | Bedingungen, Bemerkungen, erledigte Arbeiten: |
|------------|---|
| 08.02.2007 | NW: 9:55 Uhr, gut abgelaufen, Wind: SO 5-6Bft, sonnig und kühl (3°C), 21 Quadrate gezählt, 3h im Watt |
| 09.02.2007 | NW: 10:20 Uhr, gut abgelaufen, Sturm aus O (7-8Bft), bewölkt und kalt (~1°C), 29 Quadrate gezählt, <i>Rodothamniella</i> -Biotop gezählt, ca. 3,5h im Watt |
| 10.02.2007 | NW: 10:45 Uhr, sehr gut abgelaufen, Sturm aus SO (7-8Bft), kalt und sonnig (0°C), 37 Quadrate gezählt, 4h im Watt |
| 11.02.2007 | NW: 11:25 Uhr, sehr gut abgelaufen, Wind: SO 6-7Bft, gefrierende Nässe, bewölkt, 22 Quadrate gezählt, 2,5h im Watt |
| 12.02.2007 | NW: 12:33 Uhr, schlecht abgelaufen, Wind: SW 2-3Bft, Regen und mild, 22 Quadrate gezählt, 2h im Watt |
| 16.02.2007 | NW: 17:36 Uhr, gut abgelaufen, Wind: SO 6-7Bft, Sonne, mild, letzten 2 Quadrate und <i>Enteromorpha</i> -Polygone geschafft |

Total: *Enteromorpha*-Polygone aufgenommen und 132 Quadrate gezählt

Tab.13: Liste der Positions-IDs und jeweiligen Messquadrat-Ids.

| Pos-ID | 2005 | Mai 2006 | Juli 2006 | Okt 2006 | Dez 2006 | Feb 2007 | Pos-ID | 2005 | Mai 2006 | Juli 2006 | Okt 2006 | Dez 2006 | Feb 2007 |
|-------------------|------|----------|-----------|----------|----------|----------|--------|------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | - | 1440 | 1570 | 1642 | 1768 | 1899 | 71 | 1180 | 1321 | 1449 | 1696 | 1754 | 1792 |
| 2 | 1238 | 1439 | 1569 | 1627 | 1767 | 1891 | 72 | 1224 | 1362 | 1528 | 1645 | - | 1857 |
| 3 | 1237 | 1438 | 1568 | 1626 | 1723 | 1898 | 73 | 1106 | 1302 | 1460 | 1671 | 1752 | 1808 |
| 4 | 1118 | 1424 | 1562 | 1720 | - | - | 74 | 1239 | 1420 | 1510 | 1622 | 1742 | 1824 |
| 5 | 1121 | 1419 | 1463 | 1628 | 1766 | 1892 | 75 | 1220 | 1385 | 1511 | 1615 | - | 1825 |
| 6 | 1236 | 1418 | 1567 | 1596 | 1722 | 1897 | 76 | 1221 | 1356 | 1522 | 1616 | - | 1826 |
| 7 | 1247 | 1425 | 1563 | 1705 | - | 1893 | 77 | 1240 | 1357 | 1512 | 1621 | 1743 | 1827 |
| 8 | 1235 | 1416 | 1566 | 1625 | 1721 | 1896 | 78 | 1107 | 1303 | 1507 | 1672 | 1751 | 1807 |
| 9 | 1120 | 1417 | 1564 | 1595 | - | 1894 | 79 | 1130 | 1361 | 1495 | 1632 | - | 1858 |
| 10 | 1117 | 1423 | 1553 | 1719 | - | 1890 | 80 | 1181 | 1339 | 1450 | 1598 | - | 1795 |
| 11 | 1115 | 1415 | 1462 | 1704 | - | 1889 | 81 | 1140 | 1312 | 1451 | 1664 | 1757 | 1794 |
| 12 | 1116 | 1414 | 1461 | 1706 | - | 1888 | 82 | 1156 | 1393 | 1530 | 1712 | - | 1861 |
| 13 | 1122 | 1413 | 1519 | 1594 | - | 1895 | 83 | 1190 | 1329 | 1464 | 1687 | - | 1781 |
| 14 | 1193 | 1408 | 1494 | 1582 | - | 1817 | 84 | 1147 | 1382 | 1473 | 1601 | - | 1862 |
| 15 | - | 1436 | 1565 | 1609 | 1762 | 1881 | 85 | 1172 | 1369 | 1483 | 1713 | - | 1863 |
| 16 | - | 1432 | 1557 | 1624 | - | 1880 | 86 | 1163 | 1368 | - | 1714 | - | 1864 |
| 17 | - | 1437 | 1556 | 1610 | - | 1882 | 87 | 1213 | 1400 | 1545 | 1716 | - | 1853 |
| 18 | - | 1435 | 1573 | 1611 | - | 1879 | 88 | 1212 | 1399 | 1490 | 1715 | - | 1852 |
| 19 | - | 1433 | 1572 | 1641 | 1736 | 1878 | 89 | 1203 | 1396 | 1544 | 1717 | - | 1854 |
| 20 | - | 1434 | 1571 | 1612 | 1735 | 1885 | 90 | 1211 | 1349 | 1489 | 1718 | - | 1851 |
| 21 | - | 1431 | 1561 | 1623 | 1734 | 1883 | 91 | 1210 | 1348 | 1488 | 1683 | - | 1850 |
| 22 | - | 1430 | 1560 | 1613 | 1733 | 1884 | 92 | 1204 | 1347 | 1487 | 1684 | - | 1849 |
| 23 | 1194 | 1412 | 1558 | 1629 | 1732 | 1886 | 93 | 1164 | 1371 | 1484 | - | - | 1865 |
| 24 | 1195 | 1411 | 1559 | 1691 | - | - | 94 | 1171 | 1370 | 1471 | 1685 | - | 1778 |
| 25 | 1196 | 1427 | 1575 | 1630 | 1730 | - | 95 | 1148 | 1381 | 1472 | 1600 | - | 1779 |
| 26 | 1197 | 1426 | 1576 | 1690 | - | - | 96 | 1189 | 1328 | 1465 | 1686 | - | 1780 |
| 27 | 1198 | 1405 | 1577 | 1694 | - | - | 97 | 1155 | 1392 | 1531 | 1711 | - | 1860 |
| 28 | 1177 | 1404 | 1579 | 1695 | 1728 | - | 98 | 1139 | 1311 | 1456 | 1663 | 1756 | 1797 |
| 29 | 1199 | 1352 | 1538 | 1585 | 1725 | - | 99 | 1182 | 1340 | 1459 | 1599 | - | 1796 |
| 30 | 1200 | 1406 | 1539 | 1586 | 1729 | - | 100 | 1223 | 1360 | 1496 | 1633 | - | 1859 |
| 31 | 1127 | 1410 | 1540 | 1587 | 1731 | 1789 | 101 | 1108 | 1304 | 1506 | 1673 | 1750 | 1806 |
| 32 | 1126 | 1332 | 1517 | 1631 | 1761 | 1877 | 102 | 1241 | 1358 | 1513 | 1620 | 1744 | 1828 |
| 33 | 1125 | 1333 | 1518 | 1640 | 1763 | 1876 | 103 | 1222 | 1355 | 1523 | 1617 | - | 1829 |
| 34 | 1124 | 1334 | 1509 | 1614 | 1765 | 1887 | 104 | 1113 | 1354 | 1524 | 1618 | - | 1830 |
| 35 | 1123 | 1314 | 1555 | 1643 | - | 1813 | 105 | 1109 | 1305 | 1514 | 1674 | - | 1832 |
| 36 | 1114 | 1315 | - | 1703 | 1737 | 1819 | 106 | 1131 | 1391 | 1552 | 1646 | - | 1835 |
| 37 | 1219 | 1316 | 1444 | 1667 | 1738 | 1811 | 107 | 1133 | 1359 | 1497 | 1634 | - | 1836 |
| 38 | 1218 | 1317 | 1445 | 1699 | - | 1812 | 108 | 1183 | 1341 | 1527 | 1635 | - | 1769 |
| 39 | 1217 | 1335 | 1508 | 1588 | - | 1875 | 109 | 1138 | 1310 | 1457 | 1662 | - | 1798 |
| 40 | 1216 | 1336 | 1452 | 1639 | 1764 | 1814 | 110 | 1154 | 1378 | 1532 | 1678 | - | 1846 |
| 41 | 1215 | 1331 | 1477 | 1665 | 1760 | 1815 | 111 | 1188 | 1379 | 1466 | 1679 | - | 1775 |
| 42 | 1214 | 1409 | 1543 | 1608 | - | 1816 | 112 | 1149 | 1380 | 1469 | 1680 | - | 1776 |
| 43 | 1201 | - | - | 1593 | 1724 | 1788 | 113 | 1170 | 1373 | 1470 | 1637 | - | 1777 |
| 44 | 1176 | 1351 | 1537 | 1584 | 1726 | 1818 | 114 | 1165 | 1372 | 1485 | 1681 | - | 1847 |
| 45 | 1161 | 1364 | 1541 | 1591 | 1727 | 1787 | 115 | 1205 | 1346 | 1486 | 1682 | - | 1848 |
| 46 | 1175 | 1365 | 1492 | 1592 | - | 1870 | 116 | 1206 | 1345 | 1546 | 1658 | - | 1841 |
| 47 | 1144 | 1403 | 1493 | 1583 | - | 1869 | 117 | 1166 | 1375 | 1547 | 1656 | - | 1842 |
| 48 | 1143 | 1398 | 1542 | 1607 | - | 1871 | 118 | 1169 | 1374 | 1548 | 1657 | - | 1843 |
| 49 | 1142 | 1337 | 1476 | 1638 | 1759 | 1872 | 119 | 1150 | 1376 | 1549 | 1659 | - | 1844 |
| 50 | 1178 | 1319 | 1453 | 1702 | - | 1873 | 120 | 1187 | 1327 | 1467 | 1660 | - | 1774 |
| 51 | 1128 | 1318 | 1446 | 1698 | - | 1874 | 121 | 1153 | 1377 | 1533 | 1661 | - | 1845 |
| 52 | 1105 | 1300 | 1443 | 1668 | 1739 | 1810 | 122 | 1137 | 1309 | 1458 | - | - | 1799 |
| 53 | - | 1422 | 1554 | 1669 | 1740 | 1820 | 123 | 1184 | 1308 | 1499 | 1677 | - | 1770 |
| 54 | 1101 | 1383 | 1520 | - | - | 1821 | 124 | 1134 | 1307 | 1498 | 1647 | - | 1833 |
| 55 | 1102 | 1384 | 1521 | - | - | 1822 | 125 | 1110 | 1306 | 1515 | 1675 | - | 1800 |
| 56 | 1103 | 1421 | 1442 | 1670 | 1741 | 1823 | 126 | 1112 | - | 1525 | 1676 | - | - |
| 57 | 1104 | 1301 | 1441 | 1700 | 1753 | 1809 | 127 | 1111 | 1353 | 1526 | 1619 | - | 1831 |
| 58 | 1129 | 1363 | 1447 | 1644 | - | 1856 | 128 | 1135 | 1322 | 1501 | 1648 | - | 1834 |
| 59 | 1179 | 1320 | 1448 | 1697 | - | 1791 | 129 | 1185 | 1323 | 1500 | 1649 | - | 1771 |
| 60 | 1159 | 1338 | 1454 | 1597 | 1758 | 1790 | 130 | 1136 | 1324 | 1551 | 1650 | - | 1772 |
| 61 | 1158 | 1402 | 1478 | 1606 | - | 1868 | 131 | 1152 | 1325 | 1534 | 1651 | - | 1837 |
| 62 | 1192 | 1401 | 1479 | 1605 | - | 1783 | 132 | 1186 | 1326 | 1468 | 1652 | - | 1773 |
| 63 | 1145 | 1397 | 1480 | 1589 | - | 1784 | 133 | 1151 | 1342 | 1535 | 1653 | - | 1838 |
| 64 | 1174 | 1366 | 1481 | 1604 | - | 1785 | 134 | 1168 | 1343 | 1536 | 1654 | - | 1839 |
| 65 | 1162 | 1367 | 1491 | 1590 | - | 1786 | 135 | 1167 | 1344 | 1550 | 1655 | - | 1840 |
| 66 | 1173 | 1350 | 1482 | 1603 | - | 1855 | 136 | 1229 | 1386 | 1516 | 1666 | 1745 | 1805 |
| 67 | 1146 | 1395 | 1474 | 1602 | - | 1866 | 137 | 1228 | 1387 | 1505 | 1707 | 1746 | 1804 |
| 68 | 1191 | 1330 | 1475 | 1688 | - | 1782 | 138 | 1227 | 1388 | 1504 | 1708 | 1747 | 1803 |
| 69 | 1157 | 1394 | 1529 | 1701 | - | 1867 | 139 | 1226 | 1389 | 1503 | 1709 | 1748 | 1802 |
| 70 | 1141 | 1313 | 1455 | 1689 | 1755 | 1793 | 140 | 1225 | 1390 | 1502 | 1710 | 1749 | 1801 |
| Anzahl Messpunkte | | | | | | | 140 | 130 | 138 | 137 | 136 | 48 | 131 |