

Endbericht

Ökologische Begleitforschung zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nord- und Ostsee (BEOFINO)-

Arbeitspaket 2: Prozesse im Nahbereich der Piles - Ostsee

(Förderkennzeichen: 327526)

Dr. Michael L. Zettler & Dr. Falk Pollehne, Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Biologische Meereskunde, Seestr. 15, 18119 Rostock

OSTSEE (IOW)

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Seit dem Beginn der Planungen von Offshore-Windkraftanlagen werden Bedenken laut, dass beim Bau größerer Anlagenfelder für die marine Umwelt negative ökologische Folgen entstehen könnten. Neben den direkten Auswirkungen durch Betriebsgeräusche und rotierende Teile, die vor allem Vögel, Fledermäuse, Fische und Meeressäuger betreffen könnten, werden potentielle langfristige Wirkungen auf die benthische Umwelt kritisch diskutiert. Hier stehen allgemein die Fragen im Mittelpunkt, ob das natürliche benthische Habitat im Umfeld der Anlagen durch veränderte Strömungsbedingungen stark verändert wird und ob die direkte Wirkung der Strukturen als künstliches Besiedlungssubstrat richtig eingeschätzt wird.

Auf diese beiden Problemfelder zielte das Forschungsvorhaben AP2 mit seinen Untersuchungen ab.

Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, die Kenntnisse des Einflusses solcher WEA auf niedrige trophische Ebenen des Benthals zu erweitern. Ziel des Arbeitspaketes war die Untersuchung der Prozesse im Nahbereich der Fundamente (Piles) der Windräder.

Das Institut für Ostseeforschung Warnemünde ist im Projekt BEOFINO seit 3 Jahren zusammen mit dem Alfred-Wegener-Institut (Bremerhaven) in verschiedenen Themenbereichen tätig. Der Schwerpunkt des AP 2 in der Ostsee lag hauptsächlich auf der Analyse von Sukzessionen auf Hartsubstraten und der Veränderung von epibenthischen Gemeinschaften. Das Vorhaben begann Anfang 2003.

In enger Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner sollten auf den geplanten Messplattformen in Nord- und Ostsee Felduntersuchungen und -experimente durchgeführt werden, um die speziellen Fragestellungen zu möglichen Auswirkungen von Offshore-Windenergieparks vor Ort zu klären, die nicht im Rahmen von ökologischen Begleituntersuchungen durch potentielle Betreiber validiert werden konnten. Sie sollten auf dem

schon erfolgten Projekt OffshoreWEA des UBA aufbauen (siehe Antrag). Dabei handelte es sich im AP 2 (Ostsee) in der Hauptsache um Untersuchungen und Experimente die Ansiedlungsmechanismen von Benthosorganismen unter veränderten hydrodynamischen Gegebenheiten und Veränderungen in der Substratstruktur untersuchten, um Zusammenhänge zwischen der Errichtung von Windenergieanlagen und der möglichen Veränderung von Lebensgemeinschaften des Meeresbodens kausal erklären zu können.

Durch technische Verzögerungen kam es in der Projektphase zu einer verspäteten Aufstellung der Messplattform in der Nordsee und zum völligen Wegfall einer solchen in der Ostsee. Leider konnten durch den Wegfall die ursprünglich geplanten Untersuchungsziele in der Ostsee nur teilweise erreicht werden. Um die Studien dennoch voranzutreiben und die Projektziele verfolgen zu können, wurden die Untersuchungen in der Ostsee an Modellen (Miniaturbauten von Fundamenten, Bewuchsplattenexperimente) durchgeführt. Vor allem durch die konsequente Verfolgung dieser Modellansätze konnte in der Ostsee ein Großteil der Vorhabensziele dennoch erreicht werden. Es wurde versucht (soweit wie unter den geschilderten Randbedingungen möglich) alle Untersuchungen sowohl im Design als auch in der zeitlichen Auflösung möglichst umfassend mit den Aktivitäten durch das AWI in der Nordsee abzustimmen, um die Ergebnisse vergleichbar zu halten.

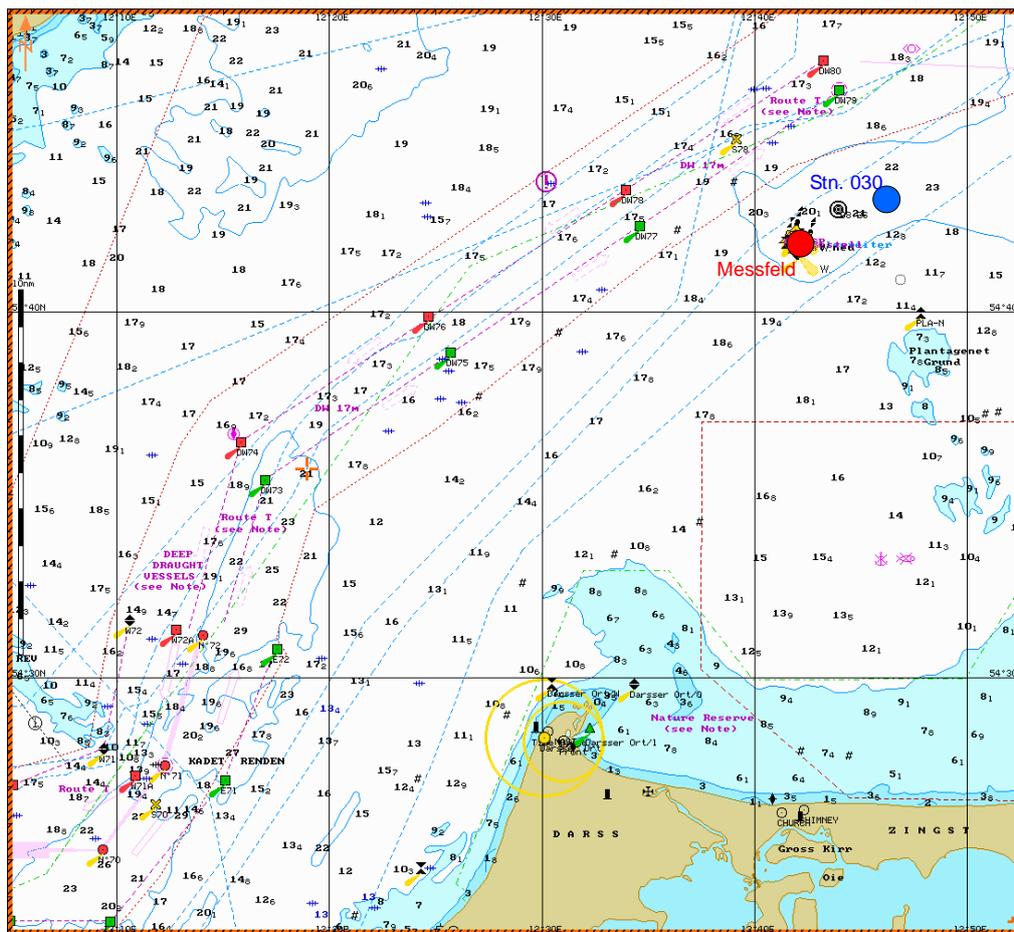
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Beim projektinternen Arbeitstreffen von BEOFINO am 24.01.2003 in Bremerhaven wurden die Projektpartner über Status und Planung der Arbeiten im IOW informiert. Die Durchführung des Arbeitspaketes 2 mit IOW-Beteiligung, der sich auf die benthologischen Prozesse im Nahbereich der Piles konzentriert, war an die Errichtung einer Forschungsplattform in der Ostsee gekoppelt. Auf dem Treffen wurde deutlich, daß die zeitlichen Perspektiven des Baus der Forschungsplattform Ostsee sich über die geplante Projektdauer hinaus verschieben, bzw. der Bau überhaupt in der Diskussion sei. Durch diese veränderten Grundbedingungen mußten die Versuchsansätze und der Zeitplan modifiziert werden.

2 Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Da die faunistischen und ökologischen Bedingungen in der Ostsee stark von denen in der Nordsee abweichen, ist eine einfache Übertragung von unter Nordseebedingungen erarbeiteten Ergebnissen nicht sinnvoll. Die den Anlagenbau in der Ostsee betreffenden Grundlagenuntersuchungen sollten daher auch unter Ostseebedingungen durchgeführt werden. Um dieses Projektziel zu erreichen, schlugen wir dem Projektträger daher folgendes Vorgehen vor, das auch im Zwischenbericht schon als Alternative vorgestellt wurde:



Karte 1: Positionierung des Messfeldes (Rot) vom IOW, wo der Stahlrohrzylinder und die Bewuchsleinen exponiert wurden. Die langjährige Monitoringstation (030) ist ebenfalls indiziert. Die Position des Stahlrohrsegmentes ist: 54° 41,764 N; 12° 42,085 E.

Im Rahmen einer Vorstudie, die auch das wissenschaftliche und technische Konzept der Untersuchungen an Forschungsplattformen in beiden Seegebieten prüfen und optimieren soll, wurde das schon bestehende Meßfeld des Institutes für Ostseeforschung an der Darsser Schwelle genutzt (**Karte 1**).

2.2 Ausbringung der Rohrkonstruktion und der Bewuchsplatten

Es wurde dort eine einfache Konstruktion im Bodenbereich ausgebracht, die aus unbeschichtetem Stahlblech besteht, um den für hydrodynamische Effekte im umgebenden Sediment wichtigen Sockelbereich der Plattform zu simulieren. Die Stahlkonstruktion (Durchmesser ca. 2,2 m und 2,5 m hoch) sollte eine Pile einer WEA simulieren (**Abb. 1**). Die veränderten hydrodynamischen Prozesse im Nahbereich der Konstruktion wurden durch visuelle (Video) und tauchergeführte Beprobungen untersucht. Neben dieser Konstruktion wurden in verschiedenen Tiefen der Wassersäule Eisenplatten an sogenannten Bewuchsleinen montiert, die die sukzessive Besiedlung durch Makrofauna erfassen sollten (**Abb.2**). Sowohl die Rohrkonstruktion als auch die Eisenplatten wurden erstmalig im April 2003 ausgebracht. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über das Ausbringen bzw. Beprobungen des Stahlrohsegmentes und der Bewuchsleinen im Projektzeitraum.



Abb. 1: Stahlrohrsegment, welches im April 2003 im Messfeld des IOW an der Darßer Schwelle ausgebracht wurde, um ein Fundament einer WEA zu simulieren.

Das Stahlrohrsegment besteht aus unbehandeltem Stahl und folgt somit den Ausführungen vom Germanischen Loyd zum Baumaterial der Fundamente für die geplante Meßplattform bzw. die Windkraftträder. Mit dieser einfachen Konstruktion sollten im Bodenbereich die hydrodynamische Effekte im umgebenden Sediment im wichtigen Sockelbereich der Plattform simuliert werden. Nach der Ausbringung erfolgte mit Hilfe eines ROV (Remotely Operated Vehicle) die visuelle Aufnahme auf Video und die Erfassung des status quo.

Neben dieser Stahlrohr-Konstruktion wurden in verschiedenen Tiefen der Wassersäule Eisenplatten montiert, die die sukzessive Besiedlung durch Makrofauna erfassen sollten. Die Eisenplatten (20 x 20 cm) bestanden ebenfalls aus unbehandeltem Stahl und wurden entlang einer Leine mit Auftriebskörpern im Abstand von 3, 6, 9, 12 und 15 m vom Grund befestigt. Die Auftriebskörper lagen ca. 5 m unter der Wasseroberfläche. Damit konnte die durch Wellengang verursachte Störung der Bewuchsplatten ausgeschlossen werden. Mit der Konstruktion sollten ebenfalls die Bedingungen in unterschiedlichen Wassertiefen eines Windradpiles nachgestellt werden, um die Unterschiede (in Abhängigkeit von Wassertiefe und damit von Salz- und Sauerstoffgehalt) in der Besiedlung untersuchen zu können. Es wurden 3 Leinen mit jeweils 5 Eisenplatten verankert.

2.3 Beprobung

Die Bergung der Besiedlungsplatten erfolgte in Abständen von 3 bis 4 Monaten durch den Einsatz von Tauchern (siehe Tab. 1). Die erste Leine mit 5 Bewuchsplatten wurde im August 2003 geborgen. Gleichzeitig wurden dann

durch die Taucher Videoaufnahmen gemacht, die sowohl den Bewuchs der Platten und des Stahlrohrzylinders als auch eventuelle Sedimentumlagerungen am Stahlzylinder dokumentieren sollten.

Tab. 1: Übersicht über die Tätigkeiten zur Untersuchung im AP 2 „Nahbereich der Piles“ im Messfeld des IOW an der Darßer Schwelle

Tätigkeit	Datum	Bemerkungen
Ausbringen von Rohrsegment und 3 Bewuchsleinen mit den 5 Platten	07.04.2003	
Beprobung und Video Rohrsegment und Platten	28.08.2003	Nach 143 Tagen
Beprobung und Video Rohrsegment und Platten	09.12.2003	Nach 246 Tagen
Sedimentuntersuchung im Umfeld	28.05.2004	Nach 417 Tagen
Beprobung und Video Rohrsegment und Platten, Ausbringen von 3 Bewuchsleinen mit den 5 Platten	20.07.2004	Nach 470 Tagen
Beprobung und Video Rohrsegment und Platten	15.01.2005	Nach 177 Tagen
Sedimentuntersuchung im Umfeld	04.03.2005	Nach 697 Tagen

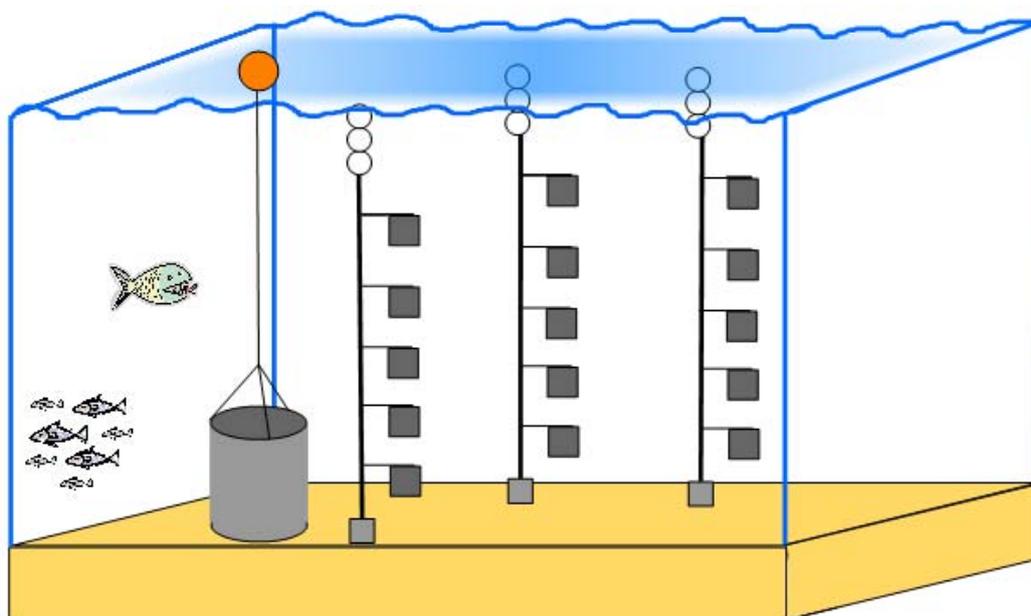


Abb. 2: Schema der Versuchsanordnung an der Darßer Schwelle. Links ist das Stahlrohrsegment (2,2 x 2,5 m) zu sehen. Die Markierungsboje ist an der Wasseroberfläche zu sehen. An den 3 Bewuchsleinen sind jeweils 5 Stahlplatten montiert. Die Auftriebskörper befinden sich 5 m unter Wasser. Die Platten sind in Abständen von 3 m angebracht.

An zwei Untersuchungsterminen wurden durch Taucher zusätzlich Kratzproben vom Stahlrohrzylinder genommen. Mittels eines Rahmens, daran befestigten Gaze und eines Spachtels konnte der Zylinder direkt beprobt werden (**Abb. 3**). Die Beprobungsfläche betrug jeweils 20 x 20 cm und untersuchte die Besiedlung des Piles in Abstand von 1 m über dem Sedimentboden. Außerdem wurden Sedimentproben im Umkreis des Stahlrohrzylinders gewonnen. Im Mai 2004 und März 2005 wurden um den Stahlzylinder herum in den 4 Haupthimmelsrichtungen mit Einsatz von Tauchern Stechrohrproben in Abständen von 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 und 2,5 m vom Zylinder genommen (**Abb. 4**). Das Stechrohr hatte eine Eindringtiefe von ca. 15 cm. Die Proben wurden

mit 0,5 mm gesiebt und danach in 4%igem Formol fixiert. Die Probenauswertung erfolgte im Labor.

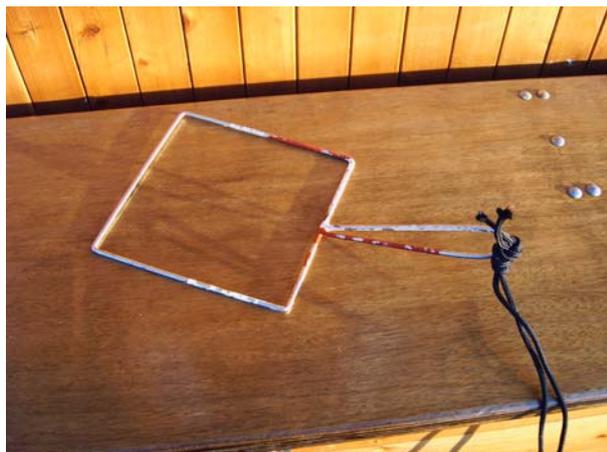


Abb. 3: Rahmen (ohne Gaze) mit dem jeweils in allen 4 Himmelsrichtungen am Stahlrohrzylinder eine Fläche von 20 x 20 cm beprobt wurde.

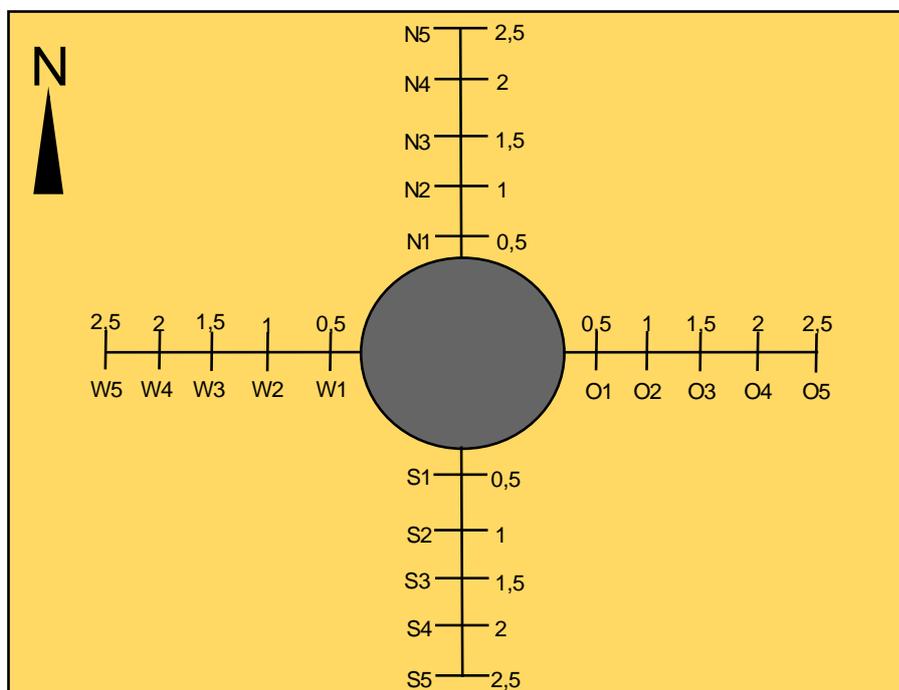


Abb. 4: Die mit Tauchern durchgeführte Probenahme im Mai 2004 und März 2005 (417 bzw. 697 Tage Exposition des Stahlrohrzylinders). In der Mitte (grau) ist der Zylinder. In einem Abstand von jeweils 0,5 m in allen 4 Himmelsrichtungen sind die Proben genommen worden. Die Proben-Nomenklatur ist mit W1 bis W5 usw. angegeben.

Für den Vergleich der Weichbodenbesiedlung wurden die Ergebnisse der langjährigen Monitoringstation 030 (siehe Karte) herangezogen. Diese Station wird seit 15 Jahren jedes Jahr im Herbst im Rahmen des HELCOM-Monitoring beprobt. Die Beprobung erfolgte mit einem van Veen Greifer (0,1 m²). Die Siebung wurde mit einem Sieb mit 1 mm Maschenweite durchgeführt. Fixierung und Laborauswertung ist mit dem bereits geschilderten Verfahren identisch.

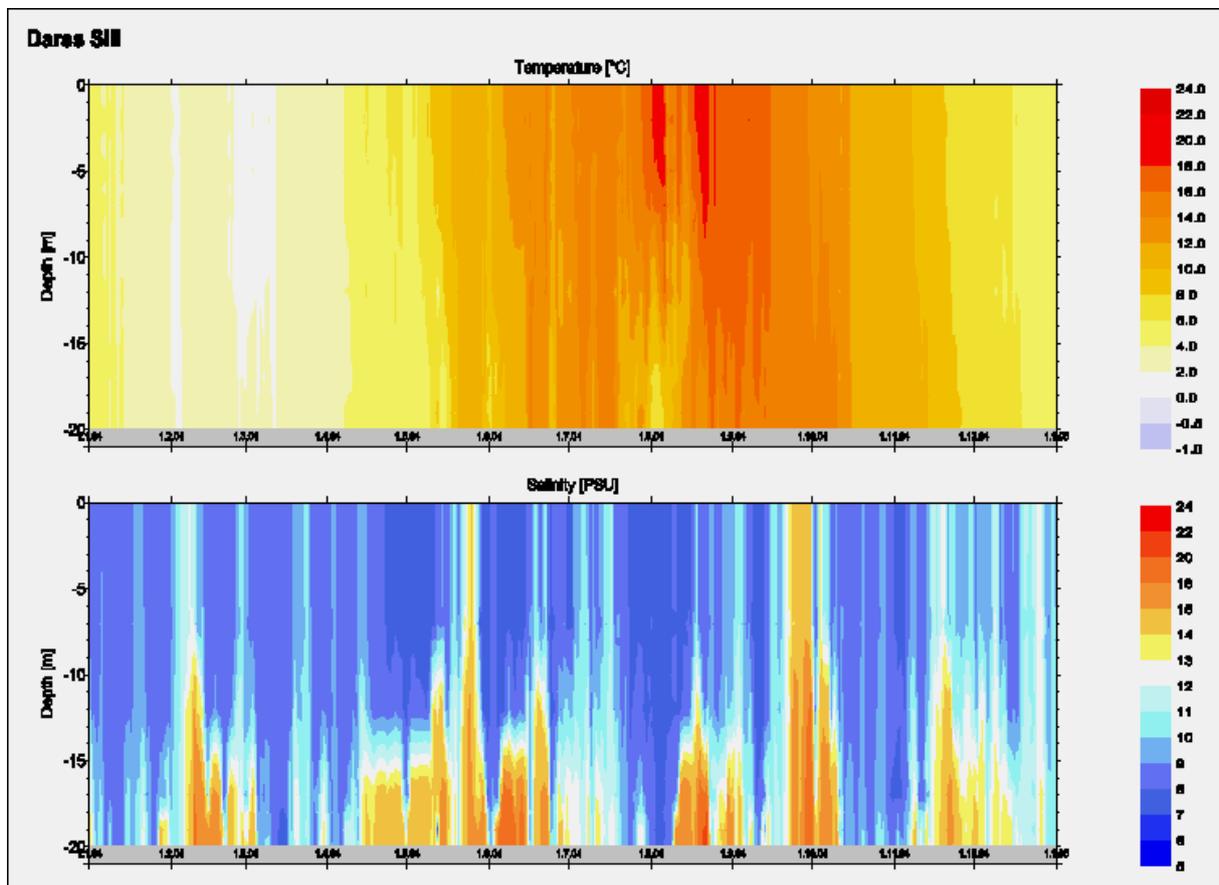
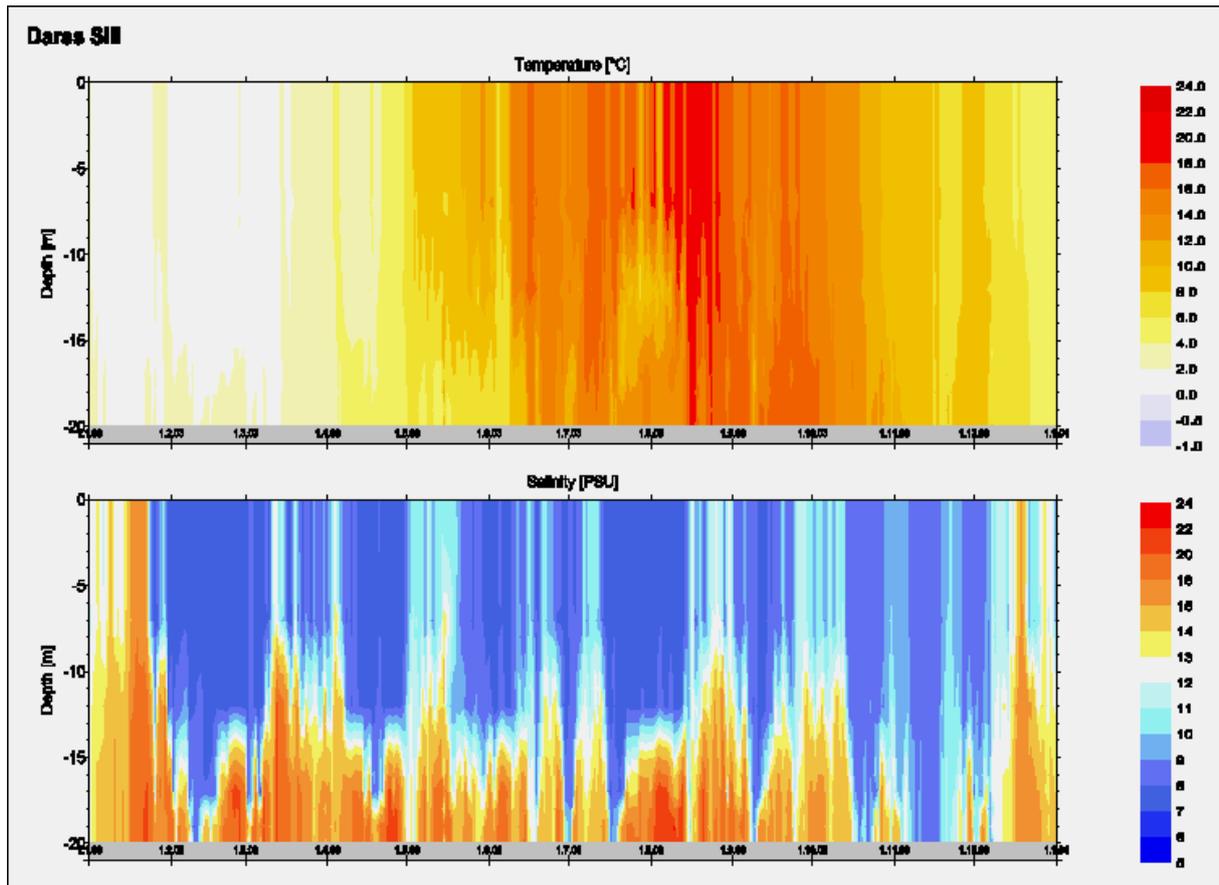


Abb. 5: Temperatur und Salzgehalt im Messfeld in den Jahren 2003 (oben) und 2004 (unten). Die Ergebnisse stammen vom IOW-Messmast, der ca. 300 m neben dem Stahlrohrsegment steht.

Die zur Interpretation der abiotischen Umweltbedingungen wichtigen Daten von Salzgehalt, Temperatur und Strömung wurden am IOW-Meßmast Darsser Schwelle unmittelbar neben der Benthosstation permanent aufgezeichnet und freundlicherweise von der Gruppe Meßtechnik des IOW zur Verfügung gestellt (**Abb. 5**).

3 Ergebnisse

3.1 Physikalische Randbedingungen

Im Vergleich der Jahrgänge wird für die Salinität deutlich, dass 2003 deutlich höhere Werte im bodennahen Bereich gemessen wurden als 2004 (**Abb. 5**). Im Durchschnitt wurden in den unteren 5 m fast das ganze Jahr 20 PSU festgestellt. Im Jahr darauf wurde dieser Wert nur sporadisch erreicht. Auch bei der Temperatur lagen die Werte im Jahr 2003 höher als im Jahr 2004. Grundsätzlich wird klar, daß durch die fast andauernde Dichteschichtung der Wassersäule auch die Besiedlungs- und Wachstumsdynamik der Benthosorganismen beeinflußt wird.

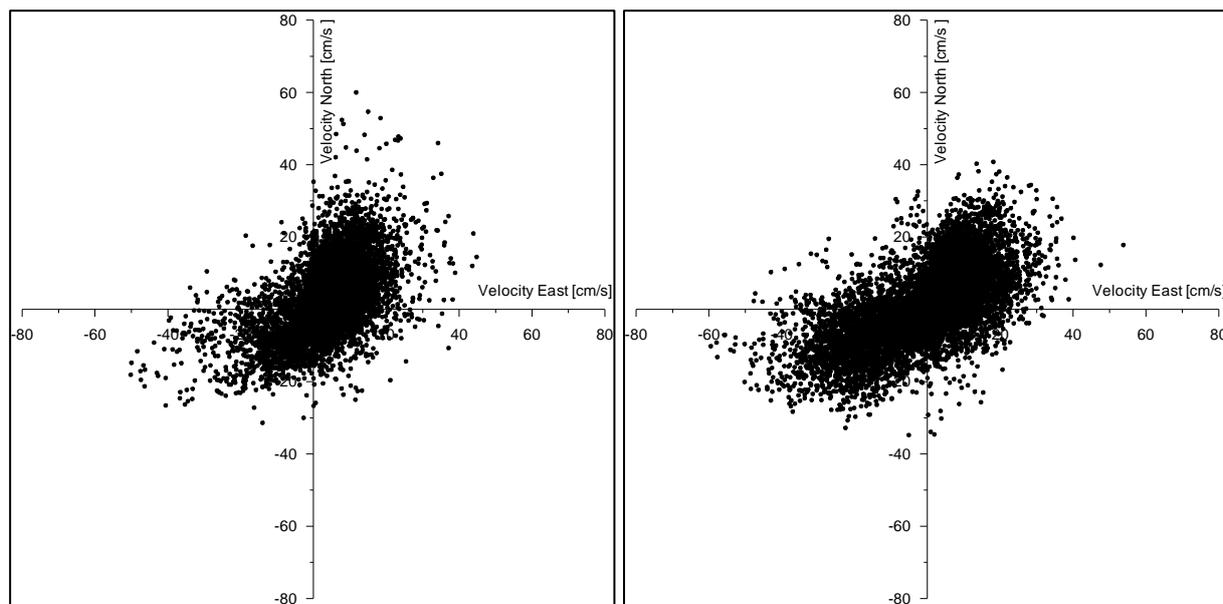


Abb. 6: Strömungsrichtung und -stärke im Messfeld in den Jahren 2003 (links) und 2004 (rechts). Die Ergebnisse stammen vom IOW-Messmast, der ca. 300 m neben dem Stahlrohrsegment steht.

Die Messung der Strömungsrichtung ergab eine deutlich Ausrichtung Süd-West und Nord-Ost (**Abb. 6**). Es fanden sowohl Einstromlagen (nach NO) als auch Ausstromlagen (nach SW) statt. Die Strömungsstärke betrug im Mittel 20 bis 30 cm/s. Maximale Werte lagen bei 60 cm/s.

Die hier gezeigten allgemeinen und langfristigen Strömungsbedingungen können direkt mit den am Fuß des WEA-Fundament-Modells gefundenen Sedimentumlagerungen (s.u.) in Bezug gesetzt werden.

3.2 Hartsubstrat-Besiedlung des WEA-Fundament-Modells – Epifanua

Ein Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung war die Erfassung und Darstellung der Sukzession der Hartsubstrate durch das Makrozoobenthos. Die dazu im Messfeld des IOW an der Darßer Schwelle ausgebrachten Substrate (Stahlrohrzylinder und Bewuchsplatten) wurden regelmäßig beprobt. Die Ergebnisse der drei Beprobungstermine (August 2003, Dezember 2003 und Juli 2004) werden im Folgenden dargestellt. Die Artenzusammensetzung, die Abundanzen und Biomassen werden je Beprobungstermin separat betrachtet. Es ist wichtig, die einzelnen Beprobungstermine getrennt darzustellen, weil sie zum einen unterschiedliche Expositionszeiten widerspiegeln und zum anderen andere Saisonalitäten der Bewuchsorganismen darstellen. In der Zusammenfassung werden sie gegenübergestellt und diskutiert.

3.2.1 Beprobungstermin August 2003

Nach einer Expositionszeit von 143 Tagen konnten 18 Arten des Makrozoobenthos an den Bewuchsplatten festgestellt werden (Tab. 2, Abb. 7). Mit 6 bzw. 5 Arten stellten die Krebse (Crustacea) und die Weichtiere (Mollusca) die Hauptgruppen. Seltener vertreten waren die Polypen (Hydrozoa), Vielborster (Polychaeta) und die Stachelhäuter (Echinodermata). Die Artenzahl lag mit 10 in Bodennähe am höchsten.

Tab. 2: Zusammenfassung der Abundanz (Individuen je m²) der am 28.08.2003 (143 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos. Die beiden Hauptarten sind hervorgehoben. (X=qualitativer Nachweis)

Wassertiefe in m	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	3	6	9	12	15
<i>Asterias rubens</i>	25				
<i>Balanus crenatus</i>	4700				
<i>Balanus improvisus</i>	20200	7500	10600	8050	18900
<i>Campanulina lacerata</i>		X			
<i>Cerastoderma glaucum</i>			13		25
<i>Corophium insidiosum</i>				13	
<i>Eteone longa</i>			13		
<i>Gammarus oceanicus</i>					63
<i>Gammarus salinus</i>	38		13	288	313
<i>Gammarus zaddachi</i>					25
<i>Garveia franciscana</i>	X				
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	X				
<i>Neanthes succinea</i>	63	13		13	138
<i>Hydrobia ulvae</i>		25			25
<i>Mya arenaria</i>					25
<i>Mytilus edulis</i>	122400	69100	115900	472700	388700
<i>Polydora ciliata</i>	13				
<i>Stiliger vesiculosus</i>	25				
Abundanz (Ind./m²)	147.463	76.638	126.539	481.064	408.213
Artenzahl	10	5	5	5	9

Die beiden Hauptarten wurden durch die Seepocke (*Balanus improvisus*) und die Miesmuschel (*Mytilus edulis*) gestellt. Die Seepocke erreichte Abundanz zwischen 8.000 und 20.000 Ind./m². Die Miesmuschel wurde in Dichten zwischen 70.000 und 470.000 Ind./m² beobachtet.

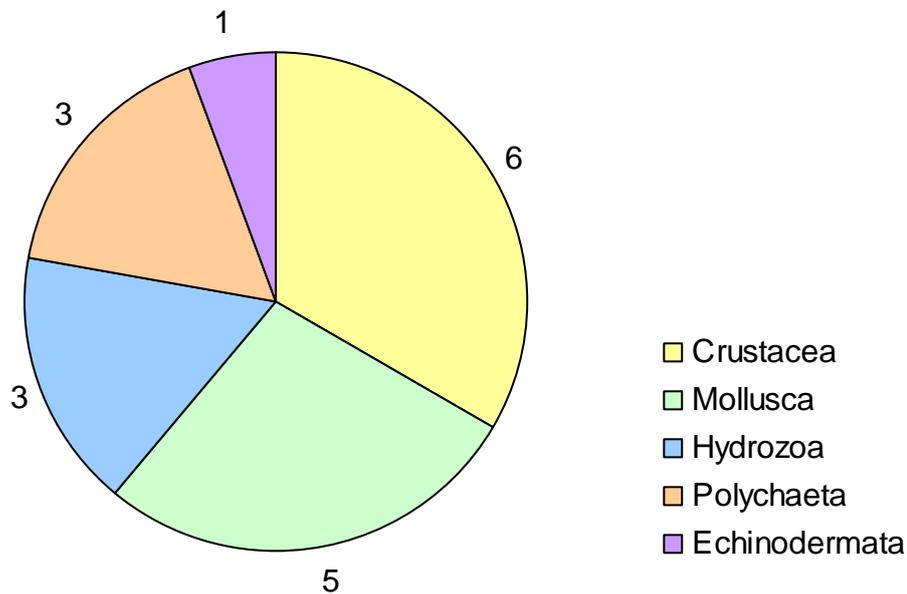


Abb. 7: Zusammensetzung des Makrozoobenthos auf den Bewuchsplatten am 28.08.2003 (143 Tage Exposition). Die Nummern geben die Artenzahlen an.

Tab. 3: Zusammenfassung der Aschefreien Trockenmasse (AFTM) (mg/m²) der am 28.08.2003 (143 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos (dominant=gelb).

Wassertiefe in m	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	3	6	9	12	15
<i>Asterias rubens</i>	1759				
<i>Balanus crenatus</i>	6653				
<i>Balanus improvisus</i>	28569	8827	25504	26933	146244
<i>Campanulina lacerata</i>		X			
<i>Cerastoderma glaucum</i>			1		1
<i>Corophium insidiosum</i>				5	
<i>Eteone longa</i>			0,4		
<i>Gammarus oceanicus</i>					155
<i>Gammarus salinus</i>	2		4	129	170
<i>Gammarus zaddachi</i>					26
<i>Neanthes succinea</i>	0,2	0,4		1	4
<i>Hydrobia ulvae</i>		1			1
<i>Mya arenaria</i>					5
<i>Mytilus edulis</i>	2069	1346	2596	21519	22667
<i>Polydora ciliata</i>	0,3				
<i>Stiliger vesiculosus</i>	2				
Summe AFTM (mg/m²)	39.054	10.175	28.105	48.587	169.273

Bei der Biomasse waren ebenfalls die Seepocke und die Miesmuschel ausschlaggebend (Tab. 3). Da es sich bei *M. edulis* um noch relativ junge Exemplare handelte (es waren nach der Erstbesiedlung ja erst maximal 143 Tage vergangen), lag die Biomasse nur zwischen 1,3 und 22,7 g/m² und somit deutlich unter der von *B. improvisus*.

Letztere konnte nach dieser kurzen Zeit bereits zwischen 8,8 und 146,2 g/m² erreichen. Insbesondere die am dichtesten an der Wasseroberfläche exponierte Bewuchsplatte (5 m Wassertiefe) wurde mit insgesamt über 400.000 Ind./m² und 169,3 g/m² (AFTM) am stärksten besiedelt (**Abb. 8**).

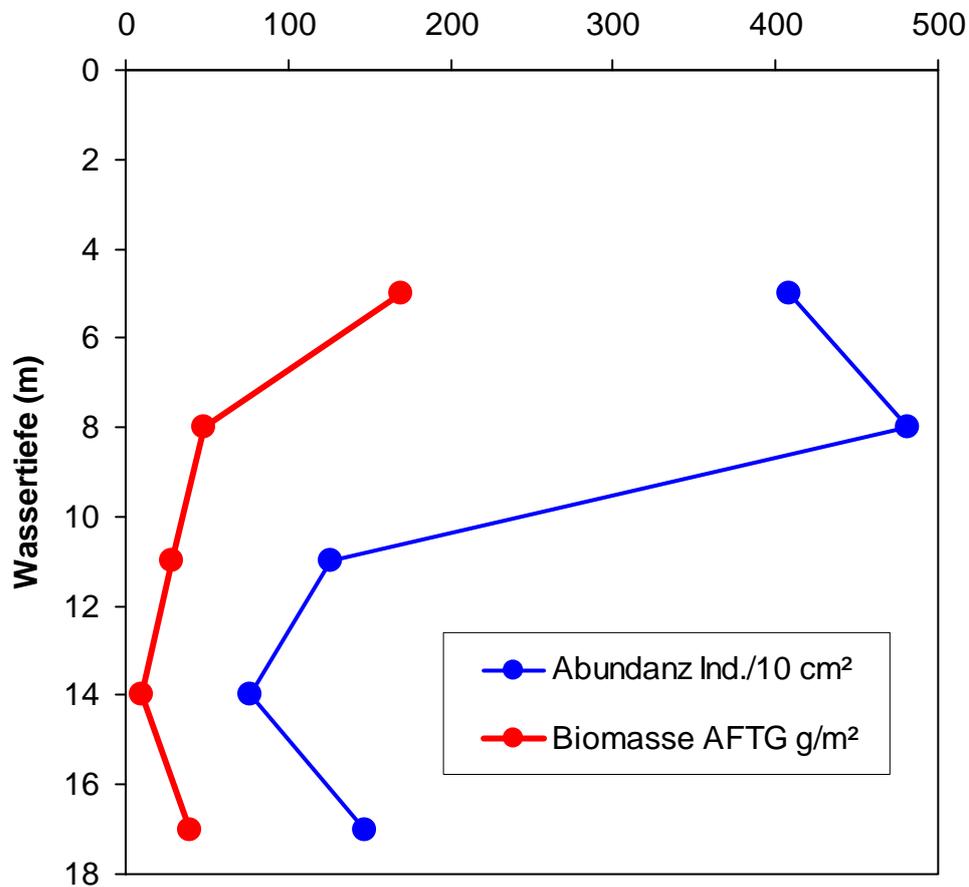


Abb. 8: Abundanz und Biomasse an den Bewuchsplatten nach 143 Tagen Exposition in Abhängigkeit von der Wassertiefe. (Beachte, dass die Abundanz je 10 cm² dargestellt ist, d.h. die Werte aus Tab. 2 sind durch 1.000 geteilt!)

3.2.2 Beprobungstermin Dezember 2003

Nach einer Expositionszeit von 246 Tagen konnten 28 Taxa des Makrozoobenthos an den Bewuchsplatten festgestellt werden (**Tab. 4, Abb. 9**). Mit 8, 5 bzw. 4 Arten stellten die Krebse (Crustacea), die Vielborster (Polychaeta) und die Weichtiere (Mollusca) die Hauptgruppen. Seltener vertreten waren die Schnurwürmer (Nemertini), die Polypen (Hydrozoa) und die Moostierchen (Bryozoa). Die „Restgruppe“ rekrutierte sich aus Milben, Zuckmückenlarven, Oligochaeten und Plattwürmern. Die Artenzahl lag mit 22 in Bodennähe am höchsten und nahm zur Oberfläche hin ab (10 Arten).

Tab. 4: Zusammenfassung der Abundanz (Individuen je m²) der am 09.12.2003 (246 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos. Die vier Hauptarten sind hervorgehoben. (X=qualitativer Nachweis)

Wassertiefe in m	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	3	6	9	12	15
Acari indet.	100				
<i>Arenicola marina</i>	13				
<i>Balanus crenatus</i>	200	113	600		
<i>Balanus improvisus</i>	3125	11475	3000	6000	13475
<i>Bylgides sarsi</i>		50	75	13	
Chironomidae				13	
<i>Corophium insidiosum</i>	13				
<i>Coryne tubulosa</i>	X				
<i>Diastylis rathkei</i>	25	25	25		
<i>Electra crustulenta</i>				X	X
<i>Electra pilosa</i>	X				
<i>Gammarus oceanicus</i>		25	13		13
<i>Gammarus salinus</i>	25	225	50	238	413
<i>Harmothoe imbricata</i>	50				
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	X				X
<i>Hydrobia ulvae</i>					63
<i>Lineus ruber</i>	25				
<i>Lineus viridis</i>	50				
<i>Melita palmata</i>	13	13		25	
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	25	38	13	13	
<i>Mya arenaria</i>			25	13	25
<i>Mytilus edulis</i>	264600	264713	463200	445050	659400
<i>Neanthes succinea</i>	1275	538	500	650	675
Nemertini indet.	13				
<i>Polydora ciliata</i>	2388	2875	2400	1138	650
<i>Siliger vesiculosus</i>	13		13		
Tubificidae	25	13	13	13	
Turbellaria	250	200		25	
Abundanz (Ind./m²)	272.225	280.300	469.925	453.188	674.713
Artenzahl	22	13	13	13	10

Mit Abundanzen zwischen 265.000 und 670.000 Ind./m² rangierte die Miesmuschel (*M. edulis*) ganz vorn. Die Dichten hatten sich im Vergleich zur Beprobung im August in den meisten Tiefenstufen mehr als verdoppelt. Die Seepocke (*B. improvisus*) hatte hingegen, vermutlich durch Überwachsen mit *M. edulis* abgenommen. Im Unterschied zu den Beprobungstermin im August traten zwei weitere Arten subdominant auf. Dabei handelte es sich um die Polychaeten *Neanthes succinea* und *Polydora ciliata*. Die Dichten variierten zwischen 500 und 2.400 Ind./m².

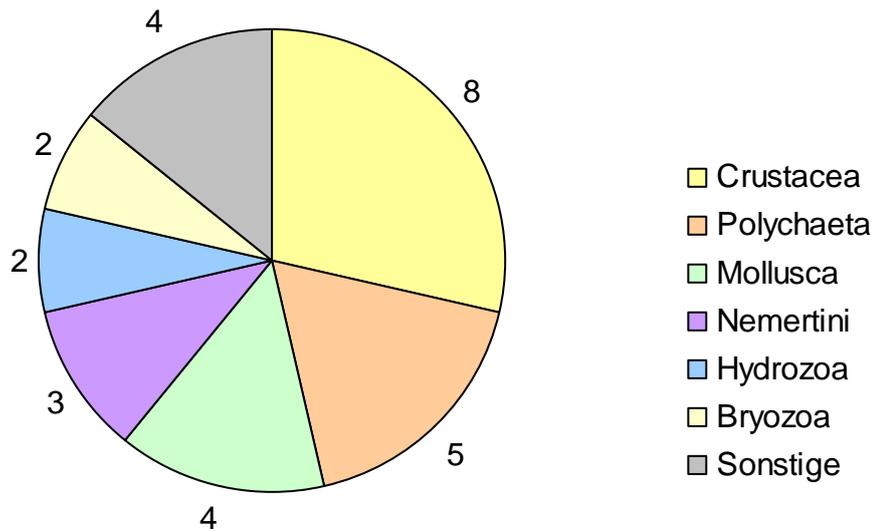


Abb. 9: Zusammensetzung des Makrozoobenthos auf den Bewuchsplatten am 09.12.2003 (246 Tage Exposition). Die Nummern geben die Artenzahlen an.

Tab. 5: Zusammenfassung der Aschefreien Trockenmasse (AFTM) (mg/m²) der am 09.12.2003 (246 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos (dominant=gelb).

Wassertiefe in m	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	3	6	9	12	15
Acari indet.	6				
<i>Arenicola marina</i>	0				
<i>Balanus crenatus</i>	1515	1086	119		
<i>Balanus improvisus</i>	23666	110759	28610	32586	128707
<i>Bylgides sarsi</i>		5	5	0,2	
Chironomidae				0,4	
<i>Corophium insidiosum</i>	1				
<i>Coryne tubulosa</i>					
<i>Diastylis rathkei</i>	8	11	16		
<i>Electra crustulenta</i>					
<i>Electra pilosa</i>					
<i>Gammarus oceanicus</i>		243	167		27
<i>Gammarus salinus</i>	77	492	181	174	447
<i>Harmothoe imbricata</i>	209				
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>					
<i>Hydrobia ulvae</i>					1
<i>Lineus ruber</i>	50				
<i>Lineus viridis</i>	17				
<i>Melita palmata</i>	1	1		2	
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	1	4	2	1	
<i>Mya arenaria</i>			1	0,3	4
<i>Mytilus edulis</i>	170021	565594	764340	1074378	932564
<i>Neanthes succinea</i>	3532	973	1260	2222	2516
Nemertini indet.	1				
<i>Polydora ciliata</i>	105	111	80	45	17
<i>Stiliger vesiculosus</i>	1		0,1		
Tubificidae	4	1	0,2	0,3	
Turbellaria	555	127		148	
Summe AFTM (mg/m²)	199.767	679.408	794.780	1.109.557	1.064.285

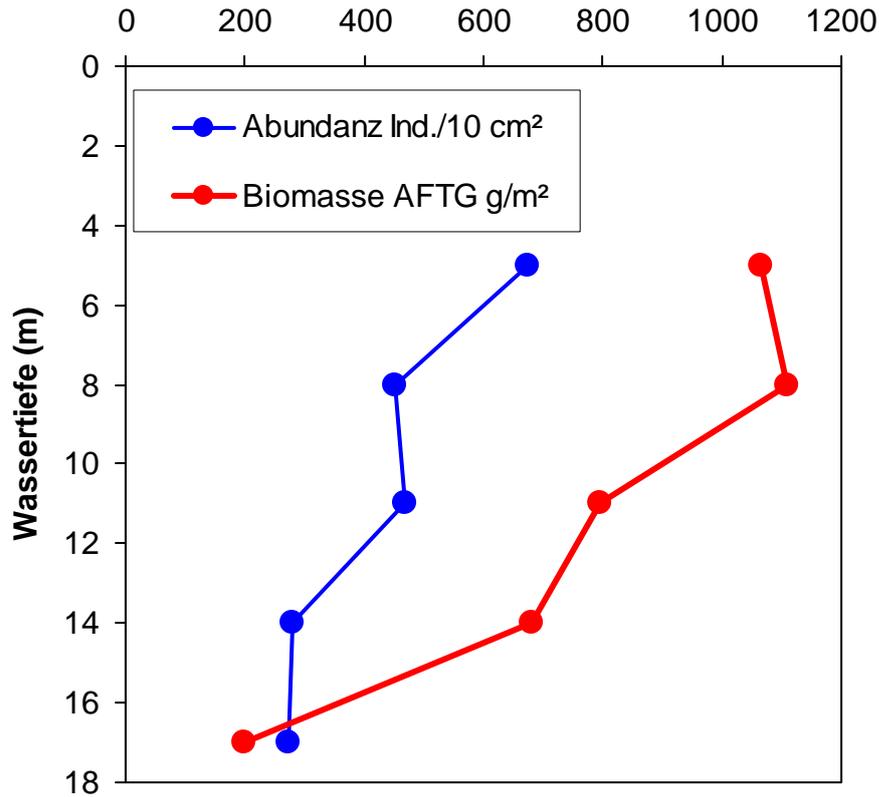


Abb. 10: Abundanz und Biomasse an den Bewuchsplatten nach 246 Tagen Exposition in Abhängigkeit von der Wassertiefe. (Beachte, dass die Abundanz je 10 cm² dargestellt ist, d.h. die Werte aus Tab. 4 sind durch 1.000 geteilt!)



Abb. 11: Dez. 2003 (nach 246 Tagen): Seesterne waren häufig bis sehr häufig (1 bis 2 Ind./m²) auf dem Stahlrohrsegment zu finden. Die rötlichen Spuren auf dem Stahl sind Rostflecken, die gelegentlich als Placken abfielen und dann am Boden mit der darauf sitzenden Biomasse akkumulierten (s.a. Abb. 9).

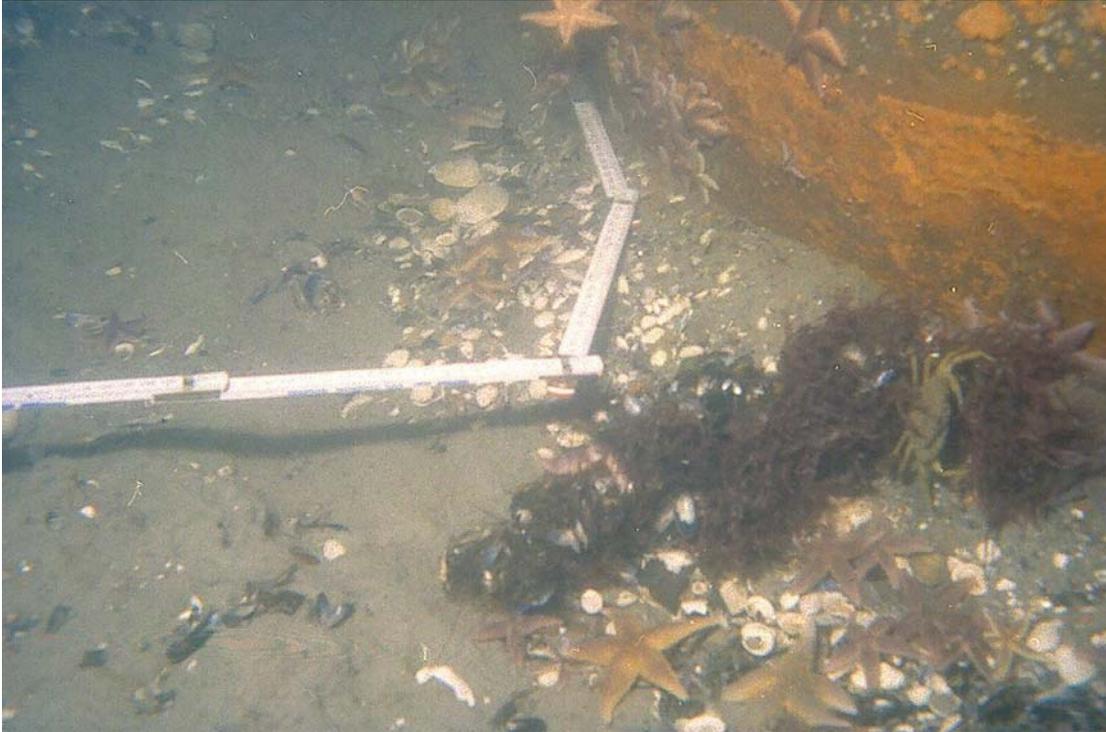


Abb. 12: Dez. 2003 (nach 246 Tagen): Am Fuß des Stahlrohrsegments sammelten sich in den Auskolkungen die von oben abgefallenen Teile an. Außerdem sind Schalen von Muscheln (*Mya arenaria* und *Macoma balthica*) zu sehen, die aus dem Sediment ausgekolkt wurden. Neben dem Seestern waren auch Strandkrabben (*Carcinus maenas*) als Räuber vertreten.

Die Biomasse wurde wiederum durch *Mytilus edulis* und *Balanus improvisus* dominiert. Das AFTM von *M. edulis* nahm von unten nach oben (bodennah bis wasseroberflächennah) kontinuierlich zu. Mit über 1 kg wurden die höchsten Werte in 5 und 8 m Wassertiefe beobachtet. Auch das Gewicht von *B. improvisus* nahm zu, fiel jedoch mit einer Zunahme von 24 g auf 130 g wesentlich geringer aus.

In der **Abb. 10** wird die dichtere Besiedlung im oberflächennahen Wasser sowohl bei der Abundanz als auch bei der Biomasse deutlich. Vermutlich durch größeren Fraßdruck in den bodennahen Bereichen bedingt (durch den Gemeinen Seestern -*Asterias rubens*- und durch die Strandkrabbe -*Carcinus maenas*-) (siehe auch **Abb. 11 & 12**) liegen die Werte an den am tiefsten exponierten Bewuchsplatten 3 bis 5 mal niedriger im Vergleich zu den oberflächennah exponierten Platten. Beachtlich sind die enormen Sukzessionszahlen nach so kurzer Siedlungsdauer. Nach 246 Tagen werden maximale Abundanzen von 700.000 Ind./m² und maximale Biomassen von 1.100 g AFTM/m² (das entspricht 18 kg Feuchtmasse je m²) festgestellt.

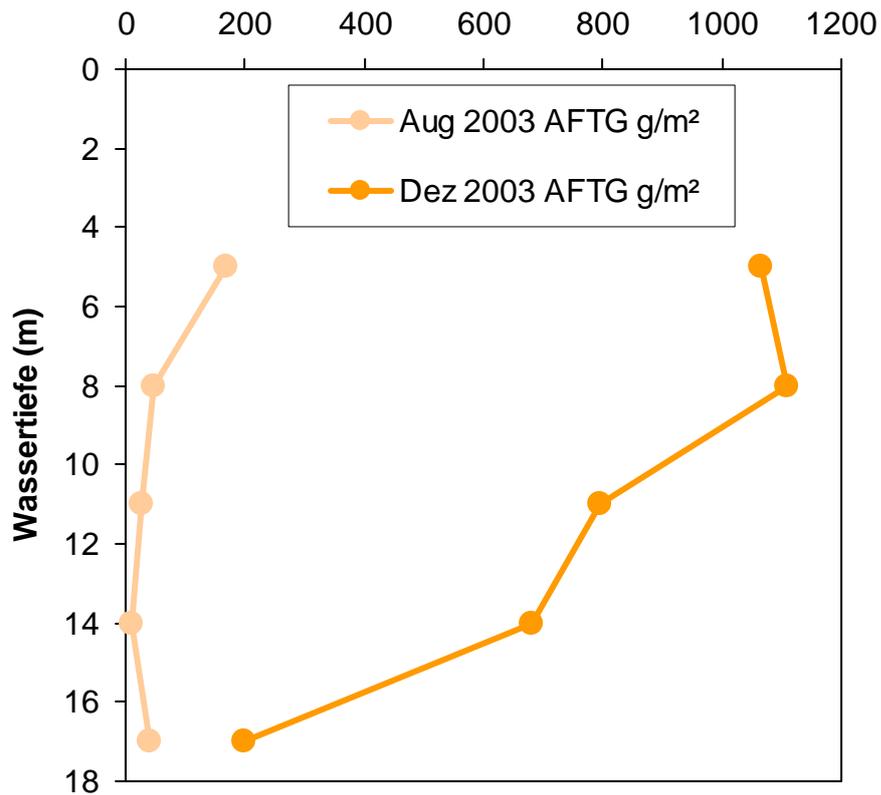


Abb. 13: Vergleich der Biomasseentwicklung (zeitlich und vertikal) an den Bewuchsplatten nach 143 Tagen (Aug 2003) und 246 Tagen (Dez 2003).

Die Biomassewerte haben sich im Vergleich zu den Werten vom August nahezu **verfünffacht** (Abb. 13)! In allen Wassertiefenstufen kam es zu einer deutlichen Zunahme, wobei insbesondere in 5 und 8 m Tiefe die größten Zuwächse beobachtet wurden. Hauptsächlich die Miesmuschel (*M. edulis*) war für diese enorme Biomasse verantwortlich.



Abb. 14: Bergung und Beprobung der Bewuchsleine bzw. der Bewuchsplatten im Dez 2003. Links: Leine mit Auftriebskörpern Rechts: Leine mit Bewuchsplatte (im Folienbeutel)

3.2.3 Beprobungstermin Juli 2004

Die Sukzession des Stahlrohrsegmentes ist weiter fortgeschritten. Es waren kaum noch freie (unbesiedelte) Flächen zu beobachten (**Abb. 15**). Der Bewuchs auf dem Stahlrohrzylinder hat sich weiter verdichtet. Waren nach 8 Monaten noch freie Flächen zu erkennen (**Abb. 15 links**) so bildete der Bewuchs nach weiteren 5 Monaten eine fast 100%ige Bedeckung (**Abb. 15 rechts**). Die Abundanz wurde durch den Polychaeten *Polydora ciliata* und die Seepocke *Balanus crenatus* dominiert. Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) konnten im Gegensatz zu den Bewuchsplatten nur als Jungtiere nachgewiesen werden, was vermutlich auf den Fraßdruck durch Seesterne (*Asterias rubens*) und Strandkrabben (*Carcinus maenas*) zurückzuführen ist. Diese können bedingt durch die breite Anbindung an den Meeresboden (bei den Bewuchsleinen ist das nicht der Fall) ungehindert am Stahlrohrsegment aufsteigen. Außerdem ist im bodennahen Wasserkörper der Salzgehalt für die beiden Arten ausreichend hoch. Mit Sicherheit sind auch die regelmäßigen und großen Aufkommen von 1 bis 2 jährigen Dorschen (*Gadus morhua*) am Stahlrohrsegment dafür verantwortlich zu machen (wurden mit Videokamera aufgenommen), die zum einen guten Unterstand und zum anderen als wahlweise benthophag auch ausreichend Nahrung vorfanden. Bei der Abundanz erreichte die marine Seepocke (*Balanus crenatus*) mit fast 40 % die größte Dominanz. Bei der Biomasse waren es sogar über 90 %. Im oberflächennahen Wasser wird *B. crenatus* durch die genuine Brackwasserart *B. improvisus* ersetzt. In den Pfahlkratzerproben konnten insgesamt 15 Taxa nachgewiesen werden.



Abb. 15: Im Dezember 2003 (nach 246 Tagen Exposition) waren noch weite Teile des Stahlrohrsegmentes frei von Bewuchs (linke Abbildung). Im Mai 2004 (nach 417 Tagen Exposition) war eine fast 100%ige Bedeckung festzustellen (rechte Abbildung).

Tab. 6: Zusammenfassung der Abundanz (Individuen je m²) der am 20.07.2004 (470 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos. Die Hauptarten sind hervorgehoben. Erstmals wurde eine Kratzprobe vom Stahlrohrsegment (1 m vom Grund) genommen. Eine Bewuchsplatte (3 m vom Grund) konnte wegen Verlust nicht beprobt werden. (X=qualitativer Nachweis)

Wassertiefe in m	19	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	1	3	6	9	12	15
<i>Alcyonidium polyoum</i>	X		X			
<i>Arenicola marina</i> (juv.)			1000			
<i>Aricidea minuta</i>	6					
<i>Balanus crenatus</i>	34519		200			
<i>Balanus improvisus</i>	913		3300	1350	2300	9800
<i>Bylgides sarsi</i>	169			25		
<i>Callopora lineata</i>			X			
<i>Carcinus maenas</i>			13			
<i>Corophium insidiosum</i>	31					
<i>Coryne tubulosa</i>	X					
<i>Dendrodoa grossularia</i>			25			
<i>Electra crustulenta</i>	X			X		
<i>Electra pilosa</i>			X			
<i>Eteone longa</i>	44		13			
<i>Gammarellus homari</i>	13					
<i>Gammarus oceanicus</i>			15863	2100	1263	1150
<i>Gammarus salinus</i>	200		3313	1688	925	4813
<i>Gammarus zaddachi</i>			3975	338	25	75
<i>Harmothoe imbricata</i>			288			
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	X					
<i>Hediste diversicolor</i>	6					
<i>Hydrobia ulvae</i>			13			
<i>Jaera albifrons</i>			50	13		
<i>Lafoenia tenuis</i>	X		X			
<i>Lineus ruber</i>	50		888	25		
<i>Macoma balthica</i>	6		50			
<i>Musculus discors</i>	6					
<i>Mytilus edulis</i>	27006		101500	109300	191700	193100
<i>Neanthes succinea</i>			1113	1838	1275	1075
Nemertini indet.			225	38		
<i>Odostomia rissoides</i>	13					
Oligochaeta indet.	44					
<i>Opercularella lacerata</i>	X					
<i>Phyllodoce maculata</i>	6					
<i>Polydora ciliata</i>	33563		2938	475	63	175
<i>Polydora cornuta</i>			475	925	100	1663
<i>Pygospio elegans</i>	25		875	200	350	463
<i>Scoloplos armiger</i>	13					
<i>Tubifex costatus</i>	6					
<i>Tubificoides benedeni</i>	56		38			
Turbellaria	94		25	13	25	13
Summe	96.788		136.175	118.325	198.025	212.325
Artenzahl	28		26	15	10	10

Nach einer Expositionszeit von 470 Tagen (Juli 2004) konnten 41 Taxa des Makrozoobenthos an den Bewuchsplatten festgestellt werden (Tab. 6, Abb. 16). Mit 9 und 12 Arten stellten die Krebse (Crustacea) und die Vielborster (Polychaeta) die Hauptgruppen. Weiterhin konnten Mollusca (5 Arten), Hydrozoa (5 Arten) und

Bryozoa (3 Arten) nachgewiesen werden. Seltener vertreten und in der „Restgruppe“ zusammengefasst waren die Schnurwürmer (Nemertini mit 2 Taxa), die Wenigborster (Oligochaeta mit 3 Taxa), die Plattwürmer (Turbellaria mit 1 Taxon) und Seescheiden (Asciacea mit 1 Art). Die Artenzahl lag mit 28 in Bodennähe am höchsten und nahm zur Oberfläche hin ab (10 Arten).

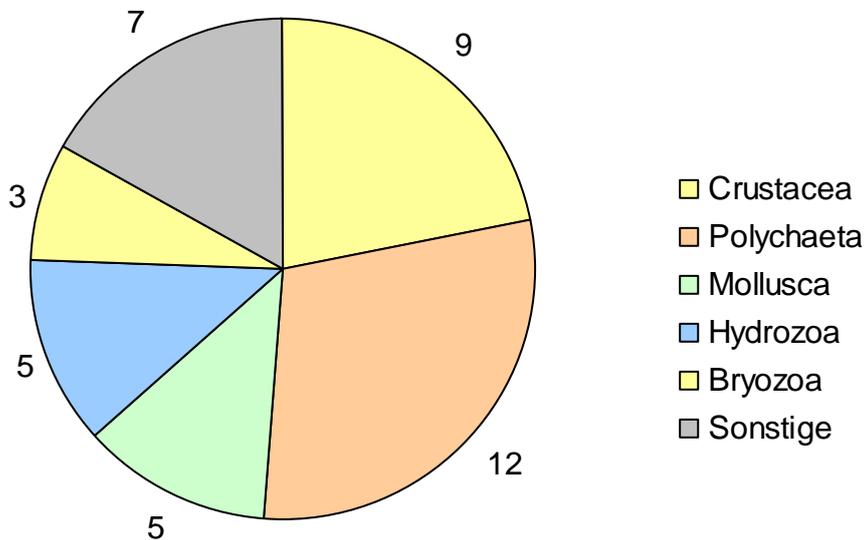


Abb. 16: Zusammensetzung des Makrozoobenthos auf den Bewuchsplatten am 20.07.2004 (470 Tage Exposition). Die Nummern geben die Artenzahlen an.

Sowohl bei der Abundanz als auch bei der Biomasse setzte sich der zunehmende Trend fort (**Abb. 17**). In einigen Wassertiefen kam es zu einer Verzehnfachung bei der Biomasse. Insbesondere in den geringeren Wassertiefen erwiesen sich die Miesmuscheln als besonders erfolgreich und erreichten enorme Abundanzen und Biomassen. Die Dichte lag zwischen 27.000 Ind./m² im bodennahen und 193.000 Ind./m² im oberflächennahen Bereich. Im bodennahen Wasserkörper traten die Seepocken mit fast 35.000 Ind./m² dominant auf. Von den anderen Arten sind *Gammarus oceanicus*, *Neanthes succinea* und *Polydora ciliata* hervorzuheben. Alle drei erreichten in unterschiedlichen Wassertiefen zum Teil enorme Abundanzen. *P. ciliata* wurde in Bodennähe mit über 30.000 Ind./m² beobachtet. Zur Oberfläche hin nahm die Abundanz rapide ab (100 Ind./m²). *G. oceanicus* dominierte mit 16.000 Ind./m² in den mittleren Wassertiefen und *N. succinea* trat v.a. in den oberen Wassertiefen in Dichten zwischen 1.000 und 2.000 Ind./m² auf.

Tab. 7: Zusammenfassung der Aschefreien Trockenmasse (AFTM) (mg/m²) der am 20.07.2004 (470 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos (dominant=gelb). Erstmals wurde eine Kratzprobe vom Stahlrohrsegment (1 m vom Grund) genommen. Eine Bewuchsplatte (3 m vom Grund) konnte wegen Verlust nicht beprobt werden.

Wassertiefe in m	19	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	1	3	6	9	12	15
<i>Alcyonidium polyoum</i>						
<i>Arenicola marina</i> (juv.)			14			
<i>Aricidea minuta</i>	15					
<i>Balanus crenatus</i>	77705		1104			
<i>Balanus improvisus</i>	1036		15100	6356	7020	67971
<i>Bylgides sarsi</i>	11			50		
<i>Carcinus maenas</i>			809			
<i>Corophium insidiosum</i>	10					
<i>Dendrodoa grossularia</i>			4			
<i>Eteone longa</i>	7		0,2			
<i>Gammarus homari</i>	38					
<i>Gammarus oceanicus</i>			16329	3679	2022	2161
<i>Gammarus salinus</i>	40		2809	1861	1687	5422
<i>Gammarus zaddachi</i>			3310	534	19	85
<i>Harmothoe imbricata</i>			124			
<i>Hediste diversicolor</i>	1					
<i>Hydrobia ulvae</i>			1			
<i>Jaera albifrons</i>			0,4	4		
<i>Lineus ruber</i>	38		1449	229		
<i>Macoma balthica</i>	0,1		0,3			
<i>Musculus discors</i>	0,3					
<i>Mytilus edulis</i>	3265		815927	717805	819783	1880000
<i>Neanthes succinea</i>			3595	2191	3273	32385
Nemertini indet.			14	10		
<i>Phyllodoce maculata</i>	3					
<i>Polydora ciliata</i>	1508		164	26	3	11
<i>Polydora cornuta</i>			84	247	34	39
<i>Pygospio elegans</i>	0,4		34	23	41	56
<i>Odostomia rissoides</i>	0,4					
Oligochaeta indet.	0,3					
<i>Scoloplos armiger</i>	6					
<i>Tubifex costatus</i>	0,3					
<i>Tubificoides benedeni</i>	0,4		0,4			
Turbellaria	204		265	107	332	218
Summe AFTM	83.890		861.137	733.123	834.213	1.988.348

Die Biomasse wird wiederum eindeutig von *Balanus crenatus* (in der Tiefe) und *Balanus improvisus* und *Mytilus edulis* im flacheren Wasser dominiert. Ersterer ist insbesondere in der bodennahen Kratzprobe am Stahlrohrsegment in großen Biomassen (78 g AFTM/m²) beobachtet worden. In geringeren Tiefen nimmt der Salzgehalt ab und *B. improvisus* (70 g/m²) ersetzt die Nische. Hauptverantwortlich für die Zunahme der Biomasse von bodennah zur Oberfläche ist das dominante Auftreten und enorme Abwachsen der Miesmuschel *M. edulis* (Tab. 7) In 5 m Wassertiefe erreichte *M. edulis* 1,9 kg AFTM/m², was 95 % der Gesamtbiomasse bedeutete (Abb. 17).

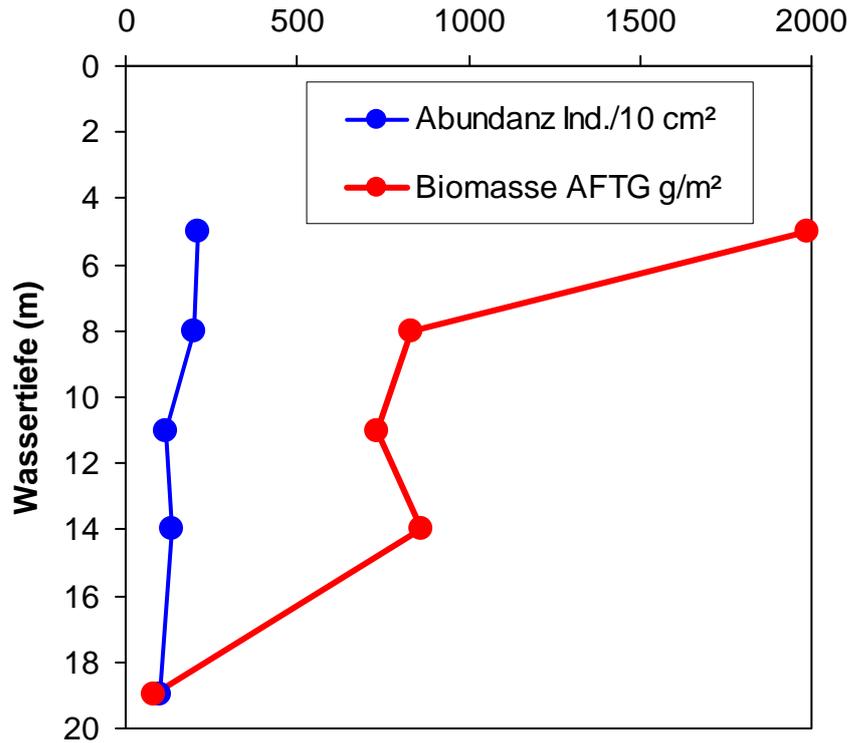


Abb. 17: Abundanz und Biomasse an den Bewuchsplatten nach 470 Tagen Exposition in Abhängigkeit von der Wassertiefe. (Beachte, dass die Abundanz je 10 cm² dargestellt ist, d.h. die Werte aus Tab. 7 sind durch 1.000 geteilt!)

Vergleicht man nun die Biomassewerte der einzelnen Untersuchungstermine (**Abb. 18**), so ergibt sich, dass für die meisten Wassertiefen bereits nach der Hälfte des Jahres die „Endbiomasse“ erreicht wurde. Nur auf der oberflächennahen Bewuchsplatte (5 m Wassertiefe) kam es noch zu einer Zunahme. Diese Steigerung entsprach etwa der Verdopplung der Biomasse. Nach 470 Tagen lag die Biomasse (AFTM) zwischen 84 g/m² am Stahlrohrzylinder (19 m Tiefe) und fast 2 kg/m² an der obersten und damit am flachsten exponierten Bewuchsplatte.

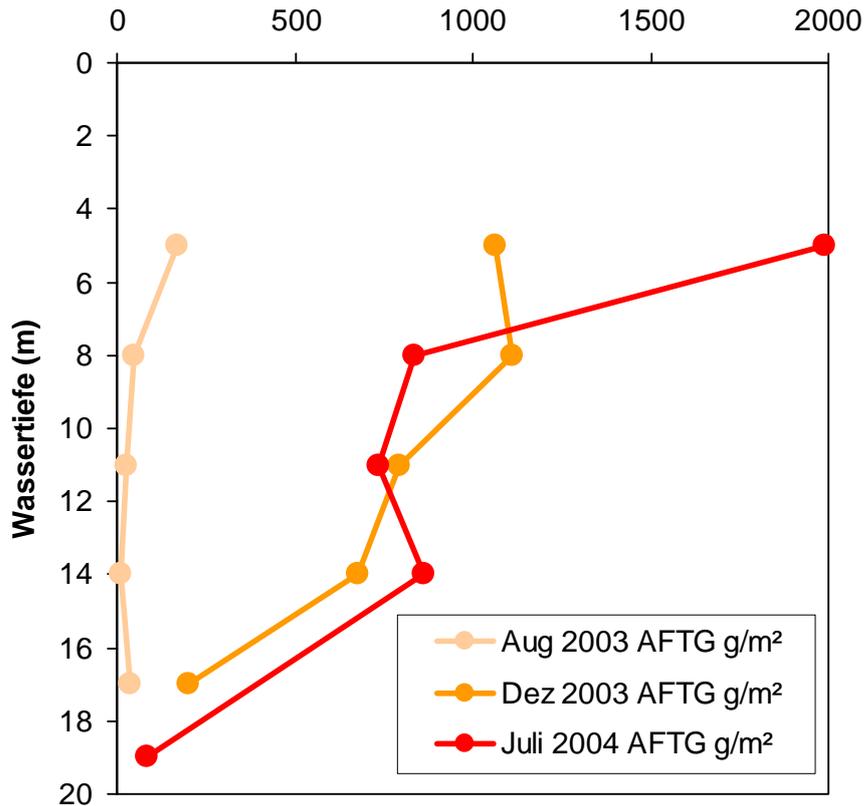


Abb. 18: Vergleich der Biomassen (AFTM) je Wassertiefe abgeleitet von den Ergebnissen der Bewuchsplatten nach 143, 246 und 470 Tagen.

3.2.4 Beprobungstermin Januar 2005

Zur Verifizierung der Sukzessionsexperimente mit den Bewuchsplatten im ersten Jahr wurden im Juni 2004 erneut 3 Bewuchsleinen ausgebracht. Nach 177 Tagen wurde im Januar 2005 die erste Leine mit den 5 Platten geborgen. Außerdem wurden erneut Kratzproben am Stahlrohrsegment gewonnen. Die Ergebnisse der neuen Versuchsreihe sollen nicht nur die Resultate der vorangegangenen bestätigen sondern dienen auch zur Abdeckung unterschiedlicher Saisonalitäten im Larvenfall der benthischen Organismen. Während die 1. Versuchsreihe im April gestartet wurde haben wir das neue Experiment im Juni begonnen. So haben wir zuerst primär den Sommeraspekt erfasst, während wir nun auf den Herbst/Winteraspekt fokussieren. Auch wenn bei beiden Versuchsanordnungen das ganze Jahr zur Besiedlung zur Verfügung stand bzw. steht, waren unterschiedliche Bewuchserfolge auf Grund zeitlicher Verschiebungen und Konkurrenz- bzw. Ausschlussprinzipien bei den benthischen Organismen zu erwarten.

Tab. 8: Zusammenfassung der Abundanz (Individuen je m²) der am 15.01.2005 (177 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos. Die Hauptarten sind hervorgehoben. *Kratzprobe vom Stahlrohrsegment (1 m vom Grund) nach 649 Tagen Exposition. (X=qualitativer Nachweis)

Wassertiefe in m	19*	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	1*	3	6	9	12	15
<i>Acari</i>	88	38				
<i>Alcyonidium polyoum</i>	X					
<i>Arenicola marina</i>	494					
<i>Asterias rubens</i>	50					
<i>Balanus crenatus</i>	8238	7488	263	900		
<i>Balanus improvisus</i>	12256	12200	6438	800	1800	4600
<i>Bylgides sarsi</i>			13	13	13	
<i>Carcinus maenas</i>	X					
<i>Cerastoderma glaucum</i>	6					
<i>Clava multicornis</i>	X					
<i>Corophium insidiosum</i>	450			13	13	
<i>Coryne tubulosa</i>	X					
<i>Electra crustulenta</i>	X	X		X		
<i>Eubranchus cf. exiguus</i>	25				13	
<i>Farella repens</i>	X					
<i>Gammarus salinus</i>			38	200	163	638
<i>Halitholus yoldia-arcticae</i>	X					
<i>Harmothoe imbricata</i>	150					
<i>Harmothoe impar</i>	50					
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	X					
<i>Hiatella arctica</i>	144					
<i>Hydrobia ulvae</i>					13	
<i>Idotea balthica</i>	6					
<i>Jaera albifrons</i>	25					
<i>Lepidonotus squamatus</i>	6					
<i>Lineus ruber</i>	150					
<i>Melita palmata</i>				13		
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	44		38	50	13	
<i>Mya arenaria</i>			13			
<i>Mytilus edulis</i>	139488	22750	71000	121600	205500	172300
<i>Neanthes succinea</i>	1413	25	88	100	100	375
<i>Nereimyra punctata</i>	13					
<i>Oligochaeta indet.</i>						13
<i>Opercularella lacerata</i>	X					
<i>Phyllodoce maculata</i>	25					
<i>Phyllodoce mucosa</i>	6					
<i>Polydora ciliata</i>	12944	575	275	63	100	
<i>Polydora cornuta</i>	800			13	63	63
<i>Prostoma obscura</i>	88					
<i>Pygospio elegans</i>	6	13				
<i>Stiliger vesiculosus</i>	6					13
<i>Turbellaria</i>	344	25	50	150	163	250
Summe	177.313	43.113	78.213	123.913	207.950	178.250
Artenzahl	36	9	10	13	12	8



Abb. 19: Links: Bewuchsleine im Januar 2005 nach einer Expositionszeit von 177 Tagen. Im Hintergrund ist das Grundgewicht im Vordergrund der Auftriebskörper zu sehen. In den Eimern wurden die Platten zwischengelagert. Rechts: Jan. 2005 (nach 649 Tagen): Seesterne waren häufig bis sehr häufig auf dem Stahlrohrsegment zu finden. Die rötlichen Flächen entstehen wenn Placken abfallen und der darunter liegende Stahl rostet.

Die Unterschiede zur ersten Versuchsreihe waren bezüglich der Artenzahl nicht signifikant. Während nach 143 Tagen (Sommerexposition) 18 Taxa auf den Bewuchsplatten festgestellt werden konnten, wurden nach 177 Tagen (Winterexposition) 20 beobachtet (**Tab. 8** und **Abb. 20**). Vergleicht man die **Abb. 7** und **20** miteinander, stellt man fest, dass die Artenzahl zwar relativ gleich ist, die Zusammensetzung sich doch etwas zu Gunsten der Polychaeta verschoben hat. Zieht man die Anzahl auf dem Stahlrohrsegment festgestellten Arten noch hinzu wurden 42 Taxa nachgewiesen (**Tab. 8**).

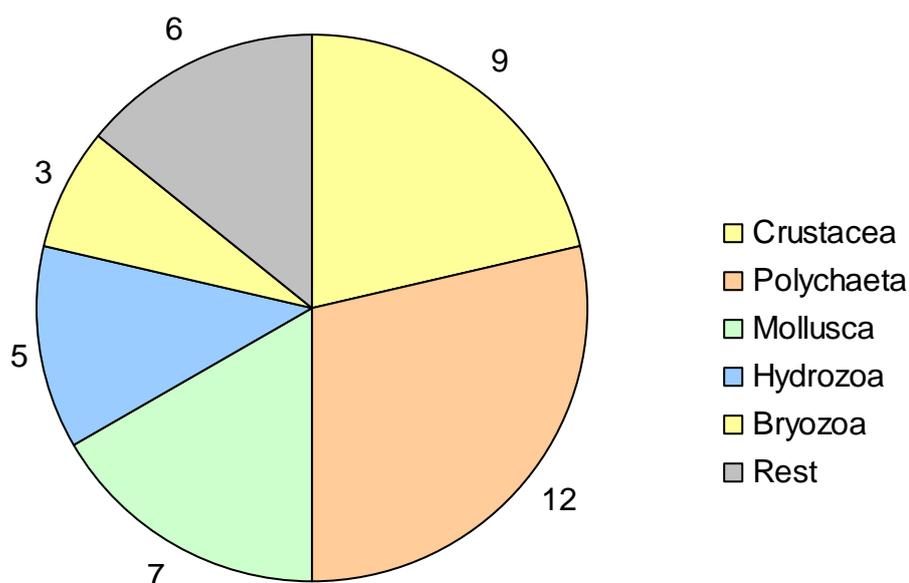


Abb. 20: Zusammensetzung des Makrozoobenthos auf den Bewuchsplatten am 15.01.2005 (177 Tage Exposition) und aus der Kratzprobe am Segment (649 Exposition). Die Nummern geben die Artenzahlen an.

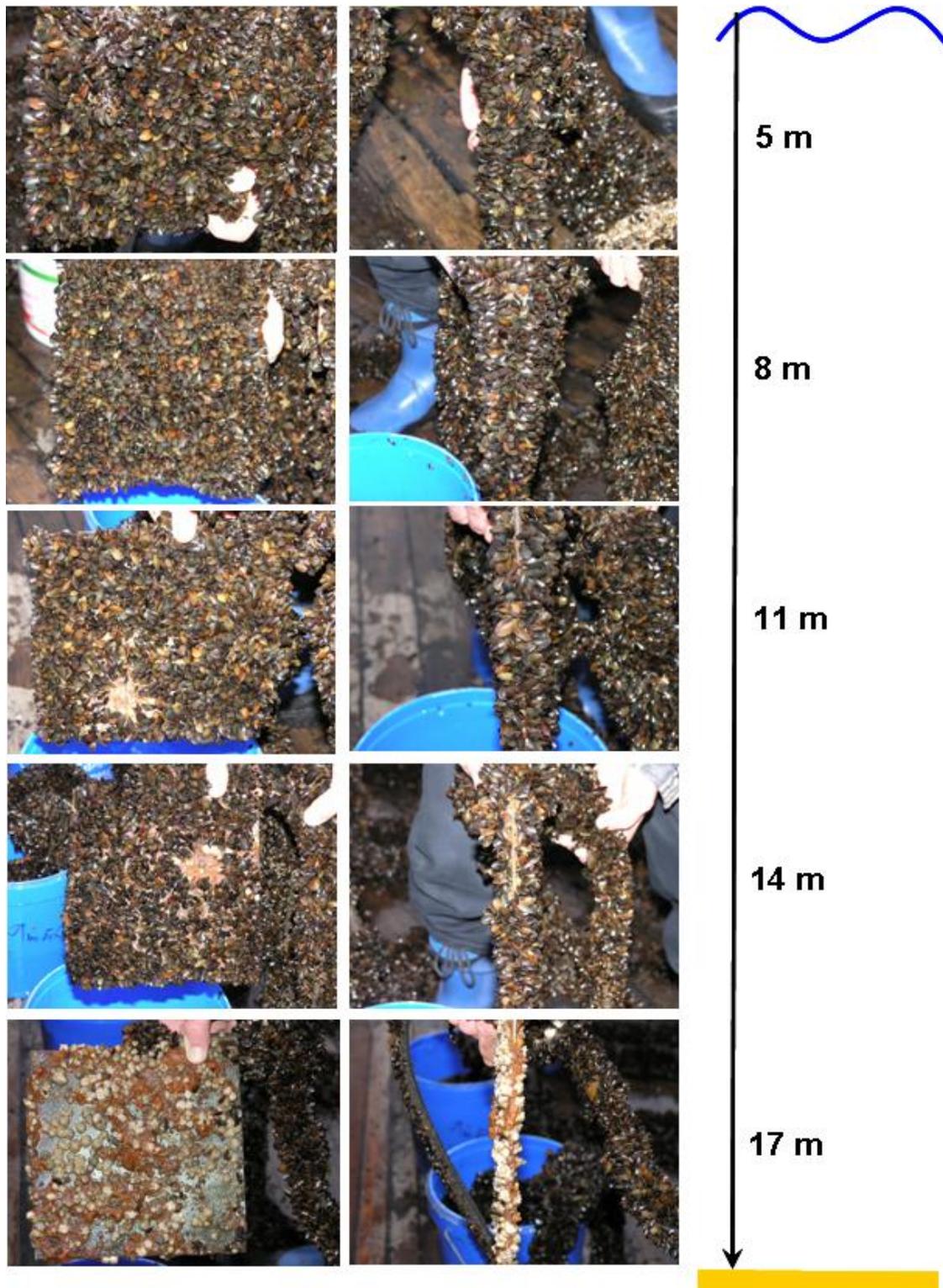


Abb. 21: Epibenthos auf den Bewuchsplatten in Abhängigkeit von der Wassertiefe im Januar 2005 nach einer Expositionszeit von 177 Tagen. Links= Aufsicht, zu erkennen ist die Siedlungsdichte. Rechts= Seitenansicht, zu erkennen ist die Siedlungsdicke.

In der Vertikalverteilung waren zudem wiederum die im Flachwasser exponierten Platten dichter besiedelt als die „Tiefenplatten“ (siehe **Abb. 21**). Im flacheren Wasser scheinen die Aufwuchsorganismen (hauptsächlich Miesmuscheln) optimale Bedingungen vorzufinden. Insbesondere bei der Biomasse konnten die Unterschiede

festgemacht werden. Dieses Phänomen ist hauptsächlich auf das bessere Wachstum von *Mytilus edulis* im „Flachwasser“ zurückzuführen (Abb. 22).

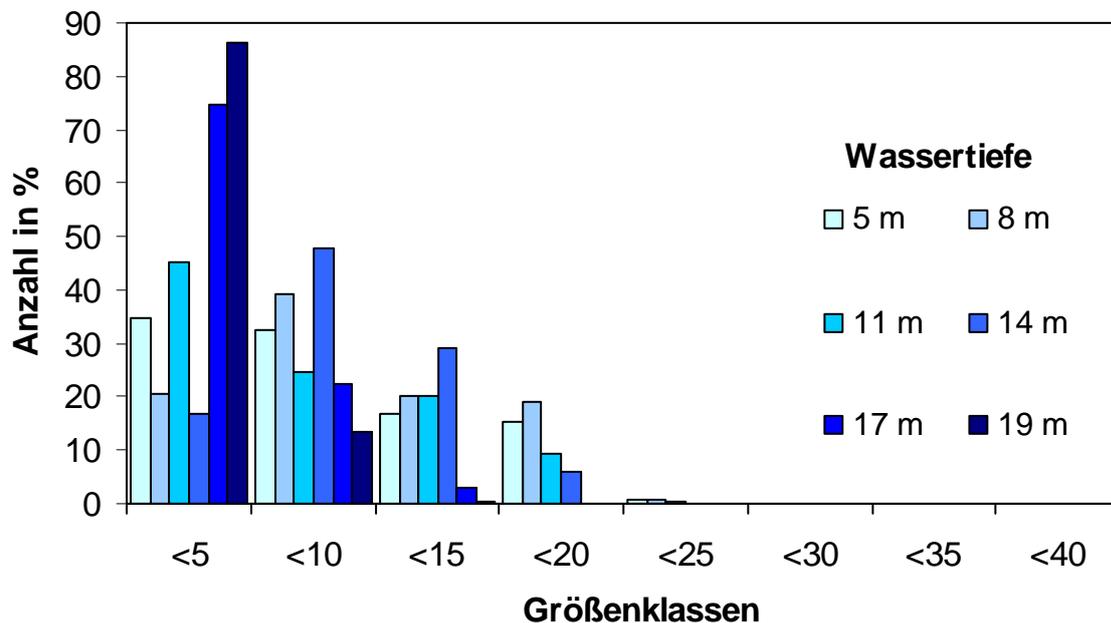


Abb. 22: Größenklassenverteilung von der Hauptbewuchsart *Mytilus edulis* in den unterschiedlichen Wassertiefen im Januar 2005 (177 Tage nach der Exposition für Tiefen von 5-17 m, und 649 Tage Exposition für 19 m).

In den Wassertiefen 5, 8 und 11 m konnten Miesmuscheln bis zu einer Größe von über 20 mm festgestellt werden. Die Aschefreie Trockenmasse von *M. edulis* lag zwischen 1 und 1,5 kg/m². Die tiefer liegenden Bewuchsflächen beherbergten kleinere Individuen. Die Biomasse lag deutlich unter 0,5 kg/m². Die Seepocken (*Balanus* spp.) erlangten hauptsächlich in diesem Tiefenbereich nennenswerte Abundanzen und Biomassen (Tab. 8 und 9).

Deutlichere Unterschiede im Vergleich zur ersten Versuchsserie sind bei der Abundanz (Tab. 8) und Biomasse (Tab. 9) zu finden. Bereits nach dieser kurzen Expositionszeit wurden Werte gemessen, die bei der Sommerexposition erst nach 1 Jahr zu beobachten waren (Abb. 23). Die Gesamtbiomassenwerte lagen nach einer vergleichbaren Zeit 3 bis 45 mal höher als bei der 1. Versuchsserie (Sommerexposition).

Tab. 9: Zusammenfassung der Aschefreien Trockenmasse (AFTM) (mg/m²) der am 15.01.2005 (177 Tage Exposition) an den Bewuchsplatten festgestellten Arten des Makrozoobenthos (dominant=gelb). *Kratzprobe vom Stahlrohrsegment (1 m vom Grund) nach 649Tagen Exposition.

Wassertiefe in m	19*	17	14	11	8	5
Abstand vom Grund in m	1*	3	6	9	12	15
Acari	2	1				
<i>Arenicola marina</i> (juv.)	15					
<i>Asterias rubens</i>	21141					
<i>Balanus crenatus</i>	21261	39145	821	5243		
<i>Balanus improvisus</i>	29622	63867	19711	4668	1753	17009
<i>Bylgides sarsi</i>			0,3	2	0,3	
<i>Cerastoderma glaucum</i>	0					
<i>Corophium insidiosum</i>	29			0,0	3	
<i>Eubranchus cf. exiguus</i>	5				0,3	
<i>Gammarus salinus</i>			0,0	56	194	389
<i>Harmothoe imbricata</i>	37					
<i>Harmothoe impar</i>	58					
<i>Hiatella arctica</i>	7					
<i>Hydrobia ulvae</i>					0,1	
<i>Idotea balthica</i>	13					
<i>Jaera albifrons</i>	1					
<i>Lepidonotus squamatus</i>	2					
<i>Lineus ruber</i>	240					
<i>Melita palmata</i>				3		
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	4		7	16	0,5	
<i>Mya arenaria</i>			1			
<i>Mytilus edulis</i>	47693	13122	442741	1065936	1515000	1295000
<i>Neanthes succinea</i>	199	0,3	75	90	89	932
<i>Nereimyra punctata</i>	2					
<i>Oligochaeta indet.</i>						0,1
<i>Phyllodoce maculata</i>	8					
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0					
<i>Polydora ciliata</i>	632	10	4	2	7	
<i>Polydora cornuta</i>	99			2	4	1
<i>Prostoma obscura</i>	160					
<i>Pygospio elegans</i>	0	1				
<i>Stiliger vesiculosus</i>	0					0,1
Turbellaria	743	65	15	63	48	200
Summe AFTM	121.972	116.212	463.376	1.076.079	1.517.099	1.313.532

Vermutlich sind durch die Winterexposition die größten Larvenschübe und damit erfolgreicherer Reproduktionszeiten der benthischen Organismen erfasst worden. Insbesondere die Balaniden und die Miesmuschel haben bereits nach 177 Tagen eine enorme Abundanz und Biomasse erreicht.

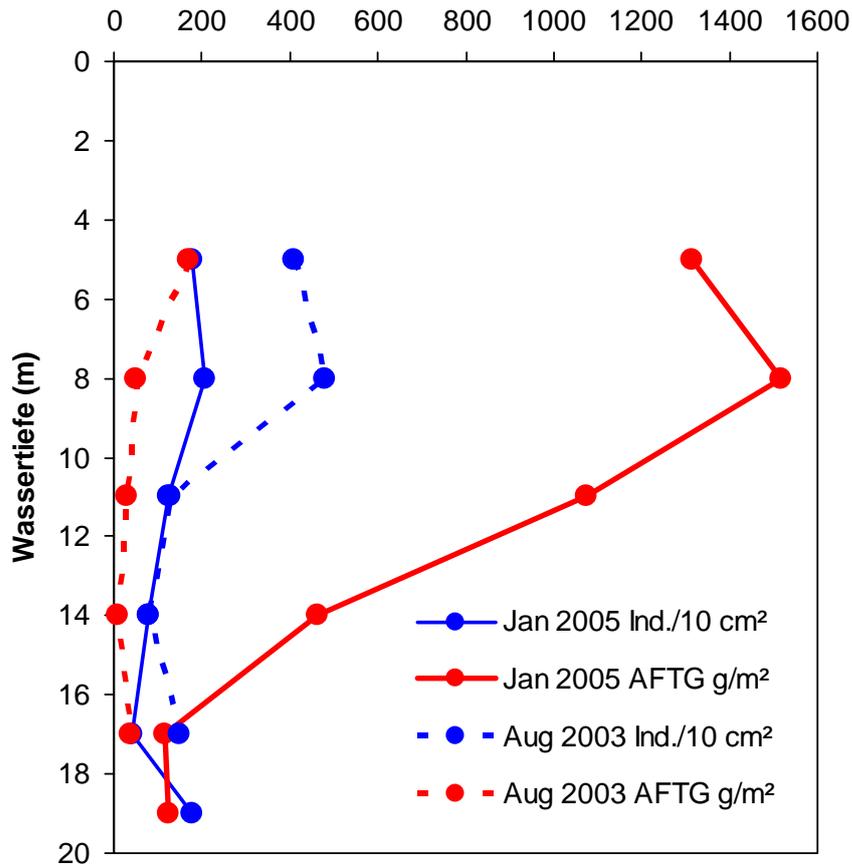


Abb. 23: Abundanz und Biomasse an den Bewuchsplatten (2. Serie) nach 177 Tagen Exposition (Jan 2005) im Vergleich mit 1. Serie nach 143 Tagen Exposition (Aug 2003) in Abhängigkeit von der Wassertiefe. (Beachte, dass die Abundanz je 10 cm² dargestellt ist, d.h. die Werte aus Tab. 8 sind durch 1.000 geteilt!)

3.3 Sedimentumlagerungen am Stahlrohrsegment und Endofauna

3.3.1 Sedimentumlagerungen

Sowohl auf dem Video als auch auf den Unterwasserfotos konnte die fortschreitende Sedimentumlagerung und Auskolkung am Stahlrohrsegment beobachtet werden. Bereits nach wenigen Monaten konnten eindeutige Effekte, verursacht durch das Fundamentmodell, festgestellt werden (Abb. 24).

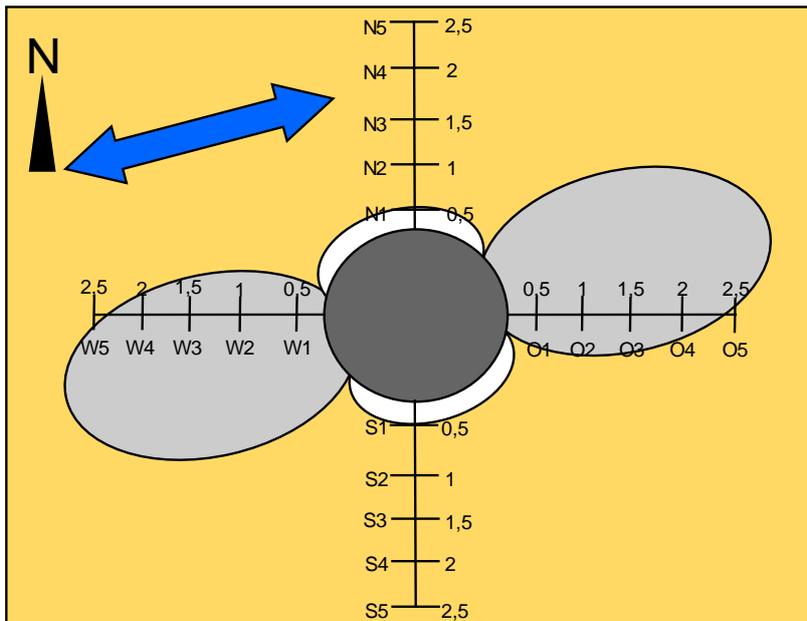


Abb. 24: Sedimentumlagerung und Auskolkung am Stahlrohrsegment an der Darßer Schwelle.
 Blauer Doppelpfeil=Haupt-Strömungsrichtungen
 Weiß=Auskolkung
 Hellgrau=Auflagerung von Sediment
 Dunkelgrau=Stahlrohrsegment

Zum einen kam es zu Auskolkungserscheinungen nordwestlich und südöstlich vom Stahlrohrsegment. Die Auskolkungen erreichten Tiefen von 30 bis 40 cm bei einer Ausdehnung von 50 bis 100 cm. Zum anderen lagerte sich das abgetragene Sediment kurz vor bzw. hinter dem Stahlrohrsegment ab. Auf Grund wechselnder Strömungsrichtungen an der Darßer Schwelle konnten diese Phänomene beidseitig entlang der Hauptströmungsrichtung beobachtet werden.

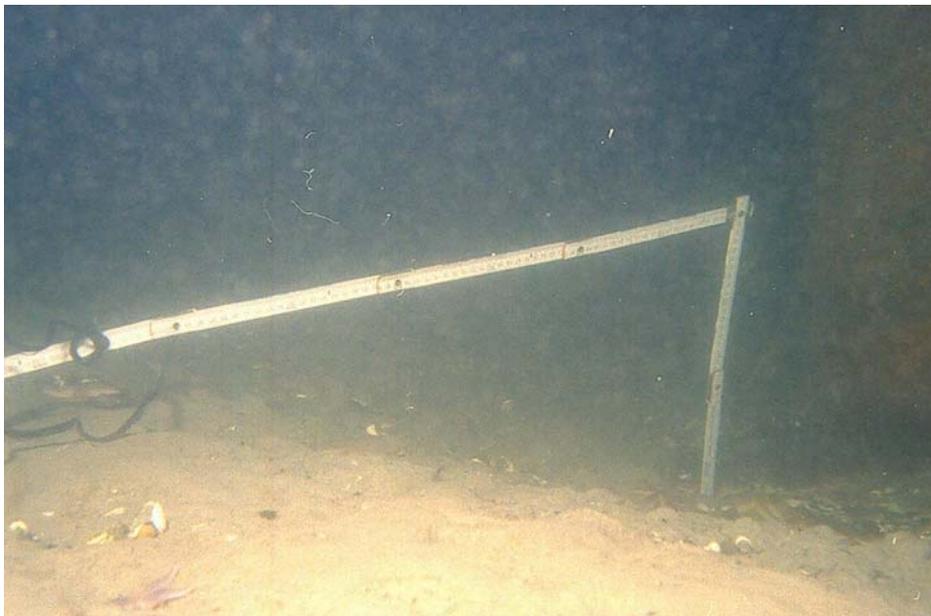


Abb. 25: Dez 2003 (nach 246 Tagen): Auskolkung am Stahlrohrzylinder. Die Auskolkungstiefe betrug bis zu 40 cm gegenüber dem umgebenden Substrat



Abb. 26: Mai 2004 (nach 417 Tagen): Die Auskolkung hatte sich stabilisiert. Die Tiefe betrug wie im Dez 2003 30 bis 40 cm. Schill verfestigte das Sediment. Vom Stahlrohrsegment abgefallene Biomasse diente v.a. Seesternen und Strandkrabben als Nahrung.

Bereits nach 246 Tagen betrug die Auskolkung 30 bis 40 cm Sedimenttiefe (**Abb. 25**). Die leichteren Feinsande und organischen Bestandteile sind ausgespült, nur die Schillablagerungen blieben zurück. Auch bei den darauffolgenden Taucher-Besichtigungen und Unterwasservideoaufnahmen zeigte sich das gleiche Bild. Allerdings nahm die Anreicherung von Muschelschill mit der Zeit deutlich zu. Außerdem drifteten mehr und mehr Pflanzen (Rot- und Braunalgen) in die Kolke ein. Auch Miesmuscheln und abgefallene *Balanus*-Placken vom Stahlrohrsegment akkumulierten sich am Modell-Pile.

Insbesondere diese Ansammlungen von Biomasse schien ein Attraktionszentrum für eine Reihe von Räubern zu bilden. Auf den tauchergeführten Videotransekten wurde deutlich, dass eine Konzentration von Seesternen (*Asterias rubens*), Strandkrabben (*Carcinus maenas*) und Dorschen (*Gadus morhua*) am Stahlrohrsegment stattfand. Der umgebene Sandboden schien bei weitem nicht so „attraktiv“ zu sein, wie die nahrungsreichen Areale um das Segment herum. Insbesondere nachdem es durch das Abfallen des Epibenthos zu einer gewissen Verfestigung des Substrates am Stahlrohrsegment gekommen ist und nachdem sich Rot- und Braunalgen ansiedeln konnten (siehe **Abb. 27**) war die Situation deutlich verschieden zu dem Anfangsstadium. Diese bereits äußerlich sichtbaren Unterschiede wurden durch die Ergebnisse der Sedimentbeprobung bestätigt.

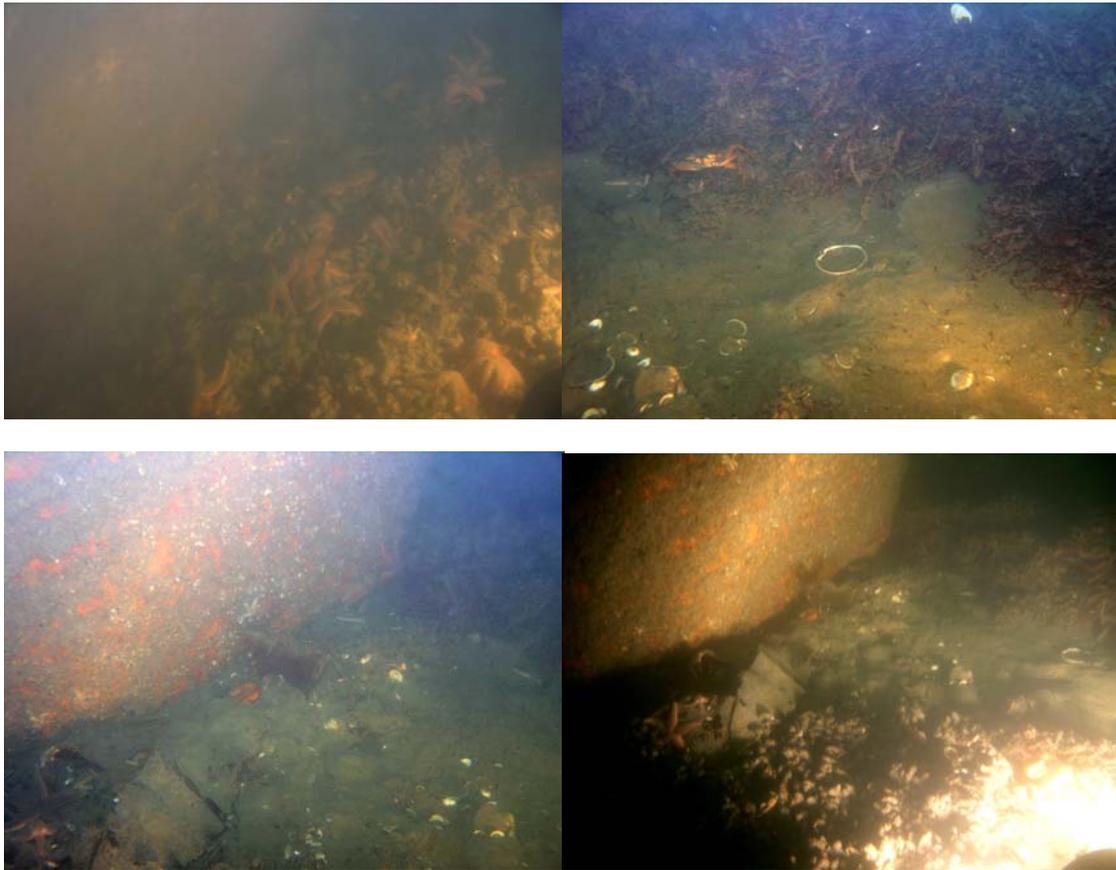


Abb. 27: Im Jan 2005 (nach 649 Tagen Exposition) konnte in den ausgekolkten Bereichen direkt am Stahlrohrsegment eine „Auffüllung“ der Kolke und eine Anreicherung von organischem Material (vermutlich vom Rohr abgefallen) beobachtet werden. Außerdem wurden erstmalig Rot- und Braunalgen (*Delesseria sanguinea* und *Laminaria saccharina*) im Areal des Stahlrohrsegmentes festgestellt.

3.3.2 Endofauna

Die sternförmige Substratbeprobung um den Stahlrohrzylinder herum ergab im Mai 2004 eine Gesamtartenzahl von 35. Am häufigsten waren die Polychaeten *Scoloplos armiger*, *Pygospio elegans* und *Aricidea suecica* sowie der Oligochaet *Tubificoides benedeni* und der Cumacee *Diastylis rathkei* zu finden. Es konnten erste Anzeichen einer Verschiebung der Endofauna in der Besiedlung am Pile-Modell festgestellt werden. Allerdings benötigen diese Erkenntnisse noch weitere Untersuchungen zur Verifizierung. Die Artenzahl je Probe schwankte zwischen 5 und 20 (**Abb. 28**). Die Abundanz erreichte Werte zwischen 1.000 und 25.000 Ind./m² und die Feuchtmasse lag im Bereich zwischen 1 und 670 g/m².

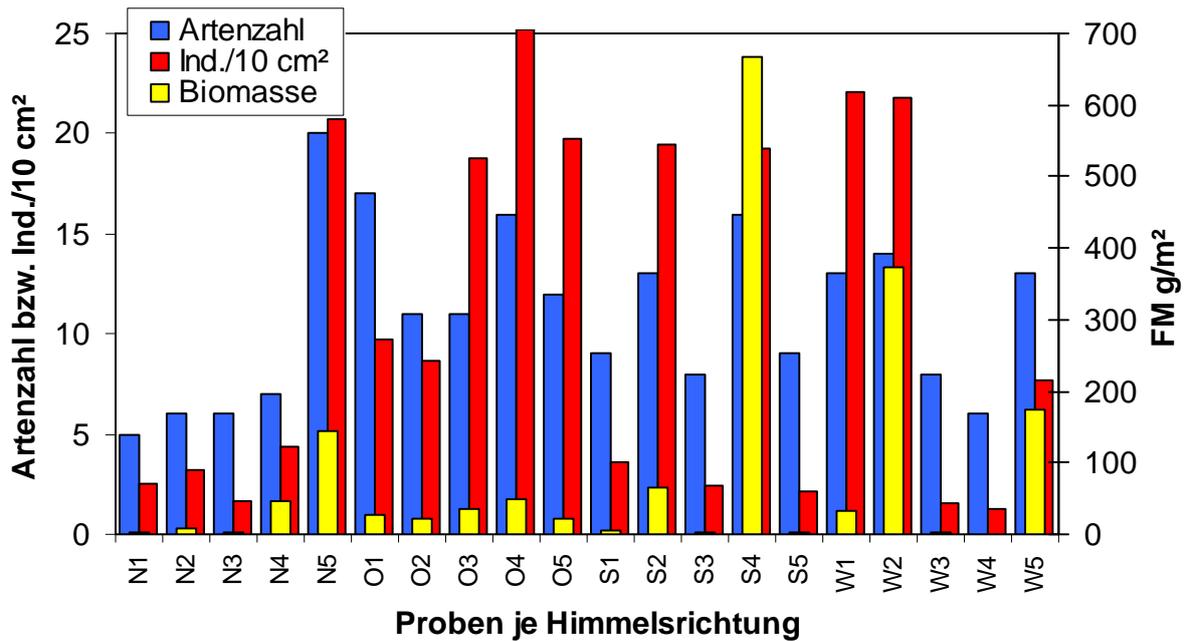


Abb. 28: Artenzahl, die Abundanz (Ind./10 cm²) und Biomasse (Feuchtmasse in g/m²) des Makrozoobenthos der Sedimentbeprobung entlang der vier Himmelsrichtungen am Stahlrohrsegment im Mai 2004 (417 Tage nach Ausbringung). Auf der X-Achse bezieht sich der Buchstabe auf die Himmelsrichtung und die Zahl auf die Entfernung vom Stahlrohrsegment (siehe auch **Abb. 3 und 24**).

Stellt man die Ergebnisse der Transektbeprobung im Mai 2004 am Stahlrohrsegment sortiert nach den Himmelsrichtungen gegenüber, so erhält man kein eindeutiges Bild (**Abb. 29**). Bei allen drei Hauptparametern (Artenzahl, Abundanz und Biomasse) kam es zu erheblichen Schwankungen innerhalb der Stationen. Betrachtet man zuerst den Transekt Süd nach Nord ist eine leichte Abnahme der Artenzahl in der Nähe des Segments zu erkennen. Diese könnte eventuell durch die zu gleiche Zeit vorhandenen Kolke mit ihren Schillablagerungen begründet liegen. Das wird auch dadurch unterstützt, dass im entgegengesetzten Transekt eine leichte Zunahme zum Stahlrohrsegment beobachtet wurde. Auf diesem Transekt waren die Sedimente ungestörter, nur leichte Auflagerungen wurden beobachtet (siehe oben). Die bei der Artenzahl festgestellten Trends (jedoch nicht signifikant) spiegeln sich bei der Abundanz und Biomasse nicht wider. Bei beiden Parametern kam es durch die Sedimentumlagerungen zu keiner deutlichen Verschiebung. Sogenannte „Ausreißer“ bestimmten das Bild. Vermutlich ist die Probendichte nicht ausreichend, um ein reelles Bild widerzugeben. Jedoch ist eine dichtere Probennahme auf Grund des sehr kleinen Versuchsfeldes unsinnig. Es würde zu größeren anthropogenen Störungen kommen, die ebenfalls zu keiner reellen Aussage führen.

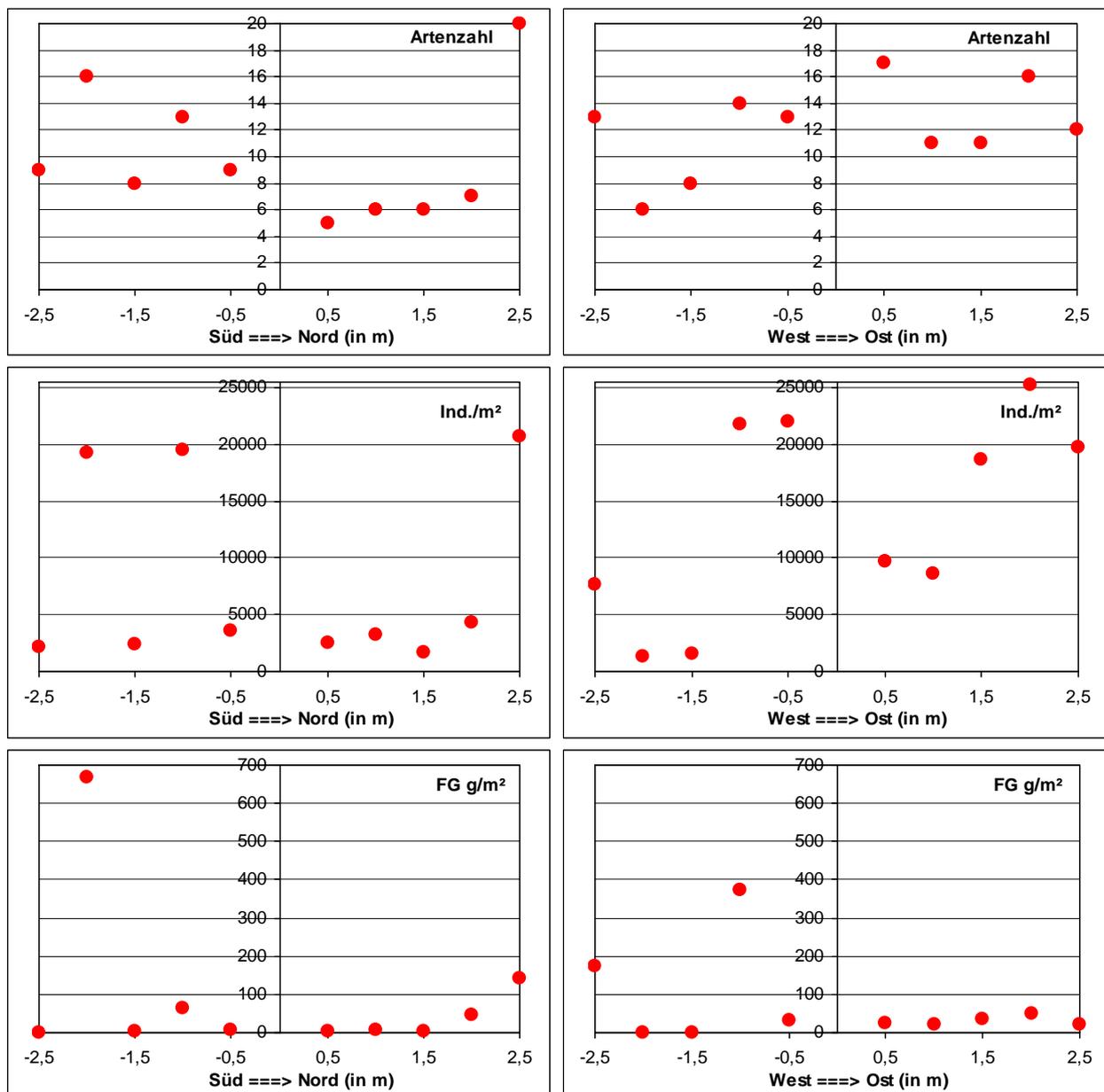


Abb. 29: Artenzahl, Abundanz und Biomasse des Makrozoobenthos entlang der Transekte (Himmelsrichtungen) am Stahlrohrsegment im Mai 2004. Angegeben ist jeweils die Richtung (Süd nach Nord oder West nach Ost) und die Entfernung vom Pile-Modell.

Die zweite Beprobung der Sedimente im Umfeld des Stahlrohrsegmentes fand im März 2005 statt, das sind 697 Tage nach Ausbringung des Zylinders. Im Gegensatz zur ersten Beprobung (siehe oben) konnten jetzt **deutliche Veränderungen im Nahbereich des Pile** nachgewiesen werden (Abb. 30 bis 33).

1. Die Artenzahl im Nahbereich des Pile hat signifikant zugenommen (Abb. 30)
2. Die Abundanz im Nahbereich des Pile ist am höchsten und hat zugenommen (Abb. 31)
3. Die Biomasse im Nahbereich des Pile ist am höchsten und hat zugenommen (Abb. 32).

Alle drei Effekte sind direkt auf den Einfluss des „Fundamentmodells“ zurückzuführen. Abgefallene Organismen akkumulieren in den vorher ausgekolkten Bereichen am Pilefuß. In den Abbildungen wird sehr deutlich, dass im Umkreis von 0,5 bis 1 m der Effekt sichtbar ist.

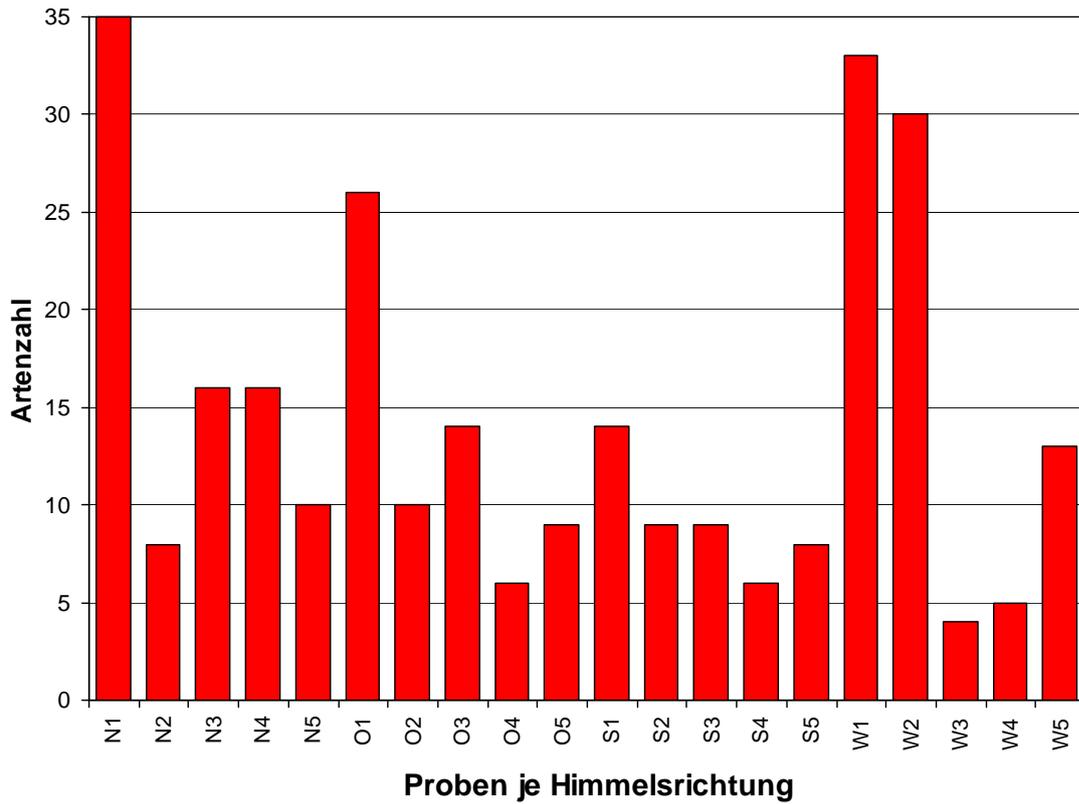


Abb. 30: Artenzahl des Makrozoobenthos bei der Sedimentbeprobung entlang der vier Himmelsrichtungen am Stahlrohrsegment im März 2005 (697 Tage nach Ausbringung). Auf der X-Achse bezieht sich der Buschstabe auf die Himmelsrichtung und die Zahl auf die Entfernung vom Stahlrohrsegment (siehe auch Abb. 3 und 24), d.h. 1 bedeutet 0,5 m und 5 ist 2,5 m Abstand zum Pile.

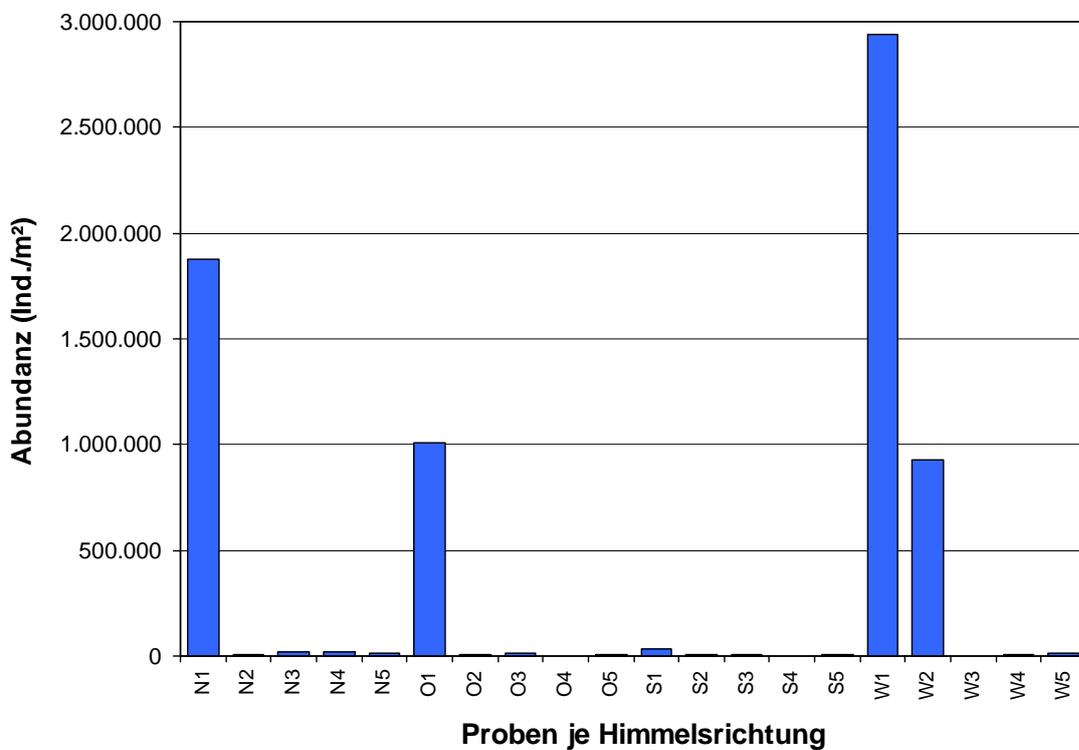


Abb. 31: Abundanz des Makrozoobenthos bei der Sedimentbeprobung entlang der vier Himmelsrichtungen am Stahlrohrsegment im März 2005 (697 Tage nach Ausbringung). (X-Achsenbeschriftung siehe Abb. 30).

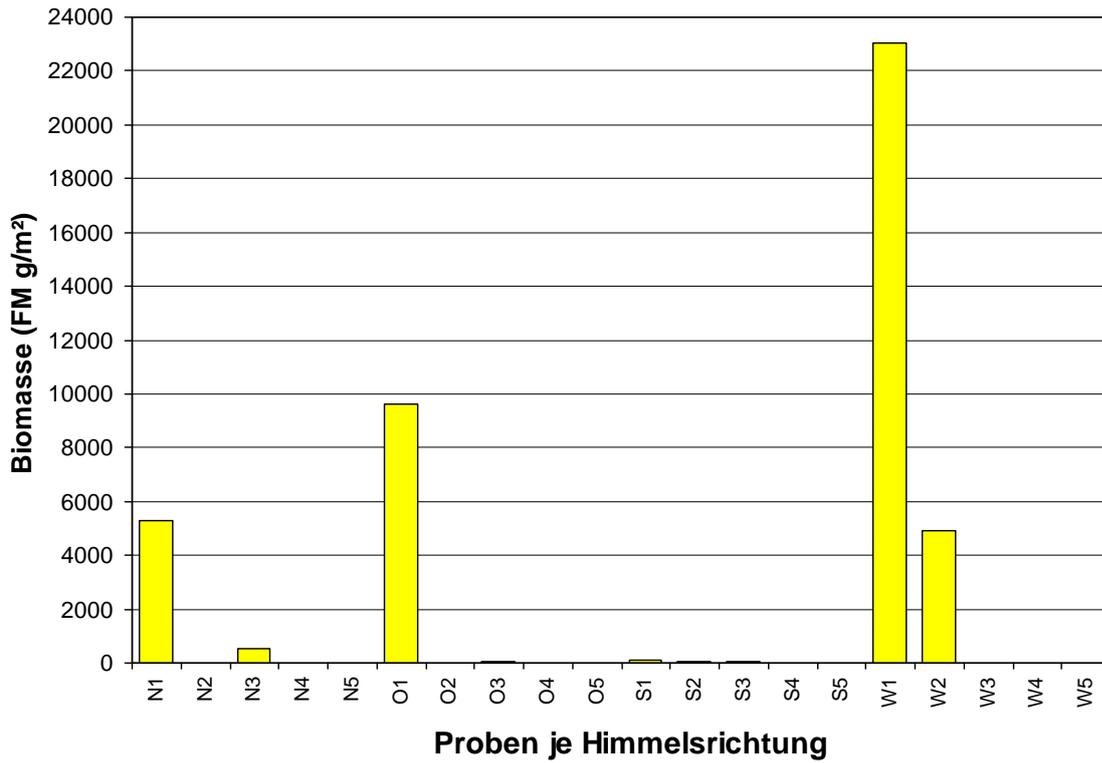


Abb. 32: Biomasse des Makrozoobenthos bei der Sedimentbeprobung entlang der vier Himmelsrichtungen am Stahlrohrsegment im März 2005 (697 Tage nach Ausbringung). (X-Achsenbeschriftung siehe **Abb. 30**).

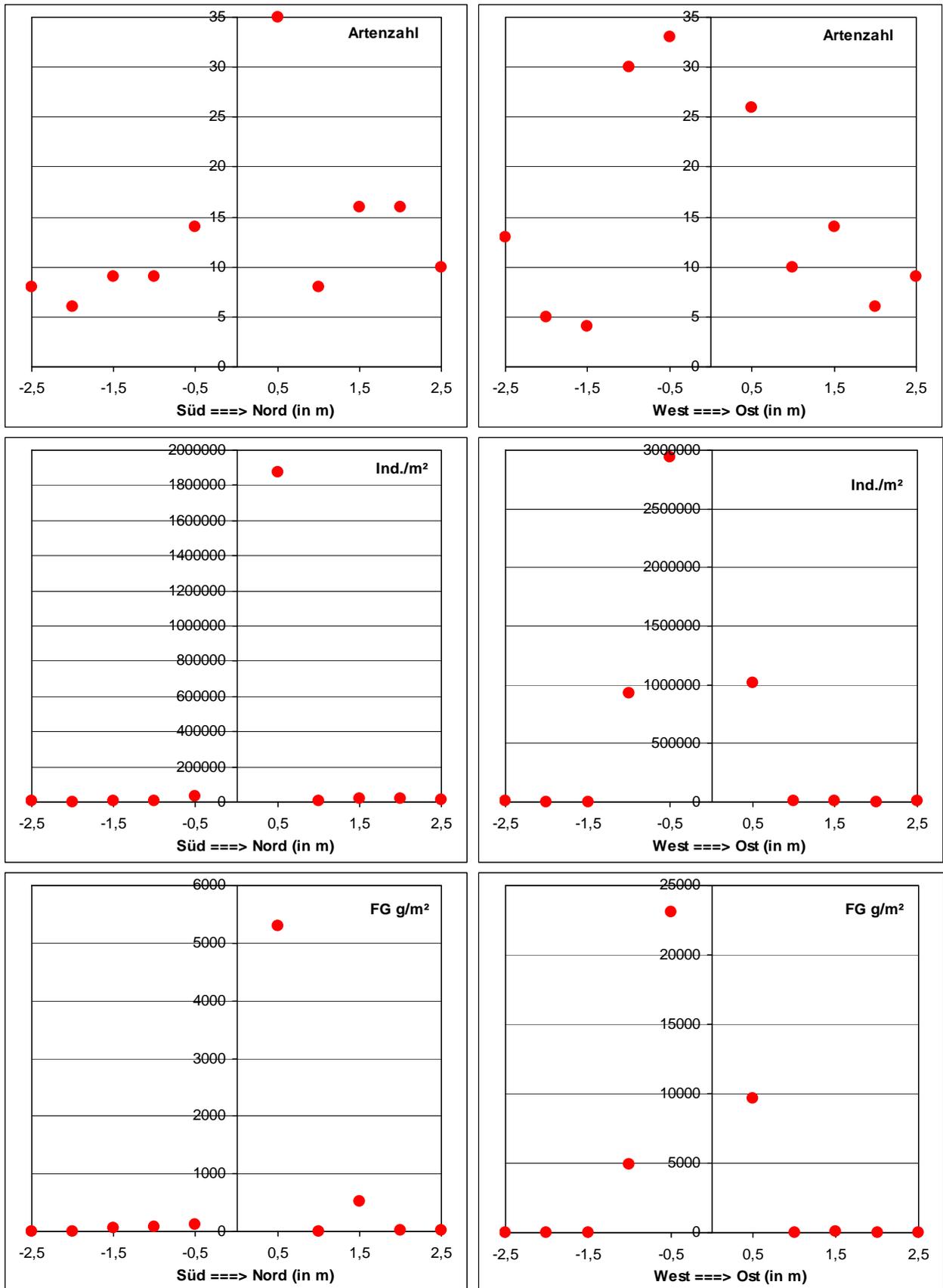


Abb. 33: Artenzahl, Abundanz und Biomasse des Makrozoobenthos entlang der Transekte (Himmelsrichtungen) am Stahlrohrsegment im März 2005. Angegeben ist jeweils die Richtung (Süd nach Nord oder West nach Ost) und die Entfernung vom Pile-Modell.

Die Monitoringstation 030 liegt ebenfalls an der Darßer Schwelle (siehe **Karte**) und wurde als Referenzstation zu unseren Untersuchungen am Stahlrohrsegment herangezogen. Im Vergleich mit den Ergebnissen des Langzeitmonitorings an der Station 030 von 1991 bis 2003 sind sowohl große Gemeinsamkeiten als auch einige Unterschiede festzustellen (**Tab. 10**).

Tab. 10: Vergleich der häufigsten endobenthischen Taxa zwischen der Monitoringstation 030 und dem Messfeld an der Darßer Schwelle. Die Zahlen indizieren die Frequenz (Häufigkeit in %) [Station 030 Daten von 1991 bis 2003 und Messfeld alle 40 Stechrohrproben vom Mai 2004 und vom März 2005]. Gelb=Taxa mit >40%, Grün=für die Region erstmalig im Messfeld nachgewiesene Taxa.

Taxa	Strn. 030	Messfeld
<i>Halicryptus spinulosus</i>	92	13
Nemertini	75	60
<i>Astarte borealis</i>	100	2,5
<i>Cerastoderma glaucum</i>	50	2,5
<i>Hydrobia ulvae</i>	100	65
<i>Macoma balthica</i>	100	63
<i>Mya arenaria</i>	100	30
<i>Tubifex costatus</i>	50	53
<i>Tubificoides benedeni</i>	100	90
<i>Ampharete baltica</i>	92	10
<i>Aricidea suecica</i>	75	88
<i>Bylgides sarsi</i>	92	12,5
<i>Capitella capitata</i>	58	10
<i>Eteone longa</i>	92	40
<i>Fabriciola baltica</i>	0	3
<i>Harmothoe imbricata</i>	58	2,5
<i>Hediste diversicolor</i>	83	2,5
<i>Nephtys caeca</i>	0	15
<i>Pholoe assimilis</i>	0	10
<i>Pygospio elegans</i>	92	83
<i>Scoloplos armiger</i>	100	100
<i>Sphaerodoropsis baltica</i>	0	8
<i>Spio gonioccephala</i>	58	0
<i>Balanus crenatus</i>	67	17,5
<i>Balanus improvisus</i>	0	7,5
<i>Corophium crassicorne</i>	58	20
<i>Diastylis rathkei</i>	83	60

Von den 22 endobenthischen Taxa der Station 030 (epibenthische und mobile Arten wurden nicht berücksichtigt), die seit 1991 eine Frequenz von über 40 % aufwiesen, konnten 10 im Bereich des Stahlrohrsegmentes mit vergleichbarer Stetigkeit nachgewiesen werden. Dazu zählten die häufigsten Arten im Untersuchungsgebiet wie die Muschel *Macoma balthica*, die Polychaeta *Pygospio elegans* und *Scoloplos armiger* und der Krebs *Diastylis rathkei*. Weitere 11 Arten wurden festgestellt, erreichten jedoch geringere Werte (<40%). 1 Art der als Referenz dienenden Monitoringstation 030 konnte bei der Transektbeprobung am Stahlrohrsegment nicht beobachtet werden. Dabei handelt es sich um den Polychaeten *Spio gonioccephala*. Weitere 5 Arten wurden im Messfeld

(geringe Frequenzen) gefunden, sind aber im Zeitraum von 1991 bis 2003 bisher nie an der Monitoringstation festgestellt worden.

Sowohl die Variabilitäten des Endobenthos in den Transektuntersuchungen als auch die Unterschiede zur Referenzstation können zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung nicht signifikant belegt werden. Die Messdichte ist zu gering. Das Fundament-Modell reicht für die Analyse der Prozesse im Nahbereich der Piles in Bezug auf das Endobenthos nicht aus. Die Vorzüge der Forschungsplattform konnten für diesen Unterpunkt mit Hilfe des Modells nicht erreicht werden!

4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Diskussion

4.1 Epibenthos (Aufwuchsorganismen)

Im Messfeld des IOW an der Darßer Schwelle wurde vom April 2003 bis Juli 2004 (Sommerexposition) und vom Juli 2004 bis Januar 2005 (Winterexposition) die sukzessive Besiedlung des sekundären Hartbodens in 2 Jahresgängen untersucht. Mit Hilfe des Stahlrohrsegmentes und der Bewuchsplatten wurde ein Fundament (Pile) eines Windkrafttrades simuliert. Die epibenthische Besiedlung fand unmittelbar nach der Exposition im April 2003 statt. Bereits im August 2003 waren fast alle Hauptgruppen an der Besiedlung beteiligt (**Abb. 34**). Anfänglich konnten 18 Taxa festgestellt werden. Bis zum Dezember 2003 nahm die Artenzahl auf 28 und bis zum Juli 2004 auf 41 zu. Bezüglich der Artenbiodiversität wurde im Beobachtungszeitraum kein Plateau erreicht. Es ist davon auszugehen, dass die Artenzahl noch weiter zunehmen würde. Als artenreichste Gruppen stellten sich die Polychaeta (Vielborster) und die Crustacea (Krebse) heraus. Weitere nennenswerte Gruppen waren die Mollusca (Weichtiere), die Nemertini (Schnurwürmer), die Hydrozoa (Polypen) und die Bryozoa (Moostierchen).

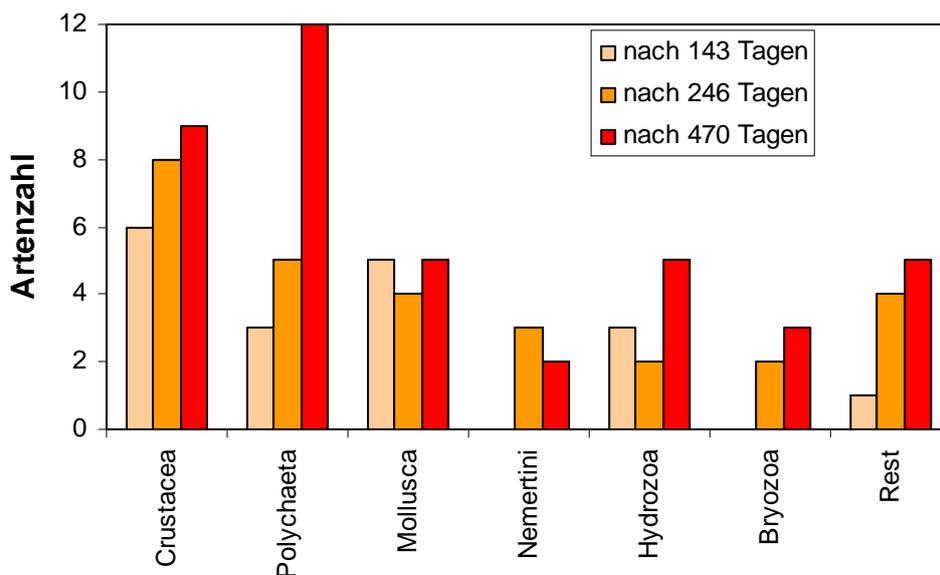


Abb. 34: Die zeitliche Veränderung der Faunenzusammensetzung im Makrozoobenthos im Aufwuchs auf den Bewuchsplatten (Expositionszeit: 07.04.2003 bis 20.07.2004).

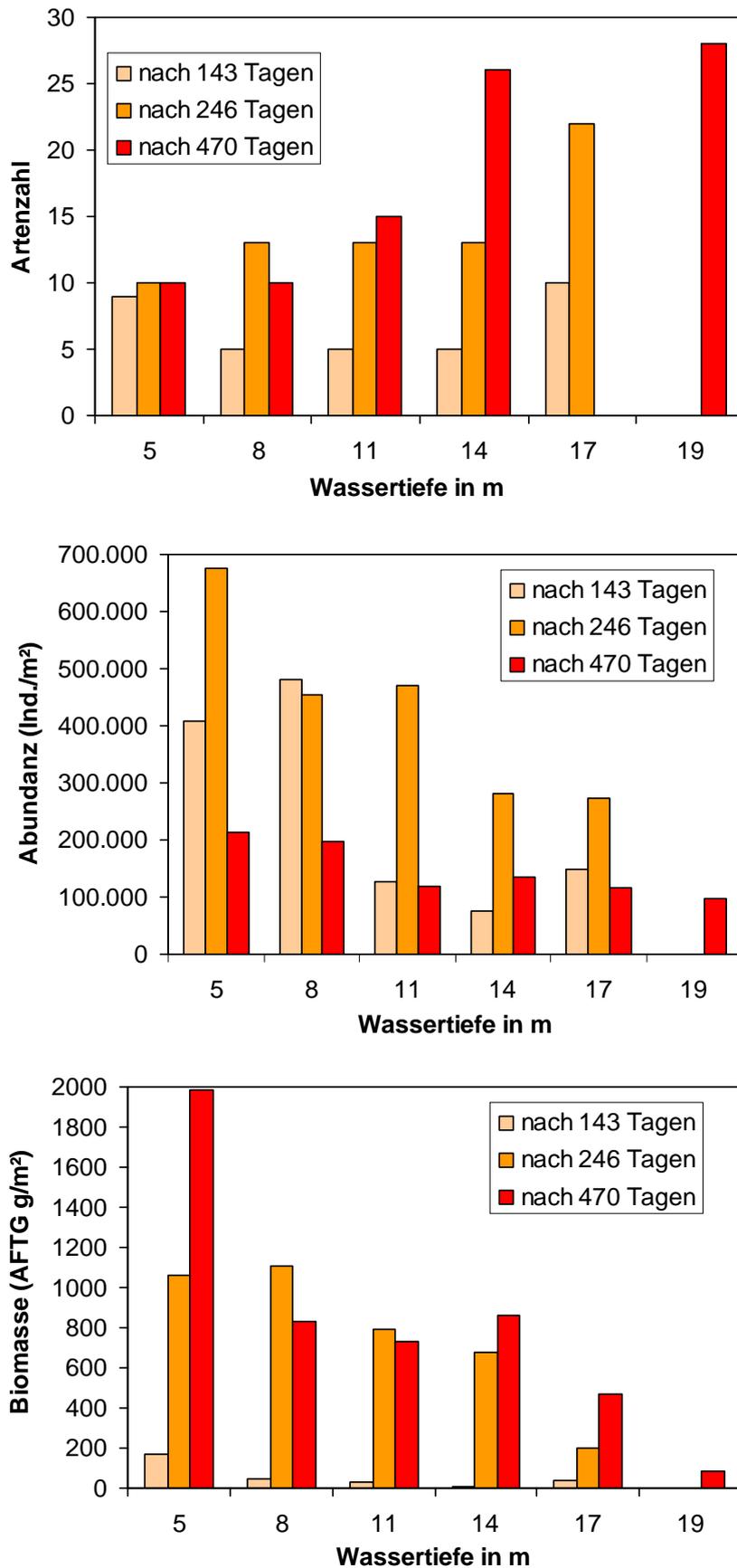


Abb. 35: Zeitliche Entwicklung der Artenzahlen, Abundanz und Biomasse an den Bewuchsplatten nach 143 Tagen (Aug 2003), 246 Tagen (Dez 2003) und 470 Tagen (Jul 2004) in Abhängigkeit von der Wassertiefe (Expositionszeit: 07.04.2003 bis 20.07.2004). Es bleibt zu beachten, dass im Juli 2004 der Wert von der Kratzprobe am Stahlrohrsegment (19 m Wassertiefe) mit einging, die bodennahe Bewuchsplatte (17 m Wassertiefe) jedoch wegen Verlust nicht beprobt werden konnte.

In Abhängigkeit von der Wassertiefe stellten sich bei allen Untersuchungsterminen die bodennahen Wassertiefen (14 bis 19 m) als die artenreichsten heraus (**Abb. 35** oben). Insbesondere dort nahm die Artenzahl über die Zeit rasant zu und lag nach einem Jahr zwischen 25 und 30. Im flacheren Wasserkörper (5 und 8 m) pegelte sich die Artenzahl bereits nach der Hälfte des Jahres auf ca. 10 Arten ein.

Die Abundanz verhielt sich konträr zur Artenzahl und nahm mit zunehmender Wassertiefe ab (**Abb. 35** mitte). Es wurden nicht zum Ende sondern zur Mitte des Untersuchungszeitraumes die höchsten Werte beobachtet. In fast allen Wassertiefen kam es im Vergleich zu den Anfangswerten (143 Tage Exposition) nach 246 zu einer Verdopplung bzw. Verdreifachung der Dichten (Ausnahme 8 m Wassertiefe, hier wurden die höchsten Werte nach 143 Tagen registriert). Zum Ende der Untersuchungsperiode (nach 470 Tagen Exposition) fiel die Abundanz in den meisten Wassertiefen unter denen des Anfangswertes. Sowohl die Größenordnung von 100.000 bis 700.000 Ind./m² als auch die Abnahme nach ca. 1 Jahr konnte an künstlichen Riffen in der Pommernbucht durch Chojnacki (2000) ebenfalls beobachtet werden. Auch dort dominierten Miesmuschel und Seepocken den Aufwuchs. Es wird vermutet, dass die Abnahme nach ca. 1 Jahr auf das Abfallen des Biofouling und zu Bodensinken zurückzuführen ist.

Die Biomasse erreichte in fast allen Wassertiefen bereits nach der Hälfte des Untersuchungszeitraumes die „Endgröße“ (**Abb. 35** unten). Nur im Flachwasser (5 m Tiefe) kam es noch zu einer starken Zunahme gegen Ende des Untersuchungszeitraumes. In anderen Wassertiefen wurden leichte Zu- bzw. Abnahmen beobachtet. Lag nach 246 Tagen die Gesamtbiomasse ca. 13 mal höher als nach 143 Tagen, so war im Vergleich zwischen 470 und 246 Tagen nur noch ein Zunahme von 1,2 mal zu beobachten.

Die 2. Untersuchungsserie (Winterexposition) zeigte deutlich, dass die beobachteten Prozesse noch wesentlich schneller ablaufen können. Liegt die Initialphase im Winterhalbjahr, sind, begünstigt durch die Haupt-Reproduktionszeiten der dominanten, benthischen Organismen, noch schnellere Sukzessionen zu erwarten. Bereits nach 177 Tagen erreichte die Biomasse am „Pile“ Werte, wie sie zur Sommerexposition erst nach ca. 1 Jahr zu beobachten war.

In den Jahren 2003 und 2004 lag die Biomasse (Frischgewicht) an der Monitoringstation im Weichboden bei durchschnittlich 140 g/m². Vergleicht man die Werte mit den am Stahlrohrsegment ermittelten Biomassen, so wird die Dimension der Zunahme sehr deutlich (**Tab. 11**). Durch die eingebrachten Hartsubstrate wurden Siedlungsstrukturen für viele epibenthische Organismen geschaffen. Die Zunahme der Biomasse hat einen Vergrößerungsfaktor von 14 bis 140. Das bedeutet, dass nach Ausbringung der Fundamente die Sekundärproduktion und auch die Akkumulation der Biomasse im Gebiet um ein Vielfaches höher liegt als vorher. Ähnliche Ergebnisse liegen auch von den dänischen offshore-Windkraftanlagen aus der Nordsee (Leonard & Pedersen 2004) und aus der Ostsee (Birkelund & Petersen 2004) vor. Wie im vorliegenden Fall sind als Hauptinitiatoren die Miesmuschel (*Mytilus edulis*) und Seepockenarten (*Balanus* spp.) zu nennen. Bis über 95 % der Biomasse werden durch diese Taxa gestellt. Auch in der Pommernbucht wurden an künstlichen Riffstrukturen ähnlich rapide Besiedlungsmuster beobachtet (Chojnacki 2000). Studien an der holländische Nordseeküste haben gezeigt, dass mit einer Stabilität der Fouling-Gemeinschaft erst nach 5 bis 6 Jahren zu rechnen ist, welche

sich durch Sturmereignisse und andere Prozesse noch verzögern kann (Leewis & Hallie 2000, Leewies et al. 2000). In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass bereits nach 3 bis 4 Monaten die Biomassezunahme um eine Zifgaches höher liegt und nach ca. 1 Jahr ein „Biomasseplateau“ erreicht wird. Insbesondere im Flachwasser scheinen die Miesmuscheln und Balaniden hervorragene Wachstumsbedingungen vorzufinden. Die Biomasse nahm mit zunehmender Wassertiefe ab, lag aber immer deutlich höher als der Ausgangswert der Weichbodengemeinschaft (Tab. 11). Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft ist jedoch auch nach mehr als 1 Jahr noch nicht stabil. Über 86 Taxa konnten im Versuchsfeld beobachtet werden (siehe Anhang).

Tab. 11: Gesamt-Biomasse (Feuchtgewicht) an der Monitoringstation (030), am Stahlrohr (nach etwa 1 Jahr in verschiedenen Wassertiefen) und an Pilestrukturen aus der Literatur. ¹=aus Birklund & Petersen (2004). Die Trockengewichte wurden mit einem Faktor von 2,55 in Feuchtgewichte umgerechnet. ²=aus Leonard & Pedersen (2004)

Pilestrukturen	FG in g/m ²
5 m	20.000
8 m	15.000
11 m	11.500
14 m	13.000
17 m	4.000
19 m	2.000
Monitoring (030), 2003-2004, Referenz	140
Nysted, Ostsee, Pile nach 1 Jahr ¹	3.000
Nysted, Ostsee, Mast nach 6 Jahren ¹	14.500
Horns Rev, Nordsee, Pile nach 1 Jahr ²	2.800

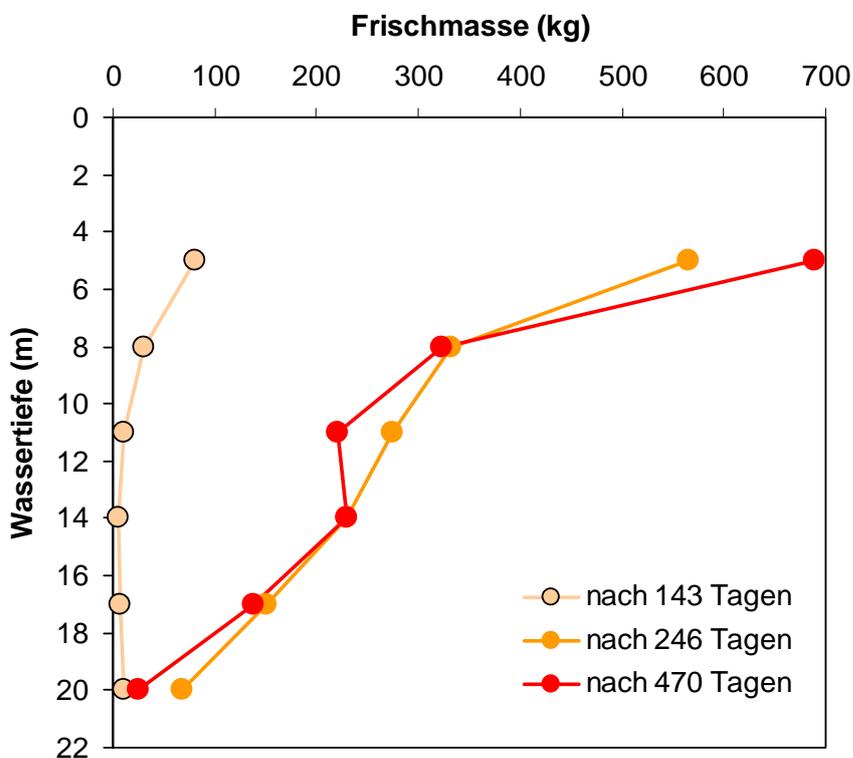


Abb. 36: Berechnete Frischmasse an einem modellierten Pile mit 2 m Durchmesser und in einer Wassertiefe von 20 m (Expositionszeit: 07.04.2003 bis 20.07.2004, Sommerexposition).

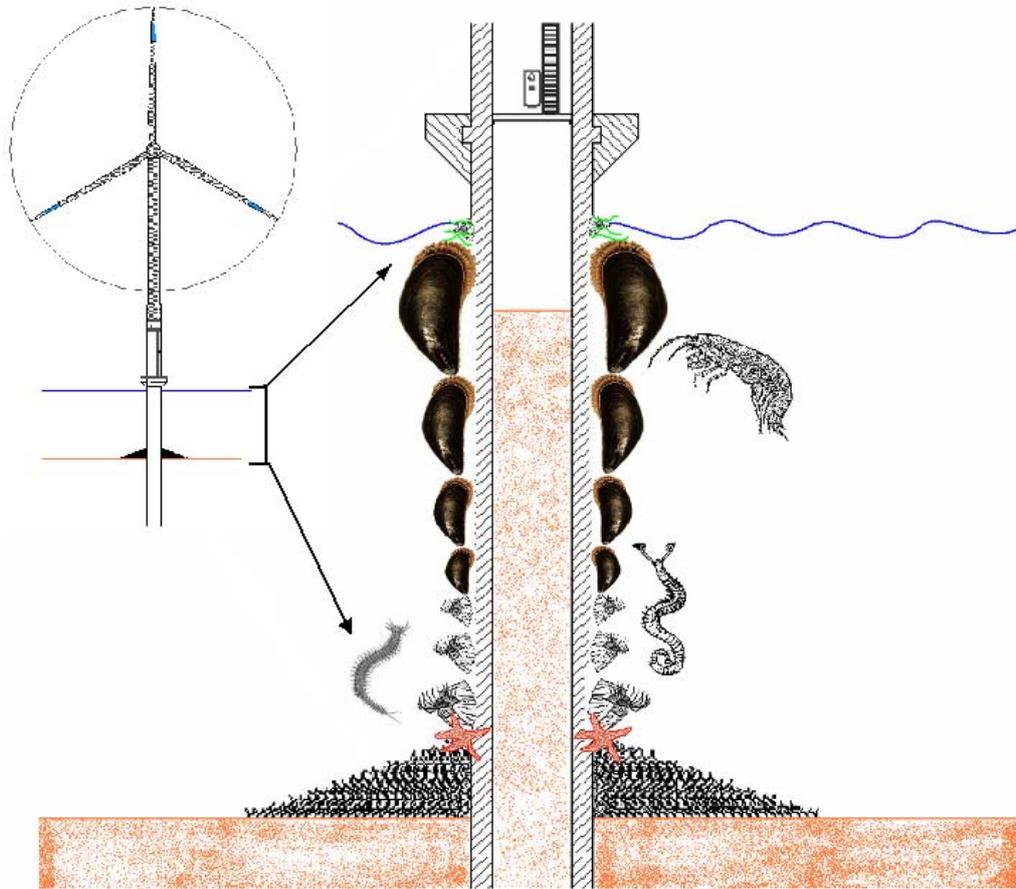


Abb. 37: Schematische Darstellung der Besiedlung durch Aufwuchsorganismen an einem Windkrafttradrundament. Die Biomasse ist an der Wasseroberfläche am größten. Hauptbesiedler sind die Miesmuschel (*Mytilus edulis*) und Seepocken (*Balanus* spp.). Kleine Organismen wie Polychaeten und Krebse halten sich v.a. in den Zwischenräumen des Aufwuchses auf. Im bodennahen Bereich kann der Seesterne (*Asterias rubens*) erheblichen Fraßdruck ausüben.

Wenn man die Berechnungen der Biomasseentwicklung an den Bewuchsplatten und dem Stahlrohrsegment heranzieht, so ergibt sich für ein Rohr (z.B. Pilefuß) von 2 m Durchmesser über die gesamte 20 m Wassersäule eine Biomasseproduktion (Feuchtmasse) von 150 kg nach 143 Tagen und von 1,6 Tonnen nach 246 bzw. 470 Tagen. Die Verteilung über die gesamte Wassersäule ist den **Abb. 36** und **37** zu entnehmen. Es wird deutlich, dass bereits nach einer Expositionszeit von 246 Tagen die „Endbiomasse“ erreicht wurde. Nach weiteren 224 Tagen wurden ähnliche Verhältnisse beobachtet. Allerdings verhielt sich der epibenthische Aufwuchs im Vertikalgradienten unterschiedlich. Demnach sind die größten Produktionsraten und damit die höchsten mechanischen Belastungen der Windkraftfundamente in oberflächennahen Wassertiefen zu erwarten. Geht man davon aus, dass ein Windkrafttradrundament von etwa 3fach größeren Ausmaß (bei Tripod)¹ hat und in einem theoretischen Windkraftfeld 100 Windräder geplant sind (die Planungen in der Ostsee liegen zwischen 20

¹ An der dänischen Küste wurden bei Wassertiefen zwischen 6 und 11 m Monopile-Fundamente verwendet, die einen Durchmesser von 4 bzw. 4,24 m haben (Birklund & Petersen 2004, Leonard & Pedersen 2004). Demnach wären die vorliegenden Ergebnisse etwa zu verdoppeln.

und 400), dann ist von einer zusätzlichen **Biomasseakkumulation je Windkraftfeld von ca. 500 Tonnen** auszugehen. Die zusätzliche Belastung der umliegenden Sedimente mit organischem Material ist dann von dem Rhythmus abhängig, mit dem die obere Rostschicht der Pfeiler mitsamt dem Bewuchs abfällt. Geschieht dieses nur einmal im Jahr, werden pro Windfeld auch ungefähr 500 Tonnen Biomasse punktuell ins Sediment gebracht. Ob diese Zufuhr unter Berücksichtigung der ebenfalls veränderten Turbulenzbedingungen in einem geschichteten System, wie Kriegers Flak, in der Lage ist, großräumige Sauerstoffdefizite auszulösen, soll in der folgenden Studie geklärt werden. Eine potentielle Kettenreaktion durch Sulfidvergiftungen der Bodenfauna, die in diesen Arealen ihren Anfang nimmt, ist aber durchaus im Bereich des Möglichen (siehe auch **Abb. 38**).



Abb. 38: Durch abfallende Biomasse kam es im unmittelbarem Umfeld des Stahlrohrzylinders zu Sauerstoffmangel im Endobenthos (Mai 2005). Schwefelbakterienmatten, auf dem Foto als weißliche Flecken erkennbar, produzierten Schwefelwasserstoff.

4.2 Sedimentumlagerung

Durch Ein- und Ausstromsituationen bedingt gibt es an der Darßer-Schwelle zwei Hauptströmungsrichtungen. Bereits nach kurzer Zeit kam es am Pile-Modell zu deutlich sichtbaren Sedimentumlagerungen, die sich entlang dieser Hauptströmungsrichtungen orientierten. An den Seiten des Stahlrohrsegmentes kam es zu **30 bis 40 cm tiefen und 50 bis 100 cm weiten Auskolkungen**. In den jeweiligen Strömungsrichtungen wurde Sediment abgelagert. Die Kolke bzw. Auswaschungen waren anfänglich durch Muschelschillansammlungen gekennzeichnet. Nach ca. 1 Jahr kam es zu deutlichen Auffüllungen mit abgefallenem Material vom Pile und zu Ansiedlungen von Makrophyten (Rot- und Braunalgen). Auch Schlicke konnten auf den Videos und Fotos beobachtet werden. Diese Bereiche stellten Attraktionszentren für eine Reihe von anderen Organismen dar.

4.3 Endobenthos

Die endobenthische Probennahme entlang der vier Haupthimmelsrichtungen am Fundamentmodell ergab nach 417 Tagen (Mai 2004) noch keine eindeutigen Ergebnisse. Nach 697 Tagen (März 2005) zeigten sich **deutliche Veränderungen im Nahbereich des Pile (Tab. 12)**. Sowohl die Abundanz, die Biomasse als auch die Artenzahl war im Nahbereich (0,5 bis 1 m) am höchsten. Das war hauptsächlich durch die abfallende Biomasse vom Pile bedingt. Die Biomasse war 0,5 m vom Pilefuß entfernt auf den 70fachen Wert der Referenzstation gestiegen. In 1 m Entfernung wurden 8fach höhere Werte gemessen. Die ausgekolkten Bereiche füllten sich mit abgefallenem Material. Dieses fungierte als Sedimentfang und Attraktionszentrum für eine Reihe von Organismen.

Im Vergleich mit der als Referenz dienenden Monitoringstation 030 konnten am Stahlrohrsegment ähnliche endobenthische Besiedlungen beobachtet werden. Allerdings kam es auch bezüglich spezifischer Taxa zu deutlichen Abweichungen. So waren etwa nur die Hälfte der regelmäßigen und häufigen Arten auch im Messfeld häufig. Einige Taxa, die durchaus häufig an der Referenzstation zu finden waren, konnten am Stahlrohrsegment nicht nachgewiesen werden. Für 5 Arten gelangen Neunachweise aus dem Areal. Vermutlich sind kleinräumige und kleinskalige Veränderungen bzw. Patchiness für das Fehlen bzw. Aufkommen von Arten verantwortlich zu machen und nicht auf das Fundament-Modell zurückzuführen.

Tab. 12: Biomasseentwicklung (Feuchtgewicht in g/m²) im Abstand vom Stahlrohrsegment nach 417 bzw. 697 Tagen. Für jede Entfernung wurden die Werte der 4 Himmelsrichtungen gemittelt.

Abstand vom Rohrsegment	Biomasse nach 417 Tagen	Biomasse nach 697 Tagen
	(28.05.2004)	(04.03.2005)
0,5 m	17	9.527
1,0 m	117	1.257
1,5 m	11	158
2,0 m	191	8
2,5 m	85	12

Das **Fundament-Modell reicht** für die komplette Analyse der Prozesse im Nahbereich der Piles **in Bezug auf das Endobenthos** und die Projektion auf die real beplanten Flächen **nicht aus**. Besonders die Beurteilung des sehr kritischen Gleichgewichtes zwischen Ablagerung von toter Biomasse am Boden und der Sauerstoffversorgung kann in Gebieten mit härterer Dichteschichtung (z.B. sundnahe Bereiche wie das derzeitige Planungsgebiet Kriegers Flak) zu völlig anderen Ergebnissen führen. Bereits nach ca. 2 Jahren waren deutliche Effekte (Schwefelbakterienmatten) auch an der relativ gut durchlüfteten Darßer Schwelle sichtbar (**Abb. 37**). Quantitativ gleiche Effekte, die an der Darßer Schwelle im kleinskaligen Bereich zu einer Zunahme und Diversifizierung höheren Lebens am Boden führen, können in Sundnähe genau das Gegenteil bewirken und größere Gebiete mit beeinträchtigen. Aus diesem Grund sind Untersuchungen dieser Prozesskette in den tatsächlich beplanten Gebieten unbedingt von Nöten. Der Wegfall der Forschungsplattform konnte für dieses wichtige Problem mit Hilfe des Modellansatzes nicht kompensiert werden!

5 **Verwendete Literatur**

- Birklund, J & Petersen, A.H. (2004): Development of the fouling community on turbine foundations and scour protections in Nysted Offshore Wind Farm, 2003. Energi E2 A/S Report June 2004: 39 pp
- Chojnacki, J.C. (2000): Experimental effects of artificial reefs in the southern Baltic (Pomeranian Bay). In: A.C. Jensen et al. (eds.): Artificial Reefs in European Seas. Kluwer Academic Publ.: 307-317
- Gosselck, F., Arlt, G., Bick, A., Bönsch, R., Kube, J., Schroeren, V., Voss, J. (1996): Rote Liste und Artenliste der benthischen wirbellosen Tiere des deutschen Meeres- und Küstenbereichs der Ostsee. Schr.-R. Landschaftspf. Natursch. 48: 41-51
- Leewis, R. & Hallie, F. (2000): An artificial reef experiment off the Dutch coast. In: A.C. Jensen et al. (eds.): Artificial Reefs in European Seas. Kluwer Academic Publ.: 307-317
- Leewis, R., Moorsel, G. van & Waardenburg, H. (2000): Shipwrecks on the Dutch continental shelf as artificial reefs. In: A.C. Jensen et al. (eds.): Artificial Reefs in European Seas. Kluwer Academic Publ.: 307-317
- Leonard, S.B. & Pedersen, J. (2004): Hard bottom substrate monitoring Horns Rev Offshore Wind Farm. Annual Status Report 2003. Elsam Engeneering: 62pp

6 **Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Die Ergebnisse dieser Studie dienen zur Abschätzung des Risikopotentials von Offshore-Windenergieanlagen im politisch-administrativen Bereich. Sie stützen somit direkt Entscheidungen, die aus der Abwägung von ökonomischen und ökologischen Vor- und Nachteilen dieser Art von Energiegewinnung resultieren und dann im größeren zeitlichen Rahmen entsprechend auf beide Bereiche rückwirken. Durch die bessere und grundlegendere Information der Entscheidungsträger über die ökologischen Prozessabläufe nach dem Bau von Offshore-WEA ergibt sich ein hoher gesamtgesellschaftlicher Nutzen, der durch die Verbreitung der Ergebnisse in allgemeiner Form und in Fachjournalen noch vermehrt wird. Das primäre Produkt dieser Forschung ist die Aufklärung und Wissensvermehrung. An eine kommerzielle Verwertung der Ergebnisse ist daher nicht gedacht. Da viele der erreichten Ergebnisse auch von hohem Interesse für die Grundlagenforschung sind, ist eine entsprechende Publikation in Fachzeitingen eine weitere und wichtige angemessene Form der Verwertung.

7 **Wissenschaftliche Fortschritte**

Die Studie hat im Bereich der marinen ökologischen Grundlagenforschung neue Ergebnisse erbracht. Wachstumsdynamik und Neubesiedlungsmuster von Epibenthosorganismen auf Hartsubstraten wurden im Ostseebereich mit seinen besonderen ökologischen Randbedingungen bisher nur unzureichend untersucht. Dem Verhalten von Benthosgemeinschaften bei künstlicher Veränderung der Strömungsbedingungen am Meeresboden und daraus resultierenden Veränderungen ihres Lebensraumes wurde ebenfalls zu wenig Beachtung geschenkt. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung haben in diesen Bereichen den Wissensstand eindeutig angehoben. Neu ist die bilanzmäßige Betrachtung des Biomassetransfers von künstlichen Hartsubstraten in die umliegenden Weichböden und die Abschätzung der sekundären Effekte auf Lebensraum und Biozönose.

Die Studie hat somit wichtige neue Erkenntnisse geliefert, die nicht nur der Risikoabschätzung und Entscheidungsfindung zu Windenergieprojekten auf administrativer Ebene dienen, sondern auch im Bereich der Grundlagenforschung einen Zuwachs an Wissen bewirkt haben.

Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie werden hiermit dem Auftraggeber in ausführlicher Berichtsform vorgelegt. Es sind zur Zeit mehrere Manuskripte in Bearbeitung, die wesentliche Ergebnisse der Studie in englischer Sprache zusammenfassen. Diese sollen noch 2005 in einem von der TU-Berlin editierten Buch (Ökologische Begleitforschung zur Offshore-Windenergienutzung / Vorbereitungs- und Startphase der Errichtung von Offshore-Windparks in Deutschland) im Springer Verlag publiziert werden. Einzelne, besonders für die Grundlagenforschung interessante Teile der Untersuchung befinden sich in der Vorbereitung zur Publikation in Fachjournalen.

Anhang

Artenliste: Makrozoenthos-Arten, die während der vorliegenden Studie zwischen August 2003 und März 2005 im Bereich des Stahlrohrzylinders an der Darßer Schwelle (Ostsee) im Rahmen von BEOFINO nachgewiesen wurden. Rote Liste (nach Gosselck et al. 1996): (1) Von Aussterben bedroht, (2) Stark gefährdet, (3) Gefährdet, (P) potenziell gefährdet; (x) in Teilengebieten der Ostsee stärker gefährdet

	Weichboden Auwuchs Rote Liste		
Annelida			
Oligochaeta			
Tubificidae indet.		1	
<i>Tubifex costatus</i> (Claparede, 1863)	1	1	
<i>Tubificoides benedeni</i> (Udekem, 1855)	1	1	
Polychaeta			
Capitellida			
Capitellidae			
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	1		
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparede, 1864)	1		
Arenicolidae			
<i>Arenicola marina</i> (Linneaus, 1758)	1	1	
Orbiniida			
Orbiniidae			
<i>Scoloplos armiger</i> (O.F. Müller, 1776)	1	1	
Paraonidae			
<i>Aricidea minuta</i> Southward, 1956		1	P
<i>Aricidea suecica</i> Eliason, 1920	1	1	
Nephtyidae			
<i>Nephtys caeca</i> (Fabricius, 1780)	1		x
<i>Nephtys hombergii</i> Savigny, 1818	1	1	

Nereididae			
<i>Hediste diversicolor</i> (O.F. Müller, 1776)	1	1	
<i>Neanthes succinea</i> (Frey & Leuckart, 1847)	1	1	
Sphaerodoridae			
<i>Sphaerodoropsis baltica</i> (Reimers, 1933)	1		x
Phyllodocidae			
<i>Eteone longa</i> (Fabricius, 1780)	1	1	
<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)		1	P
<i>Phyllodoce mucosa</i> (Oersted, 1843)	1	1	
Hesionidae			
<i>Nereimyra punctata</i> (O.F. Müller, 1788)		1	3
Pholoidae			
<i>Pholoe assimilis</i> Oersted, 1843	1	1	
Polynoidae			
<i>Bylgides sarsi</i> (Kinberg in Malmgren, 1865)	1	1	
<i>Harmothoe imbricata</i> (Linnaeus, 1767)	1	1	
<i>Harmothoe impar</i> (Johnston, 1839)	1	1	3
<i>Lepidonotus squamatus</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	
Spionida			
Spionidae			
<i>Marenzelleria neglecta</i> Sikorski & Bick, 2004	1		
<i>Polydora ciliata</i> (Johnston, 1838)	1	1	
<i>Polydora cornuta</i> Bosc, 1802		1	
<i>Polydora quadrilobata</i> Jacobi, 1883	1		
<i>Pygospio elegans</i> Claparede, 1863	1	1	
Terebellida			
Ampharetidae			
<i>Ampharete baltica</i> Eliason, 1955	1		
Pectinariidae			
<i>Pectinaria koreni</i> (Malmgren, 1865)	1		3
Sabellidae			
<i>Fabriciola baltica</i> Friedrich, 1939	1		
Arthropoda			
Crustacea			
Cirripedia			
Balanidae			
<i>Balanus crenatus</i> Bruguiere, 1789	1	1	
<i>Balanus improvisus</i> Darwin, 1854	1	1	
Malacostraca			
Amphipoda			
Gammaridea			
Ampithoidae			
<i>Ampithoe rubricata</i> (Montagu, 1808)		1	
Aoridae			
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> da Costa, 1853		1	
Corophiidae			
<i>Corophium crassicorne</i> Bruzelius, 1859	1		x
<i>Corophium insidiosum</i> Crawford, 1937		1	
Gammarellidae			
<i>Gammarellus homari</i> (Fabricius, 1779)		1	
Gammaridae			

<i>Gammarus oceanicus</i> Segerstrale, 1947	1	1	
<i>Gammarus salinus</i> Spooner, 1947	1	1	
<i>Gammarus zaddachi</i> Sexton, 1912	1	1	
Melitidae			
<i>Melita palmata</i> (Montagu, 1804)		1	
Pontoporeiidae			
<i>Pontoporeia femorata</i> Kroyer, 1842		1	
Cumacea			
Diastylidae			
<i>Diastylis rathkei</i> (Kröyer, 1841)	1	1	x
Decapoda			
Crangonidae			
<i>Crangon crangon</i> (Linnaeus, 1758)		1	
Portunidae			
<i>Carcinus maenas</i> (Linnaeus, 1758)		1	
Isopoda			
Valvifera			
Janiridae			
<i>Jaera albifrons</i> Leach, 1814	1		
Idoteidae		1	
<i>Idotea balthica</i> (Pallas, 1772)	1	1	
Mysidacea			
Mysidae			
<i>Gastrosaccus spinifer</i> (Goes, 1864)	1		
Insecta			
Chironomidae indet.		1	
Arachnida			
Halacardidae indet.	1	1	
Pycnogonida			
Pantopoda			
Nymphonidae			
<i>Nymphon brevirostre</i> Hodge, 1863	1		
Porifera			
Leucosolenidae			
<i>Leucosolenia</i> sp.	1		
Cnidaria			
Hydrozoa			
Hydroida			
Athecata			
Bougainvilliidae			
<i>Garveia franciscana</i> (Torrey, 1902)		1	
Clavidae			
<i>Clava multicornis</i> (Forskal, 1775)	1	1	P
Corynidae			
<i>Coryne tubulosa</i> (M. Sars, 1835)	1	1	P
Pandeidae			
<i>Halitholus yoldia-arcticae</i> (Birula, 1897)	1	1	2
Thecata			
Campanulariidae			

<i>Hartlaubella gelatinosa</i> (Pallas, 1766)	1	1	
Campanulinidae			
<i>Lafoenia tenuis</i> Sars, 1874	1	1	
<i>Opercularella lacerata</i> (Johnston, 1847)	1	1	
Echinodermata			
Asteroidea			
Forcipulatida			
Asteriidae			
<i>Asterias rubens</i> Linnaeus, 1758	1	1	
Mollusca			
Bivalvia			
Heterodonta			
Myoida			
Myidae			
<i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758	1	1	
Veneroida			
Astartidae			
<i>Astarte borealis</i> (Schumacher, 1817)	1		3
Cardiidae			
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Poiret, 1789)	1	1	3
Hiatellidae			
<i>Hiatella arctica</i> (Linnaeus, 1767)		1	
Montacutidae			
<i>Mysella bidentata</i> (Montagu, 1803)	1		3
Tellinidae			
<i>Macoma balthica</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	
Thyasiridae			
Pteriomorpha			
Mytiloida			
Mytilidae			
<i>Musculus discors</i> (Linnaeus, 1758)		1	3
<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758	1	1	
Gastropoda			
Heterobranchia			
Heterostropha			
Pyramidellidae			
<i>Odostomia rissoides</i> Hanley, 1844	1	1	P
Opisthobranchia			
Onchidoridae			
<i>Acanthodoris pilosa</i> (Abildgaard in Müller, 1789)	1		
Eubranthidae			
<i>Eubranthus</i> cf. <i>exiguus</i> (Alder & Hancock, 1842)		1	
Facelinidae			
<i>Facelina bostoniensis</i> (Couthouy, 1838)	1		
Stiligeridae			
<i>Stiliger vesiculosus</i> (Deshayes, 1864)		1	
Prosobranchia			
Mesogastropoda			
Hydrobiidae			
<i>Hydrobia ulvae</i> (Pennant, 1777)	1	1	

Rissoidae			
<i>Pusillina inconspicua</i> (Alder, 1844)	1		x
Asciacea			
Pleurogona			
<i>Stolidobranchia</i>			
Styelidae			
<i>Dendrodoa grossularia</i> (van Beneden, 1846)	1	1	3
Nemertini indet.	1	1	
<i>Lineus ruber</i> (Müller, 1774)	1	1	
<i>Prostoma obscura</i> (Schultze, 1851)		1	
Platyhelminthes			
Turbellaria indet.	1	1	
Priapulida			
Priapulidae			
<i>Halicryptus spinulosus</i> von Siebold, 1849	1		
Tentaculata			
Bryozoa			
Gymnolaemata			
Cheilostomata			
Calloporidae			
<i>Callopora lineata</i> (Linnaeus, 1767)	1	1	
Electridae			
<i>Electra crustulenta</i> (Pallas, 1766)	1	1	
<i>Electra pilosa</i> (Linnaeus, 1767)	1	1	
Eucrateidae			
<i>Eucratea loricata</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	
Ctenostomata			
Alcyonidiidae			
<i>Alcyonidium polyoum</i> Hassal, 1841	1	1	
Triticellidae			
<i>Farrella repens</i> (Farre, 1837)	1	1	