

Aus dem Institut für Biologie und Sachunterricht und ihre Didaktik  
der Universität Flensburg

**Ist die Anlage eines künstlichen Steinriffs auf Weichboden  
in der Flensburger Förde eine sinnvolle  
Naturschutzausgleichsmaßnahme?  
Schlussfolgerungen aus der Besiedlungsfolge  
der ersten zwei Jahre**

Dissertation  
Zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. phil)  
der Universität Flensburg

vorgelegt von  
Dennis Barnekow  
Flensburg  
2004

# Inhalt

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	6
2. Das künstliche Riff im Ostseebad Flensburg	15
3. Material und Methoden	19
3.1 Erste Steinuntersuchungen	19
3.2 Fliesenproben	20
3.3 Fotoprobeblächen	23
3.4 Miesmuschelprobe	25
3.5 Siebfassung von Fischen	25
3.6 Zweite Steinprobe	25
3.7 Abiotische Faktoren	26
4. Allgemeine Informationen zu den erwähnten Organismen ( -gruppen)	28
4.1 Algen	28
4.2 Tiere	29
4.2.1 Stamm Nesseltiere <i>Cnidaria</i>	29
4.2.2 Stamm Rundwürmer Nematelminthes	31
4.2.3 Stamm Weichtiere Mollusca	32
4.2.4 Stamm Ringelwürmer Annelida	34
4.2.5 Stamm Gliedertiere Arthropoda	35
4.2.6. Stamm Stachelhäuter Echinodermata	38
4.2.7 Stamm Chordatiere Chordaten	39

5. Ergebnisse	41
5.1 Erste Steinuntersuchungen	41
5.2 Fliesenproben	43
5.3 Fotoprobeblächen	58
5.4 Miesmuschelprobe	64
5.5 Siebterfassung	65
5.6 Zweite Steinprobe	67
5.7 Abiotische Faktoren	70
5.8 Das Riff am Ende der Untersuchungen	75
6. Diskussion	77
6.1 Besiedlungsfolge	78
6.2 Unterschiede zwischen verschiedenen Riffteilen	83
6.3 Fische	84
6.4 Das künstliche Riff als Ausgleichsmaßnahme	85
6.5 Konsequenzen für den Naturschutz	86
7. Literatur	89
Verzeichnisse der Abbildungen, Tabellen und Fotos	96
Danksagungen	99

## Zusammenfassung

Die Natur wird vom Menschen immer weiter zerstört, um die Landschaft nach seinen Bedürfnissen zu gestalten. Die Natur könnte auf den Menschen verzichten – der Mensch aber nicht auf die Natur. Die Spielregeln bestimmen wir Menschen. Es ist gesetzlich sogar möglich, die Natur zu zerstören, wenn für einen entsprechenden Ausgleich gesorgt wird.

Im November 2001 wurde nach einem Beschluss der Stadt Flensburg ein Steinriff in der Flensburger Innenförde als Ausgleichsmaßnahme künstlich aufgeschüttet. Das aus Natursteinen bestehende Riff ist ca. 15 m lang, 8 m breit und 3 m hoch. Es befindet sich im Ostseebad der Stadt Flensburg in der Flensburger Förde in ca. 7-9 m Wassertiefe.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit dieses künstliche Riff eine sinnvolle Naturschutz - Ausgleichsmaßnahme darstellt. Diese Frage ist von Bedeutung, da durch Eingriffe in den Naturhaushalt, wie sie etwa durch den Bau von Marinen oder Hafenanlagen erfolgen, auch künftig naturschutzrechtlich Ausgleichsmaßnahmen erforderlich werden. Solche Ausgleichsmaßnahmen sollten sinnvoller Weise in der Nähe und im gleichen Lebensraum wie die Eingriffe vorgenommen werden. Gerade für den marinen Bereich gibt es dazu bisher wenige Erfahrungen. Der Versuch, durch das Einbringen von Steinschüttungen, die Vielfalt der Lebensbedingungen in der Förde zu erhöhen und damit den Naturhaushalt zu stärken, geht auf die Überlegung zurück, dass Hartsubstrate früher in der Förde eine größere Rolle spielten. Durch Steinfischerei wurden diese aus den Geschieben stammenden Steine in früheren Zeiten in größerem Umfang aus der Förde entfernt, da sie wertvolles Baumaterial darstellten.

Um die Besiedlungsfolge zu untersuchen, wurden Steinfliesen als Probeflächen auf und am Fuße des Riffs horizontal ausgebracht. Die Ergebnisse dokumentieren die Besiedlungsfolge über zwei Vegetationsperioden. Es zeigt sich, dass der limitierende Faktor Sauerstoff maßgeblich verantwortlich für eine geringere Besiedlung in zunehmender Tiefe ist.

Um von dem Bewuchs der Fliesen auf das Riff schließen zu können, wurden Steinproben genommen und ebenfalls im Labor untersucht. Zusätzlich dokumentieren Unterwasserfotos die Besiedlung des Riffs. Beobachtungen bei den Tauchgängen wurden ebenfalls miteinbezogen. Die Ausgleichsmaßnahme war erfolgreich - das Riff ist komplett bewachsen.

Mit einer Zählung von Fischen wird das erhöhte Fischvorkommen im Vergleich zum umliegenden Weichboden bewiesen.

Die abiotischen Faktoren Wassertemperatur, Salz- und Sauerstoffgehalt wurden in die Untersuchungen miteinbezogen.

Im Sommer 2002 brach die Population aufgrund von Sauerstoffmangel fast vollständig zusammen. Sehr viele Organismen starben. Der darauffolgende Sommer 2003 war sehr warm, wobei aber keine Probleme bezüglich des Sauerstoffs zu verzeichnen waren. Die Wiederbesiedlung erfolgte schneller und anders als die Erstbesiedlung.

Auch wenn es keine älteren Untersuchungen in dem Bereich der Flensburger Förde gibt, auf die vergleichend zurückgegriffen werden könnte, lässt sich die Maßnahme durch die Bestätigung des erwarteten Bewuchses als geglückt einstufen.

Man sollte bei weiteren Maßnahmen dieser Art bedenken, dass es sinnvoll wäre, ein Riff möglichst dicht an die Wasseroberfläche grenzen zu lassen, um eine weitere Besiedlung von z. B. Makroalgen zu fördern. Es wäre auch ratsam, das Riff so zu erweitern, dass der Süßwassereinstrom durch den mündenden Lachsbach nicht gestaut wird, weil dieser sich auf die Sukzession hemmend auswirken könnte.

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Regeneration eines alten Zustandes. Die Eingriffe des Menschen beschränken sich lediglich auf die Schüttung der Steine. Für alle weiteren Schritte ist ein Eingreifen nicht mehr nötig und auch nicht ratsam.

# 1. Einleitung

Die Ostsee ist ein typisches kontinentales Mittelmeer, welches im Wasseraustausch über die Meerengen des Skagerrak und des Kattegatt mit der Nordsee in Verbindung steht. Die Angaben zur Gesamtfläche variieren in der Literatur zwischen 390.000 km<sup>2</sup> (Ott 1996), 415.000 km<sup>2</sup> (Rheinheimer 1996) und 420.000 km<sup>2</sup> (Tardent 1993).

Durch den Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten und die damit verbundenen Hebungen und Senkungen des Festlandes entstanden im Gebiet der heutigen Ostsee erhebliche Veränderungen im Salzgehalt. Die Geschichte dieses mit 12.000 Jahren relativ jungen Meeres wurde in der Literatur schon oft beschrieben (Köster 1996, Tardent 1993, Rheinheimer 1996).

Der Wechsel zwischen Süß- und Salzwasser ließ viele Arten nicht dauerhaft überleben, sodass es immer wieder zu unterschiedlichen Zusammensetzungen der Biozöosen (Lebensgemeinschaften verschiedener Organismen mit ihren Wechselwirkungen) kam. Heute benennt man die Zeiten nach ihren jeweils dominierenden Weichtieren (Mollusken).

Ist die Süßwasserzufuhr durch die Flüsse größer als die Verdunstung, spricht man von einem Brackwasser. Die Größe des Einzugsgebietes wird durch die Flüsse bestimmt, die in die Ostsee fließen. Ein größeres Einzugsgebiet nimmt auch größere Mengen an Niederschlag auf und kann sich somit auch auf den Salzgehalt des Meeres auswirken. Bei der Ostsee ist das Gebiet des Süßwasserzulaufs über die Flüsse viermal größer als die Ostsee selbst (Rheinheimer 1996).

Der Salzgehalt der Ostsee nimmt von Südwesten nach Nordosten ab. Vom Übergang der Nordsee zur Ostsee im Skagerrak und Kattegatt liegt der Salzgehalt noch bei über 30 ‰. Nach den SI – Einheiten, nachzulesen in Siedler (Siedler 1982), würde dieser Salzgehalt mit  $30 \times 10^{-3}$  angegeben werde. Da allerdings viele Autoren, z.B. auch Tardent und Sauermost (Tardent 1993, Sauermost et al. 1994) die Salinität in Gramm pro Liter, d.h. in ‰, angeben, schließe ich mich diesen Angaben an.

Am Finnischen Meerbusen geht der Salzgehalt auf ca. 2 ‰ zurück (Schramm und Nienhuis 1996, Matthäus 1996).

Die Anpassung an den brackischen Lebensraum kann unterschiedlichen Ursprungs sein. Es können limnische, also nur im Süßwasser vorkommende Organismen sein, die eine bestimmte Menge an Salz tolerieren. Solche Arten sind eher weniger vorhanden. Hier sind anadrome Fische zu nennen, die ihre Eier noch im Süßwasser ablegen. Man geht davon aus, dass sie ursprünglich Süßwasserfische waren, die das Salzwasser als Nahrungsquelle für sich erschlossen haben, wobei die jungen Tiere mit ihrem Stoffwechsel noch nicht angepasst sind. Die meisten Arten, die im Brackwasser vorkommen, stammen aus dem Meer. Diese euryhalinen (osmotisch toleranten) Arten können allerdings Salzgehaltsschwankungen auch nur in einem bestimmten Bereich aushalten.

Vor Rügen liegt der Salzgehalt bei ca. 9 ‰. Damit ist z.B. die Verbreitungsgrenze für die Seesterne (*Asterias rubens*) erreicht. Die Strandkrabben (*Carcinus maenas*) tolerieren noch etwas niedrigere Salzgehalte, aber wenig östlich von Rügen erreichen auch sie ihre Verbreitungsgrenze. Der Stress, den der niedrige Salzgehalt für viele Arten bedeutet, drückt sich z.B. in geringerer Körpergröße und langsamerem Wachstum aus.

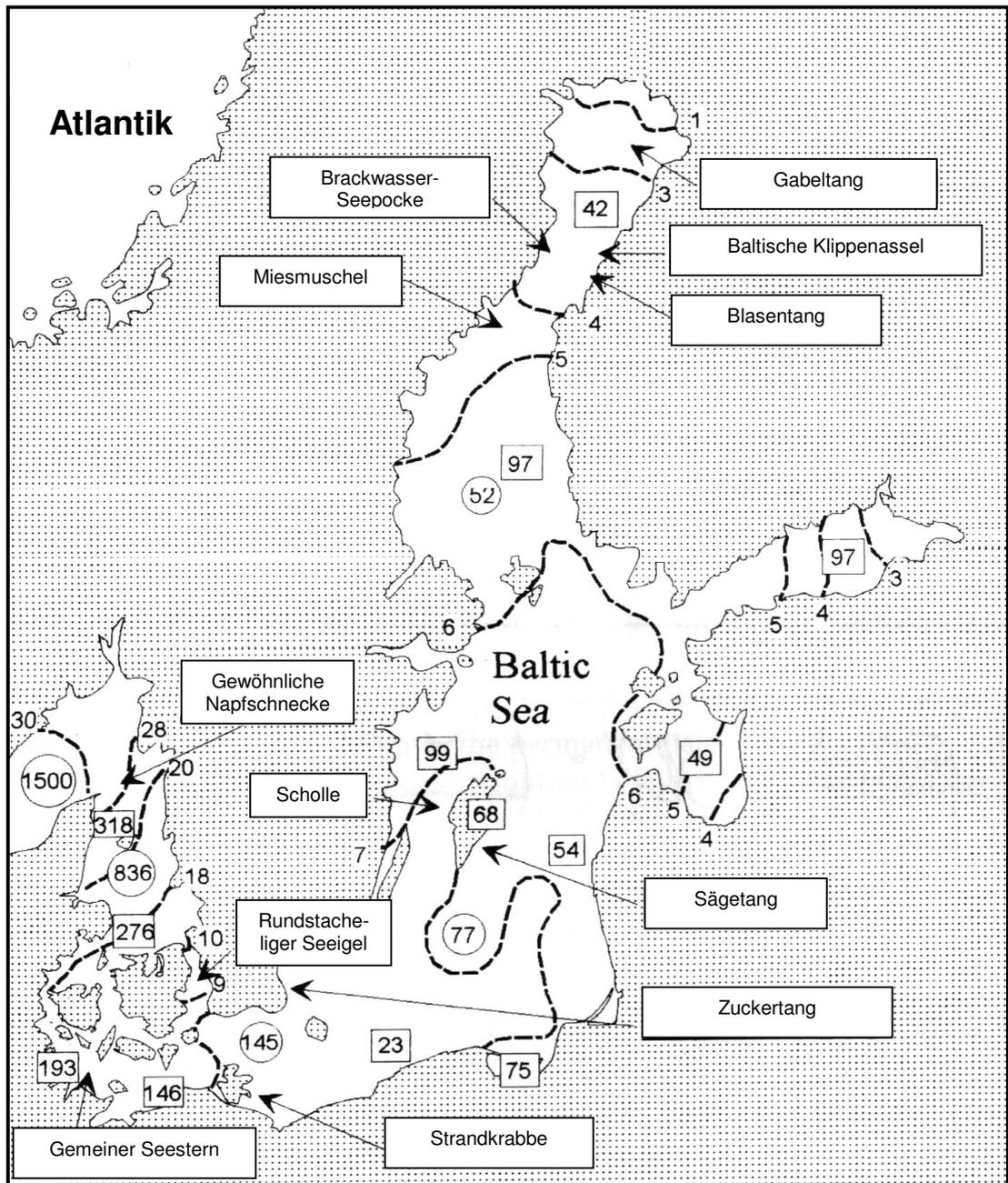


Abb. 1 Salinitätsgradienten und Verbreitungsgrenzen einiger Schlüsselarten in der Ostsee. Salzgehalt in ‰ gestrichelte Linien. Die Zahlen geben die Anzahl der Arten der Makrofauna in Kreisen und der Makroalgen in Quadraten wieder. (verändert nach Schramm und Nienhuis 1996).

Vergleicht man zum Beispiel die Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) von Nord- und Ostsee miteinander, stellt man fest, dass die Ostseemuscheln eine geringere Endgröße haben. Diese Größenreduktion resultiert aus verschiedenen Faktoren, wobei der veränderte Stoffwechsel aufgrund des geringeren Salzgehalts als Hauptfaktor anzusehen ist (Theede 1996).

Der abnehmende Salzgehalt in Richtung Finnischer Meerbusen ist nur ein durchschnittlicher Wert. An allen Flussmündungen findet der „Kampf“ mit dem Salz statt. Es ist leicht nachzuvollziehen, dass es keine große Artenvielfalt in der Ostsee gibt, wobei die vorkommenden Arten oft eine hohe Individuendichte erreichen.

Charakteristisch für das Landschaftsbild der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste sind die tief in das Land eingeschnittenen Buchten – die Förden. Das besondere der Flensburger Innenförde ist ihre relativ starke Abgeschlossenheit. Die Verbindung zur Ostsee ist durch die weit vorspringende Landzunge Holnis sehr eng und flach ausgebildet. Am Ende dieser Förde liegt die Stadt Flensburg mit heute ca. 80.000 Einwohnern.

Wenn es insgesamt einen geringen Wasseraustausch mit der Nordsee gibt, sind dadurch die Auswirkungen im Bereich der Flensburger Innenförde noch gravierender.

Die Innenförde ist deshalb durch Abwassereinleitungen und Zuflüsse auch aus landwirtschaftlich genutzten Bereichen bekanntermaßen gefährdet. Hauptproblem ist dabei, dass durch organische Belastung und insbesondere durch Eintrag von mineralischen Stickstoff- und Phosphorverbindungen in tieferen Bereichen eine starke Sauerstoffzehrung zur Vernichtung der ursprünglichen Biozöten führt.

Eine Minderung der Einträge muss deshalb oberstes Ziel der Naturschutzbemühungen sein. Die Handlungsmöglichkeiten werden durch Unterschutzstellungen – z.B. durch Einbeziehung der Innenförde in Schutzgebiete gemäß der FFH - Richtlinien (Fauna – Flora – Habitat – Richtlinien) (Ssymank et al. 1998) verbessert.

## Naturschutzaspekt

Die Dringlichkeit des Schutzes der Natur ist im Laufe der Jahre immer deutlicher geworden. Schon 1875 wurde der „Deutsche Verein zum Schutze der Vogelwelt“ gegründet. In Naturschutzvereinen wird meist ehrenamtlich gearbeitet. Es liegt im Interesse der Bevölkerung die Natur schützen zu wollen. Ein effektives Mittel zum Schutze der Natur liegt im Erwerb ökologisch wertvoller Gebiete. Der erste Erwerb eines solchen Gebietes war 1909 (!) der Kauf der Hallig Norderoog durch den Verein Jordsand.

Heute versteht man unter Naturschutz nach Jüdes et al. (1988):

*Die „Gesamtheit der Maßnahmen zu Erhaltung und Förderung von Pflanzen und Tieren wildlebender Arten, ihrer Lebensgemeinschaften und ihrer natürlichen Lebensgrundlagen sowie zur Sicherung von natürlichen und naturbetonten Landschaften und Landschaftsteilen.“*

Längst ist der Naturschutz auch in staatliche Obhut übergegangen, was aber die ehrenamtliche Tätigkeit in Vereinen nicht überflüssig macht.

Interessenkonflikte im Bereich des Naturschutzes bestehen überall, werden oft in Zeitungen erwähnt und für politische Zwecke eingesetzt oder gar missbraucht. Viele Sachverhalte werden heutzutage bereits über Gesetze geregelt.

Der Mensch lebt in der Natur und breitet sich mit modernsten Technologien weiter aus. Es ist eine verbreitete Ansicht, dass man alles wieder in den Griff bekommt, wenn man lernt, die eingetretenen Schäden zu reparieren. Die Möglichkeit der Wiederherstellung eines alten Zustandes der Natur, man spricht von Regeneration, ist aber zumindest in nächster Zukunft nicht mehr in allen Bereichen gegeben (Plachter 1991).

Man versucht der Natur wieder eine Chance zu geben und investiert in Renaturierungs- und Regenerationsmaßnahmen, wobei auch die künftige Rolle des Menschen dabei gut bedacht sein sollte. Viele der betreffenden Gebiete werden unter Schutz gestellt.

Schützenswerte Gebiete werden vor allem für dicht besiedelte Staaten einen Wertzuwachs haben, der sich nicht in Zahlen ausdrücken lässt (Diehl und Diehl 1986). Hierin liegt ein gravierendes Problem des Naturschutzes.

Eine Möglichkeit, die im Naturschutzrecht schon lange verankert ist, sind Eingriffs- und Ausgleichsmaßnahmen. Durch Eingriffe in den Naturhaushalt, wie sie etwa durch den Bau von Sportboothäfen und kommerziell genutzten Hafenanlagen erfolgen, werden naturschutzrechtlich Ausgleichsmaßnahmen nach § 8 BNatSchG (Bundesnaturschutzgesetz 1998) erforderlich. Da die Verursacher nicht immer selbst für einen angemessenen Ausgleich sorgen, lässt das LNatschG Schleswig – Holstein nach § 8b (Landesnaturschutzgesetz des Landes Schleswig-Holstein 2003) auch Ausgleichszahlungen an die Oberste Naturschutzbehörde zu, die auf Antrag geeignete Maßnahmen unterstützt.

Allerdings ist es nur in geringen Ausnahmefällen möglich, einen wirklich angemessenen Ausgleich zu schaffen (Erz 1983).

Zumindest sollten solche Ausgleichsmaßnahmen sinnvoller Weise in der Nähe oder im gleichen Lebensraum der getätigten Eingriffe stattfinden. Gerade für den marinen Bereich gibt es dazu bisher wenige Erfahrungen.

Der Versuch, durch das Einbringen von Steinschüttungen die Vielfalt der Lebensbedingungen in der Förde zu erhöhen und damit den Naturhaushalt zu stärken, geht auf die Überlegung zurück, dass solche Hartsubstrate früher auch in der Flensburger Förde eine größere Rolle spielten. Durch Steinfischerei wurden diese aus den eiszeitlichen Geschiebmassen stammenden Steine zumindest in früheren Zeiten, auf dänischer Seite auch noch bis in die 80er Jahre, in größerem Umfang aus der Förde entfernt, da sie wertvolles Baumaterial darstellten. Es lässt sich nicht mehr nachvollziehen, wie viele Tonnen der Ostsee entnommen worden sind.

## **Fragestellung**

Die Steinschüttung am Ostseebad, das „künstliche Riff“, wurde mit dem Ziel vorgenommen, eine solche Ausgleichsfläche für den Naturschutz einzurichten. Die Eingriffe beschränken sich bei dieser Maßnahme auf die Steinschüttung. Natursteine, die auch von den eiszeitlichen Gletschern an die Stelle geschoben worden sein könnten, werden in die Förde eingebracht und stellen so einen Zustand her, der vor der Steinfischerei in ähnlicher Form existiert haben könnte. Bei der Maßnahme handelt es sich um den Versuch der Wiederherstellung des früheren Zustandes, also wie bereits erwähnt, eine Regeneration. Aber wie sinnvoll ist eine solche Ausgleichsmaßnahme tatsächlich? Führt sie wirklich zu einer Regeneration oder zumindest zu einer „Verbesserung“ des Naturhaushaltes der Förde, also einer Erhöhung der Biodiversität, im Sinne einer Erhöhung der Artenvielfalt, der genetischen Vielfalt und der Vielfalt an verschiedenen Ökosystemen?

In dieser Arbeit sollen erste Antworten auf diese Fragen gefunden werden, indem die Besiedlung des künstlichen Riffes in einem engen Zeitraster verfolgt und dokumentiert wird.

Die Ausgleichsmaßnahme stellt ein Pilotprojekt dar. Aus der genauen Beobachtung der Abläufe sollen Schlussfolgerungen gezogen werden, die helfen zukünftige vergleichbare Maßnahmen zu optimieren. Welche Maßnahmen können zu einer Steigerung der Effektivität führen, unter Berücksichtigung der gegebenen finanziellen und rechtlichen Bedingungen? Wo liegen die Grenzen möglicher Verbesserungen?

Dabei waren die Vorgaben zunächst nicht zu beeinflussen, denn bei der Steinschüttung mussten vor allem seefahrtsrechtliche Bedingungen beachtet werden. Für die Dimension der Schüttung waren durch den finanziellen Rahmen feste Grenzen gesetzt. So war klar, dass für diese Einzelmaßnahme keine grundlegende Veränderung der ökologischen Situation der Innenförde zu bewerkstelligen sein würde.

Schließlich darf nicht übersehen werden, dass die Ausgleichsmaßnahme, „Steine in die Förde zu kippen“ in der Öffentlichkeit nicht ohne weiteres akzeptiert wird. Zu den Kritikern gehören zum Beispiel auch die letzten Fördefischer, die man vor allem damit überzeugen könnte, dass Fische von dem Riff angezogen werden und neue Nahrungsquellen und Laichgründe erhalten und somit der Fischbestand zumindest stabilisiert wird.

Die Überprüfung von Eingriff und Ausgleich, beziehungsweise Ersatz, wirft weitere Fragen auf. Die Bilanzierung der unterschiedlichen einbezogenen Gebiete erscheint schwer möglich (Plachter 1991). Die meisten Erfahrungen über Ausgleichsmaßnahmen wurden auf terrestrischen Gebieten gesammelt — für submarine Bereiche liegen bisher nur wenige Erfahrungen vor. Mangelt es schon bei terrestrischen Ausgleichsflächen oft an personellen und finanziellen Möglichkeiten für eine Evaluation, so gilt dies in noch stärkerem Maße für die marinen Gebiete.

Eine Kontrolle beschränkte sich bei diesen Beispielen oft auf eine Sichtung, ob eine Maßnahme stattgefunden hat oder nicht. Eine solche Überprüfung wäre mit einem Tauchgang erledigt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Erstbesiedlung des Riffs in groben Zügen erfasst und dokumentiert. Aus diesen Erfahrungen und Erkenntnissen kann die Frage beantwortet werden, inwieweit die Einrichtung künstlicher Riffe eine sinnvolle Ausgleichsmaßnahmen für den Naturschutz darstellen könnten. Hieraus ergeben sich Konsequenzen für künftige, ähnliche Projekte in der Ostsee.

Aus den oben genannten besonderen Bedingungen der Flensburger Innenförde ergeben sich spezielle Fragestellungen:

Als limitierender Faktor bei der Besiedlung im Wasser spielt das Licht eine große Rolle. Der lichtdurchflutete Bereich, die euphotische Zone, erstreckt sich je nach Wassertransparenz in unterschiedliche Tiefen (Ott 1996). Das Lichtklima in der Ostsee kann sich sehr schnell durch das massenhafte Auftreten von planktischen Nährstoffopportunisten verschlechtern (Schramm 1996).

In der Flensburger Förde tritt als weiteres, gravierenderes Problem Sauerstoffmangel auf. Verschiedene Versuche mit Belüftungen aus der Tiefe (Meyer und Valentin 1993) haben nicht den gewünschten Erfolg erzielt.

Auf dem Grund der Flensburger Förde ist ab 10 m Wassertiefe keine Bodenfauna mehr vorhanden, dokumentierte Valentin (Valentin 1989) auch auf einem Vortrag (BUND Flensburg 2003) anlässlich eines Biologischen Kolloquiums.

Das Riff befindet sich in neun Metern Wassertiefe und ragt drei Meter in die Höhe. Es fällt damit zumindest an die Grenze dieses kritischen Bereiches. Welche Folgen haben eventuelle Sauerstoff-Stresssituationen für die Riffentwicklung? Wann und wie häufig treten sie auf? Kann man einen deutlichen Unterschied der Entwicklung auf und am Fuß des Riffs feststellen und wie bzw. wie rasch verlaufen nach Sauerstoffkatastrophen eventuelle Wiederbesiedlungen?

Auch die Wassertemperatur ist für die Entwicklung verschiedener Organismen von großer Bedeutung. Kann man temperaturabhängige Veränderungen in der Besiedlungsfolge feststellen, was beispielsweise Luther (1976b) in ihren Untersuchungen an Seepocken vermutete?

Auch der schwankende Salzgehalt stellt einen zusätzlichen Stressfaktor dar, wobei die nahegelegene Einmündung des Lachsbaches ebenso wie die regelmäßig auftretenden Hoch- und Niedrigwasserstände mögliche Schwankungen verstärken dürften. Kann man den Salzgehaltsschwankungen eine besondere Bedeutung bei der Riffbesiedlung zuschreiben?

Das künstliche Riff ist umgeben von Weichböden. Weichböden der Ostsee erscheinen bei makroskopischer Betrachtung relativ eintönig und wenig besiedelt (Sommer 1998). Die häufigsten Muscheln, die auf dem Ostseeboden vorkommen, sind die Miesmuscheln (*Mytilus edulis*), die auch das makroskopische Bild des Weichbodens um das Riff prägen. Hat dies einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der sich neu entwickelnden Lebensgemeinschaft oder spielen bei der Wiederbesiedlung die Standortbedingungen eine größere Rolle als die Entfernung zu den Organismen, die Neubesiedler liefern?

## 2. Das künstliche Riff am Ostseebad Flensburg

### Lage und Entstehung des künstlichen Riffs

An der westlichen Seite der Flensburger Förde liegt ein Badestrand der Stadt Flensburg, der Ostseebad genannt wird (Abb. 2). Es handelt sich um einen teilweise bewachten Badestrand mit einer Länge von ca. 500 m. Etwa in der Mitte ragt ein Anlegesteg, der nur noch als Badesteg verwendet, mehr als 100 m weit in die Ostsee. Aufgrund des starken Befalls durch die Bohrmuschel *Teredo navalis* L. war die Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben, weswegen die Brücke im Frühjahr 2003 komplett erneuert wurde.

Beim Ostseebad mündet der Lachsbach in die Förde, der zur Ostsee hin mit Betonplatten begradigt ist (Abb. 3).

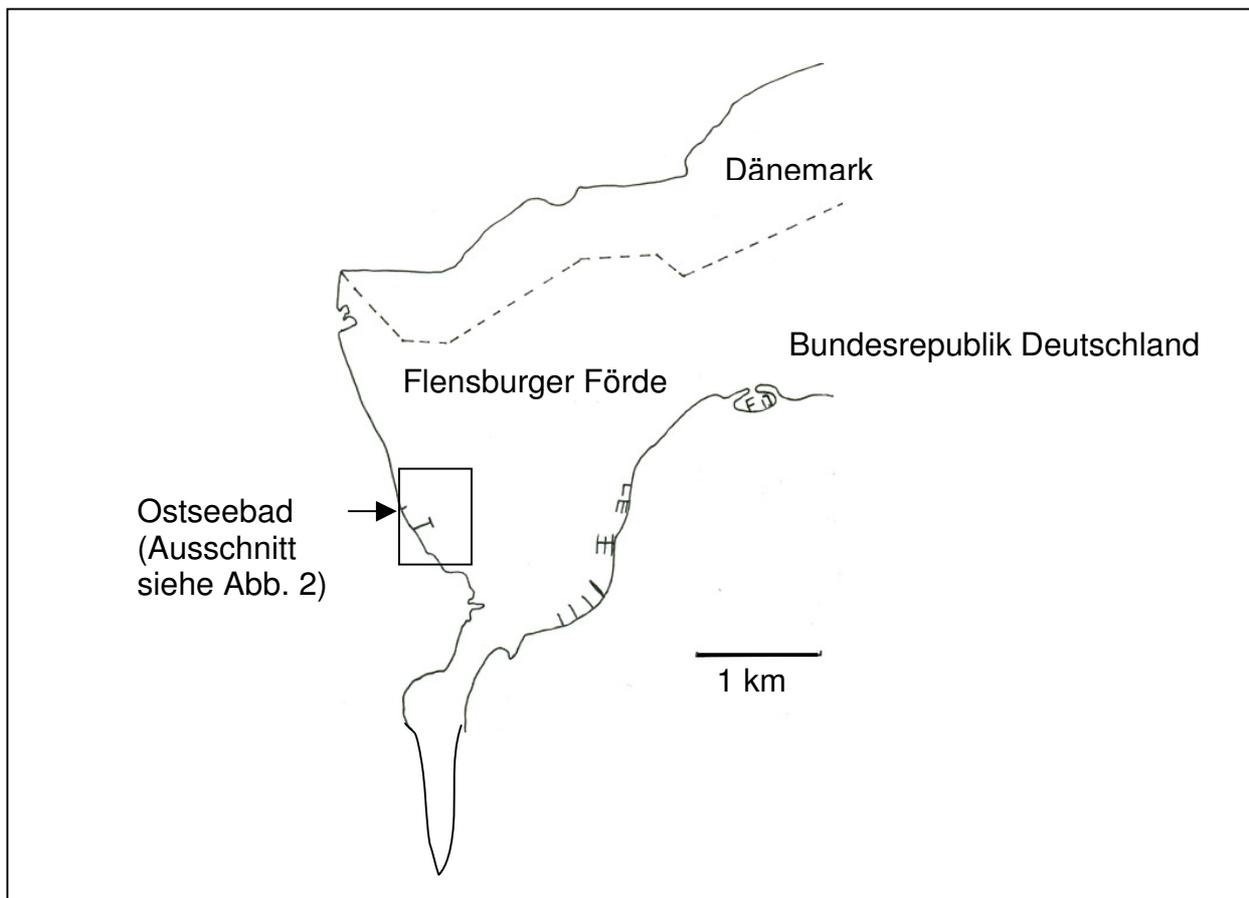


Abb. 2 Lage des Ostseebades

Bei der Entscheidung für den Standort des künstlichen Riffes wurden verschiedene Faktoren berücksichtigt. Das städtische Interesse bezog sich auch auf eine Aufwertung der angrenzenden sozialproblematischen Neustadt und einer Steigerung der Attraktivität des Strandbades. Die Tauchsportgemeinschaft Flensburg e.V. bot für diesen Standort ihre Hilfe und Unterstützung an. Das Institut für Biologie und Sachunterricht und ihre Didaktik der Universität Flensburg betreibt am Strand des Ostseebades ein „Ostseelabor“, um interessierten Menschen den Lebensraum Ostsee vor Ort näher zu bringen. Gerade an dieser Stelle ist es dadurch möglich, Naturschutz im doppelten Sinne des Wortes „begreifbar“ zu machen.

Nach einer Begutachtung des Gebietes durch Taucher einigte man sich auf einen Bereich hinter einer zu der Zeit intakten Miesmuschelbank (Abb. 3 und Foto 1). Das künstliche Riff wurde parallel zum Ufer in Nordwest – Südost – Richtung geschüttet.

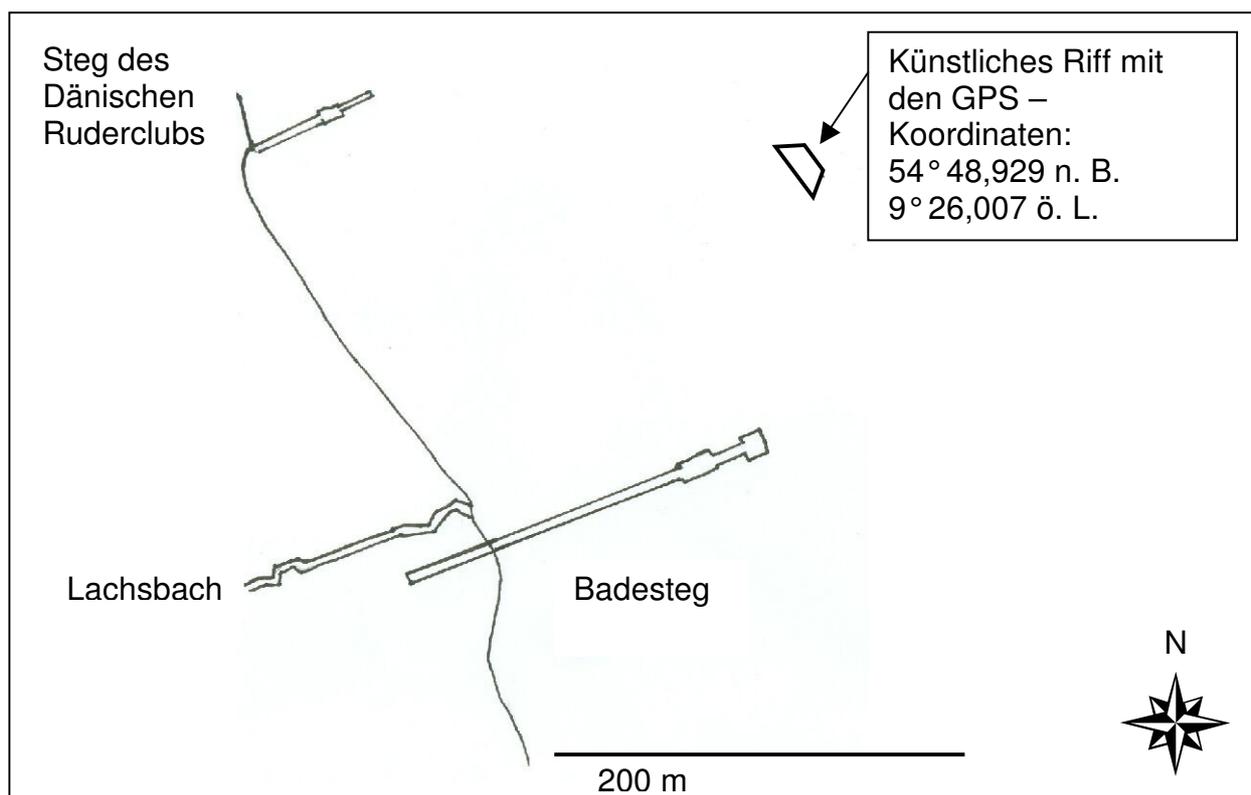


Abb. 3 Lage des künstlichen Riffs im Ostseebad Flensburg

Monate nach der Antragstellung für die Schaffung eines neuen Lebensraumes im Unterwasserbereich des Ostseebades im Rahmen einer Ausgleichsmaßnahme wurde die Erlaubnis am 26. November 2001 durch die Stadt Flensburg erteilt.

Am 27. November 2001 lieferte eine Wasserbaustoff-Handlung aus Kappeln 118 t Natursteine (Syenit) aus Norwegen.

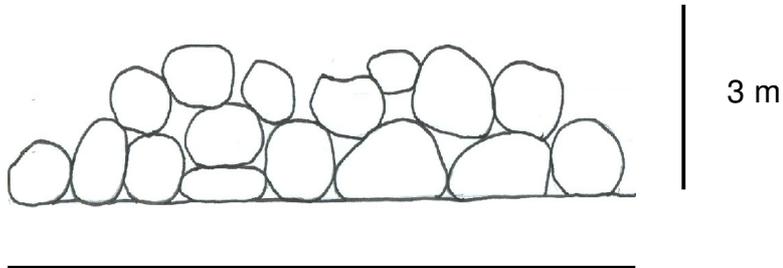
Die Steine wurden mit einem Schiff von Norwegen nach Dänemark in ein Zwischenlager verfrachtet und von dort aus mit einem LKW nach Kappeln transportiert. Von Kappeln aus entschied man sich, die 118 t Syenit auf dem Wasserwege mit einem Ponton nach Flensburg zu bringen. Die Findlinge mit einem Durchmesser von ca. 50 bis 100 cm wurden an der dafür vorgesehenen Stelle ( $54^{\circ}48,929$  nördliche Breite /  $9^{\circ}26,007$  östliche Länge) in 7 bis 9 m Wassertiefe versenkt (Foto 1). Das Riff musste in mindestens fünf Metern Wassertiefe angelegt werden, um es nicht mit einer Tonne kenntlich machen zu müssen. Eine Betonung muss auch in den amtlichen Seekarten verzeichnet werden, dieses ließ der finanzielle Rahmen der Ausgleichsmaßnahme nicht zu.



Foto 1: Blick vom Ostseebad Flensburg in nordwestlicher Richtung Lage des künstlichen Riffs (am rechten Bildrand) (Foto: Barnekow)  
In der Mitte des linken Bildrandes ragt der Steg des dänischen Ruderklubs ca. 70 m weit in die Ostsee. Im Hintergrund befindet sich Dänemark.

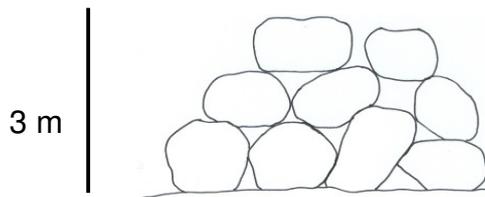
Das Riff liegt in nordwestlich – südöstlicher Richtung parallel mit der breiteren Seite zur Küste (s. Abb. 3 und 4).

Längsprofil



eine Seite des künstlichen Riffs ca. 13 m Länge

Querprofil



13 m

Aufsicht  
(Umriss)

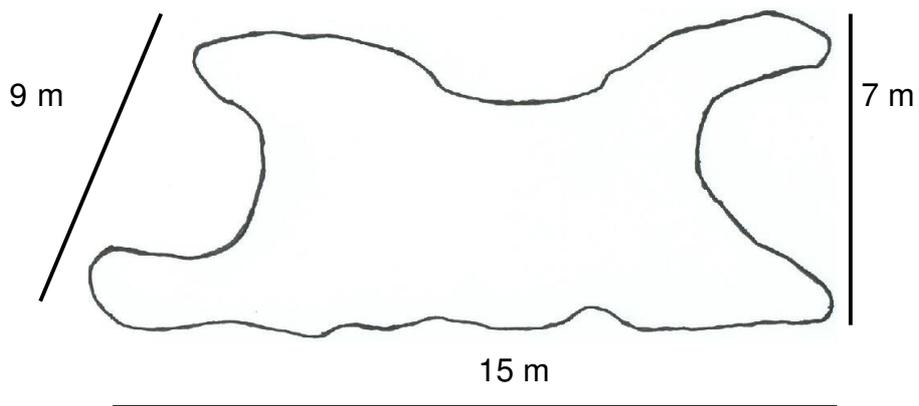


Abb. 4 Skizzen des künstlichen Riffs im Ostseebad der Flensburger Förde

### 3. Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die Materialien und Methoden zur Durchführung der Untersuchungen beschrieben. Die statistischen Tests und Erklärungen zu den Umrechnungen werden direkt bei den Ergebnissen vorgestellt, weil es sich hierbei um die Umsetzung für die Darstellung der gewonnenen Ergebnisse handelt und in diesem Kapitel losgelöst von den Untersuchungsmethoden stünde.

#### 3.1 Erste Steinproben

Am 2. Februar 2002 wurden zwei Steine aus dem Riff geholt und untersucht. Zunächst wurden die Proben durch ein Binokular mit einer bis zu 15-fachen Vergrößerung gesichtet. Je nach Bedarf wurde die Vergrößerung beim Binokular erhöht und wenn es nötig erschien, wurden auch einzelne Proben mit einem Mikroskop untersucht. Es waren sehr viele Bakterien zu sehen, die nicht weiter zu bestimmen waren. Hinzu kamen Kieselalgen, die qualitativ erfasst worden sind. Um die Kieselalgen besser sehen und fotografieren zu können, wurden die Proben wie folgt aufbereitet:

1. Die Proben wurden mit dest.  $H_2O$  mehrmals gewaschen, um Trübstoffe und Satz zu entfernen.
2. Die absedimentierten Proben wurden zentrifugiert (3200 U/min) und anschließend mit Kaliumpermanganat ( $KMnO_4$ ) versetzt, welches 24 Stunden einwirken musste, um die organische Substanz zu oxidieren.
3. Die Proben wurden erhitzt und vorsichtig mit  $HCl$  (30%) versetzt, um Karbonate verschiedener Schalenfragmente zu entfernen.
4. Die Proben wurden vorsichtig mit Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) entfärbt (heftige Reaktion).
5. Die Probe wurde mehrmals mit dest.  $H_2O$  versetzt und zentrifugiert oder sedimentiert, um die Chemikalien zu entfernen.

## 3.2 Fliesenproben

Bewuchsuntersuchungen mit Fliesen sind eine mehrfach erprobte Untersuchungsmethode (z.B. Luther 1976a, Luther 1976b). Bei den Untersuchungen von Luther handelte es sich um vertikal ausgebrachte Probeflächen in einem Sylter Hafen, der unter Gezeiteneinfluss steht.

Bei meiner Untersuchung wurden Steingutfliesen von 15 x 15 cm an einem Drahtkäfig befestigt. Diese Größe eignet sich, um die Proben bei den erforderlichen Tauchgängen ohne Probleme mitnehmen zu können. Darüber hinaus ist die Größe beim Auszählen der Proben noch zu bewältigen.

Die Probeflächen mit 15 x 15 cm Fliesen wurden horizontal auf Drahtkäfigen (Foto 2) ausgebracht.



Foto 2 Probeflächen auf Drahtgestellen vor dem Ausbringen  
(Foto: Barnekow)

Bei den Fliesen handelt es sich um Steingut mit rauer, nicht polierter Oberfläche. Es wäre auch möglich gewesen, aus den verwendeten Syenit-Steinen Fliesen herzustellen. Da nach Untersuchungen von z.B. Luther (Luther 1976a, Luther 1976b) keine großen Unterschiede zu erwarten waren, wurde diese Möglichkeit nicht weiter verfolgt.

Die Steingut-Fliesen wurden mit Kabelbindern auf den Drahtkörben fixiert (Foto 2). Für die Entnahme wurden die Kabelbinder mit einer Zange durchtrennt und die Fliesen einzeln in einen verschließbaren Kunststoffbehälter überführt, um keine Verluste des Aufwuchses zu bekommen und die Proben nicht auszudünnen. Die Drahtkäfige bieten nur wenig Strömungswiderstand und wurden zur Stabilisierung mit Steinen gefüllt, um eine Verdriftung zu vermeiden. Ein Drahtkäfig wurde oben auf dem Riff und ein zweiter am Fuß des Riffs ausgebracht (Abb.5).

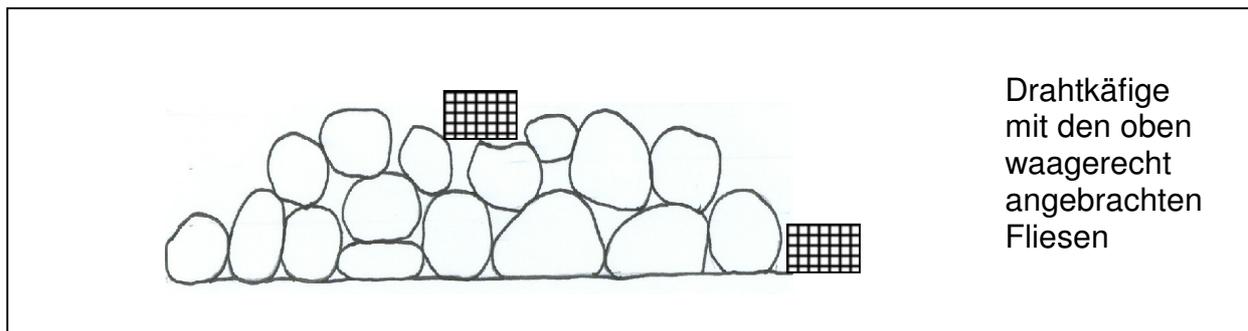


Abb. 5 Position der Drahtkäfige mit Fliesen am künstlichen Riff



Foto 3 Fliesenkäfig auf dem künstlichen Riff  
(Foto: Thomsen)

Da es sich um ein relativ kleines künstliches Riff mit einer maximalen Länge von 15 m handelt, reichen diese beiden Drahtkäfige aus.

Bei der Probennahme wurde jeweils eine Fliese vom unteren und eine vom oberen Drahtkäfig an folgenden Tagen entnommen:

- 27.04.02
- 07.06.02
- 19.07.02
- 21.09.02
- 13.10.03

Um die Entwicklung des künstlichen Riffes im Laufe eines Jahres zu dokumentieren, wurden im Jahr 2002 vier Proben im Abstand von 6-8 Wochen genommen. Die weitergehende Besiedlung sollte durch eine andere Methode mit Fotoprobeblächen untersucht werden, worauf in Kap. 3.3 eingegangen wird. Die letzte Probe im Jahr 2003 wurde parallel zu anderen Untersuchungen (siehe 2. Steinuntersuchungen) genommen.

Die Fliesen wurden im Labor mit einem Binokular bei einer 15-fachen Vergrößerung durchgesehen, um die darauf siedelnden Organismen zu erfassen. Wenn es nötig erschien, wurde der Vergrößerung erhöht und einzelne Proben wurden nach Bedarf auch mit einem Mikroskop bis zu 1000-fach vergrößert.

Bei den Fliesenproben wurde auf das Erfassen mikroskopisch kleiner Organismen, wie zum Beispiel Kieselalgen, verzichtet, weil es nicht in den Rahmen dieser Arbeit passen würde. Die Auswertung erfolgte nicht immer bis zur Bestimmung der Art, manchmal wurden die Organismen nur den Familien oder auch den Gattungen zugeordnet.

Sich flächig ausbreitende Hydrozoenkolonien (eine Klasse der Nesseltiere) werden durch ein Raster quantitativ erfasst, und zwar bei einer Untersuchung zum flächendeckenden Bewuchs am 13. 10. 2003. Diese Untersuchungen beschränkte ich auf diese Fliesen, weil zeitgleich die Proben der „Zweiten Steinuntersuchung“ genommen worden sind (Kap. 3.6).

Ein kleines Stück aus einer Rolle Maschendrahtzaun (Gitter aus Metall und einer Plastikummantelung) wurde auf Fliesengröße ausgeschnitten. Die Quadrate haben eine einheitliche Kantenlänge von 1,2 cm.

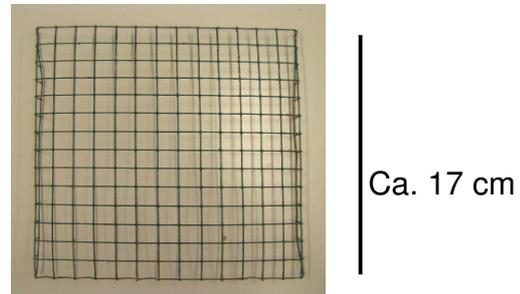


Foto 4 Selbstgebautes Fliesengitter aus Maschendraht zur Quantifizierung des Flächenbewuchses

Immer wenn mindestens ein Organismus einer Art oder einer Gruppierung in einem kleinen Quadrat vorhanden war, wurde dieses vermerkt. Ein mehrfaches Vorkommen innerhalb eines Quadrates wurde nicht gesondert berücksichtigt. Diese Methode habe ich zur Quantifizierung der Flächendeckung des Bewuchses entwickelt.

### 3.3 Fotoprobeflächen

Vier Flächen wurden am künstlichen Riff ausgewählt, um diese mit ihrem Aufwuchs über einen längeren Zeitraum fotografisch zu dokumentieren. Die Fotos lieferten einen Überblick über die Entwicklung des Riffs. Mit ihrer Hilfe sollte außerdem überprüft werden, ob der Bewuchs der Fliesen mit dem Bewuchs der Steine vergleichbar war, sodass Rückschlüsse vom Bewuchs der Fliesen auf den Bewuchs der Steine möglich waren. Dazu sollten vier Flächen an den verschiedenen Seiten des Riffs durch Fotos dokumentiert werden (Abb. 6).

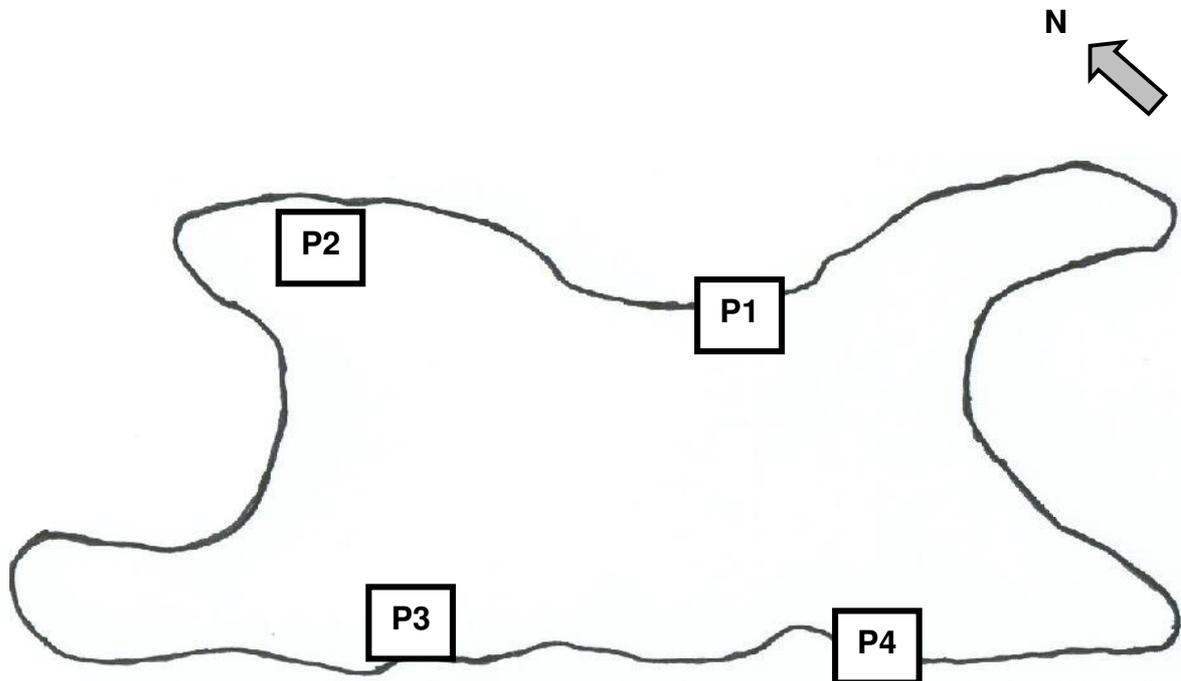


Abb. 6 Fotoprobebereiche auf dem künstlichen Riff

Die Auswertung der Fotos erwies sich allerdings als sehr schwierig. Es war schon problematisch die Flächen entsprechend zu markieren und dann später wiederzufinden. Das Riff war zum größten Teil mit einer Schicht bedeckt, die aus zerriebenem organischen Material, welches als Detritus bezeichnet wird und anderen, unbelebten Teilen, die als Abioseston oder Tripton in der Fachliteratur zu finden sind, bestand. Die Methode erwies sich für quantitative Analysen als wenig geeignet. Daher war es notwendig weitere Steinproben zu nehmen (siehe Kap. 3.6).

### **3.4 Miesmuschelprobe**

Bei den diversen Tauchgängen fiel auf, dass der Bewuchs mit Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) zunächst an der Markierungsleine unterhalb der Wasseroberfläche und später auf dem Riff zunahm. In Fel snischen auf dem Riff kamen Muschelgirlanden vor.

Am 27. August 2003 wurde eine Probe einer Miesmuschelgirlande vom Riff entnommen. Die Miesmuscheln wurden vermessen, um festzustellen, ob es sich um eine einheitliche oder gemischte Altersstruktur der Miesmuscheln handelt. Wenn die Miesmuschelbank Miesmuscheln unterschiedlicher Größen und damit unterschiedlichen Alters besitzt, ist davon auszugehen, dass die Schwankungen der Einflussfaktoren die gesamte Population nicht aussterben ließ. Dieses könnte für einen akuten Sauerstoffmangel oder für einen Eiswinter von Bedeutung sein.

### **3.5 Sichterfassung von Fischen**

Bei allen Tauchgängen wurden im und auf dem Riff verschiedene Organismen beobachtet. Es entstand der Eindruck, dass sich Fische und Strandkrabben häufiger im und am Riff aufhielten als auf den freien Flächen, dem Weichboden und neben dem Riff. Um diesen Eindruck zu überprüfen, tauchte ich am 13. Oktober 2003 um das Riff (44 m) und zählte bei einer Sichtstreuung von 2 Metern alle Fische, Seesterne, Ohrenquallen und Strandkrabben. Die gleiche Strecke wurde bei gleicher Tiefe auch außerhalb des Riffs betaucht und die Organismen ebenso erfasst.

### **3.6 Zweite Steinprobe**

Die Methode der Fotoprobe flächen brachte nicht den gewünschten Erfolg (siehe Kap. 3.3), so dass die Frage noch offen blieb, ob die Entwicklung auf den Fliesen mit der auf den Steinen gleichzusetzen ist. Um dieses festzustellen, wurden drei Steine am 13. Oktober 2003 aus drei verschiedenen Bereichen entnommen. Die Steine waren kleiner und damit transportabler als die meisten Felsblöcke.

Die gewählten Bereiche waren:

- Stein auf dem Riff
- Stein aus dem Riff
- Stein weit ab vom Riff

Die Steine des Riffs sind normalerweise sehr groß (durchschnittlicher Durchmesser 50 - 100 cm), so dass es problematisch war, passende Steine zu finden. Bei diesen Proben konnten Ober- und Unterseiten nicht differenziert werden.

Um die unterschiedlichen Oberflächen vergleichen zu können, wurden die Proben nach der Auswertung einschichtig in Alufolie gewickelt. Anschließend wurde der Umriss die abgewickelte Alufolie auf Millimeterpapier übertragen, um die Oberfläche anhand der Markierung auszählen zu können. Um diese Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurden alle ermittelten Daten auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

Bei diesem Tauchgang wurden auch wieder zwei Fliesen mitgenommen, um diese direkt mit den Steinen vergleichen zu können.

### **3.7 Abiotische Faktoren**

#### **Temperatur**

Die Temperatur wurde direkt im Ostseebad in unterschiedlichen zeitlichen Abständen gemessen. Zunächst verglich ich die Daten vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie ([www.bsh.de](http://www.bsh.de)) und vom Flensburger Tageblatt mit meinen gemessenen Temperaturen, die alle übereinstimmten. Durch die regelmäßigen Notizen (s. Anhang) konnte ich über den Untersuchungszeitraum Temperaturkurven aufstellen.

Später bekam ich vom Klärwerk Flensburg ebenfalls Temperaturdaten (s. Anhang), die allerdings nicht so oft erhoben worden sind, so dass ich auf diese bezüglich der Wassertemperatur nicht weiter eingehe.

## Sauerstoff und Salzgehalt

Es wurden keine verlässlichen Daten abiotischer Faktoren bis auf die Wassertemperatur selbst ermittelt. Das städtische Klärwerk in Flensburg untersucht regelmäßig an unterschiedlichen Stellen die Flensburger Förde und misst folgende Parameter in der Förde:

Temperatur, Sauerstoffgehalt, Salzgehalt, pH-Wert, Nitrat, Ammonium, TOC (total organic carbon), Phosphat, Kieselsäure, Sichttiefe

Die Daten wurden mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

## Bestimmungsliteratur

Zur Bestimmung der gefundenen Organismen eignet sich folgende Literatur:

- DeHaas W, Knorr F (1990) Was lebt im Meer an Europas Küsten? Albert Müller, Rüsliko-Zürich, Stuttgart, Wien, 390 Seiten
- Drebes G (1974) Marines Phytoplankton. Thieme, Stuttgart, 186 Seiten
- Götting K-J, Kilian EF, Schnetter R (1982) Einführung in die Meeresbiologie 1 Marine Organismen Marine Biogeographie. Vieweg, Braunschweig, Wiebaden, 179 Seiten
- Køie M, Kristiansen A (2001) Der große Kosmos Strandführer Tier und Pflanzen in Nord- und Ostsee. Franckh-Kosmos, Stuttgart, 350 Seiten
- Kornmann P, Sahling P-H (1983a) Meeresalgen von Helgoland Benthische Grün-, Braun- und Rotalgen. Veränderter Neudruck, Helgol. wiss. Meeresunters. 29, 1-289
- Kornmann P, Sahling P-H (1983b) Meeresalgen von Helgoland: Ergänzung Helgol. Meeresunters. 36, 1-65
- Kornmann P, Sahling P-H (1994) Meeresalgen von Helgoland: Zweite Ergänzung Helgol. Meeresunters. 48, 365-406
- Kühlmann D et al (1993) Wirbellose Tiere Europas. Neumann, 444 Seiten
- Lüning, Klaus (1985) Meeresbotanik Verbreitung, Ökophysiologie und Nutzung der marinen Makroalgen. Thieme, Stuttgart, New York, 375 Seiten
- Pankow H (1990) Ostseealgenflora. Gustav Fischer Leipzig, 648 Seiten
- Rothmaler W (Hrsg.) (1983) Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD Band 1 Niedere Pflanzen - Grundband. 2. Auflage, Volk und Wissen, Berlin, 811 Seiten
- Stresemann E (Hrsg.) (1986) Exkursionsfauna für die Gebiete der DDR und der BRD Wirbellose I. Volk und Wissen, Berlin, 494 Seiten

## 4. Allgemeine Informationen zu den erwähnten Organismen (-gruppen)

Um einen allgemeinen Überblick über die Organismen, die in dieser Arbeit erwähnt werden, zu geben, werden hier einige Informationen genannt.

### 4.1 Algen

Bei den Algen unterscheidet man zwischen Rotalgen (*Rhodophyta*), Gelb-braunen Algen (*Heterokontophyta*) und Grünen Algen (*Chlorophyta*).

Die Färbung beruht auf unterschiedlichen Farbstoffen. Die Entwicklungszyklen sind ebenfalls sehr unterschiedlich.

Bei der Besiedlung des künstlichen Riffs spielen zunächst die Kieselalgen (*Diatomeen*, *Baccillariophyceae*) eine große Rolle. Sie gehören zu den Heterokontophyta. Die Kieselalgen sind eine eigene Klasse, die sich in zwei Ordnungen (*Centrales* und *Pennales*) aufspaltet. Kieselalgen bestehen aus zwei Schalenhälften, die ineinander geschachtelt sind. Die Schalen bestehen zum größten Teil aus Kieselsäure. Kieselalgen kann man in den Meeren, in Süßwasser, in feuchten Gebieten und sogar in zeitweilig ausgetrockneten Tümpeln finden. Bei der vegetativen Vermehrung bildet jede Schalenhälfte eine kleinere Innenhälfte aus, so dass es zu einer Verkleinerung der Individuen kommt. Ist eine Minimalgröße erreicht, werden Auxosporen gebildet, wobei es sich dabei um Zygoten handelt, denen bei den Kieselalgen fast immer aus einem Sexualakt vorausgegangen ist. Durch diese Auxosporen werden wieder maximal große Kieselalgen gebildet. Kieselalgen bilden eine wichtige Nahrungsgrundlage für z. B. Ruderfußkrebse, Schnecken u.a..

Die Braunalgen (*Phaeophyceae*), die auch zu den Heterokontophyta gezählt werden, konnten auf dem künstlichen Riff nicht nachgewiesen werden.

Die Rotalgen schlüsseln sich in zwei Unterklassen auf. Die *Bangiophycidae* sind eher scheiben- oder blattartig, spielen am künstlichen Riff aber zur Zeit keine Rolle, wobei sie auch in der Ostsee vorkommen. Typisch für die Vertreter der *Florideophycidae* ist

das Aussehen, welches durch die zusammengesetzten Zellfäden geprägt ist. Ein Generationswechsel mit drei Generationen ist bei diesen Rotalgen üblich.

Von den Vertretern der *Florideophycidae* sind während des Untersuchungszeitraums drei verschiedene Arten auf dem Riff registriert worden.

Das Vorkommen von Algen am künstlichen Riff zeigt, dass die Bedingungen für Algen ausreichend sind. Rotalgen benötigen von allen Algen am wenigsten Licht. Vor den Bahamas fand man in 268 m Tiefe bei einer Lichtintensität von 0,001% noch krustenförmige Rotalgen (v.d. Hoek, Jahns und Mann 1993). Somit ist es nicht verwunderlich, dass zunächst Rotalgen auf dem Riff nachgewiesen werden konnten.

## 4.2 Tiere

### 4.2.1 Stamm Nesseltiere *Cnidaria*

Die Nesseltiere besiedeln mit ihren ca. 10.000 Arten fast ausschließlich das Meer. Man unterscheidet bei ihrer Erscheinungsform zwischen der freischwimmenden Meduse, die im Volksmund als Qualle bekannt ist, und dem festsitzenden Polypen. Die durch ungeschlechtliche Knospung entstandenen Medusen vermehren sich geschlechtlich. Alle Nesseltiere besitzen Nesselkapseln, die auch für den Menschen mehr oder weniger giftig sind.

Auf dem Riff siedelten sich *Hydrozoen* aus der Familie der *Campanulariidae* an. Es ist nicht einfach, hier eine Art zu bestimmen. *Laomedea flexuosa* bildet beispielsweise keine freischwimmenden Medusen. *Obelia longissima* kommt häufig vor und kann einen bis zu 30 cm hohen Hauptstamm entwickeln. Der Brackwasser-Glockenpolyp (*Laomedea loveni*) kommt sogar bis zu den Ålandinseln vor. Da es sich aber um eine erste Besiedlung handelt und die Organismen nicht sehr groß waren, habe ich mich entschieden, diese nicht weiter zu bestimmen, zumal es die Aussagen der Untersuchung nicht verändert.



Foto 5a und 5b *Hydrozoen* aus der Familie der *Campanulariidae* (Fotos: Barnekow)

Im Bereich der Ostsee kennt jeder „Quallen“, die oft das Badevergnügen beeinträchtigen. Diese Vertreter gehören zur verhältnismäßig kleinen Klasse der Scheibenquallen (Scyphozoen). Sie können sich im Wasser aktiv fortbewegen, wobei der eigene Antrieb nicht gegen den Wellenschlag ausreicht und sie bei ungünstigen Windverhältnissen an die Küste gespült werden. Das Wort Plankton ist griechischen Ursprungs und leitet sich von dem Wort „*plagktos*“ ab, was „umherschweifend“ bedeutet. Zum Plankton werden alle Organismen gezählt, deren Eigenbewegung sich nicht gegen Wellenschlag und Strömungen durchsetzen kann. Nach dieser Definition gehören auch die „Quallen“ zum Plankton.

Die bekannteste Art in der Ostsee dürfte die Ohrenqualle (*Aurelia aurita*) sein.

Nach sehr großen Stürmen können auch andere Quallen, wie zum Beispiel die Gelbe Haar- oder Feuerqualle (*Cyanea capillata*) aus der Nordsee über Skagerrak und Kattegatt in die Ostsee gespült werden, wobei sich diese Tiere dann allerdings aufgrund des geringen Salzgehaltes nicht weiter fortpflanzen können. Bei diesen Tieren können die Nesselkapseln beim Menschen Hautreizungen hervorrufen.

Das Vorkommen von Hydrozoen auf dem künstlichen kann positiv gedeutet werden, da die Organismen in der Ostsee vorhanden sind und sich überall ausbreiten können, wenn die Bedingungen dafür ausreichend sind. Dem Vorkommen der Ohrenquallen (*Aurelia aurita*) sollte keine weitere Bedeutung zukommen, wobei das Auftauchen von Feuerquallen (*Cyanea capillata*) als Nachweis für eine stärkeren Einstrom frischen Nordseewassers durch Stürme zu interpretieren ist (Kap. 6.1).

#### 4.2.2 Stamm Rundwürmer *Nemathelminthes*

Bei den Schlauch- oder Rundwürmern handelt es sich um wurmförmige Tiere ohne Leibeshöhle (Coelom). Die meisten Vertreter der Rundwürmer sind zwittrig oder lassen aus unbefruchteten Eiern Nachkommen entstehen (Parthenogenese oder „Jungfernzeugung“). In der Ostsee leben sie auf schlammigen Untergrund oder zwischen kleineren Steinen in der Sandlückenfauna. Sie ernähren sich von Mikroorganismen. In den Proben tauchten oft Meernematoden (*Enoplus meridionalis*) auf. Dieser Fadenwurm wird zur Klasse der Nematoden und zur Unterklasse der *Adenophorea* gezählt. Die Ordnung Enoplida umfasst ca. 150 Gattungen in über zehn Familien (Sauermost 1994, 3. Band, S. 128), wobei diese zur Zeit noch wenig erforscht sind (Gruner 1993b, S. 506). Wegen des Merkmals der Klebdrüsen am Schwanzende vermutet Gruner, dass dieses sich um ein paraphyletisches Taxon handelt, weil es auch bei anderen Nemathelminthen vorkommt (Sauermost 1994, 3. Band, S. 256). Mit diesen Drüsen gelingt es dieser Art vermutlich, sich auf den Probenflächen zu halten. Bei der Entnahme der Proben hätten sich die Tiere sonst vielleicht nicht auf den Fliesen halten können.

Die räuberische Ernährungsweise, die geringe Größe und das Vorkommen auf den schlammigen, reich an Detritus und Abiosestos belasteten Flächen lassen vermuten, dass es zu einer hohen Fehlerquote bei den Auszählungen der Flächen gekommen sein konnte.



Foto 6 (links) Kopfende von *Enoplus meridionalis* (Foto: Barnekow) \*  
Foto 7 (rechts) *Enoplus meridionalis* (Foto: Barnekow) \*  
\* mit Bengalrosa angefärbt

### 4.2.3 Stamm Weichtiere *Mollusca*

Bei den Weichtieren handelt es sich um Tiere mit einem weichen, meist unsegmentierten Körper. Mit 130.000 Arten ist dieser Stamm neben Gliedertieren (*Arthropoden*) der artenreichste. Weichtiere sind getrenntgeschlechtlich oder zwittrig. Der Stamm der Weichtiere wird in sieben Klassen unterteilt.

Die Klasse der Schnecken (*Gastropoda*) ist mit ihren rund 100.000 Arten die artenreichste Klasse der Weichtiere, die alle Lebensräume besiedeln. Zur Zeit gibt es am Riff nur ein Vorkommen von einer verwandten Art der Wattschnecken aus der Familie der *Rissoidea*. Diese Schnecken leben zwischen Algen und grasen den Kieselalgenbelag ab. Normalerweise findet man diese Tiere zwischen Grünalgen, die auch nicht weit vom Riff in flacheren Gewässern vorkommen. Auf einer Steinprobe wurden diese Tiere ohne Grünalgen gefunden.

Die Klasse der Muscheln (*Bivalvia*) umfasst alle Weichtiere mit einer zweiklappigen Schale, die durch ein biegsames Schlossband (Ligament) verbunden sind. Bei den marinen Muscheln kommen in Schleswig-Holstein im wesentlichen nur zwei auf dem Boden oder einem festen Substrat vor. Zunächst wären hier die Austern zu nennen, die in der Ostsee aufgrund des zu geringen Salzgehaltes nicht vorkommen und in der Nordsee nur noch in Aquakulturen angesiedelt werden und teilweise verwildern.

Die Miesmuschel (*Mytilus edulis*) kommt auch in der Ostsee vor. Mit ihren Byssusfäden kann sie sich mit anderen Artgenossen auf dem Boden zu Bänken zusammenschließen oder sich an festem Substrat, wie zum Beispiel an Ufermauern, Holzpfählen oder Steinen festheften. Andere Arten, die auch in der Ostsee vorkommen und sich mit Byssusfäden an Substrat anheften können, wie beispielsweise die Bohnenmuscheln (*Musculus niger* Gray, *Musculus marmoratus* Forbes), werden hier aber nicht weiter erwähnt.

Die Miesmuschel (*Mytilus edulis* L.) ist getrenntgeschlechtlich und besitzt eine hohe Vermehrungsrate. Es ist möglich, dass 2-3mal in einem Jahr Eier und Sperma in Mengen in das Wasser abgegeben werden und dieses eine milchige Trübung verursacht (Willmann 1989). Man geht davon aus, dass durch zwei Muscheln 5-12 Millionen Eier befruchtet werden können (Gruner 1993c, Kiliyas 1997). Nach drei Tagen gehen die befruchteten Larven in das Veliger-Stadium über und wachsen von 0,1

mm auf 0,4 mm an (Gruner 1993c). Ab dieser Größe heften sie sich an festem Substrat an. Die Dauer der planktischen Phase erstreckt sich über 5 Tage bis 12 Wochen (Fioroni 1998). Die Miesmuscheln bilden in ihrem Fuß die Byssusfäden und können mit ihm die Eiweißfäden wieder durchtrennen und sich dann an einem neuen Substrat festheften. Miesmuscheln sind auch am künstlichen Riff eine wichtige Nahrungsgrundlage für Seesterne.

Wenn Miesmuscheln nach ihrer Larvenzeit keine geeignete Miesmuschelbank finden, können sie sich auch mit einem Byssusfaden über eine längere Strecke durch das Wasser treiben lassen, um sich dann an geeigneteren Gebiete ansiedeln zu können (Kap. 6.2).

Miesmuscheln filtern bei der Nahrungsaufnahme das Wasser durch ihren Körper. Man geht von einer Menge bis zu 1,5 Litern pro Stunde aus (Kilias 1997). Da sich nebenbei auch Schadstoffe in den Muscheln ansammeln, gibt es bereits Überlegungen, Miesmuscheln in stark belasteten Gebiete als „Bio-Filter“ auszusetzen und diese dann später zu entsorgen.



Foto 8 Miesmuscheln auf dem Riff (Foto Thomsen)

#### 4.2.4 Stamm Ringelwürmer *Annelida*

Die Ringelwürmer setzen sich aus drei Klassen zusammen. Eine Klasse bilden die Vielborster (*Polychaeten*). Diese Vielborster kommen in allen Gewässern vor, wobei die Artenanzahl mit dem Salzgehalt abnimmt (Sauermost Band 6, Seite 451), was allerdings nicht mit der Individuendichte einhergeht. Typisch für die Polychaeten sind die seitlich gelegenen Extremitäten und die vielen Borsten, die der Klasse den Namen geben.

Die meisten Arten sind getrennt geschlechtlich. Nach der Befruchtung des Eis verläuft die Entwicklung über verschiedene Larvenstadien. Die Trochophoralarve entwickelt sich zur Metatrochophoralarve und findet den Übergang zur Nectochaetalarve mit Chaeten (Borsten) wie der Name schon sagt.

Charakteristisch erscheint das fünfte Segment, welches in diesem Stadium und bei den adulten Tieren schon von den anderen abweichend gestaltet ist (Stresemann 1986, Fioroni 1998).

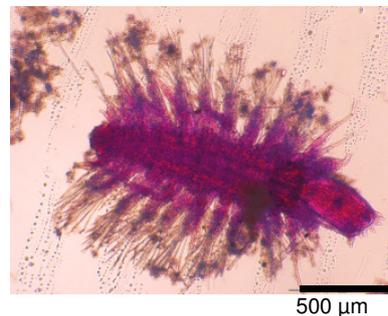


Foto 9 Polychaetenlarve mit Bengalrosa angefärbt  
(Foto: Barnekow)

Mit Hilfe der Bestimmungsliteratur konnte nachgewiesen werden, dass es sich auch bei den Polychaetenlarven (Fioroni 1998, Plate und Husemann 1994, Higgins und Thiel 1988) immer wieder um dieselbe Art, *Polydora ciliata*, handelte. *Polydora ciliata* lebt normalerweise in selbstgebauten Wohnröhren im Boden oder in weicherem Substrat. Dieser Vielborster ist nicht in der Lage, die Oberfläche von Schalen oder Steinen zu durchbohren. Dazu fehlt den Tieren eine Substanz (z. B. eine Säure), wie es beispielsweise die Meerdatteln (*Lithophaga lithophaga* L.) hat, die sich auch in Kalkgehäusen bohren kann. *Polydora ciliata* ernährt sich von Mikroorganismen und in Wasser gelösten Pflanzen- und Tierresten.

#### 4.2.5 Stamm Gliedertiere *Arthropoda*

Die Arthropoden sind in Kopf- und Rumpfbereich segmental gegliedert, wobei der Kopf aus sechs Segmenten besteht (Sauermost Band 4, Seite 76). Im Lebensraum Wasser ist die artenreiche Klasse der Krebstiere sehr häufig vertreten. Bei diesen Untersuchungen wurden Tiere aus drei Unterklassen einbezogen.

Die **Ruderfußkrebse** (*Copepoda*) spielen im Nahrungskreislauf der Meere eine wichtige Rolle. Sie bilden die Nahrung für verschiedene Fische. Sie selbst ernähren sich von Organismen aus dem Nanoplankton, die sie sich durch das Bewegen der Mundgliedmaßen zufächern. Diese Bewegungen werden 50x pro Sekunde durchgeführt, dieses entspricht in etwa einer Pumpleistung von 100 ml pro Tag (Götting, Kilian und Schnetter 1982).



Foto 10 Ruderfußkrebs  
(Foto: Barnekow)

Zu den **Rankenfüßern** (*Cirripedia*) gehören die Entenmuscheln, einige parasitische Krebse und die Seepocken, die bei dem künstlichen Riff mit nur einer Art (*Balanus improvisus* Darwin) vertreten sind. Seepocken verbringen einen Teil ihres Lebens festsitzend, man spricht von einer sessilen Lebensweise. Mit einem umgebildeten Rankfuß fächert sich die Seepocke Kleinstlebewesen aus dem Wasser zu. Seeesterne und Strandkrabben gehören am künstlichen Riff zu ihren Fressfeinden.

Im Gegensatz zu anderen Krebsen sind Seepocken zwittrig und können somit den Nachteil ihrer sessilen Lebensweise ausgleichen (Luther 1987). Nach einer inneren Befruchtung schlüpfen sogenannte Nauplien aus den Eiern, die sich weiter entwickeln und später das Stadium der typischen Cypris-Larve erreichen. Dieses

Larvenstadium wird auch oft als Cypris-Puppe bezeichnet, weil in dieser Zeit keine Nahrung aufgenommen wird. Die Cyprislarve ist in der Lage sich ein Substrat selbst auszusuchen bevor sie sich für den Rest des Lebens festsetzt (Luther 1987, Fioroni 1998).



200 µm



Foto 11 (links) Naupliuslarve von *Balanus improvisus* Darwin (Foto: Barnekow)  
Foto 12 (rechts) Seepocken (*Balanus improvisus*) auf dem Riff (Foto: Thomsen)

Die Gruppe **Malacostraca** („Höhere Krebse“) ist die größte unter den Krebstieren. Sie schließt größere Tiere, wie zum Beispiel den Hummer und die Riesenkrabben, und kleinere Vertreter ein. Insgesamt rechnet man über 20.000 Arten zu dieser Klasse (Remane, Storch und Welsch 1986), während Stresemann dieser Gruppe den Status einer Unterklasse zuschreibt (Stresemann 1986). Die Malacostraca werden in sechs Überordnungen unterteilt. An dieser Stelle werden zwei von diesen Überordnungen kurz vorgestellt, die für diese Untersuchungen von Bedeutung sind.

Typisch für die Überordnung **Peracarida** (griech. pera = Ranzen; karides = kleine Seekrebse) ist die spezifische Brutpflege. Sie sind alle getrenntgeschlechtlich. Die Eier werden in einem Brustraum der Weibchen von speziellen Brustlamellen (Oostegiten) gehalten. Die Peracarida, auch Ranzenkrebse genannt, umfassen ca. 17.000 Arten, die unterschiedliche Lebensweisen besitzen.

Man unterscheidet die Ordnungen *Mysideacea* (Schwebegarnelen), *Cumacea* (Schlammtrichterkrebe), *Tanaidacea* (Scherenasseln), *Isopoda* (Asseln) und *Amphipoda* (Flohkrebe).

Die Flohkrebe sind seitlich abgeflacht, besitzen sieben Beinpaare und haben einen reduzierten Panzer. Es handelt sich um eine sehr artenreiche Gruppe, die während dieser Untersuchungen nicht weiter differenziert wurden.

Zur Überordnung der ***Eucarida*** gehören Krabben, Garnelen und Edelkrebe. Typisches Kennzeichen ist der mit allen Segmenten verwachsene Panzer (*Carapax*) am Rücken. Für den Bereich der Flensburger Förde wären hier Garnelen und Strandkrabben zu nennen.

Foto 13  
Brackwasser- Felsgarnelen  
(*Palaemonetes varians* Leach) auf  
dem Riff  
(Foto: Thomsen)



Man unterscheidet bei den Krebsen zwischen Lang- und Kurzschwanzkreben. Die Garnelen sind Langschwanzkrebe, während die Krabben mit ihrem eingeklappten Hinterende als Kurzschwanzkrebe zu bezeichnen sind. Man kann die Geschlechter anhand des eingeklappten Hinterendes gut unterscheiden.

Foto 14 Strandkrabbe  
(*Carcinus maenas*.) auf dem Riff  
(Foto: Thomsen)



Strandkrabben fressen alles, was sie erreichen können. Im und am künstlichen Riff können sie sich verstecken und finden meist einen reich gedeckten Tisch.

#### 4.3.6. Stamm Stachelhäuter *Echinodermata*

Alle Tiere dieses Stammes leben ausschließlich im Meer. Man unterteilt sie in sechs Klassen, wobei die Seegänseblümchen (*Concentricycloidea*) erst Mitte der Achtzigerjahre des 20. Jahrhunderts in der Tiefsee gefunden wurden. Die anderen Klassen sind die Seesterne (*Asteroidea*), die Schlangensterne (*Ophiuroidea*), die Seelilien und Haarsterne (*Crinoidea*) und die Seegurken (*Holothuroidea*). Ungewöhnlich erscheint die Fünfstrahligkeit der Stachelhäuter.

Aus dem Stamm der Stachelhäuter ist am künstlichen Riff nur der Gewöhnliche Seestern (*Asterias rubens*) anzutreffen. Seesterne sind getrenntgeschlechtlich, wobei man äußerlich keine Unterschiede erkennen kann.

*Asterias rubens* kommt sowohl in der Nord- als auch in der Ostsee vor, wobei ihm, wie schon erwähnt (Kap. 1), aufgrund des Salzgehaltes Grenzen gesetzt sind (Abb. 1). Im Winter kann es temperaturbedingt zu einem Abwandern in tiefere Bereiche kommen. Seesterne fressen auch Miesmuscheln und Seepocken (Sloan 1980).



Foto 15 Seestern (*Asterias rubens*) frisst Miesmuschel (*Mytilus edulis*) (Foto: Barnekow)

#### 4.3.7 Stamm Chordatiere *Chordaten*

Die Vertreter des Stammes der Chordatiere besitzen alle eine Chorda dorsalis. Das ist ein elastischer Stützstab zwischen dem Rückenmark und dem Darm. Am Riff in der Flensburger Förde kommen Seescheiden und Fische vor. Die Seescheiden gehören zu den Manteltieren, die sich wiederum weiter in drei Klassen aufspalten lassen. Die Schlauch-Seescheide (*Ciona intestinalis*) gehört zur Klasse der Seescheiden (*Ascidiae*) und besitzt eine Chorda und ein Neuralrohr während des Larvenstadiums.

Die erwachsenen, geschlechtsreifen (adulten) Seescheiden leben sessil auf hartem Untergrund. Auf Weichböden könnten sich diese Tiere nicht ansiedeln. Das Wasser wird von den Seescheiden nach Mikroorganismen und gelösten organischen Substanzen durchgefiltert. Die Schlauch-Seescheide (*Ciona intestinalis*) ist zwittrig.



Foto 16 Seescheide (*Ciona intestinalis*) (Foto: Thomsen)

Bei den Fischen handelt es sich am Riff nur um Echte Knochenfische (*Teleostei*), die Schuppen, Kiemendeckel und ein Knochengewebsskelett besitzen. Oft handelt es sich bei den Vertretern am Riff um Jungfische (z.B. Grundeln), die dicht über den Steinen in Schwärmen vorkommen. Einige ausgewachsene Tiere, wie auch die Schwarzgrundel (*Gobios niger*) verstecken sich auch gern in den Nischen einzelner Steine. Grundeln sind bodenlebende Fische, die ihre Eier an Schalen, Algen oder auch an Seegrass heften. Die Grundeln ernähren sich von kleineren Krebsen und an-

deren Wirbellosen. Die Grundeln selbst sind eine wichtige Nahrung für verschiedene Speisefische.

Andere größere Vertreter, wie der Dorsch (*Gadus morhua*), halten sich mit Vorliebe in den Höhlen des Riffs auf. Der Dorsch wird in der Ostsee als Speisefisch gefangen.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Erste Steinuntersuchungen

Am 27. November 2001 wurde das künstliche Riff geschüttet. Am 2. Februar 2002 wurden zwei Steine aus dem Riff untersucht. Schon mit dem bloßem Auge war ein faseriger Belag sichtbar. Es handelte sich vorwiegend um Kieselalgen, die aufbereitet, mikroskopiert, fotografiert und bestimmt worden sind.

**Klasse: Goldalgen (*Chrysophyceae*)**

**Familien – Gattung – Art**

*Dictyochaceae – Distephanus – Distephanus speculum* Ehrenberg



Foto 17 *Distephanus speculum* Ehrenberg (Foto: Barnekow)

**Kieselalgen (*Bacillariophyceae*)**

**Familie – Gattung – Art**

*Thalassiosiraceae – Cyclotella – Cyclotella* sp. (Foto. 18 A)

*Thalassiosiraceae – Thalassiosira – Thalassiosira* sp. (Foto 18 B)

*Thalassiosiraceae – Thalassiosira – T. eccentrica* Ehrenberg (Foto 18 C)

*Thalassiosiraceae – Thalassiosira – T. anguste-lineata* Fryxell et Hasle (Foto 18 D)

*Melosiraceae – Melosira - Melosira* sp. (Foto 18 E)

*Coscinodisaceae – Coscinodiscus – Coscinodiscus* sp. (Foto 18 F)

*Biddulphiaceae – Biddulphia –Biddulphia aurita* Lyngbye (Foto 18 G)

*Diatomaceae – Rhabdonema - Rhabdonema arcuatum* Kütz.

*Diatomaceae – Fragilaria (incl. Synedra)-Fragelaria* sp.

*Diatomaceae – Fragilaria (incl. Synedra)- Synedra* sp.

*Diatomaceae – Fragilaria (incl. Synedra)- Synedra crystallina* Kütz.

*Diatomaceae – Dimerogramma – Dimerogramma* sp.

*Achnantheaceae* - *Achnanthes* - *Achnanthes* sp.

*Naviculaceae* – *Pleurosigma* – *Pleurosigma* sp. (Foto 18 H)

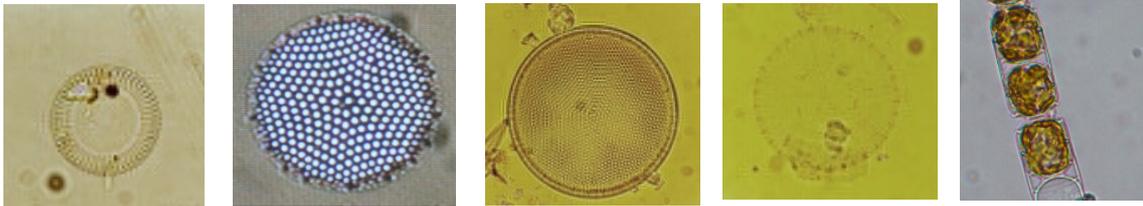
*Naviculaceae* – *Diploneis* – *Diploneis* sp. (Foto 18 I)

*Naviculaceae* – *Trachyneis* - *Trachyneis aspera* Ehrenberg

*Naviculaceae* – *Navicula* – *Navicula lyra* Ehrenberg

*Naviculaceae* – *Navicula* – *Navicula forcipata* Grev.

*Naviculaceae* – *Amphora* – *Amphora* sp.



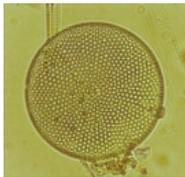
A

B

C

D

E



F

G

H

I

Fotos 18 Kieselalgen vom Riff (Fotos: Barnekow)

A *Cyclotella* sp.

B *Thalassiosira* sp.

C *Thalassiosira eccentrica* Ehrenberg

D *Thalassiosira anguste-lineata* Fryxell et

Hasle

E *Melosira* sp.

F *Coscinodiscus* sp.

G *Biddulphia aurita* Lyngbye

H *Pleurosigma* sp.

I *Diploneis* sp.

## Grünalgen (*Chlorophyceae*)

### Familien – Gattung - Art

*Chlorellaceae* – *Chlorella* - *Chlorella vulgaris*

## 5.2 Fliesenproben

Bei den folgenden Tauchgängen wurden Fliesen geholt und anschließend im Labor untersucht. Es wurden immer gleichzeitig eine Probe von dem oberen und eine von dem unteren Fliesenkorb entnommen.

Der Abstand zwischen den Probennahmen ist nicht immer gleich (siehe Kapitel 2).

Im Jahr 2003 wurde die einzige Probe am 13. Oktober genommen. Mit dieser Probe konnte die Entwicklung der untersuchten Steine (siehe unten) mit denen der Fliesen verglichen werden. Gleichzeitig hatte das Riff ein knappes Jahr Zeit sich zu entwickeln. Im Vergleich zum ersten Jahr hat sich auf den ersten Blick im makroskopischen Bereich nicht sehr viel verändert.

Zunächst wurden alle Fliesen (15 x 15 cm) durchgesehen und alle gesichteten Organismen gezählt und bestimmt. Nicht bei allen Organismen wurde die Art bestimmt, in den Fällen erfolgte zumindest eine systematische Einordnung bis zur Klasse oder Ordnung.

Tab. 2 Dichte der Individuen auf den Fliesen

Entnahme-datum	Meer-nematode ( <i>Enoplus meridionalis</i> )	Mies-muschel ( <i>Mytilus edulis</i> )	Polychaeten mit Larven	Copepoda	Brackwasser-Seepecke ( <i>Balanus improvisus</i> ) ohne Larven	Amphi-poda	Gemeiner Seestern ( <i>Asterias rubens</i> )	Seescheide ( <i>Ciona intestinalis</i> )
27.04.02 oben			13 (Larven)	867	1			
27.04.02 unten			9 (Larven)	403	(nur Larven)			
07.06.02 oben	23	1359*	556	2	2 Ober.			
07.06.02 unten	76	509**	484	2	3 Ober.			
19.07.02 oben	28	1050	126		6 Ober. 6 Unter.			
19.07.02 unten	8	915	109	2	2 Ober. 3 Unter.			
21.09.02 oben	2	1151	148		834 Ober. 327 Unter.	221		
21.09.02 unten	3	1242	129	7	70 Ober. 7 Unter.	307	5 Larven	
13.10.03 oben	258 Ober.	572 Ober. 325 Unter.	92 Ober.	14 Ober.	256 Ober. 230 Unter. (29 Rand)	96 Ober.	1 Ober.	2 Ober. 8 Unter.
13.10.03 unten	925 Ober.	284 Ober. 152 Unter.	74 Ober. 7 Unter.	5 Ober.	113 Ober. 82 Unter. (10 Rand)	31 Ober.	1 Ober.	2 Unter.

\* 142 Felder von 144 (98,61%) bewachsen      \*\* 144 Felder von 156 (92,31%) bewachsen  
oben = Fliese vom oberen Fliesenkäfig, unten = Fliese vom unteren Fliesenkäfig  
Ober. = Oberseite der Fliese, Unter. = Unterseite der Fliese

In der Bilanz kann man feststellen, dass sich im ersten Jahr makroskopisch nur wenig am Riff verändert hatte. Größere Organismen hatten sich in diesem Zeitraum kaum angesiedelt.

In der ersten Spalte der Tabelle 2 befindet sich das jeweilige Datum der Probenahme. Die weiteren Spalten sind entsprechend der Reihenfolge aus Kapitel 4 sortiert (s. Tab. 1). Die Hydrozoen aus der Familie der *Campanulariidae* können nicht wie beispielsweise eine Miesmuschel gezählt werden, sie sind mit dem Raster zur Quantifizierung erfasst worden (siehe Kap. 3.2). Alle zählbaren Organismen, die erfasst wurden, sind in Tab. 2 aufgeführt.

Die gezählten Organismen lassen sich mit den Ergebnissen der anderen Fliesen innerhalb der Tabelle vergleichen.

Eine Reihenfolge der Besiedlung wird schon in dieser Tabelle deutlich. Im April 2002 waren sehr viele Ruderfußkrebse vertreten. Kleine Miesmuscheln und Polychaeten prägten das Bild der Fliesen im Juni 2002. Die Anzahl der Polychaeten wurde deutlich weniger, wobei die Miesmuscheln bis zur letzten Untersuchung im Oktober 2003, von kleineren Schwankungen abgesehen, immer in bemerkenswert hoher Zahl vertreten waren.

Bei den Seepocken zeigt sich ein sehr schwankendes Bild. Zunächst wurden es mehr und dann im nächsten Jahr zeigten sich erheblich weniger dieser Tiere.

Um die Ergebnisse der Tab. 2 mit weiteren Proben zu vergleichen, wurden die Werte auf 1 m<sup>2</sup> umgerechnet und dann auf ganze Tiere gerundet.

Fliesengröße 15 cm x 15 cm = 225 cm<sup>2</sup>

Wert aus Tab.1 x 10.000 / 225 = Wert für Tab. 3

Tab. 3 Dichte der Individuen auf den Fliesen auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet  
(auf ganze Individuen gerundet)

Entnahme- datum	Meer- nematode ( <i>Enoplus meridio- nalis</i> )	Mies- muschel ( <i>Mytilus edulis</i> )	Polychaeten mit Larven	Cope- poda	Brackwasser -Seepocke ( <i>Balanus improvisus</i> )	Amphi- poda	Gemeiner Seestern ( <i>Asterias rubens</i> )	See- scheide ( <i>Ciona intestinalis</i> )
27.04.02 oben			578 (Larven)	38533	44			
27.04.02 unten			400 (Larven)	17911				
07.06.02 oben	1022	60400	24711	89	89 Ober.			
07.06.02 unten	3378	22622	21511	89	133 Ober.			
19.07.02 oben	1244	46667	5600		267 Ober. 267 Unter.			
19.07.02 unten	356	40667	4844	89	89 Ober. 133 Unter.			
21.09.02 oben	89	51156	6578		37066 Ober. 14533 Unter.	9822		
21.09.02 unten	133	55200	5733	311	3111 Ober. 311 Unter.	13644	222 Larven	
13.10.03 Oben	11467 Ober.	25422 Ober. 14444 Unter.	4089 Obers.	622 Ober.	11378 Ober. 10222 Unter. (1289 Rand)	4267 Ober.	44 Ober.	89 Ober. 356 Unter.
13.10.03 unten	41111 Ober.	12622 Ober. 6756 Unter.	3289 Obers. 311 Unters.	222 Ober.	5022 Ober. 3644 Unter. (444 Rand)	1378 Ober.	44 Ober.	89 Unter.

oben = Fliese vom oberen Fliesenkäfig  
unten = Fliese vom unteren Fliesenkäfig  
Ober. = Oberseite der Fliese  
Unter. = Unterseite der Fliese

Die Werte der Tab. 3 sind Hochrechnungen und dienen der besseren Vergleichbarkeit. In Fällen, in denen nur wenige Exemplare gezählt wurden, ist diese Hochrechnung natürlich nur als tendenzielle Aussage zu werten. In der Literatur werden die Besiedlungsdichten in m<sup>2</sup> angegeben, so dass es möglich ist, diese mit den ermittelten Daten zu vergleichen.

Im April 2002 fällt der erhöhte Wert der Copepoden auf. Während des gesamten Untersuchungszeitraums fielen die Ruderfußkrebse nicht wieder durch so eine hohe Besiedlungsdichte auf.

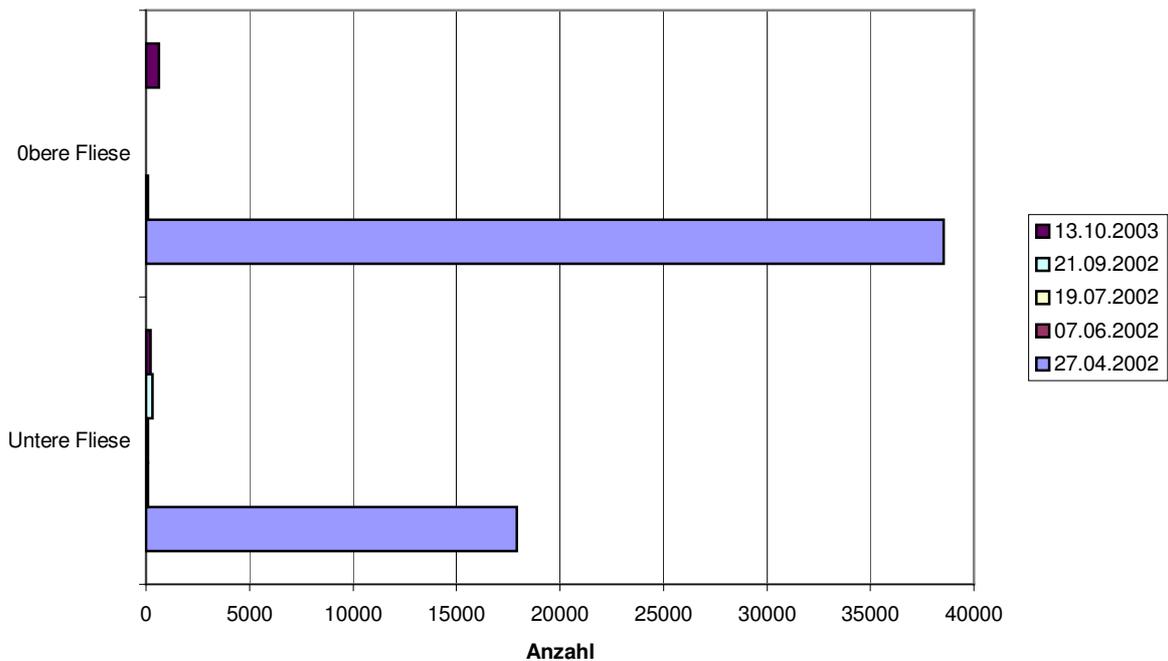


Abb. 7 Copepoden der Fliesenproben auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet

Bei den in der Legende aufgeführten Tauchgänge sind die Copepodenzahlen im Vergleich zu den Werten vom 27.04.2002 so gering, dass sie in dieser Grafik nicht weiter auffallen. Es zeigt deutlich, wie hoch die Zahl der Ruderfußkrebse in dieser Zeit war. Selbst im Vergleich zu allen anderen Tauchgängen fällt keine Individuendichte der Copepoden nur annähernd so hoch aus. Auf der oberen Fliese konnten erheblich mehr Ruderfußkrebse als auf der unteren nachgewiesen werden.

Vergleicht man die Entwicklung der Polychaetendichte (Abb. 8) auf den Fliesen, fällt auf, dass die Besiedlung auf der oberen Fliese zwar etwas dichter ist, aber die Entwicklung an sich auf der unteren und oberen Fliese ähnlich ist. Beide zeigen am 7. Juni 2002 die höchst und am 27. April 2002 die geringste Besiedlungsdichte. Der Wert wurde als Zahl eingesetzt, weil er auf der Grafik (Abb. 8) im Verhältnis zu den anderen Werten verschwindend gering ist.

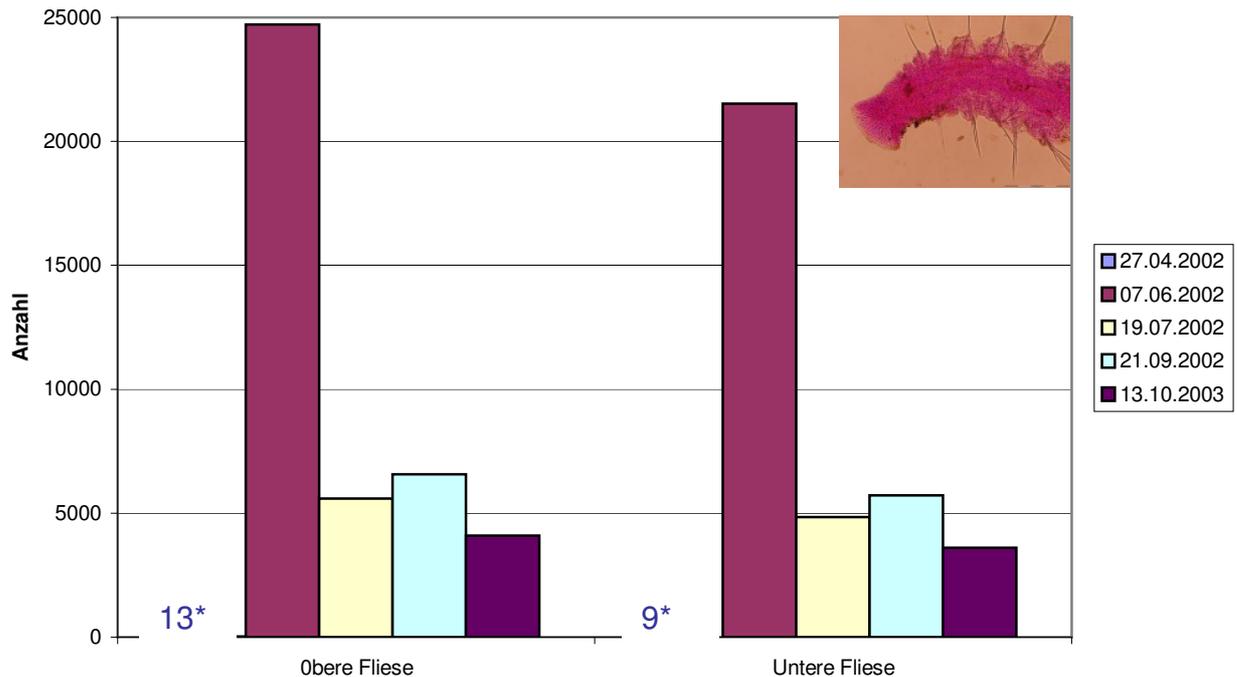


Abb. 8 *Polychaeten* (und Larven) der Fliesenproben auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet  
 \* Individuen pro 1 m<sup>2</sup> (Der Wert wird als Zahl in der Grafik erwähnt, weil er bei der Größenordnung auf der Skala nicht zu sehen wäre.)

Anhand der Tabellen (Tab. 2, Tab. 3) ist es schon möglich, eine Besiedlungsfolge zu erkennen. Zunächst waren es die Bakterien mit einem Mikrofilm, die sich sehr schnell ansiedelten. Vornehmlich schlossen sich Kieselalgen an, die sich auf den Steinen ausbreiteten. Anschließend kamen Ruderfußkrebse, Nematoden und die ersten Vielborster (vornehmlich *Polydora ciliata*), die mit ihren Wohnröhren auf dem Riff und den Fliesen das Erscheinungsbild prägten. Junge Miesmuscheln siedelten sich danach auf dem Substrat an.

Auf den Fliesen vom 27. April 2002 waren keine Miesmuscheln nachzuweisen. Vierzig Tage später war auf der oberen Fliese das Maximum erreicht. Insgesamt ist eine leicht sinkende Tendenz bei der oberen Fliesen zu erkennen. Im tieferen Bereich, am Fuß des Riffes, kann man anhand der ermittelten Daten feststellen, dass es im Jahr 2002 einen ständigen Anstieg gab. Die Herbstprobe im folgenden Jahr wies dann allerdings wieder eine geringere Dichte auf.

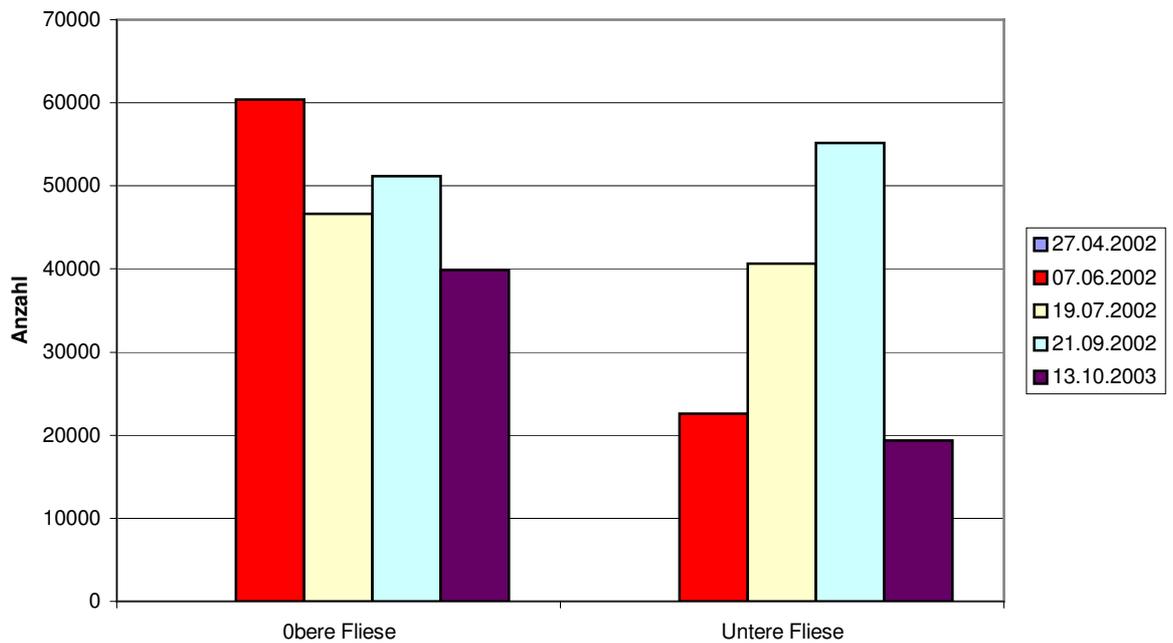


Abb. 9 *Mytilus edulis* pro 1 m<sup>2</sup> auf den Fliesen der verschiedenen Proben

Die Besiedlungsdichte der Miesmuscheln macht deutlich, dass es Faktoren geben muss, die eine weitere Besiedlung im oberen Bereich hemmen und im unteren Bereich fördern.

Auch bei der Ansiedlung der Seepocken kann man deutlich Unterschiede zwischen der oberen und unteren Fliese feststellen.

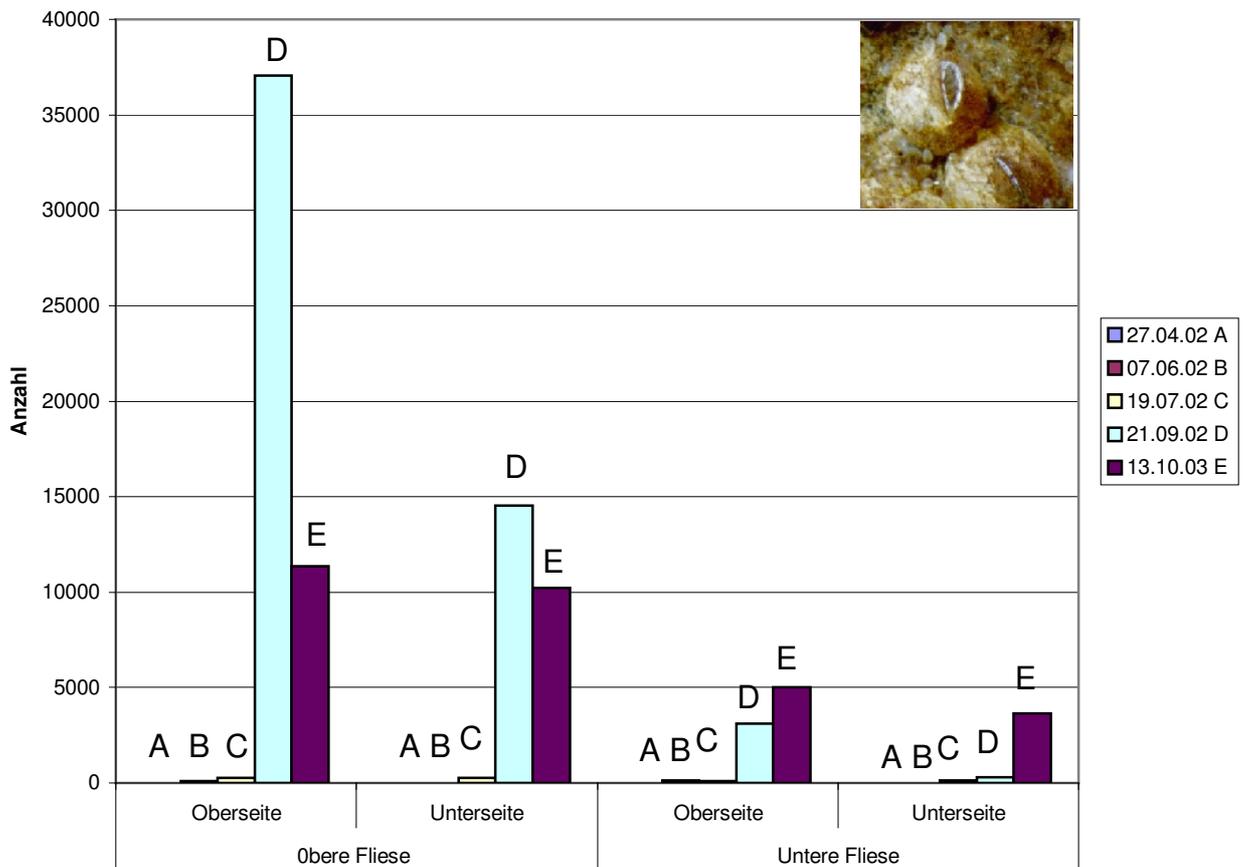


Abb. 10 Häufigkeiten von *Balanus improvisus* von den Fliesen auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet

Wie man anhand der Grafik (Abb. 10) sehen kann, ist die Entwicklung zur sessilen Lebensweise der Seepocken innerhalb kurzer Zeit möglich. Am 19. Juli 2002 waren die festsitzenden Seepocken nur vereinzelt vorhanden. Die höchsten Werte werden am 21. September 2002 erreicht. Mit über 35.000 Individuen pro m<sup>2</sup> erreichen sie ihr Maximum auf der oberen Fliese. Auf der Unterseite fällt die Besiedlung geringer aus. Bei der unteren Fliese kann sich die Seepockendichte im Jahr 2003 noch steigern. Eine ähnliche Entwicklung gab es auch bei den Miesmuscheln. Es bietet sich ein Vergleich der Entwicklung der Seepocken und Miesmuscheln an (Abb. 11a und b). Es wird deutlich, dass zunächst die Miesmuscheln dominierten. Im September 2003 gelang es den Seepocken auf der oberen Fliese die Miesmuscheln in der Anzahl zu übertreffen. Auf der unteren Fliese hingegen haben sich verhältnismäßig wenig Seepocken angesiedelt, wobei die Anzahl der Miesmuscheln sogar höher anstieg als auf der oberen Fliese.

Abb. 11a Anzahlen pro 1 m<sup>2</sup> von *Balanus improvisus* und *Mytilus edulis* (obere Grafik)

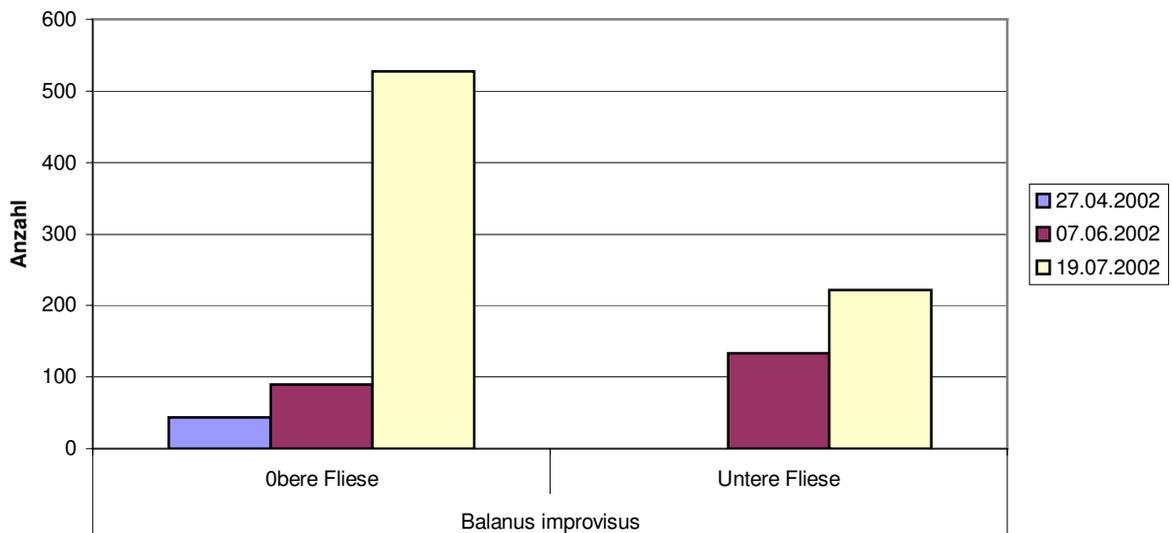
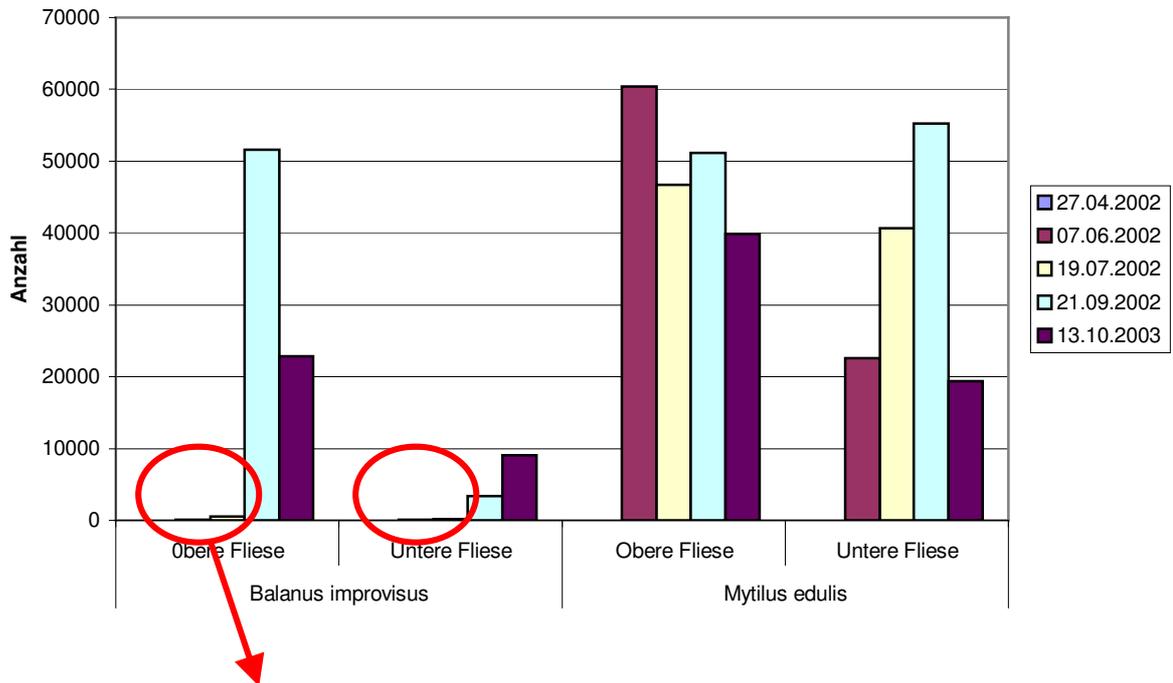


Abb. 11b Anzahlen pro 1 m<sup>2</sup> *Balanus improvisus* der ersten drei Fliesenproben (untere Grafik)

Das Verhältnis zwischen Miesmuscheln und Seepocken ist am Riff für das Erscheinungsbild prägend. Dieses wird bei den Fotos der Probeflächen deutlich.

Je nachdem, wie die Fliesen und das Gitter übereinander gelegen haben, ergab sich eine Quadratanzahl von 156 (13 x 12 Quadrate), 169 (13 x 13 Quadrate) oder 182 (13 x 14 Quadrate). Diese Differenzen entstanden aus zweierlei Gründen:

- Angefangene Quadrate wurden mitgezählt, wenn mehr als die Hälfte von dem Fliesengitter erfasst wurde.
- Die Fliesen wiesen leichte Differenzen in ihrer Größe auf.

Um allgemeine Aussagen treffen zu können, wurden alle Angaben in Prozentwerte umgerechnet. Um die Angaben auf ihre Signifikanz zu überprüfen, wurden die Daten mit dem „Chiquadrat -Test für den Vergleich zweier unabhängiger Stichproben in 4-Felder-Tafeln“ (Lamprecht 1999) überprüft.

$$\text{Chiquadrat} = \frac{N \cdot [IA \cdot D - B \cdot CI - (N/2)]^2}{(A+B) \cdot (C+D) \cdot (A+C) \cdot (B+C)}$$

Die Anzahl der Freiheitsgrade (FG) wird wie folgt errechnet:

$$\text{FG} = (\text{Anzahl der Zeilen} - 1) \cdot (\text{Anzahl der Kolonnen} - 1)$$

Bei diesen Proben gilt der FG = 1, weil immer nur vier Felder (2 Zeilen und 2 Kolonnen) einbezogen worden sind.

Um die Signifikanz der Daten zu überprüfen wird der Wert „Chiquadrat“ in einer Tabelle abgelesen.

sign p	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
FG 1	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83

Auszug aus der Tabelle (Lamprecht 1999)

Tab. 4 Minimale Werte der Prüfgröße Chiquadrat bei gegebener Anzahl Freiheitsgrade *FG* für die in der obersten Zeile angegebene Signifikanzgrenzen (p-Werte)

Der Wert der Signifikanz kann hier unter „sign p“ abgelesen werden. Ist der p-Wert 0,001, ist die Wahrscheinlichkeit ein Promille, dass die untersuchten Daten zufällig entstanden sind. Es besteht also ein signifikanter Unterschied.

Es ergeben sich folgende Werte für die Fliesen. In Tab.8 sind die Ergebnisse der Untersuchung der oberen Fliese.

Tab. 5 Ergebnisse der Untersuchung zur Flächendeckung auf der oberen Fliese vom 13. Oktober 2003

<b>Obere Fliese vom 13. Oktober 2003</b>	Oberseite		Unterseite		Chiquadrat	sign p =
	Besetzte Felder von 182 Feldern	in %	Besetzte Felder von 182 Feldern	in %		
Medusen von einem Vertreter der Familie <i>Campanulariidae</i>	44	24,18	167	91,76	167,82	0,001
Vertreter der <i>Campa- nulariidae</i> ohne Me- duse	171	93,96	173	95,05	0,053	
Vertreter der <i>Campa- nulariidae</i> mit oder ohne Meduse	172	94,51	180	98,90	4,22	0,05
<i>Mytilus edulis</i>	91	50,00	106	58,24	2,17	0,20
<i>Balanus improvisus</i>	159	87,36	159	87,36	0,02	
<i>Polysiphonia sp.</i>	14	7,69	16	8,79	0,04	
<i>Rhodomela confervoides</i>	5	2,75	0	0	3,24	0,10
<i>Callithamnion corymbosum</i>	31	17,03	102	56,04	58,05	0,001
<i>Ceramium rubrum</i>	1	0,55	1	0,55	0,50	

Aufgrund des Chi-Quadrat-Tests ergibt sich folgende Abbildung, welche die beiden hochsignifikanten Ergebnisse darstellt:

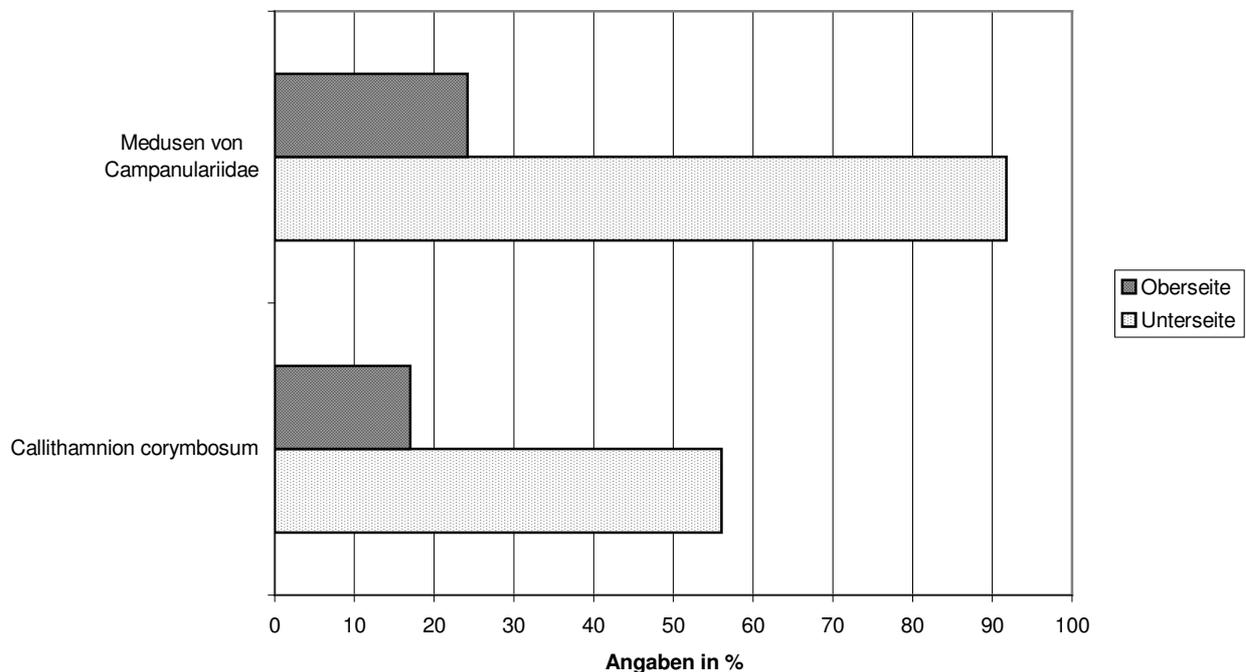


Abb. 12 Signifikante Unterschiede im Bewuchs der Ober- und Unterseite der oberen Fliese vom 13.10.03

Ein hochgradig signifikanter Unterschied ist bei dem Bewuchs durch Medusen zu erkennen. Die Medusen sind auf der Fliesenunterseite der oberen Fliese häufiger anzutreffen als auf der Oberseite.

Die Besiedlung durch Rotalgen ist zur Zeit noch nicht sehr üppig. Nur bei der Rotalge *Callithamnion corymbosum* konnte ein signifikant stärkerer Bewuchs bei der oberen Fliese auf der Unterseite festgestellt werden.

Bei den anderen Daten ist der p-Wert nicht gering genug, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Aus diesem Grund wurde auf die Angabe einiger Werte verzichtet.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Untersuchung bezüglich der Flächendeckung der unteren Fliese vom 13. Oktober 2003 zusammengestellt.

Tab. 6 Ergebnisse der Untersuchung zur Flächendeckung auf der unteren Fliese vom 13. Oktober 2003

Untere Fliese vom 13. Oktober 2003	Oberseite		Unterseite		Chiquadrat	sign p =
	Besetzte Felder von 156 Feldern	in %	Besetzte Felder von 169 Feldern	in %		
Medusen von einem Vertreter der Familie Campanulariidae	6	3,85	127	75,15	167,65	0,001
Vertreter der <i>Campanulariidae</i> ohne Meduse	22	14,10	103	60,95	73,13	0,001
Vertreter der <i>Campanulariidae</i> mit oder ohne Meduse	27	17,31	149	88,17	161,04	0,001
<i>Mytilus edulis</i>	73	46,79	113	72,44	12,49	0,001
<i>Balanus improvisus</i>	98	62,82	70	44,87	14,03	0,001
<i>Polysiphonia sp.</i>	0	0	0	0		
<i>Rhodomela confervoides</i>	5	3,21	0	0	3,59	0,1
<i>Callithamnion corymbosum</i>	28	17,95	0	0	30,82	0,001
<i>Ceramium rubrum</i>	0	0	0	0		

Bei dieser Tabelle sind mehrere Unterschiede hochgradig signifikant. Die Vertreter aus der Familie *Campanulariidae* sind mit und ohne Medusen häufiger auf der Unterseite anzutreffen als auf der Oberseite.

Auch die Miesmuscheln kommen häufiger auf der Unterseite vor.

Bei den Seepocken ist ebenfalls ein signifikanter Unterschied zu erkennen, wobei hier die Oberfläche verstärkt bewachsen ist.

Die Rotalge *Callithamnion* kam bei der unteren Fliese nur auf der Oberseite vor.

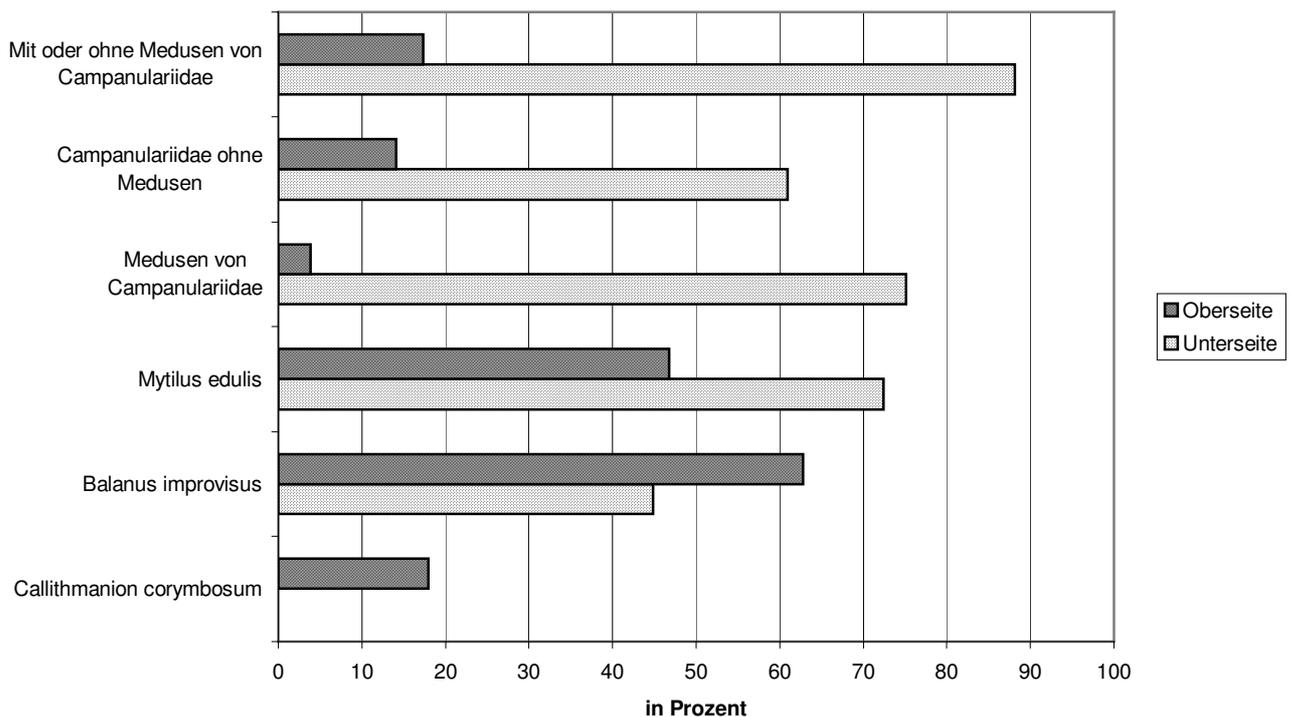


Abb. 13 Signifikante Unterschiede im Bewuchs der Ober- und Unterseite der unteren Fliese vom 13.10.03

In dieser Grafik wird der signifikante Unterschied zwischen der oberen und der unteren Fliese deutlich. Auf der Oberseite dieser Fliese prägen Seepocken das Bild. Die Rotalge *Callithamnion corymbosum* befand sich bei dieser Probe nur auf der Oberseite.

Der Bewuchs mit den Hydrozoen ist sehr auffällig. Man kann feststellen, dass die obere und untere Fliese nahezu komplett bewachsen sind (Tab. 5, Tab. 6). Ein signifikanter Unterschied ist nur bezüglich der Medusen zu verzeichnen. Diese Signifikanzen machen deutlich, dass auf den Unterseiten der Fliesen verstärkt Medusen der Vertreter der *Campanulariidae* anzutreffen sind.

Mit den Miesmuscheln verhält es sich etwas anders. Auf der oberen Fliese kommen die meisten Muscheln auf der Oberseite vor, während die untere Fliese das häufigste Vorkommen auf der Unterseite hat.

Seepocken und die Rotalge *Callithamnion corymbosum* kommen auf der Oberseite signifikant häufiger vor. Bei der oberen Fliese kam die Rotalge verstärkt auf der Unterseite vor. Bei der unteren Fliese ist kein Bewuchs auf der Unterseite festgestellt worden.

Um beide Fliesen miteinander vergleichen zu können, wurde auf den Unterschied der Ober- und Unterseite verzichtet. Es handelt sich bei diesem Vergleich nur um eine Gegenüberstellung, die verdeutlicht, was häufiger auf (und auch unter) welcher Fliese vorkommt.

Tab. 7 Ergebnisse der Untersuchung zur Flächendeckung der Fliese vom 13. Oktober 2003

Fliesen vom 13. Oktober 2003 im Vergleich	Obere Fliese		Untere Fliese		Chiquadrat	sign p =
	Von 364 Feldern	In %	Von 325 Feldern	In %		
Medusen von einem Vertreter der Familie <i>Campanulariidae</i>	211	57,97	133	40,92	19,28	0,001
Vertreter der <i>Campanulariidae</i> ohne Me- duse	344	94,51	125	38,46	245,55	0,001
Vertreter der <i>Campanulariidae</i> mit oder ohne Meduse	352	96,70	176	54,15	171,22	0,001
<i>Mytilus edulis</i>	197	54,12	186	57,23	0,55	0,5
<i>Balanus improvisus</i>	318	87,36	168	51,69	103,41	0,001
<i>Polysiphonia sp.</i>	30	8,24	0	0	26,06	0,001
<i>Rhodomela confervoides</i>	5	1,37	5	1,54	0,02	
<i>Callithamnion corymbosum</i>	133	36,54	28	8,62	73,21	0,001
<i>Ceramium rubrum</i>	1	0,27	0	0	0,004	

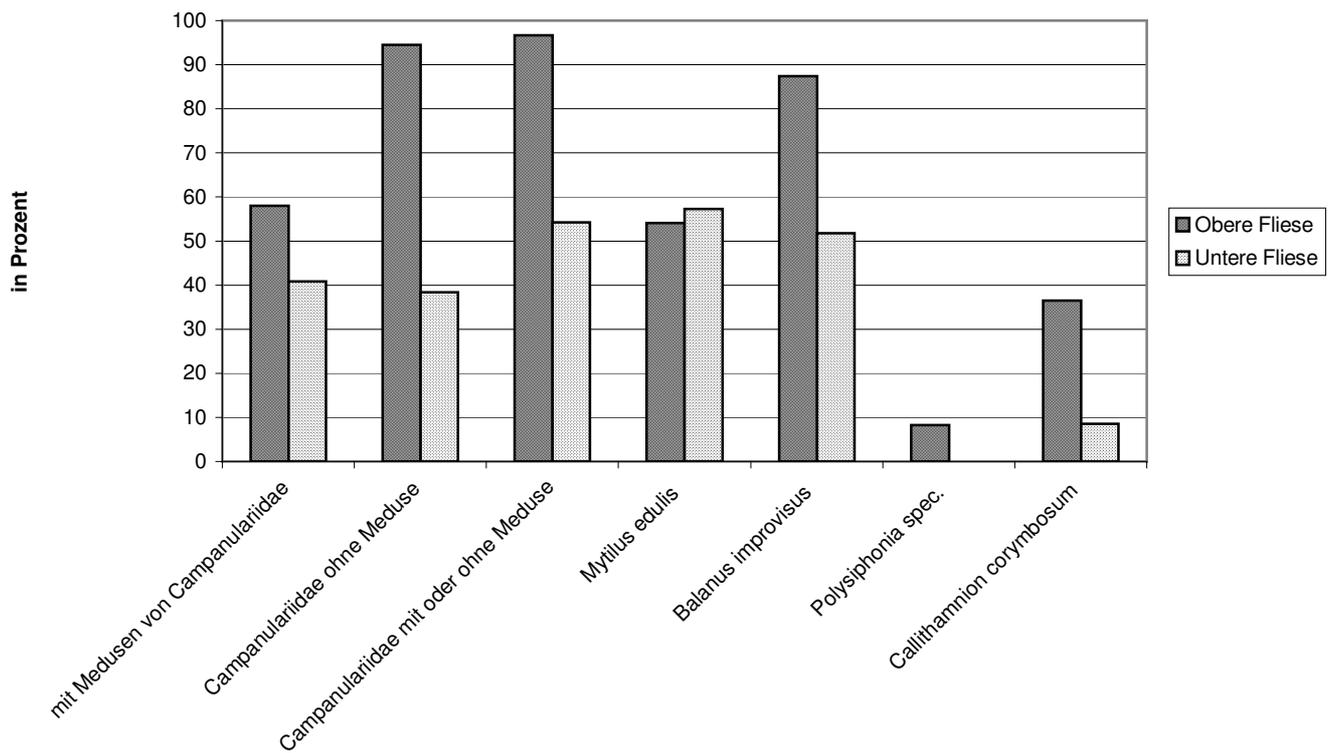


Abb. 14 Prozentuale Flächendeckung gemäß der Aufteilung der untersuchten Fliesen vom 13. Oktober 2003

Bei fast allen Organismen ist ein erhöhtes Vorkommen auf der oberen Fliese zu verzeichnen. Die Miesmuscheln sind allerdings hier eine Ausnahme. Der Chiquadrat-Test zeigt allerdings keine signifikanten Unterschiede.

### 5.3 Fotoprobeflächen

Wie schon erwähnt, reicht die Bildqualität nicht aus, um quantitative Aussagen über die Besiedlungsfolge zu machen. Doch kann man auf den Fotos durchaus Unterschiede erkennen.

Die Fotos entstanden bei den Tauchgängen am

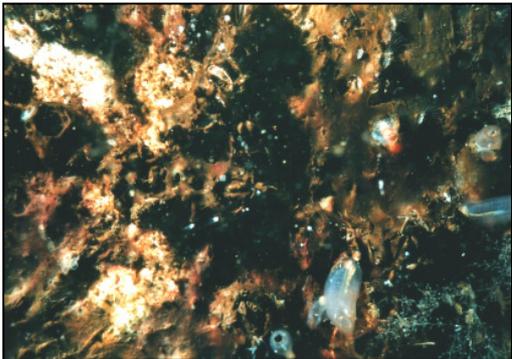
- 4. Mai 2003,
- 17. Juni 2003 und
- 27. August 2003.

Die Fotos wurden mit einer Unterwasserkamera der Marke "Sea and Sea Motomarine II Ex" und einem Makroobjektiv 1:2 und einem Unterwasserblitz YS-60 TTL.

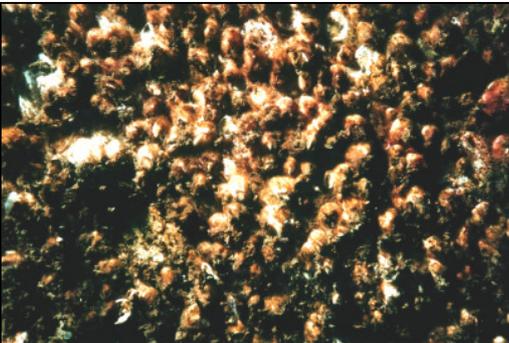
Der Makrobereich deckt 10 cm x 7 cm. Bei jeder Probefläche wurden zwei Fotos gemacht, um eine größere Fläche abzudecken. Ein Foto, welches den oberen Teil der Fläche abdeckt und ein Foto mit dem unteren Teil. Auf den folgenden Fotos (Foto 19 - 21) kann man die Entwicklung zum Teil erkennen. Auffällig erscheint das Vorhandensein der Schlauch-Seescheide (*Ciona intestinalis*), die sowohl am 4. Mai als auch am 17. Juni 2003 anwesend waren.

Fotos 19 Fotoprobeblächen PI - PIV am 4. Mai 2003

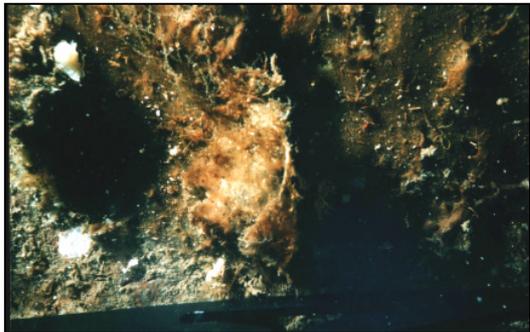
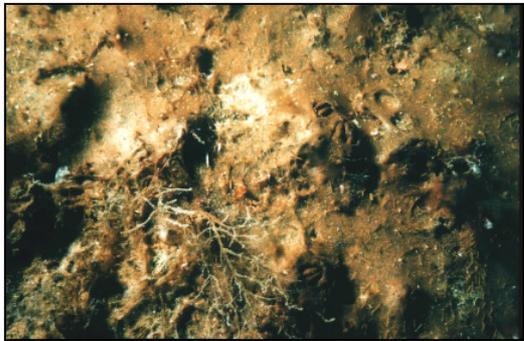
P I



P II



P III

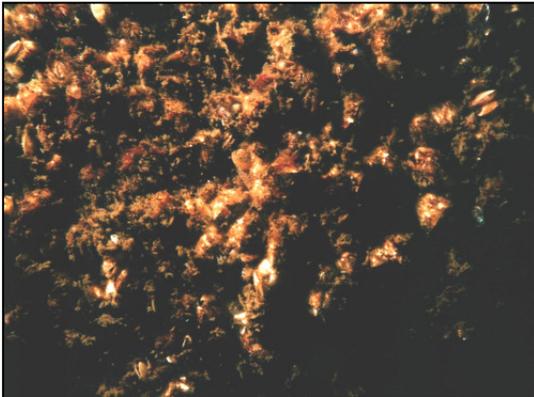
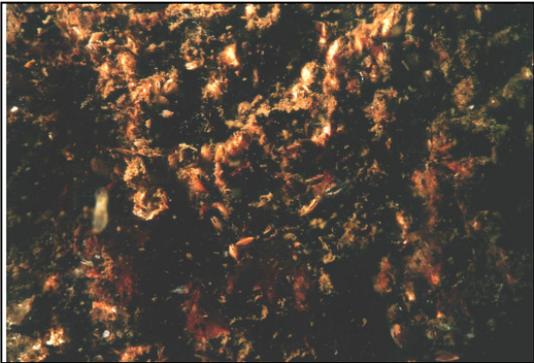


P IV

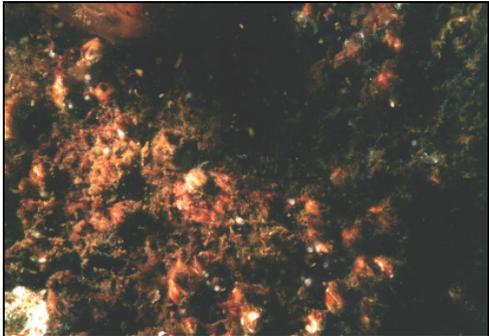


Fotos 20 Fotoprobeblächen PI - PIV am 17. Juni 2003

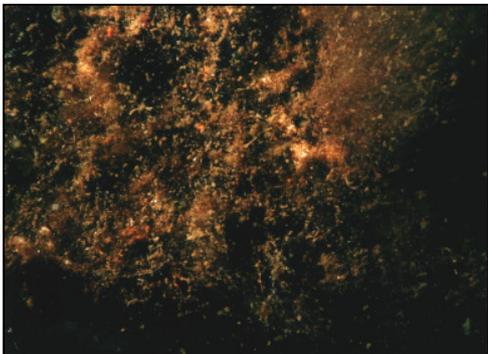
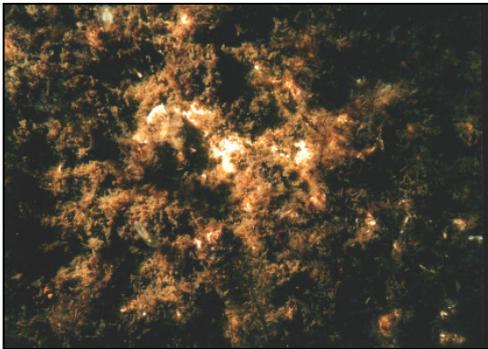
P I



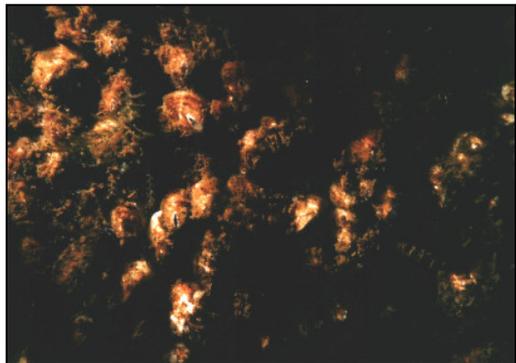
P II



P III



P IV



Fotos 21 Fotoprobeblächen PI - PIV am 27. August 2003

P I



P II



P III



P IV



Während der Tauchgänge wurden verschiedenen Fotos des Riffs gemacht, die einen Eindruck der Besiedlung vermitteln.



Foto 22 Neben der  
Probefläche 1 am  
27.04.2002  
(Foto Thomsen)



Foto 23 Neben der  
Probefläche 1 am  
27.08.2003  
(Foto Thomsen)

Die Fotos (Foto 22 und 23) sind an derselben Ecke des Riffs neben der Probefläche 1 (Abb. 19 a) im Abstand von 16 Monaten entstanden. Der Unterschied zeigt eine stärkere Besiedlung im makroskopischen Bereich durch Seescheiden (*Ciona intestinalis*).



Foto 24 Blickrichtung NW über das Riff am 27. 08.2003 (Foto Thomsen)

Auf diesem Foto sieht man den neben den Seepocken und dem Seestern auch den Bewuchs durch Rotalgen.



Foto 25 Rotalge auf dem Riff am 27.08.2003 (Foto Thomsen)

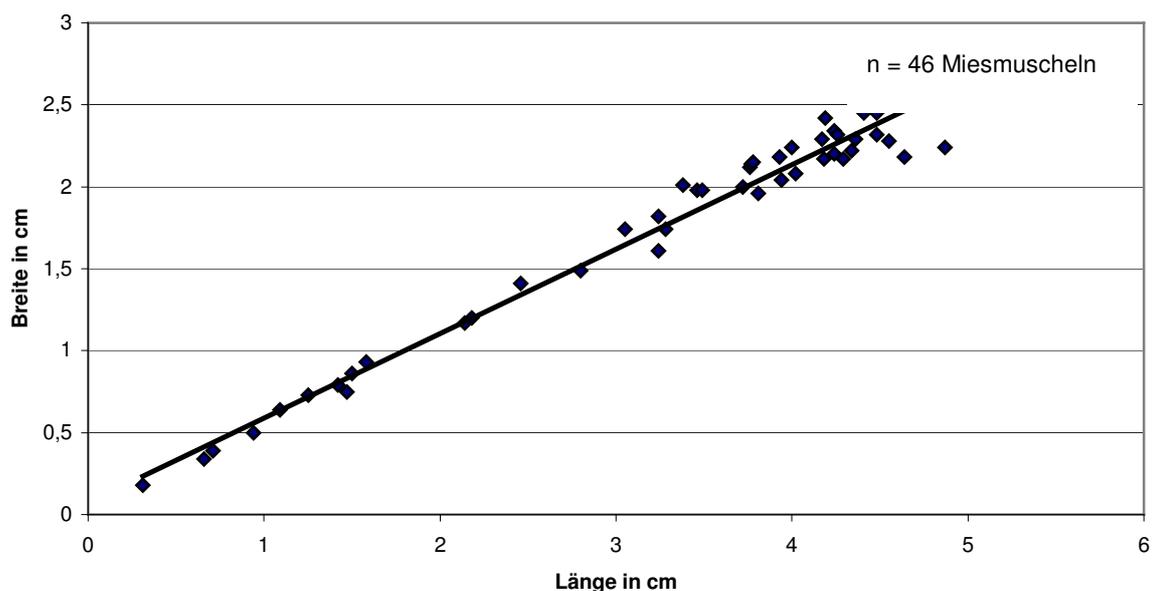
Der Bewuchs durch Rotalgen ist deutlich zu sehen. Hierbei handelt es sich vermutlich um einen Neophyten möglicherweise *Dasyptilon harveyi* (J.D. Hooker) Papenfuss.

## 5.4 Miesmuschelprobe

Die Besiedlung mit Miesmuscheln begann bereits relativ früh am Riff. Im Juni und Juli 2002 prägten sie maßgeblich das Bild bei dem Bewuchs der Fliesen (s.o.). Das Wachsen einer Miesmuschelbank braucht Zeit. Am Ende sollte eine Muschelbank mit einer durchmischten Altersstruktur stehen, die auch für eine große Biodiversität förderlich ist. Auf dem Riff siedelten in den Felsspalten Miesmuscheln in einer größeren Dichte.

Das Foto 8 (Kap. 4.3.3) mit den Miesmuscheln entstand direkt vor der Probenentnahme. Das Riff ist zu dem Zeitpunkt 21 Monate alt.

Die Miesmuschelprobe wurde am 27. August 2003 entnommen und im Labor vermessen (Länge und Breite).



Mittelwert Länge 3,23369565      Standardabweichung Länge 1,30533837  
Mittelwert Breite 1,74021739      Standardabweichung Breite 0,68034791

Abb. 15 Miesmuschelprobe vom 27.08.03

Jeder Punkt steht für eine Miesmuschel. Man erkennt in der Grafik (Abb. 12), dass die Länge und Breite in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen (gezeichnete Linie). Die Abweichungen vom Mittelwert sind bei der Länge größer als bei der Breite. Es sind alle Größen durchgängig vertreten, wobei es zu einer Ballung im oberen Bereich mit einer Länge von mehr als 4 cm und einer Breite von mehr als 2 cm kommt.

## 5.5 Sichterfassung

Die Untersuchungen zur Besiedlung des Riffs können sich nicht nur auf sessile Lebensformen beschränken. Bei allen Tauchgängen konnte man verschiedene Tiere am Riff sehen, die nicht fest auf dem Riff verankert sind.

Tab. 8 Ergebnis der Untersuchung der Sichterfassung vom 27. August 2003

Tierarten	Tauchstrecke von 44 m um und am Riff	Tauchstrecke von 44 m außerhalb des Riffs
Ohrenqualle ( <i>Aurelia aurita</i> L.)	4	0
Strandkrabbe ( <i>Carcinus maenas</i> L.)	2	0
Seestern ( <i>Asterias rubens</i> L.)	25	0
Schwarzgrundel ( <i>Gobius niger</i> L.)	30	2

Bei insgesamt zehn Tauchgängen konnten verschiedene Organismen beobachtet werden (Tab. 9a und b). Diese Tabellen enthalten nur die unter Wasser zu erkennenden Organismen. Die im Labor identifizierten Organismen, wie zum Beispiel die verschiedenen Kieselalgen und die Meernematode (*Enoplus meridionalis*), werden nicht erwähnt, weil sie bei den Tauchgängen nicht gesehen werden konnten.

Tab. 9 a Liste der bei den Tauchgängen registrierten Tierarten

Stämme	Klassen	Arten	Häufigkeiten bei Tauchgängen		
			1-2	3-5	>5
<b>Nesseltiere</b> <i>Cnidaria</i>	<b>Hydroiden</b> <i>Hydrozoa</i>	<i>Laomedea</i> sp. <i>Obelia</i> sp.			+++ +++
	<b>Schirm- qualen</b> <i>Scyphozoa</i>	Ohrenqualle ( <i>Aurelia aurita</i> L.) Feuerqualle ( <i>Cyanea capillata</i> L.)	+++ +++	++ +	+ 
<b>Weichtiere</b> <i>Mollusca</i>	<b>Schnecken</b> <i>Gastropoda</i>	<i>Rissoa</i> sp.	+		
	<b>Muscheln</b> <i>Bivalvia</i>	Sandklaffmuschel ( <i>Mya arenaria</i> L.) Herzmuschel ( <i>Cerastoderma edule</i> L.) Miesmuschel ( <i>Mytilus edulis</i> L.) Baltische Tellmuschel ( <i>Macoma balthica</i> L.)			+ + +++ +
<b>Ringel- würmer</b> <i>Annelida</i>	<b>Vielborster</b> <i>Polychaeten</i>	<i>Polydora ciliata</i> Johnston			+++
<b>Glieder- tiere</b> <i>Arthropoda</i>	<b>Krebstiere</b> <i>Crustacea</i>	Brackw.-Seepocke ( <i>Balanus improvisus</i> Darwin)			+++
		Gebogene Schwebegarnele ( <i>Praunus flexuosus</i> O.F.Müller)		++	
		Baltische Klippenassel ( <i>Idotea balthica</i> Pallas)		++	+
		Flohkrebs ( <i>Gammarus locusta</i> L.)			++
		Ostseegarnele ( <i>Paleomon adspersus</i> Rathke)		++	+
		Steingarnele ( <i>Paleomon elegans</i> Rathke)		++	+
		Strandkrabbe ( <i>Carcinus maenas</i> L.)			+++
<b>Kranz- fühler</b> <i>Tentaculata</i>	<b>Moos- tierchen</b> <i>Bryozoa</i>	Krusten-Seerinde ( <i>Electra crustulenta</i> Palls)			+++
<b>Stachel- häuter</b> <i>Echinoder- mata</i>	<b>Seesterne</b> <i>Asteroidea</i>	Gemeiner Seestern ( <i>Asterias rubens</i> L.)			+++
<b>Chorda- tiere</b> <i>Chordata</i>	<b>Seeschei- den</b> <i>Ascidiae</i>	Schlauch-Seescheide ( <i>Ciona intestinalis</i> L.)		+++	
	<b>Knochen- fische</b> Osteichthyes	Hering ( <i>Clupea harengus</i> L.) Dorsch ( <i>Gadus morhua</i> L.) Dreistachliger Stichling ( <i>Gasterosteus aculeatus</i> L.) Seeskorpion ( <i>Myoxocephalus scorpius</i> L.) Aalmutter ( <i>Zoarces viviparus</i> L.) Schwarzgrundel ( <i>Gobius niger</i> L.) Sandgrundel ( <i>Pomatoschistus minutus</i> Pallas) Steinbutt ( <i>Psetta maxima</i> L.)	++ +      +	    ++  +	   ++ ++  +++ +++

+ einzeln anzutreffen

++ häufig anzutreffen

+++ sehr häufig anzutreffen

Tab. 9 b Liste der bei den Tauchgängen registrierten Algenarten

<b>Divisio (Phylum) (Abteilung, Stamm)</b>	<b>Klasse</b>	<b>Arten</b>
<b>Rotalgen</b> <i>Rhodophyta</i>	<b>Florideophyceae</b>	Röhrentang ( <i>Polysiphonia spec.</i> ) Braunroter Zweigtang ( <i>Rhodomela confervoides</i> Huds.) Doldige Schmuckalge ( <i>Callithamnion corymbosum</i> J.E. Smith) Roter Horntang ( <i>Ceramium rubrum</i> Huds.) Dasypylon harveyi (J.D. Hooker) Papenfuss
<b>Gelb-braune Algen</b> <i>Heterokontophyta</i>	<b>Kieselalgen</b> <i>Bacillariophyceae</i>	Arten (siehe 5.1) sichtbar als lange fädige Büschel auf den Steinen und als brauner Belag auf dem Boden
	<b>Braunalgen</b> <i>Phaeophyceae</i>	Blasentang ( <i>Fucus vesiculosus</i> L.) Felsen-Faseralge ( <i>Ectocarpus siliculosus</i> Lyngb.)
<b>Grüne Algen</b> <i>Chlorophyta</i>	<b>Grünalgen</b> <i>Chlorophyceae</i>	Gemeiner Darmtang ( <i>Enteromorpha intestinalis</i> Nees.) Meersalat ( <i>Ulva lactuca</i> L.) Zweigfadenalge ( <i>Cladophora spec.</i> ) Borstenhaar ( <i>Chaetomorpha linum</i> O.F.Müller)

Die Tabelle 9b wurde nach der gängigen Algen - Systematik nach v.d.Hoek, Jahns und Mann (Hoek v.d., Jahns und Mann 1993)

In der Tabelle 9a kann man erkennen, dass viele Organismen häufig anzutreffen sind. Da Makroalgen sich noch nicht in nennenswerter Häufigkeit angesiedelt haben, wurde auf eine Erfassung verzichtet.

## 5.6 Zweite Steinprobe

Die zweite Steinprobe wurde gleichzeitig mit den Fliesen am 13. Oktober 2003 entnommen, um die Daten vergleichen zu können. Da es sich bei den Steinen um eine nicht genormte Größe handelt, wurden diese nach der Untersuchung vermessen (s. Kapitel 3). Die ermittelten Größen sind in Tab. 10 in der ersten Spalte abzulesen.

Die tatsächlich ermittelten Daten wurden auf 1 m<sup>2</sup> umgerechnet und auf ganze Zahlen gerundet. In der Tabelle sind beide Daten enthalten. Bei der geringen Anzahl ei-

niger Organismen sollte man nicht ohne weiteres durch eine Hochrechnung auf die Anzahl pro 1 m<sup>2</sup> schließen.

Tab. 10 Ergebnisse der Steinuntersuchungen vom 13.10.03

Stein- probe	Medusen von <i>Campanu- lariidae</i>	<i>Enoplus meridio- nalis</i>	Mies- muschel ( <i>Mytilus edulis</i> )	<i>Rissoa spec.</i>	<i>Poly- chaeten</i> mit Lar- ven	Cope- poda	Brackwasser -Seepocke ( <i>Balanus improvisus</i> ) [Larven]	Amphi- poda	Gemeiner Seestern ( <i>Asterias rubens</i> )
Stein auf dem Riff 246,24 cm <sup>2</sup>	455 <b>18478</b>	94 <b>3817</b>	284 <b>11533</b>	3 <b>122</b>	19 <b>772</b>	3 <b>122</b>	23 <b>934</b> [6] [244]	24 <b>975</b>	6 <b>244</b>
Stein aus dem Riff 275,35 cm <sup>2</sup>	22 <b>799</b>	27 <b>981</b>	29 <b>1053</b>	0	4 <b>145</b>	0	0 [2] [73]	1 <b>36</b>	1 <b>36</b>
Stein weit ab vom Riff 190,86 cm <sup>2</sup>	20 <b>1048</b>	120 <b>6287</b>	15 <b>786</b>	0	2 <b>105</b>	0	0	6 <b>314</b>	1 <b>52</b>

Der obere Wert ist die tatsächlich gezählte Individuenzahl und der untere ist der hochgerechnete Wert auf einen 1 m<sup>2</sup>.

Nach der Umrechnung auf 1 m<sup>2</sup> ist als größter Wert jener der Medusen aus der Familie der *Campanulariidae* auf der Probe vom „Stein auf dem Riff“ zu verzeichnen.

Es taucht bei den Tabellen (Tab. 9a, Tab. 10) der neue Name *Rissoa sp.* auf. Dazu sei zu erwähnen, dass bei dem Tauchgang die Grünalgenbüschel auf dem Weg zum Riff sehr stark mit diesen Schnecken besiedelt waren. Je flacher das Wasser, desto mehr Algenbüschel mit diesen Schnecken tauchten auf. Drei einzelne Exemplare dieser Schnecken wurden auf der Probe „Stein auf dem Riff“, allerdings ohne Grünalgen, gefunden.

Anzumerken ist noch, dass bei diesen Proben keine Seescheiden (*Ciona intestinalis*) registriert werden konnten.

Zur Verdeutlichung der Tabelle dient folgendes Balkendiagramm.

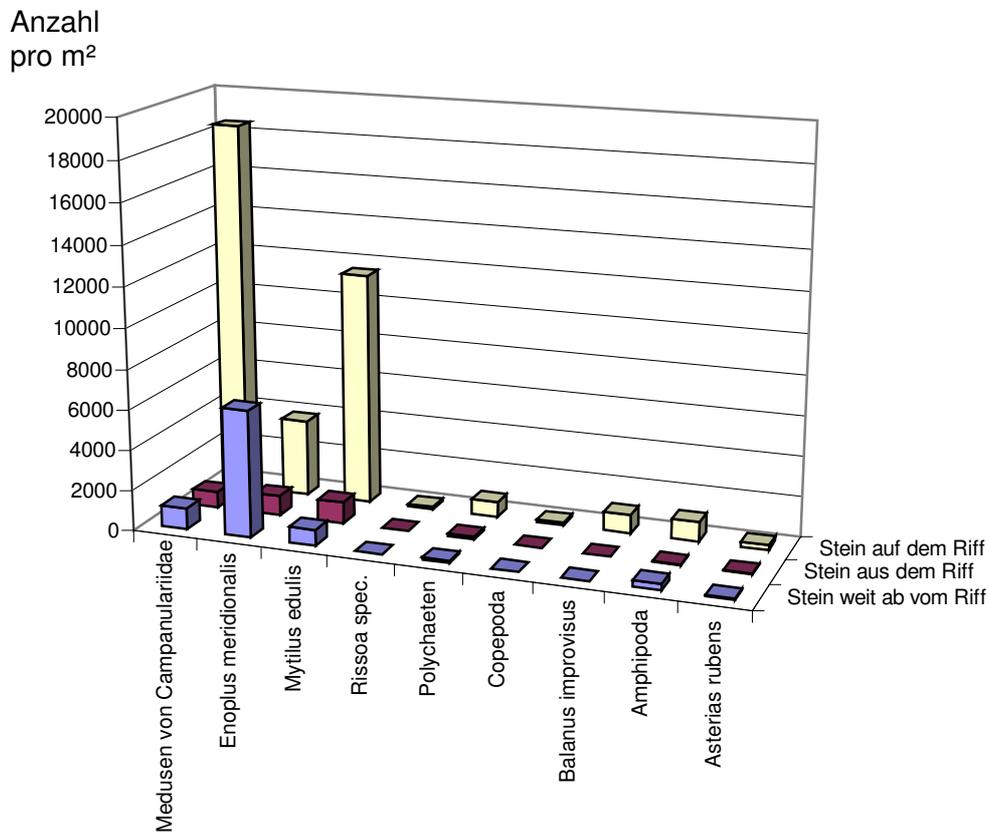


Abb. 16 Vergleich der zweiten Steinproben vom 13. Oktober 2003

Hier wird deutlich, dass der Stein auf dem Riff die stärkste Besiedlung aufweist. Die Ausnahme bildet der „Stein weit ab vom Riff“ mit einem erhöhten Vorkommen der Meernematoden *Enoplus meridionalis*.

## 5.7 Abiotische Faktoren

Unter den abiotischen Faktoren versteht man die physikalischen und chemischen Faktoren der unbelebten Umwelt (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Beschaffenheit des Bodens und des Wassers), die auf Organismen einwirken (Sauermost 1994, Band 1, Seite 9). Das Riff in der Flensburger Förde wird auch von verschiedenen abiotischen Faktoren beeinflusst.

Auf der Grundlage der eigenen Messungen, der Daten vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, dem Flensburger Tageblatt und dem Klärwerk der Stadt Flensburg war es möglich verschiedene abiotische Faktoren zu erfassen und durch Grafiken zu veranschaulichen.

Die mir zur Verfügung gestellten Daten vom Klärwerk der Stadt Flensburg wurden nicht alle grafisch dargestellt, deshalb wird die Tabelle an dieser Stelle aufgeführt.

Tab. 11 Daten der Stadt Flensburg, gemessen Höhe Marine / Ostseebad vom Klärwerk Flensburg

<i>Datum</i>	Tiefe in m	Temperatur in °C	Sauerstoff in mg/l	Salinität in g/l NaCl	PH- Wert	Nitrat in mg NO <sub>3</sub> - N/l	Ammonium in mg NH <sub>4</sub> - N/l	TOC in mg C/l	Gesamt P in mg P/l	SiSO <sub>2</sub> in mg/l	Sichttiefe in m
<b>21.02.01</b>	10,5 0,5	3,0 4,0	12,2 12,6	15,8 15,5	7,72 7,84	0,16 0,17	0,07 0,05	2,10 3,00	0,03 0,03	2,2 2,2	5,5
<b>30.05.01</b>	8,5 0,5	9,6 10,5	8,6 9,5	16,1 16,0	7,92 8,06	0,01 <0,01	0,06 0,06	5,07 6,20	<0,01 0,07	0,9 0,4	4
<b>06.08.01</b>	9 0,5	18,2 19,4	3,3 8,3	17,2 16,7	7,81 8,45	0,05 0,11	0,23 0,13	4,70 4,70	0,12 0,02	0,45 0,04	3
<b>26.02.02</b>	14,5 0,5	5,4 5,1	10,5 10,7	18,9 18,1	8,03 8,03	<0,1 2,24	0,18 0,47	0,40 0,74	0,04 0,05	1,7 2,1	2
<b>28.05.02</b>	4,8 0,5	15,1 15,6	10,2 12,6	10,8 11,3	8,46 8,64	<0,1 <0,1	0,12 0,50	0,38 1,77	0,01 0,02	0,26 0,16	3
<b>21.08.02</b>	15,5 0,5	15,3 21,9	2,1 10,2	17,5 15,4	7,65 8,62	0,16 <0,1	0,37 0,32	6,10 3,50	0,21 0,01	3,88 0,44	2
<b>06.03.03</b>	9 0,5	0,9 0,7	14,6 14,5	13,6 13,6	8,24 8,23	<0,1 <0,1	0,12 0,15	2,30 1,20	0,01 <0,01	0,15 0,45	4
<b>07.05.03</b>	7,8 0,5	10,1 10,5	9,49 9,47	9,45 9,42	8,03 8,06	<0,01 <0,01	0,03 <0,01	0,57 0,71	0,02 0,01	0,10 0,10	4
<b>02.09.03</b>	6,5 0,5	17,3 16,5	7,02 8,43	18,35 18,61	7,96 8,10	<0,23 <0,23	0,15 0,15	3,90 4,10	0,04 0,02	0,05 0,05	< 5

Im Rahmen dieser Arbeit beschränke ich mich auf die abiotischen Faktoren der Wassertemperatur, des Sauerstoff- und des Salzgehalts.

Die **Wassertemperaturen** werden für den Bereich des Ostseebades in der Flensburger Förde in einer Kurve über knapp zwei Jahre dargestellt.

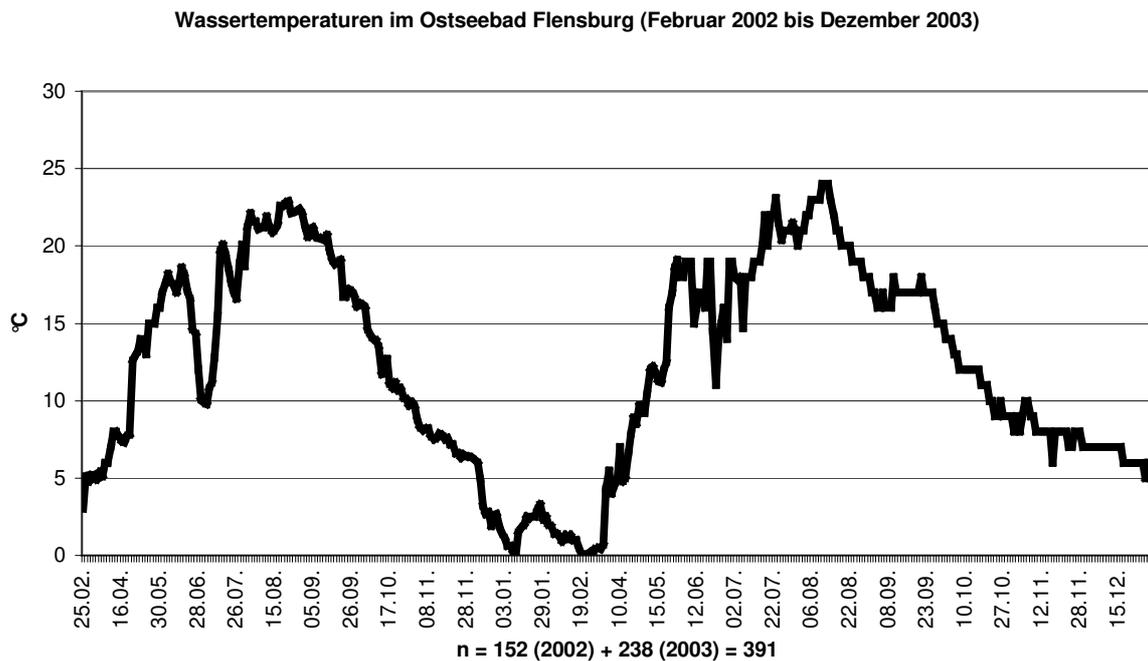


Abb. 17 Wassertemperaturen in der Flensburger Förde im Bereich des Ostseebades

Die maximalen gemessenen Wassertemperaturen liegen im Sommer 2002 am 22. August bei 22,9°C und am 12. August 2003 bei 24°C. In beiden Jahren kam es zu einer Abkühlung in der Zeit von Ende Juni bis Anfang Juli.

Das Klärwerk der Stadt Flensburg untersucht das Wasser der Flensburger Förde an unterschiedlichen Stellen dreimal im Jahr. Für den Zeitraum Februar 2001 bis August 2003 wurden die Daten für die Untersuchung zur Verfügung gestellt. Es fanden immer parallel eine Messung an der Oberfläche und eine am Grund statt.

Der **Sauerstoffgehalt** in der Flensburger Förde weist verschiedene Schwankungen auf (Abb. 18).

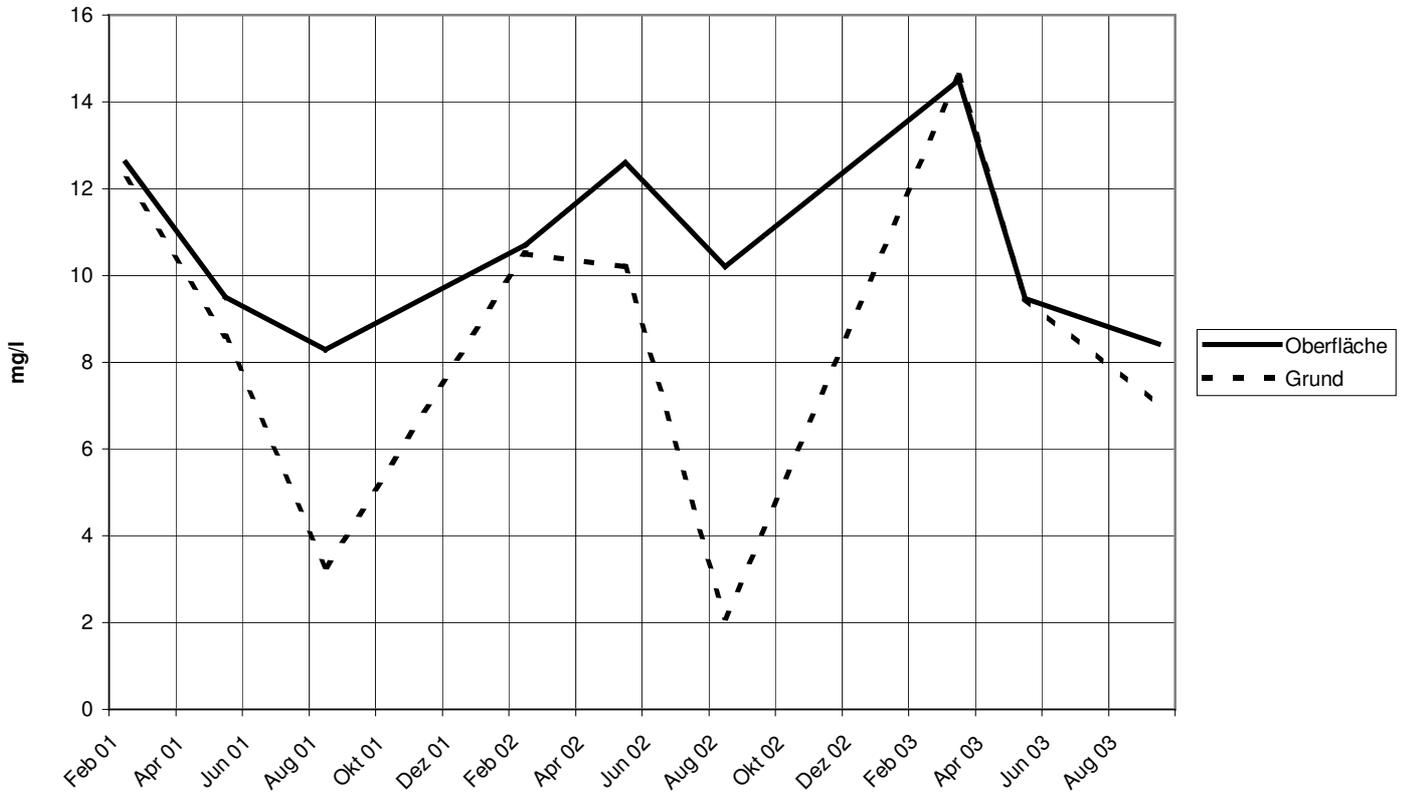


Abb. 18 Sauerstoffgehalt im Bereich des Ostseebades der Flensburger Förde

Der Sauerstoffgehalt sinkt immer im August, wobei er im Jahr 2002 den niedrigsten Wert erreicht hat. Der Anstieg erfolgt anschließend bis in die Monate Februar und März. Auf dem Boden ist fast immer weniger Sauerstoff als an der Oberfläche. Lediglich im Februar und März sind die Sauerstoffwerte am Boden und an der Oberfläche fast gleich.

Der **Salzgehalt** der Flensburger Förde schwankt ebenfalls (Abb. 19), wobei die Unterschiede zwischen dem Boden und der Oberfläche nicht so stark auseinandergehen wie der Sauerstoffgehalt.

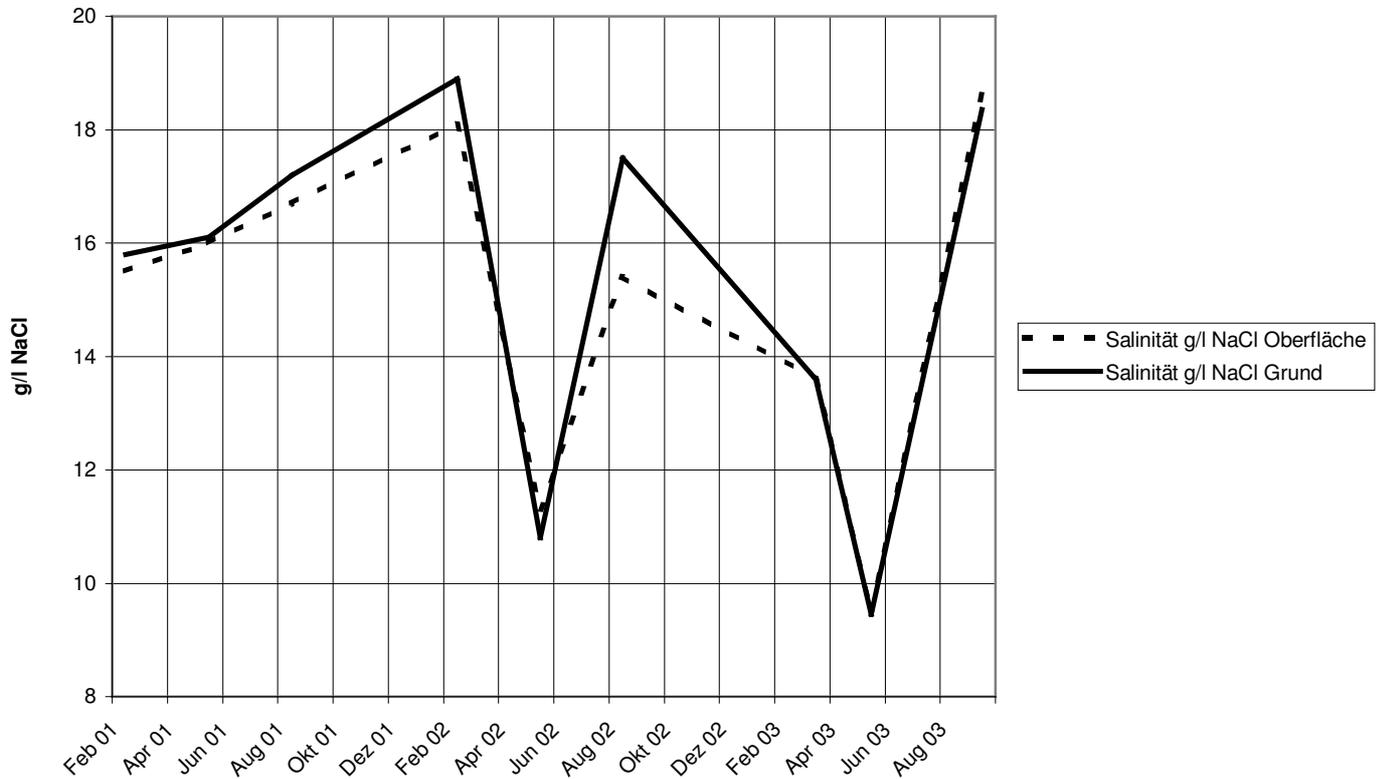


Abb. 19 Salzgehalt im Bereich des Ostseebades der Flensburger Förde

Die Schwankungen sind in den Jahren 2001 bis 2003 im Jahresverlauf stärker geworden. In der Tendenz sank der Salzgehalt bis in den Mai 2003 auf den tiefsten Punkt unter 10 g/l NaCl. Der Salzgehalt verdoppelt sich fast in den darauffolgenden vier Monaten.

Zum Abschluss dieses Kapitels werden die Ergebnisse der Besiedlungsfolge der ersten beiden Jahre tabellarisch zusammengefasst.

## Zusammenfassende Übersicht der Besiedlung am Riff

	Erstes Erscheinen der Organismen	Prägt das makroskopische Erscheinungsbild	Untersuchung
02.02. 2002	Mikrofilm (mit Bakterien und Kieselalgen)	Mikrofilm (mit Bakterien und Kieselalgen)	Erste Steinprobe
27.04. 2002	Ruderfußkrebse ( <i>Copepoda</i> ), Vielborster ( <i>Polychaeten</i> ), Seepocke ( <i>Balanus improvisus</i> )	Ruderfußkrebse ( <i>Copepoda</i> )	Erste Steinprobe
07.06. 2002	Miesmuscheln ( <i>Mytilus edulis</i> )	Miesmuscheln ( <i>Mytilus edulis</i> )	Fliesenproben
19.07. 2002		Miesmuscheln ( <i>Mytilus edulis</i> )	Fliesenproben
<b>Sauerstoffmangel</b>			
21.09. 2002	Flohkrebse ( <i>Amphipoda</i> ) Seestern-(Larven) ( <i>Asterias rubens</i> )	Seepocken ( <i>Balanus improvisus</i> ), Miesmuscheln ( <i>Mytilus edulis</i> )	Fliesenproben
13.10.2003	Seestern ( <i>Asterias rubens</i> ) Seescheide ( <i>Ciona intestinalis</i> )	Seepocken ( <i>Balanus improvisus</i> ), Miesmuscheln ( <i>Mytilus edulis</i> )	Fliesenprobe Zweite Steinprobe

## 5.8 Das Riff am Ende der Untersuchungen

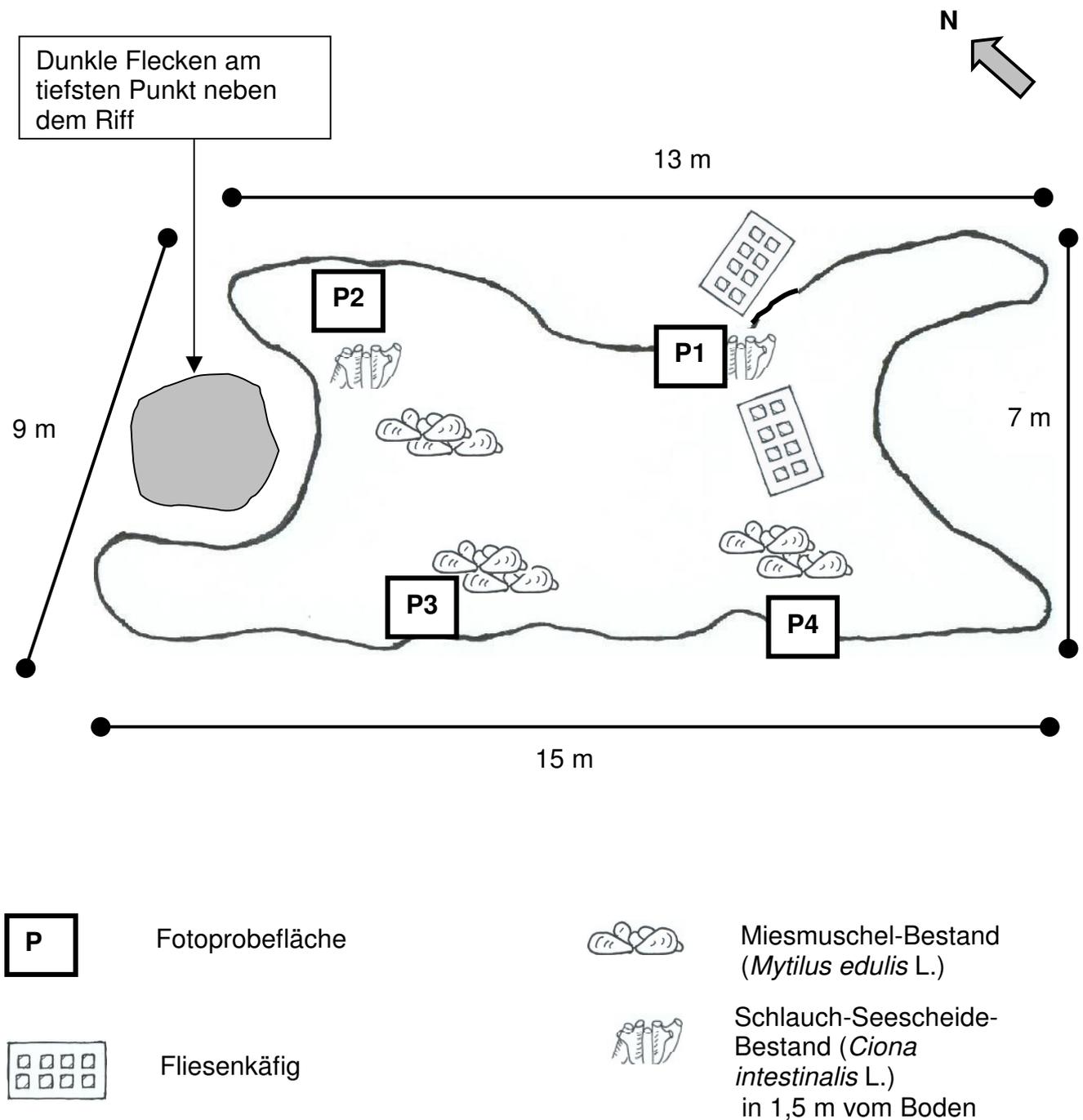


Abb. 20 a Übersichtskarte des Riffs (Aufsicht) mit markanten Punkten am Riff

Fast auf dem gesamten Riff siedeln Seepocken (*Balanus improvisus*); nur in den Felsspalten und am Eingang der Höhlen fehlen sie. Diese Flächen sind mit Miesmuschelgirlanden bewachsen.

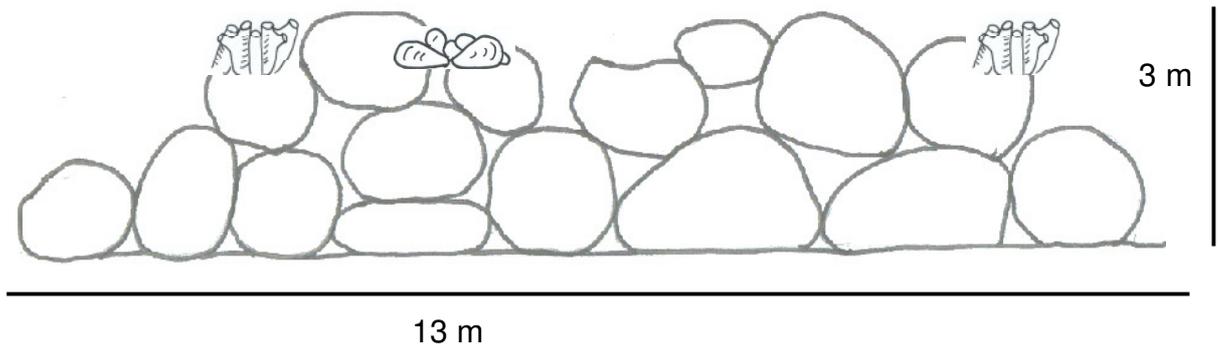


Abb. 20 b Seitenansicht und Siedlungshöhe der Seescheiden und der Miesmuscheln am Riff

Die Seescheiden und die Miesmuscheln siedeln zwischen 1,5 und 3 m über dem Boden.

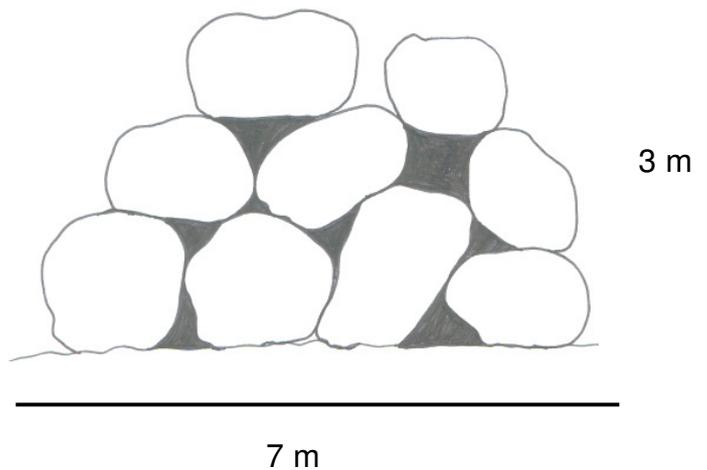


Abb. 20 c Querschnitt des Riffs

Die dunklen Flächen kennzeichnen die großen Hohlräume zwischen den Steinen. Hier sieht man häufig verschiedene Fische und Strandkrabben.

## 6. Diskussion

Das künstliche Riff in der Flensburger Förde wurde als Naturschutzausgleichsfläche im Sinne des Naturschutzgesetzes (§8 BNatSchG) eingerichtet. Zwar wurden ähnliche Maßnahmen in der Ostsee schon mehrfach durchgeführt, doch gab es bisher keine vergleichbaren wissenschaftlichen Begleituntersuchungen zur Entwicklung solcher Ausgleichsflächen.

Insgesamt spielen renaturierende bzw. regenerierende Naturschutzmaßnahmen – wie sie für terrestrische Ökosysteme an vielen Stellen durchgeführt wurden – bisher im marinen Bereich keine große Rolle. Andererseits besteht hier durchaus großer Bedarf, denn die Eingriffe in den Naturhaushalt der Meere sind weltweit gravierend. Im besonderen besteht diese Problematik für die Nord- und Ostsee, wie dies zum Beispiel durch ein neues Gutachten vom SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen), welches dem Umweltminister Herrn Trittin im Januar 2004 übergeben worden ist, belegt wird (<http://www.umweltrat.de> Stand 15. Februar 2004).

Die Möglichkeit, künstliche „Riffe“ als Hartsubstrate in vorwiegend durch Weichböden geprägte Biotope einzubringen, scheint plausibel. Dies lässt sich insbesondere aus Untersuchungen zur Besiedlungsfolge ableiten, wie sie von verschiedenen Forschern durchgeführt wurden. So untersuchte Luther (Luther 1976 a und b) die Besiedlungssukzession unterschiedlicher Substrate (Solnhofener Plattenkalk, Muschelkalk, Buntstandstein, Granit, Säulenbasalt und Basaltlava) mit dem Ergebnis, dass die physikalischen Substrateigenschaften im Gezeitenbereich einen stärkeren Einfluss auf den Bewuchs haben als die chemischen, wobei im Unterwasserbereich diese Eigenschaften an Bedeutung verloren und die biologischen Faktoren den Bewuchs bestimmten.

Wahl beschrieb eine Besiedlungsfolge von dem organischen Makromolekularfilm (mit Bakterien und Blaualgen) über Kieselalgen und Larven Wirbelloser, bei der die besonderen physikalischen Startbedingungen berücksichtigt werden und die biologischen Kräfte später den Bewuchs maßgeblich beeinflussen (Wahl 1989).

Die vorliegenden Ergebnisse können mit solchen früheren Untersuchungen in Beziehung gebracht werden. Dabei liegt der Schwerpunkt bei der Frage, wie die Effekte durch geeignete Gestaltung der Ausgleichsmaßnahme optimiert werden können.

## 6.1 Besiedlungsfolge

Zunächst bildete sich auf dem Kunstriff ein Mikrofilm aus Bakterien und Kieselalgen. Während die Bakterien nicht weiter untersucht werden konnten, wurden die Diatomeen einer genaueren Betrachtung unterzogen. Dabei zeigte sich, dass sich hier schon innerhalb weniger Wochen eine erheblich Artenvielfalt entwickelte. Diese Primärproduzenten liefern die Nahrungsgrundlage für Konsumenten, im untersuchten Fall stellten sich innerhalb von fünf Monaten vor allem zahlreiche Copepoden ein (Abb. 7), die sich vornehmlich von Bakterien und Mikroalgen wie Diatomeen ernähren.

Die *Polychaeten*, vornehmlich *Polydora ciliata*, die das Bild des Riffes nach den Ruderfußkrebse prägten, erreichten eine geringere Dichte (Abb. 8) als es in der Literatur angegeben wird. Bei den Polychaeten werden Besiedlungsdichten in der Literatur mit 200.000 Tiere pro m<sup>2</sup> angegeben (Stresemann 1986, Götting, Kilian und Schnetter 1982, Sauermost et al.1994). Bei diesen Untersuchungen ergibt sich für das Riff in der Flensburger Förde eine Dichte von über 24.000 Individuen pro m<sup>2</sup>. Normalerweise befinden sich die Wohnröhren dieser Polychaeten **in** dem Substrat (Tardent 1993, Stresemann 1986). Offensichtlich waren die Fliesen und die Syenit-Steine zu hart, weil sich die festgeklebten Röhren **auf** diesen befanden. Die Angaben aus der Literatur beziehen sich allerdings auf die maximale Dichte, die sich nicht nur auf, sondern auch im Substrat befindet, so dass man hier nicht ohne weiteres auf schlechtere Bedingungen schließen kann.

Die oberflächlichen Wohnröhren dieser Polychaeten stellen nach Untersuchungen von Reise, Asmus und Asmus (1993) ein besonders günstiges Substrat für die Neuansiedlung von Miesmuscheln dar. Dies erklärt möglicherweise die rasche Besiedlung durch Miesmuscheln im Sommer 2002. Dabei muss offen bleiben, ob die Jungmuscheln aus der unmittelbaren Nachbarschaft oder von weiter entfernten Muschelbänken stammten. Denn es kommt nicht nur die Neuansiedlung von Muschellarven in Frage, Miesmuscheln können auch noch nach Ende der Larvenzeit einen besonderen Byssusfaden ausbilden, der sie für mehrere Wochen im Wasser schweben lässt (Fioroni 1998).

Die ersten Seepocken konnten schon im April 2002 im oberen Bereich des Riffs nachgewiesen werden. Eine deutliche Mengenzunahme konnte im September registriert werden (Abb. 10, Abb. 11a und b). Wie schon Buschbaum für das Wattenmeer nachweisen konnte (Buschbaum 2002), gibt es offensichtlich einen positiven Effekt zwischen Miesmuscheln und Seepocken. Im Wattenmeer konnte nachgewiesen werden, dass es zeitweilig größenbedingte Vor- und Nachteile für die Miesmuscheln und Seepocken gibt. Junge Miesmuscheln können sich zwischen den Seepocken leichter ansiedeln. Allerdings treten die Probleme zwischen den beiden Arten auf, wenn die Miesmuscheln größer werden.

Auf dem künstlichen Riff dürfte es zu ähnlichen Effekten kommen, obwohl es sich ja anders als bei den Untersuchungen von Buschbaum (Buschbaum.2002) nicht um eine bereits bestehende Miesmuschelbank oder einen Weichboden, sondern um ein Hartsubstrat handelt. So ließe sich jedenfalls der relativ lang anhaltende Miesmuschel-Seepocken-Aspekt des künstlichen Riffes (Tab. 2, Tab.3, Abb. 11 a und b) erklären.

Das Zusammenleben von Miesmuscheln und Seepocken auf dem Riff wird von biotischen und abiotischen Einflüssen bestimmt. Bei den abiotischen Faktoren – wie Wassertemperatur, Licht, Salz- und Sauerstoffgehalt und Strömungen – dürfte in der Flensburger Innenförde der Sauerstoffgehalt von größter Bedeutung sein. Gravierende Sauerstoffdefizite sind immer wieder die Ursache für das massenhafte Absterben von Organismen und damit ein wichtiger begrenzender Faktor für weitergehende und zu größerer Biodiversität führende Sukzessionen.

Dies wird auch durch die Ergebnisse dieser Untersuchung deutlich, wenn man die Besiedlung auf der oberen und unteren Fliese vergleicht (Abb. 11 a):

Im Juni 2002 dominierten auf beiden Fliesen die Miesmuscheln, der Sauerstoffgehalt war auch am Grund in 9 m Tiefe noch relativ hoch (Abb. 18). Im Juli nahm mit abnehmendem Sauerstoffgehalt, vor allem auf dem Grund, die Zahl der Miesmuscheln auf der oberen Fliese drastisch ab. Bei der unteren Fliese nimmt die Zahl der Miesmuscheln im Jahr 2002 die ganze Zeit zu (Abb. 9).

Dieses könnte an einer Verlagerung des Fraßdrucks liegen. Die Miesmuscheln der oberen Fliesen wurden wahrscheinlich aufgrund der besseren Sauerstoffversorgung von den Fressfeinden bevorzugt aufgesucht

Parallel zu diesem erwartungsgemäßen Rückgang im oberen Bereich des Riffs nahm jedoch die Menge der Seepocken zu (Abb. 10, Abb. 11 a und b). Eine mögliche Erklärung dieses Phänomens liefert die unterschiedliche Mobilität von Miesmuscheln und Seepocken. Wie bereits erwähnt, können sich Miesmuscheln verdriften lassen. Es wäre möglich, dass die Miesmuscheln sich aufgrund des geringen Sauerstoffgehalts verdriften ließen.

Seepocken häuten sich fünfmal, bevor sie sich als Cyprislarven ein Substrat auszusuchen und zur dauerhaft sessilen Lebensweise übergehen (Barnes 1971, Fioroni 1998). Bevor sich Seepocken festsetzen, werden auch diese durch die Wasserbewegung verdriftet.

Bei schlechten Lebensbedingungen kann allerdings eine Miesmuschel ihren Platz verlassen, während die Seepocken diese Schwankungen aushalten müssen.

Offensichtlich wurde die Untergrenze des Sauerstoffbedarfs für größere Seepocken auch erreicht, was die zahlreichen abgestorbenen Individuen am 7. Juni 2002 beweisen. Viele ausgewachsene Individuen waren tot, ihre Rankenfüße hingen leblos aus den Kalkplatten heraus, während viele jüngere Exemplare noch lebendig waren. Dieses lässt vermuten, dass die jungen Seepocken sich mit einem geringeren Sauerstoffgehalt besser arrangieren können als die ausgewachsenen Tiere. Darüber hinaus ist bei den Seepocken auch eine schnelle Wiederbesiedlung möglich. Seepocken können bereits zwei Wochen nach dem Festsetzen eine Größe von 2 mm erreichen (Wahl und Hoppe 2002).

Die Ansiedlung der Cyprislarven der Seepocken findet verstärkt im Frühjahr (April, Mai, Juni) statt. Aufgrund des mangelnden Sauerstoffs fielen die Seesterne als Fressfeinde im Sommer 2002 aus, was sich auch auf die schnelle Wiederbesiedlung der Seepocken im September 2002 (Abb. 10, Abb. 11 a und b) günstig ausgewirkt haben kann.

Am 7. Juni 2002 sah man schon auf dem Weg zum Riff zahlreiche leblose, schlaffe oder schon – vermutlich durch bakterielle Zersetzung – stark aufgeblähte Seesterne. Auffällig war das häufige Vorkommen von Strandkrabben (*Carcinus maenas*), deren Sauerstoffmangel-Toleranz offensichtlich noch nicht überschritten war.

Möglicherweise wurden sie durch die abgestorbenen Seepocken über ihren chemischen Sinn angelockt. Junge Strandkrabben bevorzugten nach Rangeley und Thomas (1987) Seepocken gegenüber anderer Nahrung, z. B. Gastropoden. Da zahlreiche Seepocken die sauerstoffarme Periode im Sommer 2002 überlebten, kann man davon ausgehen, dass sich zumindest der Fraßdruck nicht erhöht hat. Die Strandkrabben hatten als Aasfresser eine Menge Nahrung, die sehr leicht zu erreichen war. Insgesamt ist der Beweidungsdruck auf die Seepocken durch Seesterne und Strandkrabben in der Zeit von April bis Oktober am größten, was vermutlich temperaturbedingt ist (Buschbaum 2002).

Zwischen den Sauerstoffwerten und den Temperaturwerten konnte kein direkter Zusammenhang hergestellt werden. Im Sommer 2003 waren die Wassertemperaturen im Schnitt höher als im Sommer 2002, trotzdem kam es nicht zu einem vergleichbaren Abfall der Sauerstoffwerte. Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass überregionale Einflüsse, z. B. solche, die den Zustrom von sauerstoffreichem Nordseewasser über Kattegatt und Skagerrak regulieren, nicht zu unterschätzen sind.

Dass sich solche Einflüsse auf die Artenzusammensetzung der Flensburger Innenförde auswirken können, zeigte das massenhafte Auftreten von Feuerquallen (*Cyanea capillata*) im Sommer 2003. Im Frühjahr 2003 hatten starke Stürme im Kattegatt und Skagerrak nicht nur Sauerstoff, sondern auch salzreicheres Wasser in die Ostsee befördert. Ihm folgten die auf höhere Salzgehalte angewiesenen Feuerquallen, die sich auf Grund des niedrigeren Salzgehaltes in der Ostsee nicht fortpflanzen können (Postel 1996).

Auch weitere von der Wassertemperatur abhängige Effekte konnten nicht festgestellt werden.

Der Einfluss unterschiedlicher Strömungen auf die Besiedlungsfolge konnte nicht berücksichtigt werden, da sie nicht gemessen werden konnten. Eine Beobachtung zeigt jedoch, dass kräftige Strömungen auftreten können, welche die Morphologie des Fördebodens beeinflussen: Die Fliesenkäfige (Kap. 2) wurden von mir durch dicke Steinfließen (10 x 10 x 5 cm) beschwert, die durch eine höher liegende Öffnung in die Käfige gesteckt wurden. Obwohl die Käfige selbst am Ort blieben, konnte ich doch beobachten, dass eine der Fliesen über mehr als 200 m bis an die Uferkante beim Steg des dänischen Ruderklubs verdriftet wurde (Abb.3, Foto 1).

Ein bedeutender abiotischer Faktor in der Flensburger Förde ist der schwankende Salzgehalt. Viele marine Organismen gedeihen bei Salzgehalten unter 30 ‰ nicht mehr optimal. So werden nach Gruner (1993c) Miesmuscheln in der Ostsee nicht länger als 3,8 cm. Stresemann differenziert stärker und erwähnt Miesmuscheln bis zu einer Länge von 10 cm, wobei in der Ostsee bei Travemünde Exemplare von max. 6 cm Länge gefunden wurden (Stresemann 1986). Die größte Miesmuschel, die je gefunden worden ist, gibt Willmann mit 22,8 cm an (Willmann 1989).

Samtleben fand in der Kieler Förde zwar auch noch größere Muscheln, bis zu 8 cm Länge (Samtleben 1977), die allerdings auch schon wesentlich älter waren als das Riff. Bei meinen Untersuchungen fand ich zahlreiche Exemplare von 4 x 2 cm (Abb.15). Alle Muscheln, die auf dem Riff vorkommen, konnten aufgrund des Datums der Riffschüttung zu dem Zeitpunkt der Untersuchung nicht älter als 21 Monate sein.

Für die Besiedlung des künstlichen Riffes dürfte entscheidend sein, dass der Salzgehalt auf der landseitigen Flanke durch den Einfluss des Lachsbaehes besonders stark absinken kann. Besonders nach starken Regenfällen kann sehr viel Süßwasser einströmen. Durch das Riff kann es möglicherweise sogar zu einem Süßwasserstau kommen. Eine Folge davon dürfte sein, dass sich Seescheiden (*Cionia intestinalis*) bisher nur auf der seeseitigen Flanke des Riffs ansiedeln konnten.

Ein einschneidendes Ereignis für die Besiedlungsfolge war das durch Sauerstoffmangel bedingte Absterben vieler Riffbesiedler im Sommer 2002. Die erneute Ansiedelung erfolgte jedoch wesentlich schneller als nach der Neuanlage. Dies hängt damit zusammen, dass der Mikofilm nur unwesentlich beeinflusst wurde, und dass eventuell auch Gehäuse und andere Teile von abgestorbenen Besiedlern ein günstiges Substrat für Neubesiedlung lieferten.

## 6.2 Unterschiede zwischen verschiedenen Riffteilen

Die Aussagen, die hierzu gemacht werden können, beruhen vor allem auf der Beprobung durch zwei in 5 m und 8 m ausgelegte Fliesen sowie auf Steinproben. Aus den Ergebnissen kann man schließen, dass der Bewuchs auf den Fliesen sich mit dem der großen Steine weitgehend deckt. Die Fotos weiterer „Fotoprobeflächen“ liefern ebenfalls eine Bestätigung dieser Aussage. Rückschlüsse aus den quantitativen Daten, die von den Fliesen gewonnen wurden, lassen sich deshalb auf das ganze Riff ausweiten.

Bei fast allen Organismen ist eine höhere Dichte auf der oberen Fliese zu verzeichnen. Ursachen dürften der im allgemeinen höhere Sauerstoffgehalt und der höhere Lichtgenuss im oberen Riffbereich sein.

Lediglich bei den Miesmuscheln konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (Chi-Quadrat-Test, Abb. 14, Tab. 7).

Dies hat vermutlich komplexe Ursachen. Schon aus der Verbreitungsgrenze der Miesmuschel in der Ostsee, die mit einem Salzgehalt von ca. 5‰ korreliert (Schramm und Nienhuis 1996) (Abb. 1), geht hervor, dass starke Salzkonzentrationschwankungen vermutlich keinen großen Einfluss auf die Muscheln haben. Wie schon oben ausgeführt, sind niedrige O<sub>2</sub>-Konzentrationen sicherlich gefährlicher, zum Teil können sich die jungen Muscheln aktiv durch Byssusfäden - Floating aus solchen Regionen entfernen, ebenso schnell ist aber auch eine Neubesiedlung möglich. Eine große Rolle dürfte die Konkurrenz mit anderen Besiedlern darstellen (vgl. Reise, Asmus und Asmus 1993). Dies würde erklären, dass sich besonders dichter Muschelbewuchs (Girlandenbildung) in den Nischen aneinandergrenzender Steinblöcke findet. Ein weiteres Ergebnis ist, dass sich viele Miesmuscheln an Unterseiten und schwer zugänglichen Stellen finden. Dies lässt sich auf den Fraßdruck durch Seesterne und Strandkrabben zurückführen.

Die insgesamt geringere Besiedlungsdichte auf den Steinproben – sie gilt für alle größeren Aufwuchsorganismen – hängt vermutlich damit zusammen, dass die kleinen Steine, die für die Beprobung verwendet wurden, durch Strömungen und Brandung immer wieder ihre Lage verändern. Künftig sollte man nach einer Steinschüttung Probeflächen einbauen, die nicht durch die Strömung bewegt werden und leicht zu erreichen und zu transportieren sind.

## 6.3 Fische

Riffe zeichnen sich in allen Meeren durch einen größeren Fischreichtum aus als die Bereiche über offenen Weich- oder Sandböden. Eine solche Konzentration konnte durchaus auch an dem künstlichen Riff vor dem Ostseebad beobachtet werden.

Bei allen Tauchgängen wurden die Fische registriert und ihr Vorkommen und ihre annähernde Anzahl notiert (Tab. 9a). Es ist deutlich zu erkennen, dass einige Fische sehr oft anzutreffen sind, während andere wie z. B. der Steinbutt oder die Dorsche nicht immer anwesend sind.

Die häufigen Schwarzgrundeln wurden bei einem Tauchgang durch Zählung erfasst (Tab. 8). Man konnte beobachten, dass das Riff von Fischen als Nahrungsquelle und Rückzugsort oder eventuell auch als Brutplatz angenommen wurde. Beim Tauchgang am 13. Oktober 2003 schwammen tausende junger Sandgrundeln über dem Riff.

Verschiedene Fischarten haben unterschiedliche Ansprüche. Um die Anzahl der verschiedenen Fischarten zu erhöhen, sollten an einem künstlichen Riff verschiedene Möglichkeiten angeboten werden. Höhlen für z. B. junge Dorsche, kleine Vorsprünge ähnlich einer Bucht für Aalmuttern, Seeskorpione und Fischen mit ähnlichen Ansprüchen und auch Unterstände mit einem sandigen Boden für Plattfische wären sicherlich hilfreich und könnten vielleicht das Artenspektrum erhöhen oder zumindest stabilisieren. Das Riff sollte auch nicht abrupt aufhören – auslaufende Steine wären für Grundeln auch ein gutes Revier. Diese Maßnahmen kann man bei einer Steinschüttung nicht direkt steuern. Unmittelbar danach könnte man das Riff bei einem Tauchgang gezielt verändern. Es sollten Steine unterschiedlicher Größe verwendet werden, um eine eventuelle Umgestaltung zu ermöglichen.

## 6.4 Das künstliche Riff als Ausgleichsmaßnahme

Inwieweit durch Steinschüttungen in der Flensburger Innenförde tatsächlich ein Lebensraum geschaffen werden könnte, wie er in früheren Zeiten in größeren Ausdehnungen für die Förde charakteristisch war, inwieweit also tatsächlich eine Regeneration eines ursprünglichen Zustandes gelingen könnte, lässt sich schon deshalb schwer beurteilen, weil entsprechende Vergleichsuntersuchungen über den früheren Zustand fehlen. Erz hat schon 1983 auf die grundsätzlichen Probleme aufmerksam gemacht, die mit der möglichen Ausgleichbarkeit von Eingriffen verbunden sind. Auch Primack (1995) wies auf diese Schwierigkeiten hin.

Vermutlich war die frühere Situation in der Förde nicht nur gekennzeichnet durch mehr Hartsubstrat, sondern auch geprägt durch geringere Eutrophierung, klareres Wasser und keine oder viel geringere Sauerstoffdefizite in den tieferen Bereichen. Damit kann man von einem größeren Reichtum an Makroalgen und Seegräsern mit allen damit im Zusammenhang stehenden biozönotischen Folgen ausgehen. Eine solche Regeneration kann natürlich durch eine Maßnahme dieses geringen Ausmaßes und dieser engen lokalen Begrenzung keinesfalls erreicht werden. Möglicherweise könnten zahlreiche „Kunstriffe“ eine solche wirkliche Regeneration erleichtern, doch lässt sich dies durch die vorliegende Untersuchung nicht klären. Eher schon lässt sich beurteilen, ob durch die Maßnahme eine ökologische Verbesserung des Lebensraumes Flensburger Innenförde im Sinne einer Stabilisierung und einer Erhöhung der Biodiversität erreicht werden könnte.

## 6.5 Konsequenzen für den Naturschutz

Aus den Ergebnissen des zweijährigen Monitoring lassen sich für weitere Maßnahmen einige Folgerungen ableiten:

### Erweiterung des künstlichen Riffs am Ostseebad

Eine Erweiterung des Riffs wäre sehr zu begrüßen, da die Stabilität des Ökosystems dadurch erhöht werden könnte. Das jetzige Riff ist mit einer maximalen Ausdehnung von 15 m sehr klein. Dabei sollte man jedoch einige Punkte beachten:

- Die Steinschüttung sollte nicht weiter parallel zur Uferlinie vorgenommen werden, da dadurch die Barriere für das durch den Lachsbach zufließende Süßwasser weiter verstärkt würde.
- Es wäre sinnvoll, eine Riffverlängerung in einem Winkel von etwa 100-110° zum jetzigen Riffverlauf in Richtung Ufer vorzunehmen. Eine seeseitige Verlängerung wäre nicht ratsam, da schnell zu große Wassertiefen erreicht würden.
- Die zusätzliche Steinschüttung sollte am südwestlichen (dem Lachsbacheinfluss näher liegenden) Ende vorgenommen werden, damit das einströmende Süßwasser am Riff vorbei geführt wird und sich nicht am Riff sammelt.

### **Rifftiefe**

Die derzeitige Situation der Innenförde lässt eine Rifftiefe von mehr als 9 m nicht als sinnvoll erscheinen, da Sauerstoffmangel und Lichtmangel die Besiedlung beeinträchtigen. Demgegenüber wäre es sehr vorteilhaft, wenn die Oberkante des Riffs näher an die Wasseroberfläche heranreichen würde. Selbst ein zeitweiliges Trockenfallen bei niedrigsten Wasserständen wäre kein Schaden. Wie die jetzige Besiedlung mit Makroalgen an dem Uferbereich zwischen Wassersleben und dem Ostseebad zeigt, würden sich an einem solchen Riff sicherlich Tange ansiedeln.

## **Riffgestaltung**

Für die Besiedlung des Riffes ist die relative Stabilität des Bauwerkes von Vorteil. Es wäre deshalb zu überlegen, wie im Kapitel 6.3 bei den Fischen schon angedacht worden ist, ob nicht größere und auch kleinere Steine versenkt werden könnten. Auch eine Variation der Riffhöhe und die Anlage von Buchten und Vorsprüngen statt geradliniger Schüttung würden vermutlich Vorteile bringen, weil sie mehr unterschiedliche Kleinhabitats schaffen würden.

Abzuraten wäre von Eingriffen in die Besiedlungsfolge, also das „Pflanzen“ von Algen oder das künstliche Ausbringen von Lebewesen. Solche Versuche sind nicht nur sehr aufwendig, sie stellen auch einen starken Eingriff dar, der die natürliche Sukzession unterbricht, auf lange Sicht aber meistens nicht grundsätzlich verändert.

Wenn man zum Beispiel große Braunalgen wie Blasentang oder Laminarien ansiedeln würde, so würden sie vermutlich schnell wieder verschwinden. Ein Absterben der angepflanzten Organismen könnte den Lebensraum zusätzlich belasten. Sind die Bedingungen günstig, dann erfolgt auf natürlichem Wege eine rasche Besiedlung.

## **Weitere Riffe**

Die Entwicklung des künstlichen Riffs vor dem Ostseebad kann insgesamt als gelungener Versuch gewertet werden, durch einen verhältnismäßig einfachen Eingriff einen Regenerationsprozess in Gang zu setzen. Die früher durch Steinfischerei entnommenen Steine wurden mit der Natursteinschüttung zurückgegeben. Die Besiedlung verlief weitgehend entsprechend den Erwartungen, selbst eine Phase mit großem Sauerstoffmangel, während der viele Organismen abstarben, konnte die Sukzession nur kurzfristig unterbrechen.

Deshalb wäre der Bau weiterer Riffe sinnvoll. Bei knappen Mitteln sollte man zunächst solche Standorte auswählen, die sich vom jetzigen deutlich unterscheiden. Interessant wäre zum Beispiel ein Bereich mit deutlich stärkeren Strömungen, wie es

hier im Bereich von Neukirchen anzutreffen ist. Auch eine deutlich anders gestaltete Küste – z. B. auf der anderen Fördeseite bei Solitüde oder Meierwik - könnte neue Erkenntnisse bringen.

Dabei wäre es sinnvoll, gezielte Untersuchungen zu einzelnen Fragen anzustellen, die sich durch diese Arbeit ergeben haben.

Es wäre interessant unterschiedliche Standorte mit unterschiedlichen Bedingungen zu untersuchen und zu vergleichen. In einem Bereich mit einer stärkeren Strömung dürfte ein Sauerstoffmangel nicht in dem Maße zu erwarten sein.

Es wäre auch interessant ein Riff bis an die Wasseroberflächen aufzuschütten, um eine Besiedlung mit Makroalgen zu dokumentieren. Bei so einem Riff würde man vermutlich deutliche Vertikalgrenzen der Besiedlung unterschiedlicher Organismen erkennen können.

Bei einer Rifferweiterung wäre es denkbar einen Teil des Riffs für einen bestimmten Zeitraum mit einer Gaze abzudecken, um beispielsweise eine Entwicklung ohne Strandkrabben und Seesterne zu dokumentieren.

Durch neue Erkenntnisse würden neue Erfahrungen gesammelt werden, die bei ähnlichen Projekten einfließen könnten.

## **Zukünftige Entscheidungen**

Die Maßnahme wurde möglich, weil Gelder für Zwecke des Ausgleichs zur Verfügung gestellt werden mussten. Wer welchen Beitrag tätigen durfte, darf aus Gründen des Datenschutzes nicht öffentlich diskutiert werden. Deshalb wäre es sinnvoll, bei zukünftigen Maßnahmen den Kreis der Entscheidungsträger sinnvoll zu erweitern.

## 7. Literatur

Barnes H, Powell HAT (1953) The growth of *Balanus balanoides* (L.) and *B. crenatus* Brug. under varying conditions of submersion. *J Mar Biol Ass* 32:107-128

Barnes H (1971) A review of some factors affecting settlement and adhesion in the cyprids of some common barnacles. In Manly RS ed: *Adhesion in biological systems*. Acad. Press, New York: 89-111

Bundesnaturschutzgesetz – Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (1998)

BUND Flensburg (2003) Abschlussbericht über Gewässeruntersuchungen an einigen Zuflüssen der Flensburger Förde 1991-2000. Unveröffentlicht

Buschbaum C, Saier B (2003) Biodiversität und nachhaltige Nutzung - Ballungszentrum Muschelbank. *Biologie in unserer Zeit* 2: 100-106

Buschbaum C (2002) Siedlungsmuster und Wechselbeziehungen von Seepocken (*Cirripedia*) auf Muschelbänken (*Mytilus edulis*) im Wattenmeer. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung* 2002, 408, 143 Seiten

DeHaas W, Knorr F (1990) *Was lebt im Meer an Europas Küsten?* Albert Müller, Rüsliko-Zürich, Stuttgart, Wien, 390 Seiten

Diehl M, Diehl D (1986) *Naturschutzgebiete an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins*. Verein Natur und Heimat. Heft 19/20, 165 Seiten

Drebes G (1974) *Marines Phytoplankton*. Thieme, Stuttgart, 186 Seiten

Erz W (1983) Grundsätzliche Probleme der Ausgleichbarkeit von Eingriffen. *Laufener Seminarbeiträge* 9: 14-18

Fioroni P (1998) *Evertebratenlarven des marinen Planktons* VNW, Verl. Natur und Wissenschaft. Solingen, 156 Seiten

Götting K-J, Kilian EF, Schnetter R (1982) Einführung in die Meeresbiologie 1 Marine Organismen Marine Biogeographie. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 179 Seiten

Gruner H-E (Hrsg.) (1993a) Lehrbuch der speziellen Zoologie Band I Wirbellose Tiere 1. Teil Einführung, Protozoa, Placozoa, Porifera bearbeitet von Grell KG, Gruner H-E, Kilian EF. 5. Auflage, Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, New York, 318 Seiten

Gruner H-E (Hrsg.) (1993b) Lehrbuch der speziellen Zoologie Band I Wirbellose Tiere 2. Teil Cnidaria, Ctenophora, Mesozoa, Plathelminthes, Nemertini, Entoprocta, Nemathelminthes, Priapulida bearbeitet von Hartwich G u.a. 5. Auflage, Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, New York, 621 Seiten

Gruner H-E (Hrsg.) (1993c) Lehrbuch der speziellen Zoologie Band I Wirbellose Tiere 3. Teil Mollusca, Sipunculida, Echiurida, Annelida, Onychophora, Tardigrada, Pentastomida bearbeitet von Gruner H-E u.a. 5. Auflage, Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, New York, 608 Seiten

Higgins RP, Thiel H (1988) Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Inst Press, Washington, DC, 488 pp

Hoek C van den, Jahns HM, Mann DG (1993) Algen. 3. neubearbeitete Auflage, Georg Thieme, Stuttgart, New York, 411 Seiten

Jüdes U et al (1988) Naturschutz in Schleswig-Holstein. Wachholtz, Neumünster, 292 Seiten

Kilian R (1997) Marine Muscheln und Schnecken. Ulmer, Stuttgart, 340 Seiten

Køie M, Kristiansen A (2001) Der große Kosmos Strandführer Tier und Pflanzen in Nord- und Ostsee. Franckh-Kosmos, Stuttgart, 350 Seiten

Köster R (1996) Entstehung der Ostsee. Seite 12-17. In: G. Rheinheimer (Hrsg.) Meereskunde der Ostsee. 2. Auflage Springer, Berlin, Heidelberg, 334 Seiten

Kornmann P, Sahling P-H (1983a) Meeresalgen von Helgoland Benthische Grün-, Braun- und Rotalgen. Veränderter Neudruck, Helgol. wiss. Meeresunters. 29, 1-289

Kornmann P, Sahling P-H (1983b) Meeresalgen von Helgoland: Ergänzung Helgol. Meeresunters. 36, 1-65

Kornmann P, Sahling P-H (1994) Meeresalgen von Helgoland: Zweite Ergänzung Helgol. Meeresunters. 48, 365-406

Kühlmann D et al (1993) Wirbellose Tiere Europas. Neumann, 444 Seiten

Landesnaturenschutzgesetz des Landes Schleswig-Holstein (2003) – Gesetz zum Schutz der Natur, Landesnaturenschutzgesetz vom 18. Juli 2003

Lamprecht, J (1999) Biologische Forschung: Von der Planung bis zur Publikation. Neubearb. Auflage, Filander, Fürth, 174 Seiten

Lozán J et al. (Hrsg.) (1996) Warnsignale aus der Ostsee. Parey, Berlin, Wien. 385 Seiten

Lüning, K (1985) Meeresbotanik Verbreitung, Ökophysiologie und Nutzung der marinen Makroalgen. Thieme, Stuttgart, New York, 375 Seiten

Luther G (1976a) Bewuchsuntersuchungen auf Natursteinsubstraten im Gezeitenbereich des Nordsylter Wattenmeeres: Algen. Helgoländer wiss. Meeresunters. 28, 318-351

Luther G (1976b) Bewuchsuntersuchungen auf Natursteinsubstraten im Gezeitenbereich des Nordsylter Wattenmeeres. Helgoländer wiss. Meeresunters. 28, 145-166

Luther G (1987) Seepocken der deutschen Küstengewässer. Helgoländer Meeresuntersuchungen 41: 1-43

Matthäus W (1996) Temperatur, Salzgehalt und Dichte. Seite 75 – 81. *In*: G. Rheinheimer (Hrsg.) Meereskunde der Ostsee. 2. Auflage Springer, Berlin, Heidelberg, 334 Seiten

Meyer U, Valentin C (1993) Eutrophierung der Flensburger Förde. Seite 43-48 *In*: U. Meyer, K. Schilke (Hrsg.) Unterricht Biologie Themenheft (186) Ostsee. Erhard-Friedrich Verlag, Seelze, 57 Seiten

Ott J (1996) Meereskunde. 2., neubearbeitete Auflage. UTB Ulmer Stuttgart, 424 Seiten

Plachter H (1991) Naturschutz. Korrigierter Nachdruck der 1. Auflage, UTB Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, 463 Seiten

Pankow H (1990) Ostseealgenflora. Gustav Fischer, Leipzig, 648 Seiten

Plate S, Husemann E (1994) Identification guide to the planktonic polychaete larvae around the island of Helgoland (German Bight). *Helgoländer Meeresunters.* 48: 1-58

Postel L (1996) Zooplankton. Seite 150-160 *In*: G. Rheinheimer (Hrsg.) Meereskunde der Ostsee. 2. Auflage Springer, Berlin, Heidelberg, 334 Seiten

Rangeley RW, Thomas MLH (1987) Predatory behaviour of juvenile shore crab *Carcinus maenas* (L.). *J exp mar Biol Ecol* 108: 191-197

Reise K, Asmus R, Asmus H (1993) Ökosystem Wattenmeer – Das Wechselspiel von Algen und Tieren beim Stoffumsatz. *Biologie in unserer Zeit* 5: 301-307

Remane A, Storch V, Welsch U (1986) Systematische Zoologie. 3., bearb. Aufl., Gustav Fischer, Stuttgart, New York, 698 Seiten

Rheinheimer G (Hrsg.) (1996) Meereskunde der Ostsee. 2. Auflage Springer, Berlin, Heidelberg, 334 Seiten

Rothmaler W (Hrsg.) (1983) Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD Band 1 Niedere Pflanzen - Grundband. 2. Auflage, Volk und Wissen, Berlin, 811 Seiten

Samtleben C (1977) Klappenwachstum und Entwicklung von Größenverteilungen in Populationen von *Mytilus edulis* L. *Myeniana* 29: 51-69 (Beitrag 182 aus dem Sonderforschungsbereich 95 der Universität Kiel)

Sauermost R (Projektleitung) et al. (1994) Lexikon der Biologie (1-9). Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akademischer Verlag

Schramm W (1996) Veränderungen von Makroalgen- und Seegrasbeständen. (Seite 150-157) *In*: J. Lozán et al. (Hrsg.) (1996) Warnsignale aus der Ostsee. Parey, Berlin, Wien. 385 Seiten

Schramm W, Nienhuis PH (1996) Ecological studies, vol. 123: Marine benthic vegetation – recent changes and the effects of eutrophication. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 465 pp

Siedler G (1982) SI-Einheiten in der Ozeanographie. Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der CAU Kiel Nr. 101. 30 Seiten

Smed P, Ehlers J (2002) Steine aus dem Norden Geschiebe als Zeugen der Eiszeit in Norddeutschland. 2. verb. Auflage, Gebrüder Borntraeger, Stuttgart, 194 Seiten

Sloan NA (1980) Aspects of the feeding biology asteriods. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 18:57-124

Sommer U (1998) Biologische Meereskunde. Springer, Berlin, Heidelberg, 475 Seiten

Ssymank A, Hauke U, Rückriem C, Schröder E unter Mitarbeit von D. Messer (1998): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. - BfN-Handbuch zur Umsetzung

der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). - Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 560 S.

Stresemann E (Hrsg.) (1986) Exkursionsfauna für die Gebiete der DDR und der BRD Wirbellose I. Volk und Wissen, Berlin, 494 Seiten

Tardent P (1993) Meeresbiologie Eine Einführung. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Thieme, Stuttgart, New York, 296 Seiten

Theede H (1996) Tiere. Seite 209-216. *In*: G. Rheinheimer (Hrsg.) Meereskunde der Ostsee. 2. Auflage Springer, Berlin, Heidelberg, 334 Seiten

Valentin C (1989) Die Ostsee am Boden. *In*: Geo 5, 1989, S. 166-176.

Wahl M (1989) Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Mar Ecol Prog Ser* 58: 175-189

Wahl M, Hoppe K (2002) Interactions between substratum rugosity, colonization density and periwinkle grazing efficiency. *Mar Ecol Prog Ser* 225: 239-249

Willmann R (1989) Muscheln und Schnecken der Nord- und Ostsee. Neumann-Neudamm, Melsungen, 310 Seiten

## **Verwendete Internetseiten**

<http://www.umweltrat.de>      Stand 15. Februar 2004

<http://www.bsh.de>      Stand 15. Februar 2004

## Verzeichnis der Abbildung

- Abb. 1 Salinitätsgradienten und Verbreitungsgrenzen einiger Schlüsselarten in der Ostsee (verändert nach Schramm und Nienhuis 1996).
- Abb. 2 Lage des Ostseebades
- Abb. 3 Lage des künstlichen Riffs im Ostseebad Flensburg
- Abb. 4 Skizzen des künstlichen Riffs im Ostseebad der Flensburger Förde
- Abb. 5 Position der Drahtkäfige mit Fliesen am künstlichen Riff
- Abb. 6 Fotoprobeblächen auf dem künstlichen Riff
- Abb. 7 Copepoden der Fliesenproben auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet
- Abb. 8 *Polychaeten* (und Larven) der Fliesenproben auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet
- Abb. 9 *Mytilus edulis* pro 1 m<sup>2</sup> auf den Fliesen der verschiedenen Proben
- Abb. 10 Häufigkeiten von *Balanus improvisus* von den Fliesen auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet
- Abb. 11a Anzahlen pro 1 m<sup>2</sup> von *Balanus improvisus* und *Mytilus edulis* (obere Grafik)
- Abb. 11b Anzahlen pro 1 m<sup>2</sup> *Balanus improvisus* der ersten drei Fliesenproben (untere Grafik)
- Abb. 12 Signifikante Unterschiede im Bewuchs der Ober- und Unterseite der oberen Fliese vom 13.10.03
- Abb. 13 Signifikante Unterschiede im Bewuchs der Ober- und Unterseite der unteren Fliese vom 13.10.03
- Abb. 14 Prozentuale Flächendeckung gemäß der Aufteilung der untersuchten Fliesen vom 13. Oktober 2003
- Abb. 15 Miesmuschelprobe vom 27.08.03
- Abb. 16 Vergleich der zweiten Steinproben vom 13. Oktober 2003
- Abb. 17 Wassertemperaturen in der Flensburger Förde im Bereich des Ostseebades
- Abb. 18 Sauerstoffgehalt im Bereich des Ostseebades der Flensburger Förde
- Abb. 19 Salzgehalt im Bereich des Ostseebades der Flensburger Förde
- Abb. 20 a Übersichtskarte des Riffs (Aufsicht) mit markanten Punkten am Riff
- Abb. 20 b Seitenansicht und Siedlungshöhe der Seescheiden und der Miesmuscheln am Riff
- Abb. 20 c Querschnitt des Riffs

## Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1 Systematischer Überblick der gefundenen Organismengruppen
- Tab. 2 Dichte der Individuen auf den Fliesen
- Tab. 3 Dichte der Individuen auf den Fliesen auf 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet (auf ganze Individuen gerundet)
- Tab. 4 Minimale Werte der Prüfgröße Chiquadrat bei gegebener Anzahl Freiheitsgrade *FG* für die in der obersten Zeile angegebene Signifikanzgrenzen (p-Werte)
- Tab. 5 Ergebnisse der Untersuchung zur Flächendeckung auf der oberen Fliese vom 13. Oktober 2003
- Tab. 6 Ergebnisse der Untersuchung zur Flächendeckung auf der unteren Fliese vom 13. Oktober 2003
- Tab. 7 Ergebnisse der Untersuchung zur Flächendeckung der Fliese vom 13. Oktober 2003
- Tab. 8 Ergebnis der Untersuchung der Sichtfassung vom 27. August 2003
- Tab. 9 a Liste der gesichteten Tierarten bei den Tauchgängen
- Tab. 9 b Liste der gesichteten Algen bei den Tauchgängen
- Tab. 10 Ergebnisse der Steinuntersuchungen
- Tab. 11 Daten der Stadt Flensburg, gemessen Höhe Marine / Ostseebad vom Klärwerk Flensburg
- Tab. 12 Zusammenfassende Übersicht der Besiedlung am Riff

## Verzeichnis der Fotos

- Foto 1 Blick vom Ostseebad Flensburg in nordwestlicher Richtung Lage des künstlichen Riffs (am rechten Bildrand) (Foto: Barnekow)
- Foto 2 Probeflächen auf Drahtgestellen vor dem Ausbringen (Foto: Barnekow)
- Foto 3 Fliesenkäfig auf dem künstlichen Riff (Foto: Thomsen)
- Foto 4 Selbstgebautes Fliesengitter aus Maschendraht zur Quantifizierung des Flächenbewuchses
- Foto 5a und 5b *Hydrozoen* aus der Familie der *Campanulariidae* (Fotos: Barnekow)
- Foto 6 (links) Kopfbende von *Enoplus meridionalis* (Foto: Barnekow)
- Foto 7 (rechts) *Enoplus meridionalis* (Foto: Barnekow)
- Foto 8 Miesmuscheln auf dem Riff (Foto Thomsen)
- Foto 9 Polychaetenlarve mit Bengalrosa angefärbt (Foto: Barnekow)
- Foto 10 Ruderfußkrebs (Foto: Barnekow)
- Foto 11 Naupliuslarve von *Balanus improvisus* Darwin (Foto: Barnekow)
- Foto 12 (rechts) Seepocken (*Balanus improvisus*) auf dem Riff (Foto: Thomsen)
- Foto 13 Brackwasser- Felsgarnelen (*Palaemonetes varians* Leach) auf dem Riff (Foto: Thomsen)
- Foto 14 Strandkrabbe (*Carcinus maenas* L.) auf dem Riff (Foto: Thomsen)
- Foto 15 Seestern (*Asterias rubens*) frisst Miesmuschel (*Mytilus edulis*) (Foto: Barnekow)
- Abb. 16 Seescheide (*Ciona intestinalis*) (Foto: Thomsen)
- Foto 17 *Distephanus speculum* Ehrenberg (Foto: Barnekow)
- Fotos 18 Kieselalgen vom Riff (Fotos: Barnekow)
- Fotos 19 Fotoprobeflächen PI - PIV am 4. Mai 2003 (Fotos: Thomsen)
- Fotos 20 Fotoprobeflächen PI - PIV am 17. Juni 2003 (Fotos: Thomsen)
- Fotos 21 Fotoprobeflächen PI - PIV am 27. August 2003 (Fotos: Thomsen)
- Foto 22 Neben der Probefläche 1 am 27.04.2002 (Foto Thomsen)
- Foto 23 Neben der Probefläche 1 am 27.08.2003 (Foto Thomsen)
- Foto 24 Blickrichtung NW über das Riff am 27. 08.2003 (Foto Thomsen)
- Foto 25 Rotalge auf dem Riff am 27.08.2003 (Foto Thomsen)

## Danksagungen

- Zunächst bedanke ich mich bei meiner Frau Petra und meiner Tochter Marieke für die unermüdliche Geduld, das Verständnis und die Unterstützung.
- Bei Prof. Dr. Wilfried Probst bedanke ich mich für die Vergabe des Themas, die fachliche, unkomplizierte und freundschaftliche Beratung und dafür, dass er mich immer unterstützt und bestärkt hat und ich jederzeit auf seine Hilfe zurückgreifen konnte.
- Herrn Prof. Dr. Andreas Christian danke ich dafür, dass er sich für mich so stark eingesetzt hat und immer freundlich den nötigen Druck ausübte damit ich die Arbeit zügig abschließe.
- Herrn Prof. Dr. Karsten Reise danke ich für die freundliche Beratung, welche der Arbeit den richtigen Rahmen gegeben hat.
- Der Universität Flensburg danke ich für die Unterstützung durch die Stundenermäßigung, die ich bekommen habe.
- Ohne Herrn Stephan Thomsen wäre die Idee dieser Ausgleichsfläche nicht verwirklicht worden. Seinen Erfahrungen in der Flensburger Förde ist es zu verdanken, dass dieses Riff entstanden ist. Für die unermüdliche Geduld und die Begleitung bei allen Tauchgängen bedanke ich hiermit auch bei Stephan Thomsen.
- Herrn Dr. Alexander Kohly danke ich für die vielen Gespräche und die fachliche und freundschaftliche Unterstützung.
- Herr Rene Stachowitz half mir bei der Umsetzung der Ideen einiger Methoden und bei allen technischen Fragen. Vielen Dank.
- Frau Sabine Ruff unterstützte mich bei anfallenden Druckerarbeiten unkompliziert und schnell – dafür danke ich auch.
- Bei Herrn Werner Rux bedanke ich mich für den schnellen und zuverlässigen Druck und das Binden dieser Arbeit.
- Bei Herrn Prof. Dr. Willfried Janßen bedanke ich mich für die schnelle und zuverlässige Unterstützung bei Fragen bezüglich des Naturschutzes.
- Frau Wüstenhagen gebührt Dank für die Bereitstellung der Daten des Klärwerks der Stadt Flensburg.

- Bei Herrn Martin Lembke aus der Bibliothek des Instituts für Meereskunde in Kiel bedanke ich mich für die unkomplizierte und schnelle Bereitstellung von Literatur.
- Bei meiner Mutter Rosemarie Böhrnsen und ihrem Mann Georg bedanke ich mich für die Unterstützung und die Bereitstellung von Tauchequipment.
- Bei meinem Vater Rolf Barnekow und seiner Familie bedanke ich mich für die Unterstützung und den Taucheranzug.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation nach Form und Inhalt, abgesehen von der Beratung durch meine akademischen Lehrer, selbständig angefertigt und außer den angegebenen keine weiteren Hilfsmitteln benutzt habe.

Flensburg, den